

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

SEDE CUENCA.

CARRERA: INGENIERIA ELECTRICA.

Tesis previa a la obtención del Título de:

INGENIERO ELECTRICO.

Tema:

Estudio y diseño de un sistema micro-hidroeléctrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón Cuenca.

Autor:

Vinicio Rolando Vásquez Huiracocha.

Director:

Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza.

Cuenca, Agosto de 2015.

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

SEDE CUENCA.

CARRERA: INGENIERIA ELECTRICA.

Tesis previa a la obtención del Título de:

INGENIERO ELECTRICO.

Tema:

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA MICRO
HIDROELÉCTRICO PARA GENERACION Y
ABASTECIMIENTO DE ENERGIA ELECTRICA
MEDIANTE ENERGIA RENOVABLE PARA UNA
VIVIENDA TIPICA DEL SECTOR DE SININCAY
PERTENECIENTE AL CANTON CUENCA.**

Autor:

Vinicio Rolando Vásquez Huiracocha.

Director:

Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza.

Cuenca, Agosto de 2015.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Vinicio Rolando Vásquez Huiracocha con documento de identificación N° 0102814506, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado: “Estudio y diseño de un sistema micro hidroeléctrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica, mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón Cuenca”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Vinicio Rolando Vásquez Huiracocha

0102814506

30 de octubre del 2015

Declaratoria de Responsabilidad:

Yo, Vinicio Rolando Vásquez Huiracocha, Autor de la Tesis: “Estudio y Diseño de un Sistema Microhidroeléctrico para generación y abastecimiento de Energía Eléctrica mediante Energía Renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón Cuenca.” autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Para los fines pertinentes, expreso y pongo de manifiesto mediante la presente que: la idea, desarrollo, análisis de los conceptos y su teoría, conclusiones, proyecciones, recomendaciones y materialización de este proyecto son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Agosto de 2015.



Vinicio Rolando Vásquez Huiracocha.

010281450-6

Certificación:

El presente trabajo de tesis previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico fue guiado satisfactoriamente por el Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza, Quién autoriza su presentación para continuar con los trámites correspondientes.



Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza

DIRECTOR DE TESIS

Dedicatoria y Agradecimientos:

Dedicatoria.

Con gratitud y cariño, el presente proyecto deseo dedicar a toda mi familia en general indistintamente del grado de parentesco, afinidad y consanguinidad ya que han sido mi pilar fundamental para mantenerme en este proyecto de estudio junto a todas las personas que han estado presentes en las diversas etapas de mi vida.

Enfatizando de manera muy especial a mis dos hijos José Francisco y Samantha Aracely que junto con mi esposa han sido la fuente de inspiración para el objetivo trazado, así como también a mi Madre en el cielo y a mi Padre en la Tierra que gracias a ellos me encaminaron en la senda de los estudios buscando un porvenir mejor y que con su ejemplo de trabajo y lucha incansable me han dado el motivo suficiente y necesario para seguir adelante y no desmayar en el proceso por más fuerte que parezca.

Agradecimientos.

Deseo en este espacio dar un primer y especial agradecimiento a Dios por darme la vida, la salud, fortaleza, sabiduría, conocimiento, paciencia y por todo en general incluyendo la oportunidad de estar presente en estos momentos.

A los Docentes Universitarios por los conocimientos brindados, amigos y compañeros que han estado a lo largo de mi trayectoria.

Un reconocimiento muy especial a todo mi grupo de trabajo, de manera especial a mis herman@s junto con Christian y César Marca y Antonio Torres que apoyaron tanto con conocimientos, con recursos, ideas y argumentos así como en el desarrollo práctico y materialización de este proyecto y que junto al Sr Juan Gómez, al Director: Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza y a los Ingenieros: Diego Chacón y Marco Carpio me asistieron para que se pueda culminar con este proyecto.

Vinicio Vásquez.

Indice de Contenido

Declaratoria de Responsabilidad:.....	i
Certificación:.....	ii
Dedicatoria y Agradecimientos:.....	iii
Dedicatoria.	iii
Agradecimientos.....	iii
Indice de Contenido	iv
Indice de Figuras.	viii
Indice de Tablas.	xii
CAPITULO 1.	1
RECURSOS NATURALES Y ENERGIAS RENOVABLES.	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Historia y Ubicación.	2
1.2 Recursos Naturales y Energías Renovables.	5
1.2.1 Energía Eólica.	5
1.2.2 Energía Geotérmica.....	10
1.2.3 Bioenergía o Energía de la Biomasa.	12
1.2.4 Energía Solar.....	14
1.2.5 Recursos Hídricos.	17
1.3 Métodos para la medición del caudal.	20
1.3.1 Métodos Directos:	21
1.3.2 Métodos Indirectos:.....	21
1.4 Micro Centrales Hidroeléctricas.....	26
1.4.1 Según su concepción arquitectónica:	26
1.4.2 Según su régimen de flujo:.....	27

1.4.3	Según su nivel de presión por la caída del agua:	29
1.5	Ventajas y Desventajas.....	32
CAPITULO 2.....		33
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA.		33
2.1	Medición de caudal por métodos Directos.....	34
2.1.1	A partir de los datos Climatológicos.....	34
2.1.2	Datos Climatológicos satelitales a través de aplicaciones móviles.....	35
2.1.3	Método del Recipiente o Método Volumétrico.....	38
2.2	Medición de la Altura o Salto Geodésico para el Agua.	41
2.2.1	Método del Gps.....	42
2.2.2	Método del Altimetro.....	42
2.2.3	Método del Eclímetro.....	42
2.2.4	Método del Nivel de Ingeniero:	42
2.2.5	Método del Mapa con Curvas de Nivel:	42
2.2.6	Método de la Manguera Transparente y Nivelación con Agua:	42
2.2.7	Método De La Manguera y Manómetro:	43
2.2.8	Método del Nivel de Carpintero:.....	43
2.3	Cálculo de la Energía Eléctrica Generada.	46
2.4	Cálculo de Altura Neta del Salto Geodésico y Diámetro de Tubería.....	48
2.4.1	Calculo del Diámetro de la Tubería.	48
2.4.2	Pérdidas de carga debido a la fricción en pared de la tubería.	49
2.4.3	Pérdida de carga por accesorios adicionales en la conducción.....	53
2.5	Dimensionamiento de la Microturbina y Microgenerador.	58
2.5.1	Elección y valoración del Tipo de Turbina según grado de Reacción.	58
2.5.2	Clases de Turbinas Pelton.	63
2.5.3	Análisis del Triángulo De Velocidades Del Agua.	63
2.5.4	Rendimiento de la Turbina.....	65

2.6	Cálculo y Diseño del Inyector.	68
2.6.1	Rendimiento del Inyector.	71
2.6.2	Sistema seguridad del inyector.	73
2.7	Cálculo y diseño de los alabes o cucharas del rodete.	73
2.8	Diámetro de la circunferencia al girar la punta del rodete.	76
2.9	Estudio de carga eléctrica actual y proyección de demanda.	79
2.10	Puesta a Tierra y Protección.	81
2.11	Emisión de CO ₂ y gases de efecto invernadero.	83
CAPITULO 3.		91
PRUEBAS APLICADAS AL SISTEMA MICRO -HIDROELECTRICO.		91
3.1.	Mediciones preliminares en la turbina.	91
3.1.1	Pruebas en vacío sin carga.	92
3.1.2	Pruebas en turbina con sistema de bandas y poleas sin generador.	93
3.1.3	Pruebas de la turbina con el generador.	93
3.1.4	Estudio de comportamiento y variación de carga.	94
3.1.5	Regulación de velocidad a través de la regulación de caudal.	96
3.1.6	Estabilización de velocidad con el volante o disco de inercia.	97
3.1.7	Sistema para minimizar el efecto del golpe de ariete.	99
3.1.8	Sistema de medición de la presión a la llegada del inyector.	99
3.1.9	Sistema de Protección y Regulación de Voltaje.	100
3.1.10	Pruebas de generación al variar caudal así como al variar la relación de transmisión para una relación de velocidad vs voltaje.	101
3.1.11	Medición de presión de trabajo del proyecto.	103
3.1.12	Mediciones y pruebas aplicadas a la turbina rediseñada.	107
3.2.	Diseño de planos de ampliación de la red eléctrica interna.	114
3.3.	Metodologías y clases de Mantenimiento.	115
3.4.	Mantenimiento Preventivo.	115

3.4.1	Mantenimiento Programado.....	116
3.4.2	Mantenimiento Predictivo.....	117
3.4.3	Mantenimiento de Oportunidad.	118
3.5.	Mantenimiento Correctivo.	120
CAPITULO 4.	122
POLITICAS DE GARANTÍA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....		122
4.1	Consideraciones:	122
4.2	Políticas de Garantía:.....	122
4.3	Recomendaciones:	124
4.4	Conclusiones:	125
ANEXOS.	128
Muestras de mediciones de voltaje realizadas en la microturbina.		128
Mediciones de frecuencia al variar el caudal y la carga eléctrica.		130
Medición de corriente realizada con el Amperímetro.		132
Medición de presión en lugar del proyecto con manómetro 200 PSI.....		133
Medición de Velocidad de giro o rotación en cada uno de los ejes		134
Bibliografía:		136

Índice de Figuras.

<i>Figura 1:</i> Ubicación del proyecto dentro de las Parroquias Rurales de Cuenca.	2
<i>Figura 2:</i> Ubicación del proyecto dentro de las Parroquias Urbanas de Cuenca.	3
<i>Figura 3:</i> Ubicación satelital del proyecto dentro de la Provincia del Azuay como del Cantón Cuenca.	4
<i>Figura 4:</i> Vista Panorámica desde satélite con escala de la ubicación del proyecto hidroeléctrico límites de Sinincay.	4
<i>Figura 5:</i> Vista desde el proyecto hidroeléctrico hacia Cuenca y su clima lluvioso que lo favorece.	4
<i>Figura 6:</i> Mapa Eólico de la Regional 6 que comprende: Azuay, Cañar y Morona Santiago.	6
<i>Figura 7:</i> Efectos de la fuerza del viento en las plantas sector Sigsig de la Cordillera Oriental.	7
<i>Figura 8:</i> Fuerza del viento en corredores andinos Occidentales, Tres cruces, Vía Cuenca- Molleturo.	7
<i>Figura 9:</i> Relación entre el área y la potencia generada.	9
<i>Figura 10:</i> Componentes del aerogenerador y esquema del sistema de control.	10
<i>Figura 11:</i> Capas internas de la corteza terrestre y forma de extraer su energía.	11
<i>Figura 12:</i> Fotos del Recurso Hídrico. Río Pastaza, aguas abajo de la Represa Hidroeléctrica Agoyán de 156 MW, Túnel 2400 m, caída 150 m, toma 120 m ³ /s y diámetro 6m, a 5 Km de Baños.	17
<i>Figura 13:</i> Fotos del Salto Geodésico del Agua. Cascadas Pailón del Diablo a 18 Km de Baños en la Parroquia Rio Verde de Tungurahua entrada a Pastaza.	17
<i>Figura 14:</i> Corte transversal de una Represa Hidroeléctrica.	20
<i>Figura 15:</i> Area de vertedero rectangular o cuadrado con medidores de velocidad taza cónica y hélice.	22
<i>Figura 16:</i> Una misma área de Vertedero con distinto Radio Hidráulico.	23
<i>Figura 17:</i> Imágenes medición de Caudal con el método del Vertedero.	23
<i>Figura 18:</i> Curva calibrada de corriente de agua en estación de aforo y escala graduada para determinar el caudal del Río Tomebamba.	24
<i>Figura 19:</i> Represa de Itaipú, entre Brasil y Paraguay. Segunda Central por potencia instalada después de la presa de las Tres Gargantas en China.	26

<i>Figura 20:</i> Represa Hidroeléctrica Mazar. Túnel de ingreso a la represa y a la casa de máquinas, apreciación de su magnitud.	27
<i>Figura 21:</i> Interior del túnel en Mazar, Casa de Máquinas en Caverna y parte Alta de dos Turbinas.....	27
<i>Figura 22:</i> Bosquejo del Proyecto Sopladora y ubicación del mismo con el Proyecto Cardenillo dentro del Proyecto Hidroeléctrico Paute Integral.	28
<i>Figura 23:</i> Vista del Embalse del agua varios kilómetros atrás y la Parte Posterior de la Represa Hidroeléctrica Mazar.....	28
<i>Figura 24:</i> Vista de la Represa hacia su parte baja y desde la parte frontal de la Hidroeléctrica Mazar.....	29
<i>Figura 25:</i> Foto de la represa Daniel Palacios con su embalse Amaluza y esquema simplificado de la central Molino del Complejo Hidroeléctrico Paute Integral.	30
<i>Figura 26:</i> Datos simplificados de la central Mazar, Complejo Hidroeléctrico Paute Integral.	31
<i>Figura 27:</i> Represa Yacyretá y forma constructiva de turbina Kaplan.	31
<i>Figura 28:</i> Características y esquemas de las microturbinas TM.....	32
<i>Figura 29:</i> Screenshots de mediciones climatológicas realizadas en el sitio del proyecto mediante apps de los Smartphones.	37
<i>Figura 30:</i> Imágenes de la parte alta de donde descende el agua para inicio de ríos y captaciones.	38
<i>Figura 31:</i> Medición de caudal de uno de los ingresos de agua mediante el Método del Recipiente.....	39
<i>Figura 32:</i> Medición del Caudal en la salida mediante el Método Volumétrico.....	39
<i>Figura 33:</i> Proceso y materiales para la parte alta del proyecto, comparación de dimensión versus tamaño de una persona.	40
<i>Figura 34:</i> Proceso y materiales para la parte baja, comparación dimensión versus tamaño de persona.....	41
<i>Figura 35:</i> Manómetros de doble escala, primero PSI y Bar; segundo psi y KPa. ...	43
<i>Figura 36:</i> App para medir el nivel.	44
<i>Figura 37:</i> Respaldos de mediciones con GPS y sus detalles incluidos.....	44
<i>Figura 38:</i> Vista del Diagrama de Moody.....	52
<i>Figura 39:</i> Diagrama de Moody con sus detalles de Régimen y valores obtenidos..	53
<i>Figura 40:</i> Diagrama de Moody a partir del número de Reynolds y valores obtenidos.	57

<i>Figura 41:</i> Constitución de las turbinas Kaplan, Francis y Rodete Pelton.....	59
<i>Figura 42:</i> Rango de aplicación de las turbinas Kaplan, Francis y Rodete Pelton....	60
<i>Figura 43:</i> Tipos de turbinas de acuerdo a velocidad específica y altura.....	63
<i>Figura 44:</i> Diagrama de velocidades en las cucharas e imagen en la práctica del proyecto.....	64
<i>Figura 45:</i> Ubicación del rodete, Deflector, Inyector y su Aguja de regulación de la turbina Pelton.	68
<i>Figura 46:</i> Proceso construcción del inyector para diámetro de Chorro.	69
<i>Figura 47:</i> Partes constitutivas con sus dimensiones del Inyector y su Bulbo de la turbina Pelton.	71
<i>Figura 48:</i> Movimiento de la aguja con su Bulbo para regulación del Inyector de la turbina.	71
<i>Figura 49:</i> Pruebas y ensamblaje del inyector con sistema de conexión y sujeción a usar en proyecto.	72
<i>Figura 50:</i> Profundidad del pozo y sistema anti impurezas para el inyector.....	73
<i>Figura 51:</i> Dimensiones, cortes y geometría de los álabes o cucharas.	78
<i>Figura 52:</i> Alabes o cucharas a ser usadas en el proyecto.....	78
<i>Figura 53:</i> Eje de 3/4 acero inoxidable con sus chumaceras de 3/4 y disposición de las cucharas.	78
<i>Figura 54:</i> Disco acero inoxidable y disposición de cucharas previa su colocación. 78	
<i>Figura 55:</i> Ubicación del rodete, manzana, modificación por disposición y tamaño físico.....	79
<i>Figura 56:</i> Proceso constructivo: carcazas, ensamble eje, chumaceras y poleas con bandas.....	79
<i>Figura 57:</i> Sistema de puesta a Tierra propuesto.	82
<i>Figura 58:</i> Generador que se ocupa actualmente para suplir la falta de energía eléctrica.	86
<i>Figura 59:</i> Montaje de turbina y generador para pruebas preliminares en el sitio del proyecto.....	91
<i>Figura 60:</i> Pruebas y Medición de la velocidad en vacío de la turbina.....	92
<i>Figura 61:</i> Pruebas y medición de velocidad con la carga del sistema de transmisión sin generador.	93
<i>Figura 62:</i> Calibración en voltaje y frecuencia con el interruptor térmico en off.	94
<i>Figura 63:</i> Energización del circuito carga y pruebas con tres circuitos de focos. ...	94

<i>Figura 64:</i> Curva característica de las diferentes clases de Turbinas.....	95
<i>Figura 65:</i> Gráfico de las curvas características de la Turbina Pelton.	96
<i>Figura 66:</i> Sistema de Control Lazo cerrado de la velocidad de giro de la Turbina.	97
<i>Figura 67:</i> Mecanismo de Watt o Regulador de bolas.	97
<i>Figura 68:</i> Sistema Regulador de Velocidad mediante volante de Inercia en generador de 9 KW.	98
<i>Figura 69:</i> Sistema de Chimenea para minimizar el efecto del golpe de Ariete.	99
<i>Figura 70:</i> Medición y acoples usados para la instalación del manómetro.....	100
<i>Figura 71:</i> Pruebas realizadas en el Generador a usarse en el proyecto.....	100
<i>Figura 72:</i> Muestras de mediciones de velocidad realizadas con Tacómetro y de Voltajes en terminales con diversas cargas con el proyecto funcionando.	101
<i>Figura 73:</i> Grafica de Curva Característica de Velocidad vs Voltaje.	103
<i>Figura 74:</i> Medición de Presión de trabajo en el proyecto, manómetro 200 PSI..	103
<i>Figura 75:</i> Gráfica Presión de trabajo en la entrada del inyector Vs Voltaje.....	105
<i>Figura 76:</i> Curva Característica Presión de Trabajo (PSI) vs Velocidad (RPM)....	107
<i>Figura 77:</i> Medición de voltaje y frecuencia con la turbina funcionando.....	108
<i>Figura 78:</i> Funcionamiento, Conexión y Vista de la Turbina.	108
<i>Figura 79:</i> Curva Velocidad vs Voltaje mientras sube la carga eléctrica y su perturbación.....	109
<i>Figura 80:</i> Curva de variación de Frecuencia Vs. velocidad al manipular el caudal.	110
<i>Figura 81:</i> Curva de Fluctuaciones Intensidad vs Voltaje Compensando Caudal. .	111
<i>Figura 82:</i> Esquema general del proyecto.....	113
<i>Figura 83:</i> Planos de ampliación de la red Eléctrica en el lugar del proyecto.	114
<i>Figura 84:</i> Medición de alineación y desbalancee del eje.	117
<i>Figura 85:</i> Período de duración y reemplazo de cojinetes.	119
<i>Figura 86:</i> Mediciones de voltaje realizadas en el desarrollo del proyecto.	128
<i>Figura 87:</i> Calibración voltaje y frecuencia al regular el caudal.....	129
<i>Figura 88:</i> Rango de variación de frecuencia de acuerdo al caudal mínimo.....	130
<i>Figura 89:</i> Rango de variación de frecuencia de acuerdo al caudal máximo.....	131
<i>Figura 90:</i> Muestreo de valores de intensidad de carga en pruebas preliminares. ..	132
<i>Figura 91:</i> Medición de presión rango 80 a 120 PSI y 140 a 170 PSI en pruebas. .	133
<i>Figura 92:</i> Verificación de velocidad en revoluciones por minuto con diversos caudales y diversas cargas conectadas en el proyecto.	135

Indice de Tablas.

<i>Tabla 1:</i> Datos de precipitaciones referidos por parroquias del Cantón Cuenca.....	35
<i>Tabla 2:</i> Medición de caudal por el Método Volumétrico en uno de los ingresos al pozo de recolector.....	39
<i>Tabla 3:</i> Medición del caudal por el método del Recipiente en la salida del pozo de recolección.....	40
<i>Tabla 4:</i> Valores de las distintas Mediciones y sus promedios del Salto Geodésico o diferencia de altura por el método del GPS.....	45
<i>Tabla 5:</i> Valores alturas y sumatorias por el método de manguera transparente y nivelación con agua.....	46
<i>Tabla 6:</i> Valores de Densidad y Viscosidad del agua.....	48
<i>Tabla 7:</i> Datos Técnicos de Mangueras.....	49
<i>Tabla 8:</i> Rugosidad absoluta ϵ o K de los distintos materiales para ductos.....	50
<i>Tabla 9:</i> Factor de pérdida de carga debido a la rugosidad absoluta K de los distintos accesorios.....	54
<i>Tabla 10:</i> Cálculos previos realizados para distintos ductos, alturas y caudales.....	56
<i>Tabla 11:</i> Criterio de selección del tipo de turbina.....	62
<i>Tabla 12:</i> Cálculo para selección de microturbina, Número Específico Revoluciones, velocidades y rendimiento.....	67
<i>Tabla 13:</i> Cálculo para inyector de la turbina Pelton y dimensiones de sus partes...	70
<i>Tabla 14:</i> Número de cucharas con ángulos β_4 en función de relación D_p/d_0	76
<i>Tabla 15:</i> Cálculo y dimensión para las cucharas con sus ángulos respectivos en función del diámetro del chorro.....	77
<i>Tabla 16:</i> Toma de carga eléctrica emplazada actualmente.....	80
<i>Tabla 17:</i> Proyección de demanda de carga para una vivienda.....	81
<i>Tabla 18:</i> Cuantificación del ahorro de galones de diesel al año y sus emisiones respectivas de acuerdo a la potencia disponible.....	85
<i>Tabla 19:</i> Cuantificación del ahorro en gasolina y en dólares con el generador y consumo actual.....	87
<i>Tabla 20:</i> Huella de carbono actual y toneladas de CO ₂ a eliminar con el consumo de Energía Hidráulica.....	88

<i>Tabla 21:</i> Huella de carbono media y toneladas de CO2 a eliminar con el consumo de Hidro Energía.	89
<i>Tabla 22:</i> Huella de carbono total y toneladas de CO2 a eliminar con el consumo de Energía Hídrica.	89
<i>Tabla 23:</i> Tabulación Velocidad Rotación del Generador Vs Voltaje Generado...	102
<i>Tabla 24:</i> Tabulación Presión de trabajo en la entrada del Inyector Vs Voltaje Generado.	104
<i>Tabla 25:</i> Tabulación valores de Presión de Trabajo Vs. Velocidad de Rotación. .	106
<i>Tabla 26:</i> Valores de Velocidad y Voltaje para obtener su curva característica y su perturbación.....	108
<i>Tabla 27:</i> Tabulación de variación de frecuencia al variar la velocidad al manipular el caudal.	109
<i>Tabla 28:</i> Fluctuaciones Corriente vs Voltaje Generado compensando caudal.	110
<i>Tabla 29:</i> Orden de trabajo a ser usada en las inspecciones y sus Anexos.....	121

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA MICRO-HIDROELECTRICO PARA GENERACION Y ABASTECIMIENTO DE ENERGIA ELECTRICA MEDIANTE ENERGÍA RENOVABLE PARA UNA VIVIENDA TIPICA DEL SECTOR DE SININCAY PERTENECIENTE AL CANTÓN CUENCA.

CAPITULO 1.

RECURSOS NATURALES Y ENERGIAS RENOVABLES.

1.1 Introducción.

La Energía Eléctrica, hoy en día se vuelve un medio cada vez más indispensable para la subsistencia de las personas ya que se lo ocupa básicamente para iluminación, fuente de energía de los aparatos eléctricos domésticos y de trabajo siendo unos básicos para la subsistencia y alimentación así como otros para confort y esparcimiento tanto en las empresas, en los hogares así como en medios laborales y de cotidiano vivir, sobre todo debido al gran desarrollo de tecnologías para optimizar recursos, aprovisionamiento de estudios e investigación a través de computadoras y modem de internet entre otros así como también para innovación y mejoramiento de la calidad de vida de las personas, del medio ambiente y porque no también para mejorar la producción avícola y ganaderas entre otras tantas formas de uso.

A pesar del gran despliegue en temas de tendido de redes de Distribución por parte de la Empresas Distribuidoras y en este caso de Cuenca de La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur CA. existen zonas que debido a la baja densidad poblacional y a las condiciones topológicas del lugar de habitad donde no se benefician de una red eléctrica de distribución por las características propias del lugar y su extensión de red es todavía un tanto lejana y por ende costosa a más de que implicaría una posible destrucción de árboles y bosques para poder acceder a la red de Servicio Pública y/o debido a su ubicación en medio de la naturaleza poseen recursos naturales subutilizados que mediante una optimización de los mismos recursos brindan unas características favorables para desarrollar mayores

producciones de energías renovables en cantidades mínimas pero solventables para generación de Energía Eléctrica que a más de solucionar esta falta de suministro y evitando la contaminación mediante la no producción de Dióxido de Carbono CO₂ se conviertan en pioneras de micro generación en base a recursos renovables que dispone la zona inclusive para la ampliación al gran potencial del mini turismo ecológico sostenible en un futuro no muy lejano.

1.1.1 Historia y Ubicación.

Este proyecto consta de tres fases en serie, la primera fase a ser desarrollada en este estudio por estar próximo a la casa a la cual se va a aprovisionar de Energía Eléctrica, la segunda fase se encuentra en la parte alta del predio, y la tercera fase en la parte inferior del predio siendo estos nombrados según el cauce del agua desde la parte superior hasta la parte inferior de la propiedad que se encuentra ubicado en las cercanías de las faldas y zona de acceso al antiguo volcán apagado llamado cerro Cabogana o Cabugana en Quechua de aproximadamente 3700 metros de altura que forma parte del conjunto montañoso del Cajas que se formaron hace sesenta millones de años al descongelares las montañas occidentales de los Andes que cubría Cuenca, predomina en estos la típica vegetación de la altura como son: el gañal, el Aguarongo, musgos, helechos, sigsal, árbol de papel, monte de cerro, eucalipto, pino y sobre todo los pajonales típicos de las alturas de los Andes y propios de este sector conocido como pailas de Racar por sus grandes fosas excavadas por las caídas de agua o simplemente Racar de la Santísima Trinidad. (Bueno, y Toledo. 2013).



Figura 1: Ubicación del proyecto dentro de las Parroquias Rurales de Cuenca.

Fuente: (Ecuador Noticias, 2014)



Figura 2: Ubicación del proyecto dentro de las Parroquias Urbanas de Cuenca.

Fuente: (Ecuador Noticias, 2014)

Se encuentra en los límites entre las parroquias Rurales Sinincay y Sayausí y no muy alejada de los límites Noroccidentales de la parroquia urbana Bellavista, siendo la formación montañosa más elevada en las cercanías de la Ciudad de Cuenca por lo que desde su cima se puede apreciar una amplia vista panorámica del valle del Tomebamba, muy cercano a la ciudad ubicado aproximadamente a 8km del Centro Histórico de Cuenca, donde las principales actividades son la agricultura, ganadería por lo que es muy notorio las grandes haciendas en este sector a más de las tejerías y ladrilleras artesanales.

Anteriormente era ocupado por antiguas generaciones pero carecen de Energía Eléctrica de la red de distribución por lo que se cocía los alimentos a leña y se aprovechaba la luz del día mientras se podía y a falta de ella con velas de cera y lámparas de aceite, pero hoy en día es ocupada por las nuevas generaciones que requieren más de Energía Eléctrica que a más de solventar las necesidades tradicionales de cocción de alimentos, iluminación y suministro para los artefactos eléctricos innovadores se requiere inclusive para poder acceder a sus estudios mediante computadoras e internet en base a las características propias del lugar y en base a los medios disponibles para la micro generación de Energías Renovables.

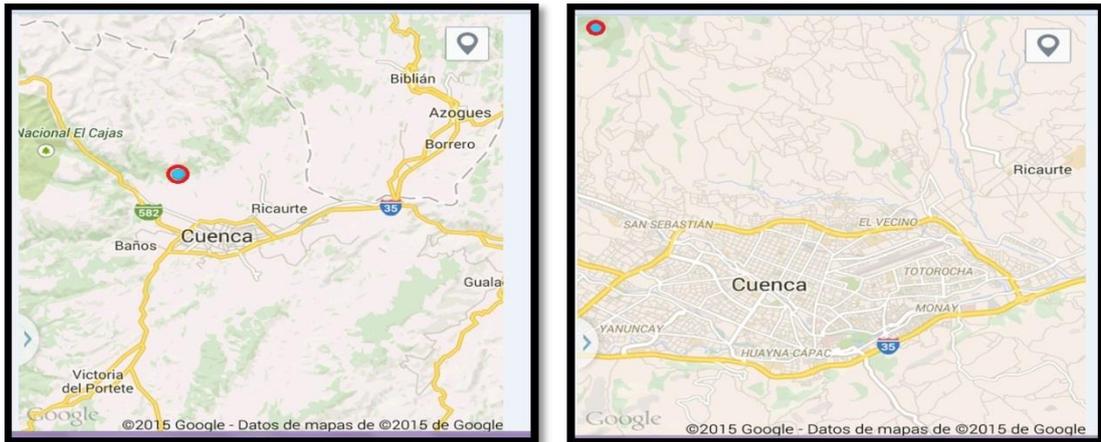


Figura 3: Ubicación satelital del proyecto dentro de la Provincia del Azuay como del Cantón Cuenca.

Fuente: (Google Maps, 2014)



Figura 4: Vista Panorámica desde satélite con escala de la ubicación del proyecto hidroeléctrico límites de Sinincay.

Fuente: (Google Maps, 2014)



Figura 5: Vista desde el proyecto hidroeléctrico hacia Cuenca y su clima lluvioso que lo favorece.

Fuente: (Autor, 2014)

1.2 Recursos Naturales y Energías Renovables.

Tomando en consideración que el mundo en general y de manera particular el Ecuador por encontrarse en la mitad del mismo poseen grandes bondades naturales de las cuales y en nuestra tema de estudio se las puede aprovechar para la generación de Energías Renovables que hoy en día son promovidas por las altas autoridades en busca de cambiar la Matriz Energética mediante la disminución de la producción de Energía Eléctrica basada en combustibles fósiles que no son renovables y son altamente contaminantes en Dióxido de Carbono CO₂ con gran impacto en la producción de gases de efecto invernadero que colabora para el efecto devastador del calentamiento global que se busca erradicar como política mundial, se presenta a continuación las pautas para el aprovechamiento de las mismas para la micro generación Eléctrica con fines de suplir la carencia de la misma en un sector de nuestra ciudad aprovechando los Recursos Naturales, la misma que puede evolucionar con los cambios tecnológicos, capacidad adquisitiva y predisposición a la implementación con beneficios económicos, sociales, ambientales y tecnológicos.

Cabe mencionar que para que ello ocurra se requiere de muchos factores pero principalmente mencionamos el que nace de la necesidad de Energía Eléctrica minimizando la dependencia de los combustibles fósiles, del potencial energético disponible en el lugar de generación ya sea Eólico, Hídrico, Geotérmica, Mareas, Solar etc., así como del Potencial Tecnológico con el que se desarrollan dispositivos cada vez más eficientes en los que se incluyen turbinas así como los Generadores y por último sin descartar de la visión y empeño de los catedráticos en impulsar ideas innovadoras en sus alumnos con el fin no solo de suplir la creciente demanda tanto de población como de consumo sino también el de la incorporación de importantes cargas nuevas como son las cocinas de inducción, vehículos eléctricos y migración del consumo de derivados de GLP a electricidad en los que se incluyen los calefones, hornos, calefactores y más productos para beneficio del Estado, la población, de las empresas y del cuidado ambiental.

1.2.1 Energía Eólica.

La energía eólica es aquella energía eléctrica que se produce aprovechando la fuerza o energía cinética del viento que pasa por el área de circulación del rotor con

sus paletas o álabes que componen los aerogeneradores a una altura recomendada entre los 40 y 60 metros de altura del suelo en áreas que presentan condiciones de viento aparentemente favorables previo estudios de factibilidad con estaciones meteorológicas, y/o Mapas Eólicos elaborado mediante mapeo satelital y datos de campañas de mediciones realizadas con anemómetros siendo el más común el de cazoletas que son los instrumentos que mediante su nivel de rotación que varía en proporción al viento generan una señal ya sea mediante contadores mecánicos, variaciones de voltaje o interruptores fotoeléctricos como los que actualmente dispone el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables MEER así como del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

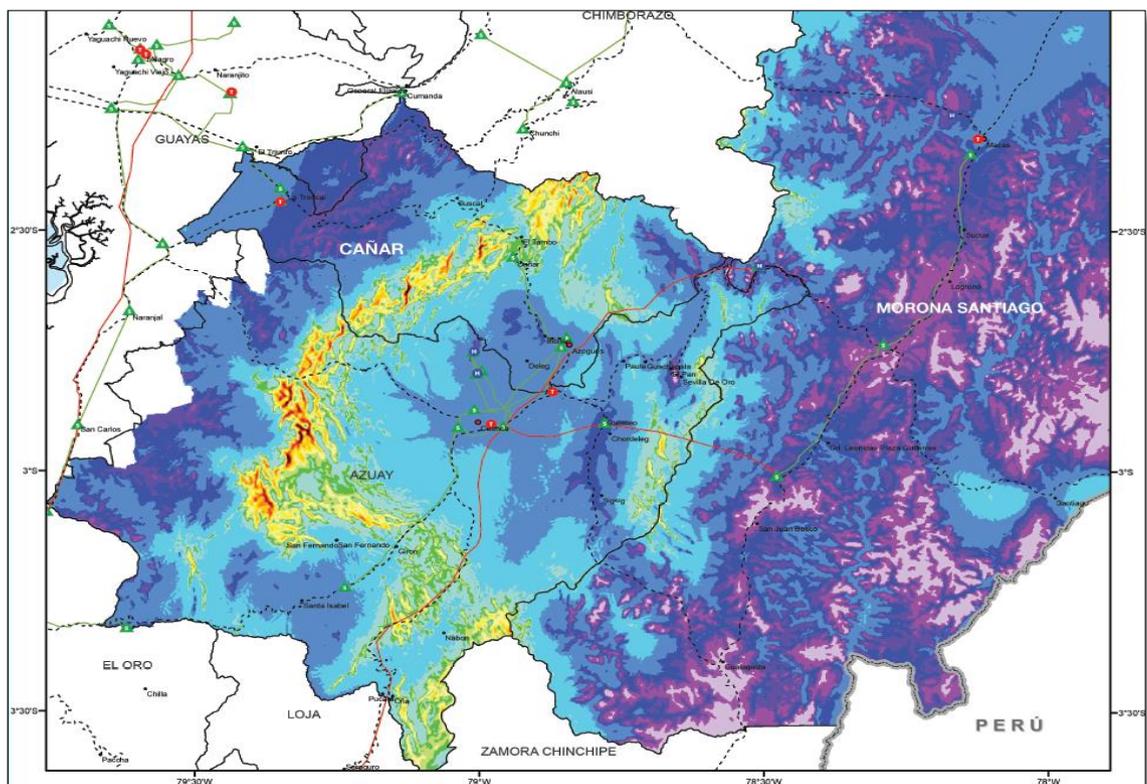


Figura 6: Mapa Eólico de la Regional 6 que comprende: Azuay, Cañar y Morona Santiago.

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

Este mapa fue elaborado para una altura de 80 metros sobre el nivel del suelo y nos muestra que para el caso de nuestra provincia tenemos zonas posiblemente potenciales para aprovechamiento de Energía Eólica en las dos cordilleras, en forma mayoritaria en la Cordillera Occidental en sectores como Pucará, Base Militar

Nariguña, San Fernando y el Cajas identificados con colores verde, verde claro, amarillo, tomate, café y marrón rojizo con velocidades que van desde los 21.6 hasta los 36 kilómetros por hora equivalente a 6 a 10 metros por segundo correspondientemente y en la cordillera Oriental en las partes altas de sectores como son Sigsig, Chordeleg y Sevilla de Oro identificados con color Turquesa, verde, verde claro, amarillo, tomate con velocidades que van desde los 19.8 hasta los 32.4 kilómetros por hora equivalente a 5.5 a 9 metros por segundo correspondientemente.

En estas zonas por donde corren los vientos se puede evidenciar como las plantas ya sean pequeñas como las hierbas de las praderas o grandes plantas como los arbustos presentan una inclinación que desafía a la gravedad y es producida por la constante fuerza del viento al pasar por estos corredores andinos, en estas partes es muy fácil desequilibrarse por el viento el mismo que ejerce una fuerza que se evidencia fácilmente en el movimiento del cabello, plantas así como en el típico vuelo de cometas, como se los puede apreciar en las siguientes imágenes precisamente en sectores de las dos cordilleras mencionadas anteriormente.



Figura 7: Efectos de la fuerza del viento en las plantas sector Sigsig de la Cordillera Oriental.

Fuente: (Elaboración propia, 2014).



Figura 8: Fuerza del viento en corredores andinos Occidentales, Tres cruces, Vía Cuenca- Molleturo.

Fuente: (Elaboración propia, 2014).

Este tipo de energía es una de las fuentes de energía renovable con mayor crecimiento en todo el mundo sobre todo a finales del siglo XX, su origen proviene del movimiento de masas de aire a escala planetaria, es decir del viento. En la tierra el movimiento de las masas de aire se deben principalmente a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares de esta debido a la inhomogeneidad del calentamiento por radiación solar, moviéndose de alta a baja presión, este tipo de viento se llama viento geo estrófico, pero para la generación de energía eléctrica a partir del viento a nosotros nos interesa mucho más el origen de los vientos en zonas más específicas del planeta, estos vientos son los llamados vientos locales, entre estos están las brisas marinas que son debida a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra, también están los llamados vientos de montaña que se producen por el calentamiento de las montañas y esto afecta en la densidad del aire y hace que el viento suba por la falda de la montaña o baje por esta dependiendo si es noche o día.

Una de las limitaciones que se tiene en este tipo de proyectos es la falta de control de los humanos sobre el viento así como sobre la mayoría de los recursos renovables ya que el diseño y la estructuración deben estar en el sitio mismo donde se encuentra el recurso renovable cosa que no sucede con la que se obtiene de los combustibles fósiles ya que los mismos son transportables.

En cuanto a los problemas que pueden obstaculizar su implantación están los económicos por la intermitencia de la fuente, de integración a la red y los medioambientales que son: impacto visual o paisajístico, ruido en alabes y carcaza con niveles de potencia cercanos a los 100 dB siendo la aceptable en una fachada de vivienda entre 35 y 65dB por lo cual hay que sobrepasar una distancia de 250 metros a la casa más próxima; y los de impacto sobre las aves aunque estudios de sociedades de protección a la flora y fauna demuestran que tienen menor influencia que el que sucede en las autopistas aunque ello también dependa del sector en el que se ubique por lo que debe evitarse la colocación en rutas de migración para no interferir en las mismas y con un plan de sociabilización con los aledaños. (Medina & Seccia, 2014)

Esta tecnología ha evolucionado mucho en esta última década sobre todo con el desarrollo tecnológico así como también en Aero-acústica, Aero-elástica y Aero-dinámica como también en álabes, mástil y suspensión flexibles y de menor peso pero con igualdad de resistencia así como también debido al impulso económico que

han ayudado a optimizar sus componentes en los que Europa y Estados Unidos lideran el dominio logrando aerogeneradores del mismo tamaño pero con mayores potencias y con costos muy inferiores alrededor de 80% comparado con 15 años atrás con lo que se vuelven competitivos sobre todo con los más económicos y mayoritarios que son los que generan electricidad mediante la combustión de fósiles y más aún al realizar un análisis económico y sobre todo cuando se toma en cuenta el factor ambiental como prioritario.

Como es de conocimiento general el viento no siempre se mantiene constante en valor de magnitud ni en dirección, es más bien una variable aleatoria con distribución Weibull y la potencia del viento depende básicamente de tres factores:

Area por donde pasa el viento.

Densidad del Aire y

La velocidad del viento.

Entonces la potencia debido a la energía cinética del viento es su forma más simple viene dada por:

$$P = \frac{1}{2} * \rho AV^3$$

De donde se ve que existe una estrecha relación entre la potencia generada y el área de barrido de los alerones o palas del rotor la cual esta está íntimamente ligada con la altura de la torre para permitir su libre movimiento.

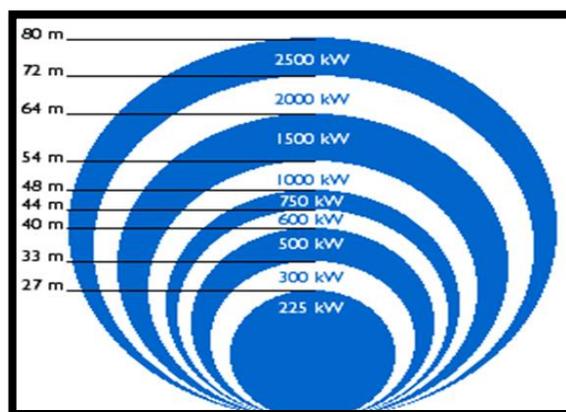


Figura 9: Relación entre el área y la potencia generada.

Fuente: (Medina & Seccia, 2014)

Aproximadamente se puede extraer el 59% de la máxima potencia del viento y a ello le promedia con el rendimiento del generador con lo cual se obtiene aproximadamente un 44% de la máxima potencia del viento y esto debido tanto de sus componentes internos así como del sistema de control que usan ya sea por pérdida por turbulencia en Aero-dinámica, por variación del ángulo de paso del viento o por movimiento de la geometría de los alerones que se pueden apreciar en la siguiente figura:

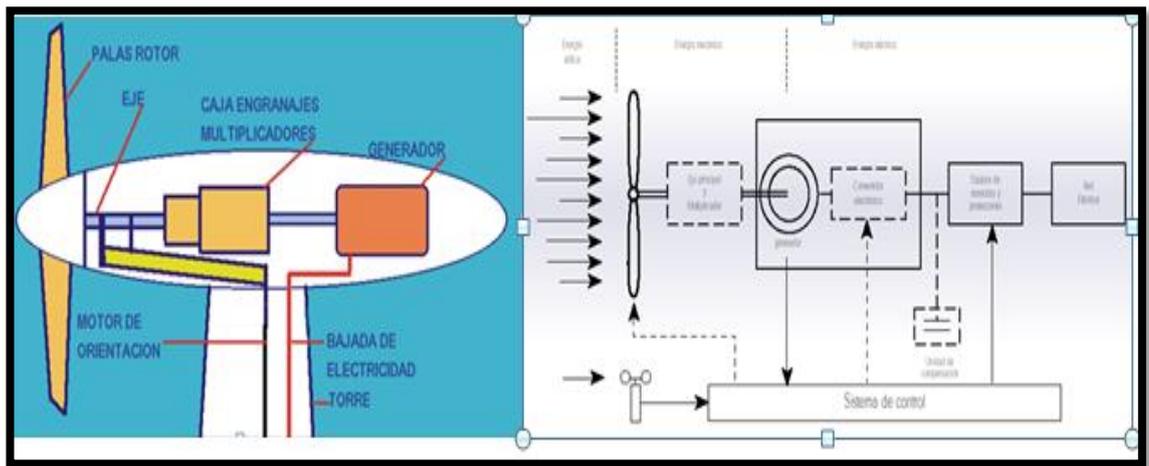


Figura 10: Componentes del aerogenerador y esquema del sistema de control.

Fuente: (Medina & Seccia, 2014)

1.2.2 Energía Geotérmica.

Es una energía parcialmente renovable y de elevada disponibilidad que puede obtenerse mediante la extracción y el aprovechamiento del calor del centro de la Tierra. En el interior de la tierra, debajo de la corteza terrestre se encuentra una capa de roca caliente y fundida denominada magma y la temperatura que es permanente allí aumenta con la profundidad sobre todo debido a la descomposición de materiales radioactivos como el uranio y el potasio. Las capas profundas están a temperaturas elevadas y, a menudo, a esa profundidad hay capas freáticas en las que se calienta el agua: al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones en la superficie, como los géiseres o las fuentes termales. (Fernández, 2014).

Actualmente, el progreso en los métodos de perforación y bombeo permiten explotar la energía geotérmica en numerosos lugares del mundo.



Figura 11: Capas internas de la corteza terrestre y forma de extraer su energía.

Fuente: (Fernández, 2014).

La energía Geotérmica se encuentra en toda la superficie terrestre, en puntos a un menor nivel y en otros a mayor grado denominados puntos calientes como son cerca de los volcanes, los principales puntos calientes del planeta está en el llamado Anillo de fuego del Pacífico por su gran cantidad de volcanes, siendo Estados Unidos uno de los países que más está aprovechando esta energía sobre todo para el Servicio de Alumbrado Público con unos 8000 MW en 8 Estados.

Para aprovechar, una vez identificado los manantiales térmicos se penetran en la Tierra grandes tubos por los que se inyecta agua fría o precalentada que al entrar en contacto con el calor terrestre se despresuriza y vuelve a subir en forma de vapor que puede ser usado para accionar una turbina o para sistemas de calefacción.

La principal ventaja de esta fuente de energía es que está presente en todas partes del mundo a diferencia del petróleo, aproximadamente 50.000 veces más de energía que el gas natural o petróleo y genera bajos niveles de contaminación en relación a los combustibles fósiles.

La desventaja es que se debe tener mucho cuidado en que no se contamine con desprendimientos de emisiones de sulfuro de hidrógeno, arsénico y otros minerales así como también evitar que sólidos que contienen metales pesados como el mercurio se disuelvan en el agua, por ello, los puntos calientes que justifiquen una inversión en plantas energéticas no son muchos y si no son bien administrados se pueden agotar, adicionando que el costo medioambiental no debe ser alto con la destrucción de bosques o ecosistemas para instalar las plantas de energía donde se encuentren los puntos calientes.

1.2.3 Bioenergía o Energía de la Biomasa.

Es un tipo de energía reciclable la que se obtiene de vegetales y/o compuestos orgánicos mediante procesos naturales, esto debido a que las plantas en su proceso de crecimiento transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis y parte de esa energía química es almacenada en forma de materia orgánica o carbono ya que es parte del ciclo natural del carbono entre tierra y el aire. La energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente como es el caso de la leña o indirectamente transformándola en biocombustibles, ejemplo el etanol puede obtenerse del vino y/o caña de azúcar por destilación o mediante el procesamiento de materia como el Delirio acuático o los desechos. (Rocano, 2007).

Se entiende a la biomasa a toda materia orgánica que proviene de un organismo vivo que sirve como fuente de energía que incluye residuos agrícolas como la paja, orujos, pulpas etc.; residuos ganaderos como purines, estiércol y otros excrementos del ganado; residuos forestales como ramas finas, despojos de poda de plantas; restos de madera de las industrias forestales, aserrín, astillas, residuos biodegradables y/o cultivos energéticos como el Cardo, Caña de azúcar y Algas cultivadas que podrían proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles, gracias a agro combustibles líquidos (como el biodiesel o el bioetanol), sólidos (como la leña y carbón), gaseosos (gas metano) o biogás producido por la fermentación por la acción de los microorganismos en depósitos llamados Digestor o Bio Digestor que van acumulando restos orgánicos, residuos de cosechas y otros materiales como los excrementos o estiércol de animales que pueden descomponerse en el depósito debido a la proliferación de microorganismos hidrolíticas acidogénicas, bacterias acetogénicas, homoacetogénicas, metanogénicas, hidrogenófilas y metanogénicas acetotoclásticas; pero todo depende de que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, de que no se incurra en otros consumos de combustibles en los procesos de transformación para la regulación de temperatura, presión, agitadoras, etc. y de que la utilidad energética sea la más oportuna frente a otros usos posibles como abono y alimento de seres vivos. (Rocano & Baculima 2015).

La principal ventaja de la biomasa es ser una fuente de energía limpia y con pocos residuos que además son biodegradables y se producen de forma continua

como consecuencia de la actividad humana y por los residuos animales por lo que es considerada como renovable e inagotable, su desventaja es que se necesitan grandes cantidades de plantas y por ende de terrenos y de ahí nace el problema que en muchos lugares se está quemando madera y destruyendo bosques más rápido de lo que reponen causando grandes daños ambientales como son desertificación, la deforestación, pérdida de biodiversidad, degradación de las fuentes de agua, etc. etc.

Cabe mencionar que en este tema también se ha tenido grandes avances en temas de ley de nuestros gobiernos y empresas productoras y comercializadoras de combustibles para incorporar al menos porcentajes de biocombustibles en la composición de los combustibles que se comercializan hoy en día en nuestro país.

El proceso de producción de Energía de la biomasa se da principalmente por medio de la obtención de combustibles líquidos que se emplean en máquinas de combustión interna para obtener energía mecánica como en los carros ya sea sola o mediante mezclas con derivados de petróleo como la Eco- Gasolina, también para obtener vapor usado en la calefacción o en nuestro tema que van acopladas a un generador para obtener energía Eléctrica; así como también mediante la obtención de Bio Gas como el Metano para ocuparlo como combustible de uso doméstico y/o para un motor de combustión interna para hacer rotar el Generador Eléctrico.

Se lo clasifica en biomasa seca si contiene menos del 60% de humedad y biomasa húmeda si es mayor al 60% donde constan las aguas y desechos urbanos así como también los excrementos de instalaciones agropecuarias que son contaminantes por su alto contenido de materia orgánica ya que en su proceso de descomposición desprenden Dióxido de Carbono CO_2 y Metano CH_4 , se obtienen a través de procesos de conversión bioquímicos con degradación Aerobia (en presencia de oxígeno pero contaminante por su libre exposición al aire) y Anaerobia (ausencia de oxígeno en digestores herméticamente sellados y por ende menos contaminantes ya que evitan la emisión de amoníaco y gas nitroso), conversión por procesos físicos por presión para obtener aceites vegetales y también por conversión Termoquímica como son la combustión, gasificación para obtener gas pobre por su contenido calorífico bajo en relación al gas natural y Pirolisis mediante una oxigenación parcial controlada de la Biomasa de la que se extrae una combinación variable de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos siendo el carbón vegetal el principal

producto de la pirolisis que contiene alto poder calorífico y peso menor para una cantidad igual de energía lo que facilita su manipulación y transportación.

Existen ya en Ecuador varios aprovechamientos en operación de uso Biomasa que cumplen con las normas ambientales, sociales y económicas requeridas para preservar la naturaleza siendo los más renombrados: Compañía Azucarera Valdez SA, Eculos SA Ingenio La Troncal, Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos, estos tres que se dedican a la obtención de Azúcar, Panela, Melaza y Alcohol a partir de la caña y su bagazo como principal fuente para Biomasa y los de Ecoelectric SA y Compesafer SA que utilizan la biomasa de los residuos y basuras urbanas, también están en construcción los Proyector de Bolívar con 12 Bio Digestores con las Juntas Parroquiales de Bolívar y el de Bio Gas en el Relleno Sanitario de Pichacay que procesa 400 Toneladas de desechos sólidos de la Ciudad de Cuenca disminuyendo los gases de efecto invernadero y el BioDigestor Nono en la comunidad rural agrícola y ganadera del mismo nombre en la Provincia de Pichincha.

1.2.4 Energía Solar.

Aunque la mayoría de las energías renovables son provenientes de la Energía del sol, ya que por citar a breve rasgo la Energía Eólica proviene de las masas de aire en movimiento o vientos generados por la diferencias de presiones debido a la desuniformidad del calentamiento del sol; la Biomasa depende de la Energía Solar almacenada en la materia; la Energía Geotérmica depende del calor interno de la Tierra debido al Calentamiento que recibe del Sol y la Energía Hídrica depende del agua y sus fenómenos como son la evaporación y precipitaciones en la altura igualmente debido a la Energía Solar, se las considera como directamente aprovechables del Sol las Energías Fotovoltaicas y las de calentamiento directo por los rayos del Sol a continuación descritos:

1.2.4.1 Centrales Fotovoltaicas.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable sin necesidad de turbinas ni de generadores, obtenida directamente a partir de la captación de los fotones de luz de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina para

su transformación en energía eléctrica por el principio de recoger la energía y longitud de onda con la que llegan los fotones desde el espectro solar para provocar un desplazamiento de electrones que es una corriente eléctrica. (Unesa, 2007).

Los materiales semiconductores utilizados en celdas fotovoltaicas han de ser producidos en purezas muy altas, normalmente con estructura cristalina, siendo el semiconductor el Silicio el más representativo para estas aplicaciones, son cortados en rebanadas muy finas del orden de las micras y se dopan con elementos químicos unas con Boro para producir huecos atómicos lado P y otros con Fósforo para producir electrones móviles tipo N, luego se unen estas dos rebanadas tipo P y N en tipo de sándwich ambas transparentes cada uno con un conductor eléctrico metálico formando así una célula fotoeléctrica que con la incidencia de los fotones crea una corriente de electrones en forma de corriente continua a través del circuito que se conecte sus bornes siendo capaces de generar cada una de 2 a 4 Amperios a un voltaje de 0.46 a 0.48 Voltios y luego esta a su vez conectadas en conjuntos de serie para obtener el voltaje deseado y en grupos paralelos para proveer la corriente necesaria para una determinada potencia, para garantizar su abastecimiento en horas de baja o nula presencia solar se almacena la energía en bancos de baterías siendo para este caso las más recomendadas las baterías de gel pero siendo este el punto crítico del sistema tanto por el costo de las mismas así como por la duración de su vida útil sobre todo se sobrepasa la profundidad de descarga permitida y esta acorta su periodo de carga y descarga con la consecuente disminución de vida útil. Obviamente la producción de electricidad de dichas células depende de las condiciones meteorológicas existentes, fundamentalmente de la insolación, por lo que se le direcciona hacia la línea Ecuatorial, cuyas condiciones son medidas y analizadas con la ayuda de una torre meteorológica.

Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aplicaciones y aparatos autónomos sobre todo en el área de las telecomunicaciones, para abastecer refugios o viviendas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años.

1.2.4.2 Energía Solar por Calentamiento.

Adicional también se puede generar Energía Eléctrica directamente proveniente del sol mediante los denominados campos solares en sistemas de abrevaderos que con la ayuda de un sistema de seguimiento solar, el principio de concentración en un foco de la parábola y con el principio de funcionamiento del termo se calientan líquidos en el interior del tubo especialmente recubierto por una malla de vidrio y acero para a su vez con el vapor producido por estos generar energía eléctrica pudiendo llegar a almacenar energía hasta por 15 horas con la ayuda de la sal en grano fundida en sistemas mucho más complejos y con costo altos de implementación ya que se tienen que lograr temperaturas entre 278 y 470 grados centígrados sin permitir que la misma se llegue a enfriar ya que la solidificación causaría una obstrucción y colapso momentáneo del sistema.

La principal ventaja de este tipo de proyectos es que están consideradas como energías verdes ya que no traen contaminación ambiental ni por emisiones ni por destrucción para su funcionamiento, en tanto que su desventaja del uso de este sistema a parte del gran costo de implementación es la gran área de terreno que se requiere para montar el sistema de abrevaderos y la frecuencia con el nivel de calor que se dispone en esa zona para aprovechar al máximo su uso por lo que los grandes proyectos al momento han hecho uso de las bondades de las zonas desérticas para aprovechar este principio para generar energía eléctrica limpia y renovable. Para tener una idea de la magnitud de estos proyectores podemos citar la Nevada Solar One del Estado de Nevada de Estados Unidos que tardó 16 años en ser construida y es la tercera en potencia de este tipo a nivel mundial con 64 MW en un campo de 1600 m² con 19300 tubos de cuatro metros y generan 134 millones de KWH por año como para alimentar a unos 15 mil hogares. (ERENOVABLE 2007).

1.2.5 Recursos Hídricos.



Figura 12: Fotos del Recurso Hídrico. Río Pastaza, aguas abajo de la Represa Hidroeléctrica Agoyán de 156 MW, Túnel 2400 m, caída 150 m, toma 120 m³/s y diámetro 6m, a 5 Km de Baños.

Fuente: (Autor, 2015)



Figura 13: Fotos del Salto Geodésico del Agua. Cascadas Pailón del Diablo a 18 Km de Baños en la Parroquia Rio Verde de Tungurahua entrada a Pastaza.

Fuente: (Autor, 2015)

1.2.5.1 Energía Mareomotriz.

Es la que se obtiene aprovechando las mareas, la principal forma y la más simple es almacenar las aguas en una represa debido al aprovechamiento de la subida de la marea y cuando la misma baja mediante una turbina y su empalme a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica.

También hay las de mayor eficiencia que usan el flujo y reflujos de la marea, es decir generan energía tanto al momento del ingreso del caudal como al momento de la salida del caudal, y se lo usa donde la diferencia entre las mareas son amplias y las condiciones morfológicas del sector permiten la construcción de una represa que corta la entrada y salida de la marea en una bahía, un lugar cercano a nosotros donde se puede apreciar esta diferencia de marea en las playas de Bajo-Alto de la provincia de Machala donde la marea sube significativamente y luego baja, una forma energética más segura y aprovechable.

Otras formas de extraer energía del mar son las que aprovechan la energía cinética del movimiento de las olas, este tipo de central está en investigación todavía siendo la más significativa la de 2 MW de Osprey en el norte de Escocia. (Central Hidroeléctrica, s.f).

Tenemos también la Energía hídrica que a su vez se subdivide por las que usan la: diferencia de temperatura entre la superficie y las aguas profundas del océano, el gradiente térmico oceánico; de la salinidad, las que utilizan la energía cinética de las corrientes submarinas siendo la primera experimental en Gran Bretaña o la más común por su implantación como es la energía eólica marina.

Es un tipo de energía renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el costo económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una penetración notable de este tipo de energía.

1.2.5.2 Energía Hidráulica.

Es llamada también Energía Hídrica o Hidro-Energía y es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética de la corriente del agua y/o energías potenciales de los saltos de agua o mareas y usa la fuerza hídrica sin represarla por lo que es considerada como Energía verde o ecológica pura ya que los efectos contaminantes suelen ser cercanos a cero y el impacto ambiental que produce es prácticamente nulo por lo que es una buena alternativa para su aprovechamiento a gran escala, es la razón principal de ser de este proyecto. (Central Hidroeléctrica, s.f).

Básicamente se trata de usar un cruce o cauce de agua sin modificarlo buscando no perjudicar a sus Cuencas Hidrográficas ni al medio ambiente como tampoco a sus habitantes buscando aprovechar y sobre todo optimizar el uso que se le da a cierta agua en determinado sector, su principio basa en aprovechar la altura del recorrido del agua que es siempre descendente y buscando eliminar las pérdidas de energía cinética que se producen por fricción con el suelo, remolinos, en mover partículas de tierra, arena, piedra u otras partículas que hacen que el agua baje a una velocidad casi constante y darle a la masa de agua una caída de agua lo más semejante posible a un cuerpo en caída libre en la que las partículas debido a la aceleración transforman la energía potencial debido a la altura en velocidad que es energía cinética, este balance de energía se lo puede apreciar mejor mediante el Principio de Bernoulli que expresa que la energía que posee un fluido en cualquier momento consta de tres partes cinética, potencial y de presión la cual permanece constante a lo largo de su recorrido en un ducto aunque para ello se considera un fluido ideal sin pérdidas, ni compresibilidad, ni rozamiento en régimen de circulación por un conducto cerrado.

1.2.5.3 Central Hidroeléctrica.

Considerada la primera forma de energía renovable desde su aplicación generalizada desde el siglo XVII, se desarrolló con el aprovechamiento antiguo de las primeras ruedas de madera de paletas hidráulicas para molinos especialmente de trigo. Su mayor desarrollo se debió al Ingeniero civil John Smeaton que construyó por primera vez grandes ruedas hidráulicas de hierro colado que impulsó la revolución industrial sobre todo de textiles y cuero aunque ya existían las máquinas de vapor pero poco satisfactorias con carbón por combustible. Tuvo su limitación con la construcción de grandes presas que en ese tiempo no eran posibles unido al bajo caudal de verano y otoño así como las heladas en invierno por lo que un tiempo se regresó a las máquinas de vapor sobre todo cuando el carbón bajo de precio.

La energía del cauce de agua se puede convertir a diferentes escalas, pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río, con una pequeña presa, mueve una rueda de palas y genera movimiento, hasta la utilización más significativa con las grandes centrales hidroeléctricas de presas, que aprovechan el salto geodésico que es la energía potencial gravitatoria de la masa de agua entre dos niveles para mover una

turbina que a su vez mueve al generador de energía eléctrica, aunque estas no son consideradas formas de energía verde, por el alto impacto ambiental que producen.

Las dos principales características desde el punto de vista de la capacidad de generación de electricidad de una central hidroeléctrica son la Potencia y la Energía.

La potencia depende básicamente del caudal máximo y de la altura existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central.

Y la Energía que es la que se garantiza en un lapso de tiempo determinado, generalmente en un año, que está en función de la capacidad del volumen útil del embalse y de la potencia instalada de todos sus generadores si es más de uno instalados en la misma casa de máquinas.

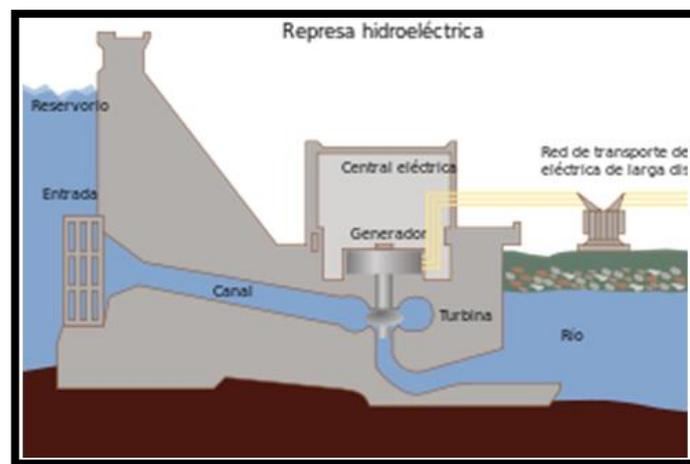


Figura 14: Corte transversal de una Represa Hidroeléctrica.

Fuente: (Central Hidroeléctrica, s.f).

1.3 Métodos para la medición del caudal.

Los datos de caudal de agua de una micro cuenca o cuenca de un cauce o río se lo conoce como Hidrología y se mide mediante un aforo para proveer datos oportunos, ajustados y veraces que una vez procesados proporcionen información certera y adecuada para la programación, ejecución y evaluación del manejo del agua en un sistema hidráulico para dotar de información del pronóstico y disponibilidad de volúmenes probables del agua de la fuente así como también para monitorear la variación de su caudal que existe en la cuenca de este tan valioso y necesario líquido vital para poder planificar siembras, elaboración del balance hídrico, formas de uso y

distribución del agua con sus acueductos que para nuestro motivo de estudio nos permita obtener una mayor eficiencia en el diseño de las micro centrales hidroeléctricas. (Departamento de Desarrollo sostenible, sf)

Habitualmente se tiene los siguientes métodos para la medición del caudal:

1.3.1 Métodos Directos:

Se diferencia de los métodos indirectos cuyo valor se estima por formulación y estimación sin desmerecer la precisión que ello implique. Se la puede realizar directamente con instrumentos meteorológicos, satelitales o con el correntómetro cuando las condiciones económicas y de accesibilidad al lugar mismo de la medición lo permitan siempre y cuando no impliquen riesgo ni para la instrumentación por impurezas del caudal ni para las personas que realizan las mediciones por la peligrosidad del caudal y la profundidad del cauce; también se tienen métodos directos para cuando se trate de caudales pequeños que por su cantidad, lugar, espacio y recipiente lo permitan cuantificar directamente como es el caso del método volumétrico o del recipiente el cual detallamos más adelante ya que es con el cual vamos a realizar esas mediciones en dos etapas para el presente proyecto.

1.3.2 Métodos Indirectos:

1.3.2.1 Método del área y la velocidad.

Se busca en medir la velocidad media del caudal o cauce del agua y conocer el área de la sección transversal del canal que está en función de su altura por lo que se trata que esta sea de una forma regular por ejemplo cuadrada, rectangular o triangular para determinar su superficie más fácilmente y con mayor exactitud, entonces tenemos que su caudal es igual a:

$$Q\left(\frac{m^3}{s}\right) = A(m^2) \times V\left(\frac{m}{s}\right)$$

Como la unidad de m^3/s es grande, para caudales pequeños se usan los galones por segundo gal/seg o los litros por segundo lts/seg.

Para determinar la velocidad media del agua se tiene medidores como el correntómetro y a falta de este o por no factibilidad para su medición con este

instrumento por la torrenciosidad y/o presencia de partículas sucias que dañarían el mismo así como por excesiva velocidad del agua que peligraría la integridad de la persona que mide y/o de los instrumentos se usa el método del objeto flotante como un corcho o pedazo de madera por ejemplo y se mide el tiempo que tarda en correr una distancia determinada con lo cual obtenemos la velocidad en metros por segundo, sobre todo para lugares torrenciosos y peligrosos como para realizar la medición; para velocidades mayores se usan molinetes como el de tipo taza cónica que gira sobre un eje vertical o como el de tipo hélice que gira en un eje horizontal ayudado por unas pesas para sumergirles y retener contra la corriente del río.

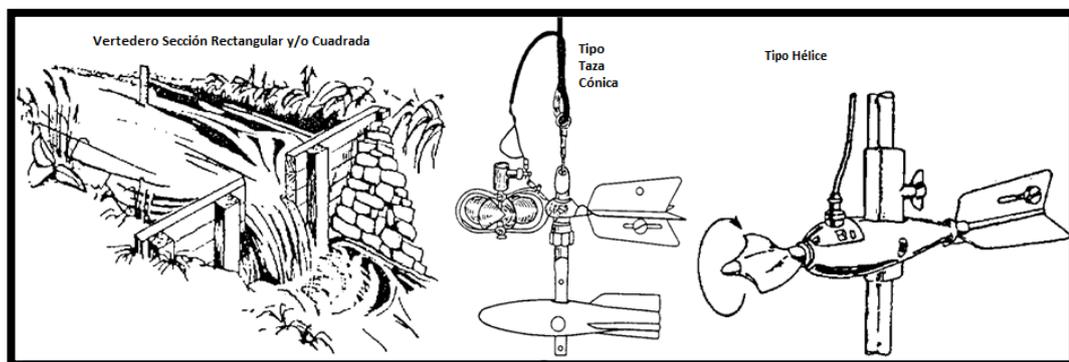


Figura 15: Area de vertedero rectangular o cuadrado con medidores de velocidad taza cónica y hélice.

Fuente: (Departamento de Desarrollo sostenible, sf)

Cabe aclarar que la velocidad del agua que se desliza sobre una corriente o un canal está determinada por varios factores de los cuales los más relevantes son:

La rugosidad.- genera una fricción entre los márgenes de la corriente del agua y el canal que cuando son naturales cualquier irregularidad causa turbulencia o la vegetación aumenta la rugosidad.

La pendiente o Gradiente.- La velocidad de la corriente de agua aumenta con la pendiente considerando los demás factores iguales.

La forma.- cuya razón se debe a que el agua que está cerca de los lados y del fondo de una corriente se desliza más lentamente a causa de la fricción, un canal con una menor superficie de contacto con el agua tendrá menor fricción y por ende mayor velocidad considerando igual sección transversal, fricción y pendiente. El parámetro utilizado para medir la forma del canal se denomina radio hidráulico o profundidad media hidráulica representada por las letras R o M respectivamente y se

define como la superficie de la sección transversal dividida por el perímetro mojado o sea la longitud del hecho y los lados del canal que están en contacto con el agua .

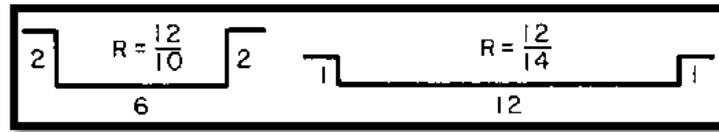


Figura 16: Una misma área de Vertedero con distinto Radio Hidráulico.

Fuente: (Departamento de Desarrollo sostenible, sf)

1.3.2.2 Método del vertedero de pared delgada.

Se recomienda su uso para caudales inferiores a 0.3 m³/segundo (300 litros por segundo) y mayores a 0.003 m³/segundo (3 litros por segundo), consiste en colocar una pared delgada ya sea de madera o metal perpendicular al cauce del agua semejante a un muro evitando filtraciones de agua por los bordes y colocando en una zona libre de remolinos junto a la pared delgada así como evitar acumulación de sedimentos en la misma y obtenemos una altura de salida de agua entre su cresta o vértice y el nivel del agua antes del vertedero que puede ser triangular para caudales reducidos, trapezoidal llamado Cipoletti o rectangular para mayores caudales siendo el último regulable para distintos caudales variando su ancho del rectángulo, con una estructuración semejante a la que se puede apreciar en la siguiente imagen:

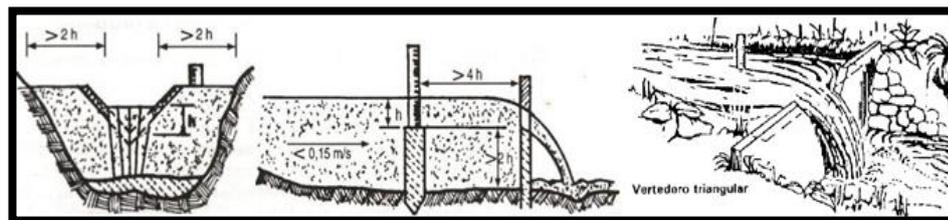


Figura 17: Imágenes medición de Caudal con el método del Vertedero.

Fuente: (Departamento de Desarrollo sostenible, sf)

El más usado de los vertederos triangulares es con ángulo de vértice de 90 grados y no se recomienda para alturas menores de 5 centímetros ya que sus mediciones se vuelven menos precisas, calculamos el caudal con la relación:

$$Q = Cw \times \frac{8}{15} \times \sqrt{(2 \times 9.806)} \times \tan \frac{\beta}{2} \times \sqrt{h^5}$$

Donde C_w es un coeficiente indicador de las condiciones de escurrimiento del agua sobre el vertedero aproximado 1,1 y β es el ángulo del vértice siendo de 90 grados el mayormente usado ya que se auto gradúa con pocos y más grandes caudales por su forma, posterior a tener el aforo listo se tiene una tabla referencial para una rápida lectura de los caudales en sus unidades respectivas.

1.3.2.3 Método de la sección de control y regla graduada.

Es una sección ya sea natural o preparada para tal efecto en la cual se ha determinado la curva cota-caudal, de esta forma cuando se requiera el caudal líquido de la sección se obtiene midiendo el nivel con una regla graduada implantada en el lugar por interpolación en la curva.

Con el método del molinete cuando el río fluye a profundidades diferentes, esas mediciones se utilizan para realizar un gráfico de caudal versus la profundidad de la corriente denominado nivel de agua. Para trazar la curva se realizan varias mediciones con diferentes caudales y diferentes épocas incluidos el poco frecuente que provocan desbordes e inundaciones por lo que requiere mucho tiempo más aún si el acceso es difícil por distancia, altura, caminos y vegetación, una vez concluido la curva se tiene la estación de aforo calibrada la cual no debe variar por erosión o acumulación de sedimentos para que sirvan las estimaciones posteriores de caudal de las mediciones de la curva midiendo el punto de nivel en la referencia siendo estos los datos que se brindan como referencia cuando una tormenta o lluvia intensa provoca una alerta de emergencia a los organismos de socorro por aumentos de caudal inesperada como el ocurrido el 17 de Enero del 2015 y teniendo una escala graduada referencial en la margen del río Tomebamba sector del puente roto .



Figura 18: Curva calibrada de corriente de agua en estación de aforo y escala graduada para determinar el caudal del Río Tomebamba.

Fuente: (Autor, 2014)

1.3.2.4 Método de la solución de sal.

Llamado también método Químico y consiste en hallar el caudal introduciendo en la corriente del agua una proporción conocida siendo la sal común previamente disuelta en agua la más usada y con la cantidad de dicha sustancia que contiene una sección de agua lo suficiente lejos como para que se haya mezclado correctamente se determina su caudal conociendo la proporción de agua del tanque así como de la mezcla y posterior a ello de la muestra tomada aguas abajo e identificando la cantidad de sal que contiene, se debe tener en consideración ciertas recomendaciones en cuanto a la cantidad de agua, sustancia de mezcla fácil así como turbulencia para la disolución, temperatura de medición y de evaporación, el porte del tanque y la cantidad de sal para la mezcla así como los tamaños y distancias del ducto aguas abajo para la muestra y evaporación del agua para poder determinar su cantidad de mezcla y con ello su caudal. (Métodos de Medición de Caudales, 2010).

También se obtiene como referencia el nivel de salinidad por contrastación de valores en el pozo de origen y en la muestra obtenida agua abajo a través de la conducción por medio de electrodos conectados a un amperímetro

1.3.2.5 Método de la disolución o del colorante.

Como referencia con este método se tiene una exactitud media en caudales de agua medianos y pequeños, se emplea un colorante del agua como el permanganato potásico y la fluoresceína que pueden obtenerse en farmacias en lugar del flotador para medir la velocidad del agua y con la sección transversal ya sea por ducto o cálculo de la sección transversal del canal en el que fluye obtenemos el caudal.

Para ello arrojamos una pequeña cantidad de colorante en el centro del arroyo en la posición cero de la medición y medimos el tiempo que tarda en llegar primero desde cero la parte delantera de la mancha y luego desde cero la parte posterior de la mancha y sumamos estos dos valores y dividimos para dos, para mayores exactitudes realizamos varias mediciones y obtenemos su valor promedio, entonces tenemos la distancia de la medición y el tiempo que tarda en llegar por lo que de su cociente obtenemos los metros por segundo de la velocidad del agua que multiplicado por la sección transversal tenemos el caudal del agua promedio del cauce , río o arroyo para su posterior uso y distribución.

1.4 Micro Centrales Hidroeléctricas.

Para realizar una revisión de los diversos tipos de microcentrales y/o centrales hidroeléctricas primero vamos a clasificarlas según su tamaño:

Centrales Hidroeléctricas de potencia, mayores a 10 MW de Potencia Eléctrica.

Mini Centrales Hidroeléctricas de potencia Eléctrica entre 1 a 10 MW.

Micro Centrales Hidroeléctricas de potencia Eléctrica menores a 1 MW.

Y estas a su vez se las subdividen de acuerdo a:

1.4.1 Según su concepción arquitectónica:

❖ Centrales al Aire Libre.

Las turbinas, generadores y más elementos de regulación y control cuyo conjunto se denomina casa de máquinas suelen estar la mayoría al pie de la presa pero también hay alejadas de la presa y conectadas por medio de tuberías de presión.



Figura 19: Represa de Itaipú, entre Brasil y Paraguay. Segunda Central por potencia instalada después de la presa de las Tres Gargantas en China.

Fuente: (Central Hidroeléctrica, s.f)

❖ Centrales en Caverna.

Cuya casa de máquinas se encuentran en medio de subterráneos o interiores de la montaña al cual se acceden por boca de túneles y se encuentran conectadas al embalse por medio de Túneles, Tuberías de presión o por la combinación de ambas como se tiene en el complejo Hidroeléctrico Paute. (Central Hidroeléctrica, s.f).



Figura 20: Represa Hidroeléctrica Mazar. Túnel de ingreso a la represa y a la casa de máquinas, apreciación de su magnitud.

Fuente: (Autor, 2013).



Figura 21: Interior del túnel en Mazar, Casa de Máquinas en Caverna y parte Alta de dos Turbinas.

Fuente: (Autor, 2013).

1.4.2 Según su régimen de flujo:

➤ Centrales de Agua Fluyente.

O denominadas también centrales de filo de agua o de pasada y utilizan el total o parte del flujo de un cauce o río para mover la turbina y esta a su vez el generador eléctrico. Operan en forma continua porque no tienen el embalse ni la infraestructura para almacenar el agua. No son muy habituales ya que dependen de la capacidad de captación del agua y de la conducción de la tubería de presión que no es mayormente considerable por no tener embalse que facilite la acumulación, regulación y aumento de presión, dependen en gran parte como la mayoría de las hidroeléctricas del caudal disponible y de la altura neta de la caída del agua desde su captación. Las turbinas son de eje horizontal cuando es baja la pendiente y se lo usa en forma vertical cuando el flujo de agua tiene una alta pendiente. En nuestro medio tenemos el proyecto Sopladora como número tres en ubicación y en ejecución y el último de los cuatro Cardenillo dentro del proyecto Hidroeléctrico Paute Integral ya que no dispone de un embalse sino aprovecha las aguas turbinas de la central molino aguas abajo con un túnel de aproximadamente 4.644,80 metros de interconexión

desde Molino hasta la casa de máquinas Subterránea con tres turbinas Francis que generan 487 Megavatios a una altura aproximada de 970 metros sobre el nivel del mar y posterior a ello Cardenillo que a su vez ocupa las aguas turbinadas de Sopladora a una altura de 570 metros sobre el nivel del mar aprovechando la pendiente longitudinal del río para generar 400 Megavatios.

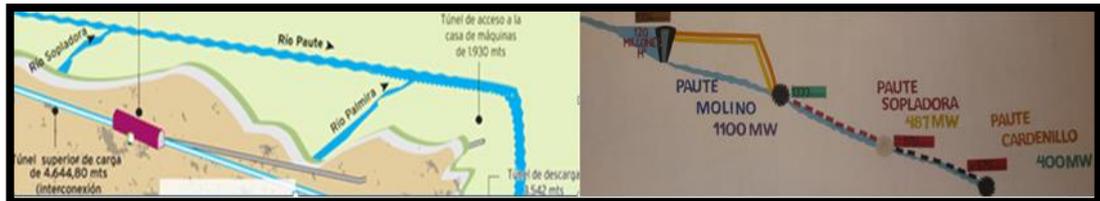


Figura 22: Bosquejo del Proyecto Sopladora y ubicación del mismo con el Proyecto Cardenillo dentro del Proyecto Hidroeléctrico Paute Integral.

Fuente: (Cáceres, 2011)

➤ Centrales de Embalse.

Requieren en primer lugar de una gran área de terreno con infraestructura ya sea artificial mediante construcción de diques o natural por las disposición de los valles con las montañas en sus costados, la misma que esté disponible para almacenar el agua y en segundo lugar requieren de una inversión inicial muy alta para la indemnización por los terrenos a los moradores del sector así como también para la construcción del embalse para almacenar el agua e ir graduando la misma para que pase por la turbina con la finalidad de generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes, es el tipo de central más usado a nivel mundial.



Figura 23: Vista del Embalse del agua varios kilómetros atrás y la Parte Posterior de la Represa Hidroeléctrica Mazar.

Fuente: (Autor, 2013).



Figura 24: Vista de la Represa hacia su parte baja y desde la parte frontal de la Hidroeléctrica Mazar.

Fuente: (Autor, 2013).

➤ **Centrales de Regulación.**

Su principal función es almacenar el agua de un cauce o un río con la máxima capacidad posible dependiendo del caudal y del embalse con la finalidad de cubrir horas pico de consumo mediante generación en estas horas.

➤ **Centrales de Bombeo o Reversibles.**

Su principal función es para satisfacer la demanda de Energía en horas pico y almacenar energía en horas valle, para ello tienen la capacidad de transformar la energía eléctrica generada en horas valle y mediante bombeo de agua a un embalse superior que puede ser un depósito en el mismo inicial (bombeo puro en casos muy particulares) u otro a mayor altura que el embalse principal que es lo más habitual e incluso a otro no muy inferior al embalse inicial pero mucho mayor a la casa de máquinas con el propósito de almacenar energía potencial del agua que se la usa en las horas pico para avanzar a cubrir la demanda máxima de energía eléctrica de la misma represa, convirtiéndola en una especie de batería gigante con la diferencia que se almacena agua en forma de energía potencial mediante el consumo de energía eléctrica por lo que se denominan reversibles o inversas. (Central Hidroeléctrica, s.f).

1.4.3 Según su nivel de presión por la caída del agua:

Debido a la presión del agua con la que trabajan y dado que es la que determina el tipo de turbina a utilizar en cada una de las subdivisiones se las clasifica como:

▪ **Centrales de Alta Presión.**

En su mayoría se aplican con el uso de turbinas Pelton ya que son centrales con más de 200 metros de caída de agua y se las denominan o conocen en el mercado internacional como de High Head. En nuestro medio tenemos la central Molino dentro del conjunto Hidroeléctrico Paute Integral con la Presa Daniel Palacios de 170 metros de Altura y el embalse Amaluza de 120 millones de metros cúbicos de agua a una altura de 1996 metros sobre el nivel del mar y cuyas casas de máquinas en fase A, B y C están a 1333 metros sobre el nivel del mar con diez turbinas tipo Peltón.



Figura 25: Foto de la represa Daniel Palacios con su embalse Amaluza y esquema simplificado de la central Molino del Complejo Hidroeléctrico Paute Integral.

- **Centrales de Media Presión.**

En su mayoría se aplican con el uso de turbinas Francis aunque también se pueden usar turbinas Kaplan ya que son centrales que utilizan mayor caudal que las Turbinas Pelton pero con menores alturas comprendidas entre 20 y 200 metros de caída de agua y se las denominan de Medium Head. En nuestro medio tenemos la central Mazar dentro del conjunto Hidroeléctrico Paute con una embalse de 31 Kilómetros con 410 millones de metros cúbicos de agua a una altura de 2166 metros sobre el nivel del mar y cuya casa de máquinas con dos turbinas Francis con un caudal nominal de 67,05 metros cúbicos por segundo y altura de 131.44 metros están en la parte baja de la misma y que a más de aportan con 170 Mega Vatios sirven para detener los sedimentos y material arrastrado por el agua, almacenar el caudal del agua en temporales lluviosos manteniendo la reserva para el temporal seco y regular el mismo para su posterior embalse en la central molino alargando su vida útil.



Figura 26: Datos simplificados de la central Mazar, Complejo Hidroeléctrico Paute Integral.

Fuente: (Autor, 2013).

- **Centrales de Baja Presión.**

En su mayoría se aplican con el uso de turbinas Kaplan ya que son centrales con desniveles de agua de menos de 20 metros de altura neta y se las denominan o conocen en el mercado internacional o de vocablo inglés como de Low Head.



Figura 27: Represa Yacyretá y forma constructiva de turbina Kaplan.

Fuente: <http://es.wikipedia.org>.

- **Centrales de Muy Baja Presión.**

Se las aplica con el uso de las nuevas tecnologías dentro de las cuales se las puede incluir a las micro turbinas TM, pues llega un momento en el cual el uso de turbinas Kaplan no son aptas para tan bajos desniveles de agua que suelen ser de menos de 6 metros de altura y se las denominan de Very Low Head. (Mavel, 2014)

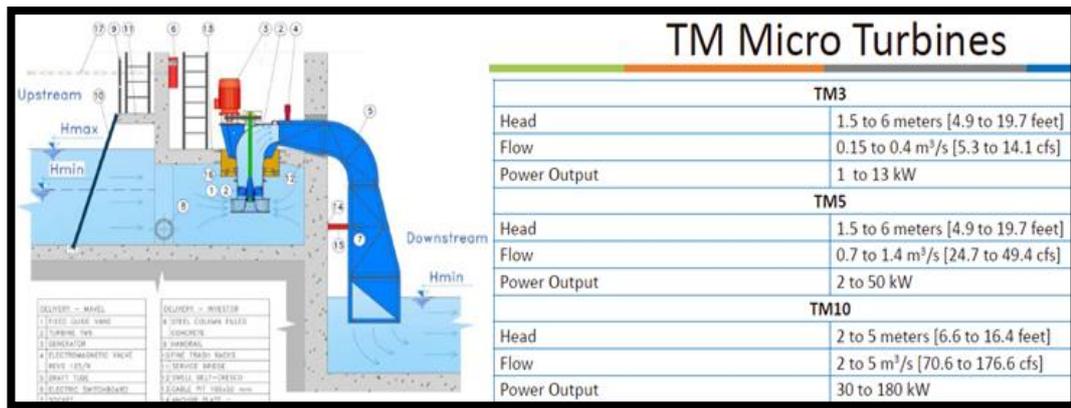


Figura 28: Características y esquemas de las microturbinas TM.

Fuente: (Mavel, 2014)

1.5 Ventajas y Desventajas

Dentro de las ventajas de las Centrales Hidroeléctricas podemos citar:

- ✓ Son consideradas energías limpias ya que no utilizan combustibles.
- ✓ Son consideradas energías renovables por utilizar el ciclo natural del agua.
- ✓ En su mayoría se aprovecha los embalses del agua para regadíos cultivos y ganaderos así como también puede fomentar la acuicultura y pesca con lo que compensa las pérdidas sufridas en las áreas de influencia.
- ✓ Los costos de explotación y mantenimiento son bajos.
- ✓ Las turbinas pueden tener menor costo y un mejor sistema de control y regulación comparado con los demás sistemas de energías renovables.

Las desventajas que podemos citar son:

- ❖ La Energía Eléctrica generada está en función de las condiciones meteorológicas por lo que está varía de acuerdo a la temporada y reservas.
- ❖ Por las condiciones Hidrológicas la mayoría están ubicadas en lugares lejanos por lo que los costos de transporte, inversión e infraestructura son elevados.
- ❖ Los costos de inversión por Kilovatio hora son elevados aunque se compensan con los costos de producción de Energía Eléctrica.
- ❖ Tiempo de construcción es mayor generalmente con otros tipos de centrales.

CAPITULO 2.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA.

Una vez obtenido los parámetros preliminares de la generación eléctrica a través de energías renovables nos concentramos en las características de la zona de ubicación del proyecto y descartamos a breve rasgo las demás opciones como la solar por la alta nubosidad y constantes lluvias; la eólica por no tener caminos carrozables hasta el sitio mismo y por ende el difícil acceso como para plantar una alta torre y aprovechar las corrientes de aire a una altura entre los 20 a 50 metros con grandes alerones, la falta de control del humano sobre el viento y la imposibilidad de almacenar el mismo para su regulación además de tener la presencia de lluvia, densa vegetación y alta cantidad de abejas y aves propias de los cerros andinos en peligro de extinción que circulan por estos sectores; la geotérmica por no tener una fuente como géiseres o manantiales térmicos cercanos además que implicaría maquinaria avanzada para la perforación y motores con energía para la succión del agua que no se dispone en gran cantidad en el sitio hasta la capa magma con su consecuente deformación del paisaje y medio de habitad; a través de la biomasa por el sistema de procesamiento del mismo, falta de biodigestor y a más de que no se dispone de gran cantidad de residuos orgánicos ya que los pocos que se los dispone se los emplea en otros usos como cocción de alimentos y abonos para la misma agricultura; la mareomotriz por estar lejos del mismo; la de grandes represas por el bajo caudal además de que no se dispone de un valle con montañas a los costados y por los altos costos iniciales para la infraestructura de la presa o diques y todo lo que ello conlleva como área de terreno, uso del suelo zonificado, sociabilización y seguridad del mismo, filtraciones, estabilizaciones y otras más; por lo tanto tenemos como la mejor opción inicial y por ende nos vamos a centrar en la energía hídrica de paso ya que con ello vamos a optimizar y aprovechar el poco caudal de agua disponible y cuidar el mismo para garantizar su buen uso de este preciado líquido vital que a más de proveer de energía eléctrica se lo pueda aprovechar para uso y consumo de las personas que aquí residen y/o visitan que carecen del servicio básico, así como para fines agrícolas, ganaderos y a un futuro no muy lejano para la acuicultura y fines turísticos que se desea implementar en este sector sobre todo por el mirador que

posee siempre y cuando no se deteriore el medio ambiente sino por el contrario motiven el cuidado y la conservación del mismo en un medio de armonía con el ser humano, animales y vegetación y con la generación de Hidroenergía o Energía Hídrica para uso propio.

2.1 Medición de caudal por métodos Directos.

Para el desarrollo del presente proyecto vamos a requerir recopilar información, realizar mediciones, cuantificar y tabular sus valores de los recursos naturales disponibles para pronosticar formas de uso y valores de micro generación eléctrica ya que sus variaciones de caudal obedecen a múltiples factores de los cuales entre los más relevantes tenemos el área de la Cuenca Hidrográfica, condiciones climatológicas, topografía del terreno y características geológicas de la Cuenca, para ello vamos a partir de mediciones realizadas en el sector mismo mediante la recolección del agua de las precipitaciones que cae en un área de mediciones conocidas y su datos promedios de todas las mediciones realizadas, entendiéndose por precipitaciones la caída hacia la superficie terrestre de partículas sólidas o líquidas de agua ya sea de cualquiera o de la suma de ellos de los fenómenos conocidos como granizo, lluvia, lloviznas, nieve, aguanieve o rocío de las auroras antiguamente llamado zhulla de la mañana que se evidencia al caminar las mañanas por la vegetación y sobre todo de las vertientes de agua denominadas ojos de agua donde se tiene agua que emerge desde la tierra producto de conducciones o flujos de agua internos que revientan en puntos específicos propios y característicos de esta zona por encontrarse en la altura con alta densidad pluviométrica y próxima a grandes lagunas que acumulan el agua; ya que es de estos valores y fenómenos de los cuales dependemos por su inicio de flujo o ciclo hidrológico para su posterior optimización en la transportación del agua hacia nuestra fuente de generación hidroeléctrica así como con fines agroindustriales.

2.1.1 A partir de los datos Climatológicos.

De los estudios previos de pre factibilidad para ver las condiciones favorables para la implementación del proyecto partimos como referencia los datos disponibles de estudios realizados con mediciones de 61 estaciones pluviométricas de Etapa, Diforca e Inamhi de las cuales el 39% están en la cabecera Cantonal y sus valores

detallados en el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca y nos concentrarnos en los valores de la parte alta del sector de la Santísima Trinidad de Racar que se encuentra en los límites entre la parroquia Sinincay y la parroquia Sayausí lugar donde se ubica el proyecto. (Bueno & Toledo, 2013).

Parroquias	Precipitaciones en milímetros					
	700-799 mm	800-899 mm	900-999 mm	1000-1099 mm	1100-1199 mm	1200-1299 mm
Baños						
Chaucha						
Checa						
Chiquintad						
Cuenca						
Cumbe						
El Valle						
Llacao						
Molleturo						
Nulti						
Octavio Cordero Palacios						
Paccha						
Quingeo						
Ricaurte						
San Joaquín						
Santa Ana						
Sayausí						
Sidcay						
Sinincay						
Tarqui						
Turi						
Victoria del Portete						

Tabla 1: Datos de precipitaciones referidos por parroquias del Cantón Cuenca.

Fuente: (Bueno & Toledo, 2013).

Del cuadro anterior podemos ver que nos encontramos en los rangos con la segunda, tercera y cuarta posición con mayores precipitaciones dentro del Cantón Cuenca siendo superadas solo por las parroquias de Checa y Chiquintad donde ya se tiene el Complejo Hidroeléctrico Machángara con las Centrales Hidroeléctricas Saymirín de 14.4 Megavatios construida en cinco fases desde 1962 y la Central Hidroeléctrica Saucay con 24 Megavatios con las represas Chanlud con 16.300.000 metros cúbicos y Labrado con 6.500.000 metros cúbicos abastecidos por el cauce de los Ríos Machángara y Chulco respectivamente. (AGN El Mercurio, 2014).

2.1.2 Datos Climatológicos satelitales a través de aplicaciones móviles.

En segunda instancia nos referimos por la mediciones realizadas en el sitio mismo del proyecto y en diferentes temporadas tanto de sequía como de lluvia a través de las aplicaciones disponibles de los teléfonos inteligentes cuyos valores están basados por los datos enviados de los satélites en base a la referencia de posicionamiento y ubicación por las coordenadas GPS como se puede apreciar en las

siguientes imágenes de donde entre uno de los factores tenemos el porcentaje de lluvia de la zona durante toda la semana.

Cabe aclarar aquí que aunque la temporada con mayor cantidad de humedad que se registra de manera periódica anualmente según el INAMHI está comprendida en el período de Septiembre hasta finales de Mayo pero la misma tiene una condición bimodal que se presenta con sus dos máximas en Diciembre y en Abril pero que en este año ha sido muy irregular además que dentro de sus pronóstico registra para el 22 de marzo la presencia del fenómeno del equinoccio de otoño que es un fenómeno modulador de las lluvias lo cual es de gran interés tanto para las áreas ganaderas, agrícolas, acuicultura, también para la distribución del uso del agua para las grandes fuentes de consumo humano como son Nero, Chulco Soroche y Etapa entre las más grandes y conocidas de nuestra ciudad así como también para los procesos de generación hidroeléctrica de los grandes proyectos de la Cuenca del Paute de nuestra Región y de pequeños proyectos como el motivo de este estudio que se realiza.

Estos datos están siempre sometidos a mediciones, valoraciones y constantes estudios ya que es del agua conocido como líquido vital que depende la humanidad y vida del planeta entero así la mayoría de procesos incluidos los industriales que se desarrollan que incluso ya se habla de estudios para ordenanzas que regulen y prevengan multas o de valores mayores a cobrarse si se superan un límite de consumo tanto para el sector industrial como para el residencial. Algunos de los porcentajes de lluvia que se obtienen a través de las mediciones de las apps de los teléfonos se muestran a continuación:





Figura 29: Screenshots de mediciones climatológicas realizadas en el sitio del proyecto mediante apps de los Smartphones.

Fuente: (Autor, 2014-2015).

El caudal de una fuente, sector, río o Cuenca es muy variado a lo largo del año y depende básicamente del sector en el que se encuentre y de la estación

climatológica del año, temporal seco en verano y otoño, temporal medio en primavera y temporal con alta humedad en invierno pero al ser nuestro proyecto una central de Energía Hídrica o Hidro-Energía de agua fluyente o de filo de paso de agua nos concentramos en la cantidad de agua que se lo toma en el ducto de la manguera para transportarlo minimizando pérdidas por filtración en la tierra, fricción y remolinos en el suelo así como por arrastre de partículas por lo que nos vamos a centrar en el método del recipiente para la medición del caudal ya que es con el que se cuenta para la micro generación.



Figura 30: Imágenes de la parte alta de donde descende el agua para inicio de ríos y captaciones.

Fuente: (Autor, 2014).

2.1.3 Método del Recipiente o Método Volumétrico.

Es un método directo para la medición, para el desarrollo de nuestro proyecto usamos este método ya que presenta un margen mínimo de errores cuando recipiente es acorde al caudal, su conducción permite realizarlo y su tiempos es tomado con exactitud, consiste en realizar mediciones del tiempo con la ayuda de un cronómetro en el que se demora en llenar un recipiente de dimensiones conocidas para calcular su volumen exacto o más fácilmente partir de un recipiente de Volumen conocido con lo cual se obtiene el volumen exacto que se demora en llenar en determinado tiempo, es decir la cantidad de agua por unidad de tiempo que es el caudal que se tiene y luego lo transformamos a las unidades básicas de medida conocidas, en nuestro caso particular, partimos de las mediciones realizadas en un recipiente denominado caneca que lleva cinco galones para las mediciones en uno de los bajos caudales de ingreso al pozo recolector y para las mediciones de alto caudal utilizamos un barril o tanque metálico de 55 galones y vemos en cuantos segundos se llena con lo cual vamos a obtener galones por segundo y lo transformamos a las

unidades correspondientes como se puede apreciar en las siguientes gráficas y tablas de mediciones así como en los links de los videos adjuntos:



Figura 31: Medición de caudal de uno de los ingresos de agua mediante el Método del Recipiente.

Fuente: (Autor, 2014-2015).

MEDICIÓN DEL CAUDAL CON EL METODO DEL RECIPIENTE EN UNO DE LOS CUATRO INGRESOS DE AGUA										
Temporal Seco	Items	Data Archivo respaldo	Unidad medida EEUU	Tiempo	Caudal	Promedio Caudal	Unidad Medida Sistema Métrico (m³/S)	Un m³ = 1000 Ltrs	Unidad Medida Sistema Métrico	Unidad Medida Sistema Métrico
	Prueba	Nombre	Galones	Segundos	Gal/Seg	Gal/Seg	1 gal= 0,0037854 m3	Ltrs/Seg	1galón=3,785 ltrs	1 litro = 0,264172 glns.
Noviembre 2014	1	20141120	5	38,5	0,12987013		0,00049161	0,49161039	0,491611922	0,491611922
Noviembre 2014	2	20141220	5	42,8	0,11682243		0,00044222	0,442219626	0,442221005	0,442221005
Noviembre 2014	3	20141120	5	39,27	0,127323657		0,000481971	0,48197097	0,481972473	0,481972473
Noviembre 2014	4	20141120	5	40,21	0,124347177		0,000470704	0,470703805	0,470705272	0,470705272
Noviembre 2014	5	20141120	5	45,35	0,110253583	0,1217234	0,000417354	0,417353914	0,417355215	0,417355215
Diciembre 2014	1	20141226170904	5	41	0,12195122		0,000461634	0,461634146	0,461635585	0,461635585
Diciembre 2014	2	20141226170609	5	41	0,12195122		0,000461634	0,461634146	0,461635585	0,461635585
Diciembre 2014	3	20141226170408	5	42	0,119047619		0,000450643	0,450642857	0,450644262	0,450644262
Diciembre 2014	4	20141226170142	5	41	0,12195122		0,000461634	0,461634146	0,461635585	0,461635585
Diciembre 2014	5	20141226165956	5	39	0,128205128		0,000485308	0,485307692	0,485309205	0,485309205
Diciembre 2014	6	20141226165623	5	43	0,11627907		0,000440163	0,440162791	0,440164163	0,440164163
Diciembre 2014	7	20141226165336	5	44	0,113636364		0,000430159	0,430159091	0,430160432	0,430160432
Diciembre 2014	8	20141226165142	5	45	0,111111111		0,0004206	0,4206	0,420601311	0,420601311
Diciembre 2014	9	20141226164717	5	45	0,111111111	0,11836045	0,0004206	0,4206	0,420601311	0,420601311
VeranoEnero 2015	1	20150118170919	5	47	0,106382979		0,000402702	0,402702128	0,402703383	0,402703383
VeranoEnero 2015	2	20150118170919	5	50	0,1		0,00037854	0,37854	0,37854118	0,37854118
VeranoEnero 2015	3	20150118171305	5	48	0,104166667		0,000394313	0,3943125	0,394313729	0,394313729
VeranoEnero 2015	4	20150118171305	5	46	0,108695652	0,10481132	0,000411457	0,411456522	0,411457804	0,411457804
PROMEDIO			5	43,22944	0,116283685	0,11496506	0,00044018	0,312188112	0,312189805	0,312189805

Tabla 2: Medición de caudal por el Método Volumétrico en uno de los ingresos al pozo de recolector.

Fuente: (Autor, 2014).



Figura 32: Medición del Caudal en la salida mediante el Método Volumétrico.

Fuente: (Autor, 2015).

MEDICIÓN DEL CAUDAL CON EL METODO DEL RECIPIENTE EN LA SALIDA DEL AGUA HACIA LA TURBINA											
Temporal	Items	Altura Pozo - Medición	Data Archivo respaldo Nombre	Unidad medida Galones	Tiempo Segundos	Caudal Gal/Seg	Promedio Gal/Seg	Unidad Medida Sistema Métrico (m ³ /S)	Un m ³ = 1000 Ltrs	Unidad Medida Sistema	Unidad Medida Sistema Métrico
								1 galn= 0,0037854 m ³	Ltrs/Seg	1galón=3,7854118 ltrs	1 litro = 0,2641720512415584 glns.
Seca	1	100	20150118	5	4,5	1,11111111		0,004206	4,206	4,206013111	4,206013111
Seca	2	100	20150118	5	4,25	1,176470588		0,004453412	4,453411765	4,453425647	4,453425647
Seca	3	100	20150118	5	4	1,25		0,00473175	4,73175	4,73176475	4,73176475
Seca	4	100	20150118	5	4,731	1,056859015	1,14861018	0,004000634	4,000634115	4,000646586	4,000646586
Lluviosa	1	200	20150125	55	20	2,75		0,01040985	10,40985	10,40988245	10,40988245
Lluviosa	2	200	20150125	55	19,5	2,820512821		0,010676769	10,67676923	10,67680251	10,67680251
Lluviosa	3	200	20150125	55	19	2,894736842		0,010957737	10,95773684	10,957771	10,957771
Lluviosa	4	200	20150125	55	20	2,75	2,80381242	0,01040985	10,40985	10,40988245	10,40988245
PROMEDIO				55	19,625	1,976211297	1,9762113	0,00748075	7,480750244	7,480773563	7,480773563

Tabla 3: Medición del caudal por el método del Recipiente en la salida del pozo de recolección.

Fuente: (Autor, 2015).

La parte alta del proyecto se lo traerá con tres ductos, el primero conformado por la unión de 19 rollos manguera de 100 metros de longitud y los demás conformados por la unión de 24 rollos de manguera cada uno con un diámetro de una pulgada y con una presión de 150 psi en la llegada y 120 psi en la toma ya que trabajan en régimen laminar por la cantidad de caudal así como también pensando la dificultad de llevar hacia la parte alta tomando en consideración la altura, difícil acceso por la humedad, caminos poco transitables y no carrozables así como por la densa vegetación propia de la zona; para al final terminando en un rollo de dos pulgadas completas pero con alta presión.



Figura 33: Proceso y materiales para la parte alta del proyecto, comparación de dimensión versus tamaño de una persona.

Fuente: (Autor, 2014).

La parte baja del proyecto está conformado con dos rollos de manguera de 100 metros de longitud y dos pulgadas de diámetro con presión de 120 psi aclarando que es presión de trabajo y no presión de rotura más cuatro tubos de PVC (Policloruro de Vinilo no plastificado) roscables de 6 metros de longitud y de 63mm* 2.5mm rígidos para una presión de trabajo de hasta 1 Mpa, se puede usar también tubos de PVC-C (Policloruro de Vinilo Clorado), van unidos con dos llaves de cobre

con mecanismo de compuerta de dos pulgadas cada uno, con cuatro tés de dos pulgadas como unión y desfogue para sobre presiones y chimenea para amortiguar el golpe de ariete y regulación así como para su medición con un manómetro.

Cabe acotar aquí que la presión es la fuerza que ejerce un gas o un líquido perpendicularmente a dicha superficie por unidad de área, en el Sistema Internacional generalmente se representa en atmósferas (atm) y su unidad de medida de la presión es el Newton por metro cuadrado (N/m²) que se convierte en un Pascal (Pa) pero las mangueras vienen en términos del sistema anglosajón de unidades PSI (pounds-force per square inch) que significa libras-fuerza por pulgada cuadrada donde 1 PSI es igual a 6894.75 pascales, es igual a 6.895 KPa, es igual a 0.068 atmósferas, es igual a 51.71493 mmHg y es igual a 0.0689 Bares.



Figura 34: Proceso y materiales para la parte baja, comparación dimensión versus tamaño de persona.

Fuente: (Autor, 2015).

2.2 Medición de la Altura o Salto Geodésico para el Agua.

El segundo parámetro en importancia para nuestra micro generación es el salto geodésico que tiene nuestro caudal de agua que es la diferencia de altura que tiene para el recorrido del agua desde el punto de inicio de la tubería de presión en el pozo recolector hasta el punto de descarga del mismo ya que es este factor el que nos proporciona la energía potencial o fuerza con la que desciende el agua con su consecuente velocidad como se puede apreciar en la tabla anterior enumerada como tabla 4 donde para una altura de 100 metros se tiene un valor inferior de 1.1486 galones por segundo que para el valor de 200 metros donde se tiene un valor promedio de 2.8038 galones por segundo.

Para obtener este valor de la altura del salto o caída del agua tenemos disponibles varios métodos que los enumeramos a continuación y a breve rasgo como son:

2.2.1 Método del Gps.

Sistema de Posicionamiento Global que utiliza los datos y obtiene su valor a través de la triangulación satelital conforme se han ido desarrollándose los modernos sistemas de referencia geodésicos globales, que permiten alta precisión y homogeneidad para el posicionamiento y la navegación basados en la geodesia que se encarga de establecer los sistema de referencia tanto para planimetría, altimetría y modelo de observación.

2.2.2 Método del Altimetro.

Necesita calibración de instrumentos y destreza, se requiere tomar varias medidas y promediarlas ya que tienen probabilidad de errores de hasta 30%, se lo usa en caídas mayores a 40 metros ya que su principio se basa en un barómetro aneroide que a partir de las tomas estáticas mide la presión atmosférica existente la cual disminuye con la altura y presenta la medición traducida en altitud.

2.2.3 Método del Eclímetro.

Recomendable en terrenos despejados, método rápido comparado con los demás métodos, de peso liviano, costo moderado y tiene una precisión aproximada del 5%.

2.2.4 Método del Nivel de Ingeniero:

Presenta un costo alto por la instrumentación inicial, es rápido y tiene una precisión muy buena pero no es recomendable para lugares con demasiada vegetación sobre todo si es alta la misma, entre los más destacados están la Cámara aereofotogramétrica, estaciones, fototeodolitos, Teodolitos y otros:

2.2.5 Método del Mapa con Curvas de Nivel:

Sirven para hacer una primera estimación de la altura disponible y en nuestro tema de estudio se lo utiliza para estudios de pre factibilidad, no se hacen mediciones en el lugar mismo del proyecto por lo que no presenta una buena precisión para estudios de factibilidad y definitivos en micro centrales Hidroeléctricas.

2.2.6 Método de la Manguera Transparente y Nivelación con Agua:

Es económico sobre todo por la instrumentación y una aproximación del 5%, es rápido en pequeñas caídas pero tedioso para grandes caídas ya que se obtienen varios datos a través de los valores con flexómetros y sus alturas parciales por diferencia de las mismas para al final obtener el salto total con una sumatoria de todas las alturas, se recomienda tener un ángulo de vista entre los dos puntos de medición, llenar el agua, eliminar todas las burbujas de aire y observar que la manguera no presente deformaciones en su trayecto, es recomendable hacerlo mínimo entre dos personas e ideal entre tres, una para tener y medir valores en la punta superior, otra para tener y medir valores en la punta inferior y la tercera para reservar, colocar el agua, revisar deformaciones y burbujas de aire en el trayecto así como para encargarse de los puntos de referencia en cada medida y la toma de datos.

2.2.7 Método De La Manguera y Manómetro:

Se requiere calibrar instrumentos con lo que se obtiene precisiones bajo del 5% por lo que se considera un método bueno, rápido y seguro a más de que da la posibilidad de medir la longitud de la tubería de presión.



Figura 35: Manómetros de doble escala, primero PSI y Bar; segundo psi y KPa.

Fuente: (Presión, Libra por pulgada cuadrada s,f).

2.2.8 Método del Nivel de Carpintero:

Es un método lento y tiene una precisión aproximada del 5% en pendientes pronunciadas y cortas pero poca precisión de hasta 20 % en pendientes suaves y largas por lo que se considerada inapropiado para estas pendientes y se lo usaría cuando no se dispone de otro método, cabe acotar que existen aplicaciones de nivel disponibles para los Smartphone de gran exactitud. (Diez aplicaciones útiles para arquitectos, diseñadores, constructores, 2012).



Figura 36: App para medir el nivel.

Fuente: (Diez aplicaciones útiles para arquitectos, diseñadores, constructores, 2012).

El método utilizado en nuestro proyecto va a ser el del GPS ya que por las características descritas anteriormente en comparación con los demás métodos es el más viable, a más de que es de buena precisión, de costo moderado, fácilmente disponible hoy en día en los Smartphone, así como por la factibilidad de llevar hasta la altura de inicio de las vertientes u ojos de agua a los 3619 msnm y de rápida importación a un medio digital, de las mediciones realizadas se presentan ejemplos y elaboramos el siguiente cuadro con sus valores promedio que se lo adjunta.



Figura 37: Respaldos de mediciones con GPS y sus detalles incluidos.

Fase Dos. Fuente: (Autor, 2014).

SISTEMA MICRO-HIDROELECTRICO PARA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA RENOVABLE

Día Uno, Valores tomados con el Método del GPS y sus Promedios Parciales.								
Item	Referencia	Altitud Promedio	Altitud 1	Altitud 2	Altitud 3	Altitud 4	Altitud 5	Altitud 6
1	Puerta Metálica Candado	2880,4	2840	2915	2868	2876	2903	
2	Hoyo	2872,2	2890	2883	2868	2854	2866	
3	Curva	2897,333333	2934	2886	2894	2898	2889	2883
4	Curva arriba	2910	2911	2922	2922	2911	2901	2893
5	Ingreso Camino Peatonal	2930,833333	2932	2935	2927	2920	2937	2934
6	Ingreso Carretero Martinez	2922,5	2918	2918	2908	2927	2917	2947
7	Curva Carretero Martinez	2953	2964	2953	2956	2952	2947	2946
8	Casita vieja	2981,166667	2970	2990	2991	2980	2979	2977
9	Alambre para ingresar	2998,666667	2992	2999	2998	2998	3002	3003
10	Carretera parte Baja	3003,833333	3000	3007	3010	3007	3003	2996
11	Casa	3034,166667	3008	3008	3020	3054	3054	3061
12	Pozo Truchas	3038,333333	3020	3039	3040	3041	3046	3044
13	Alambre	3031,833333	3026	3043	3026	3034	3026	3036
14	Subida	3041,166667	3025	3071	3043	3012	3049	3047
15	Primera manguera aproximada	3057,833333	3036	3053	3054	3070	3071	3063
16	Segunda manguera aproximada	3081,833333	3078	3078	3080	3081	3089	3085
17	Pozo Colector	3169,6	3172	3170	3170	3167	3169	
Día Dos, Valores tomados con el Método del GPS y sus Promedios Parciales.								
Item	Referencia	Altitud Promedio	Altitud 1	Altitud 2	Altitud 3	Altitud 4	Altitud 5	Altitud 6
1	Segunda Manguera	3143,666667	3137	3139	3151	3146	3135	3154
2	Pozo	3185,166667	3184	3188	3186	3186	3187	3180
Día Tres, Valores tomados con el Método del GPS y sus Promedios Parciales.								
Item	Referencia	Altitud Promedio	Altitud 1	Altitud 2	Altitud 3	Altitud 4	Altitud 5	Altitud 6
1	Pozo	3172,666667	3173	3154	3205	3163	3171	3170
2	Dos rollos Manguera	3073,5	3046	3056	3058	3127	3062	3092
3	Tubo y llave	3059,5	3057	3062	3054	3075	3057	3052
	Salto Geodésico Pozo Colector - Dos Rollos :	99,16666667				Pozo - Segunda Manguera :	87,76666667	
	Salto Geodésico Pozo Colector - Final Tubos :	113,16666667				Pozo - Primera Manguera :	111,76666667	
						Pozo - Subida:	128,4333333	
	Promedio Altura Cuatro Mediciones Pozo Colector:	3178,983333				Pozo - Truchas:	131,2666667	
	Salto Geodésico Promedio Pozo - Tubos :	119,4833333				Pozo - Alambre:	137,7666667	

Tabla 4: Valores de las distintas Mediciones y sus promedios del Salto Geodésico o diferencia de altura por el método del GPS.

Fuente: (Autor, 2014).

Para su comparación y corrección del margen de error se lo va a contrastar con el método de la manguera transparente y nivelación con agua a través de la sumatoria de sus alturas parciales en los puntos de referencia y obtenemos los siguientes valores promedio:

VALORES DE MEDICIONES CON EL METODO DE LA MANGUERA			
Item	Referencia Medición	Diferencia Altura	
1	Lindero parte baja	0	metros
2	Casa	11,5	metros
3	Truchas	12	metros
4	Tubos	14	metros
5	Manguera	9	metros
6	Terraza	12	metros
7	Alambre	14,33	metros
8	Dos palos	2,66	metros
9	Curva pérdida vista	11,7	metros
10	Abeja	10,8	metros
11	Flor azul Gañal	18,5	metros
12	Arbol en Y grande	20,16	metros
13	Tronco Seco	3,83	metros
14	Pozo Colector	3,66	metros
Item	SUMATORIA SALTOS GEODESICOS A ALTURAS PARCIALES		
1	Pozo-Abejas	56,95	metros
2	Pozo - Curva Pérdida Vista	68,65	metros
3	Pozo-Dos Palos	71,31	metros
4	Pozo-Alambre	85,64	metros
5	Pozo-Terraza	97,64	metros
6	Pozo-Manguera	106,64	metros
7	Pozo - Tubos	120,64	metros
8	Pozo Truchas	132,64	metros
9	Pozo - Casa	144,14	metros
10	Pozo - Lindero parte Baja	155,64	metros

Tabla 5: Valores alturas y sumatorias por el método de manguera transparente y nivelación con agua.

Fuente: (Autor, 2014).

2.3 Cálculo de la Energía Eléctrica Generada.

Mediante la Turbina que es un dispositivo mecánico capaz de convertir la energía presente en la masa de agua en trabajo en forma de energía de rotación, es decir, absorbe la energía de la corriente de agua y la restituye en energía mecánica, esto partiendo de la ley de conservación de la energía que indica que la energía ni se crea ni se destruye solo se transforma, partimos de que vamos a realizar una conversión de la energía cinética, energía potencial y de presión que posee el caudal del agua en energía mecánica de rotación en el eje a través de una turbina y que a su

vez se transformará en energía eléctrica a través del generador con las correspondientes pérdidas que ello implica por rozamiento, calentamiento, fricción, ruido, dispersión magnética entre otras ya que ningún sistema de conversión de energía puede entregar la misma energía que absorbe. (Bustamante & Arias, 2008).

Por lo anterior expuesto, para el diseño de nuestro sistema de micro generación partimos del Recurso Hidro-energético ya que requerimos de un caudal es decir cantidad de agua y también de su fuerza o energía potencial de la diferencia de altura conocida como salto geodésico para producir energía potencial, ya que estos dos valores son funciones directas de la potencia a transformarse como se puede apreciar en la siguiente fórmula:

$$P_{Turbina} = Y \times Q \times H_n \times \eta_{Turbina}$$

Dónde: $P_{turbina}$ es la potencia obtenida en la turbina.

Q es el caudal del agua y lo obtenemos de la tabla 4 de la medición del caudal de 0.0106 m³/seg pero como vamos a dividir para dos inyectores tenemos garantizado 0.004 m³/seg.

$\eta_{turbina}$ es el rendimiento de las turbinas Pelton cuyo valor oscila entre el 80 y 90% por lo tomaremos su valor central de 85% y más adelante lo vamos a calcular exacto su valor para ratificar que se encuentre correcto ya que es una ventaja de este tipo de turbinas que operan con alta eficiencia con poca carga así como cerca de la carga nominal por ser turbinas de acción, de impulsión y de presión tangencial constante por el o los chorros libres de agua que salen de los inyectores por lo que se justifica en este tipo de proyectos micro hidroeléctricos.

Y es el peso específico del líquido el cual varía levemente con la temperatura y en nuestro caso es agua la cual tiene una densidad de 1000 Kg/m³ y representa la relación entre el peso y el volumen que ocupa que al ser multiplicado por la gravedad 9,806 m/s² nos da la energía con la que descende el agua igual a 9806 N/m³.

	Densidad	Viscosidad absoluta	Viscosidad cinemática
Temperatura	ρ	μ	ν
°C	kg/m ³	kg/m·s	m ² /s
0	999,9	1,792·10 ⁻³	1,792·10 ⁻⁶
5	1000,0	1,519·10 ⁻³	1,519·10 ⁻⁶
10	999,7	1,308·10 ⁻³	1,308·10 ⁻⁶
20	998,2	1,005·10 ⁻³	1,007·10 ⁻⁶
40	992,2	0,656·10 ⁻³	0,661·10 ⁻⁶
60	983,2	0,469·10 ⁻³	0,477·10 ⁻⁶
80	971,8	0,357·10 ⁻³	0,367·10 ⁻⁶
100	958,4	0,284·10 ⁻³	0,296·10 ⁻⁶

Tabla 6: Valores de Densidad y Viscosidad del agua.

Fuente: (Ingemecánica, 2015).

2.4 Cálculo de Altura Neta del Salto Geodésico y Diámetro de Tubería.

H_n es la altura neta del Salto Geodésico del agua pero como es altura neta partimos de la altura obtenida en la tabla 5 el valor de 121 metros conocida como altura bruta y restamos las pérdidas para obtener la altura neta las mismas que van en función del material de la tubería por su rugosidad, de la longitud y del diámetro por la fricción, así como del número de accesorios que se ocupan.

Cuando se realiza el diseño de cualquier sistema de distribución o abastecimiento de agua es necesario calcular las pérdidas de presión o carga originadas desde el inicio hasta el punto final. (Calculo y Diseño de Instalaciones de Fontanería, 2014)

2.4.1 Calculo del Diámetro de la Tubería.

Para ello calculamos primero el diámetro mínimo necesario para llevar el caudal de agua requerido la distancia de los dos rollos de 100 metros con cuatro tubos de 6 metros total de Longitud 224 metros a partir de la siguiente ecuación:

$$d' = 0.3 * \sqrt[5]{\frac{Q^2 * L}{Hb}}$$

$$d' = 0.3 * \sqrt[5]{\frac{0.004^2 * 224}{121}}$$

$$d' = 0.0372767 \text{ metros} = 37.2767 \text{ mm}$$

Pero como este es el diámetro mínimo se recomienda siempre de un valor más elevado sobre todo para minimizar las pérdidas por fricción y turbulencia y de acuerdo al diámetro de la tubería existente en el mercado comercial, por lo que partiendo de la tabla de las características Técnicas de las mangueras adquiridas se tiene: (Ecuaplastic – Mapico Distribuciones, 2011)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MANGUERA				
NOMBRE	DIÁMETRO	DIÁMETRO	ESPESOR	PRESIÓN
	INT. (mm)	EXT. (mm)	PARED (mm)	TRABAJO (psi)
GRUPO RIEGO				
Manguera para riego de 12 mm. 46 psi	10,0	12	1,0	0,32
Manguera para riego de 16 mm. 46 psi	13,8	16	1,1	0,32
Manguera para riego de 20 mm. 46 psi	17,6	20	1,2	0,32
Manguera para riego de 25 mm. 46 psi	22,0	25	1,5	0,32
Manguera para riego de 32 mm. 58 psi	27,2	32	2,4	0,40
Manguera para riego de 40 mm. 58 psi	34,4	40	2,8	0,40
Manguera para riego de 50 mm. 58 psi	43,6	50	3,2	0,40
Manguera para riego de 63 mm. 58 psi	55,0	63	4,0	0,40
GRUPO AGUA				
Manguera para agua de 1/2 pulg.-125 psi	15,50	19,75	2,30	125,00
Manguera para agua de 1/2 pulg.-150 psi	15,50	20,75	2,63	150,00
Manguera para agua de 1/2 pulg.-200 psi.	15,50	22,30	3,40	200,00
Manguera para agua de 3/4 pulg.-100 psi	20,00	24,85	2,43	100,00
Manguera para agua de 3/4 pulg.-125 psi	20,00	25,70	2,85	125,00
Manguera para agua de 3/4 pulg.-160 psi	20,00	26,40	3,20	160,00
Manguera para agua de 1 pulg.-120 psi	26,00	31,85	2,93	120,00
Manguera para agua de 1 pulg.-150 psi	26,00	32,70	3,35	150,00
Manguera para agua de 1 1/4 pulg.-120 psi	33,00	40,00	3,50	120,00
Manguera para agua de 1 1/2 pulg.-100 psi	40,00	47,40	3,70	100,00
Manguera para agua de 2 pulg. 100 psi.	51,00	59,30	4,15	100,00
Manguera para agua de 2 pulg. 120 psi.	51,00	60,50	4,75	120,00
Manguera para agua de 3 pulg.-80 psi	76,00	89,00	6,50	80,00
Manguera para agua de 4 pulg.-70 psi	101,00	116,70	7,85	70,00
Presentación: Rollos de 1/2 a 2 pulg.=100 m Rollos de 3 pulg = 50 m Rollos de 4 pulg= 25 m				

Tabla 7: Datos Técnicos de Mangueras.

Fuente: Ecuaplastic – Mapico Distribuciones.

Por lo que vamos a usar una manguera de Dos pulgadas que nos da un diámetro interno de: $d = 51$ milímetros para reducir las pérdidas por fricción y vamos a calcular las mismas para ver si estamos dentro de los márgenes permitidos.

2.4.2 Pérdidas de carga debido a la fricción en pared de la tubería.

El efecto de llevar un caudal a presión por la tubería implica que se produzcan pérdidas de presión por el rozamiento y fricción de la misma contra las paredes de la tubería, para ello partimos del concepto de la rugosidad o aspereza de la misma.

2.4.2.1 Rugosidad absoluta y rugosidad relativa.

En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad o aspereza absoluta (ϵ) o en algunos textos lo identifican con la letra (K), y que puede definirse como la variación media del radio interno de la tubería. Estos valores se encuentran tabulados en tablas de acuerdo a los experimentos de Nikurade que se obtuvieron mediante rugosidades artificiales pegados en tuberías de vidrio liso hasta producir una pérdida de carga igual a la del tubo comercial de cierto diámetro. Esta tabla se la ilustra a continuación:

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES				
Material	ϵ (mm)		Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015		Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01		Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024		Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015		Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024		Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024		Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003		Hormigón	0,3-3,0

Tabla 8: Rugosidad absoluta ϵ o K de los distintos materiales para ductos.

Fuente: (Ingemecánica, 2015).

De esta Tabla obtenemos un valor de 0.0015 mm para nuestra tubería, pero un mismo valor de rugosidad absoluta puede ser muy importante en tubos de pequeño diámetro y ser insignificante en un tubo de gran diámetro [20], es decir, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo. Por ello, para caracterizar un tubo por su rugosidad resulta más adecuado utilizar la rugosidad relativa (ϵ_r), que se define como el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{d} = \frac{K}{d}$$

Ecuación 1: Fórmula para calcular la rugosidad relativa: ϵ_r

$$\varepsilon_r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{51 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon_r = \frac{0.000015 \text{ m}}{0.051 \text{ m}}$$

$$\varepsilon_r = 0,0000294118$$

Luego calculamos el factor de fricción f que es un parámetro adimensional que depende del número de Reynolds (Re) del fluido y de la rugosidad relativa de la tubería (ε_r).

2.4.2.2 Número de Reynolds.

El número de Reynolds representa la relación entre las fuerzas de inercia y las viscosas en la tubería. Cuando la fuerzas viscosas predominan ocurre valores bajos para Re ($Re < 2000$) y el fluido discurre de forma laminar por la tubería por lo que la pérdida de carga debido a la rugosidad es mínima debido al propio comportamiento viscoso del fluido. Si $2000 < Re < 4000$ se encuentra en una zona o franja crítica o de transición. Pero si las fuerzas de inercia predominan sobre las viscosas, la influencia de la rugosidad se hace más notorio y entra en un régimen turbulento con Re grande ($Re > 4000$).

Si nos encontramos en un régimen laminar, es decir con el número de Reynolds menor a 2000 es fácil calcular con los valores de la densidad del fluido (ρ) en kg/m^3 , la velocidad del agua en el interior de la tubería (v) en m/s , el diámetro interior de la tubería (d) en metros y la viscosidad dinámica del fluido (μ) en kg/m.s en nuestro caso del agua con la siguiente expresión:

$$Re = \frac{\rho * v * d}{\mu}$$

y con el número de Reynolds se obtiene el factor de fricción mediante:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Pero si nos encontramos en régimen turbulento el cálculo para obtener el factor de fricción f no es tan inmediato y nos valemos de las ecuaciones de Colebrook-White, las ecuaciones de Barr, o las de Miller o las de Haaland pero es

más fácil si utilizamos métodos gráficos o ábacos empíricos que permiten calcular fácilmente el factor de fricción siendo el más conocido el Diagrama de Moody que es una representación gráfica a doble escala logarítmica del factor de fricción f en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería $\varepsilon r = \frac{\varepsilon}{d}$ como se lo visualiza en la siguiente gráfica: (Calculo y Diseño de Instalaciones de Fontanería, 2014)

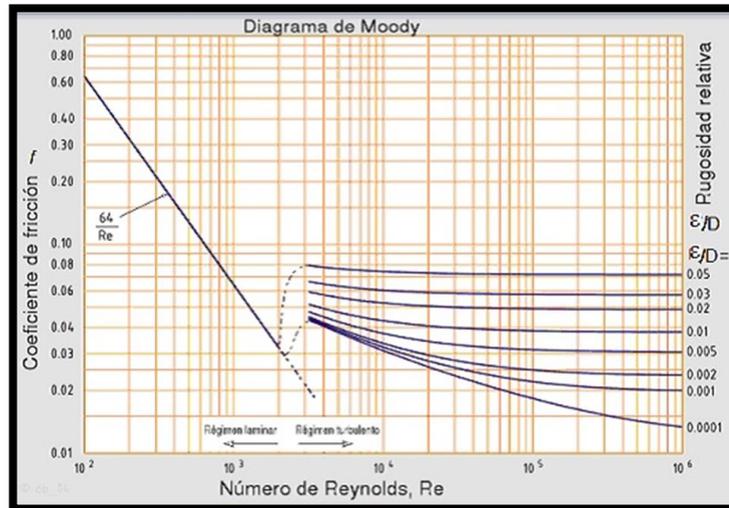


Figura 38: Vista del Diagrama de Moody.

Fuente: (Ingemeccánica, 2015).

Por lo anterior expuesto, es necesaria la siguiente relación para poder utilizar el diagrama de Moody y obtener el valor del factor f que corresponde a la fricción de la tubería que utilizamos:

$$\text{Relación} = 1,27 * \frac{Q}{d}$$

$$\text{Relación} = 1,27 * \frac{0,004 \frac{m^3}{s}}{0,051 m}$$

$$\text{Relación} = 0,0996078 \frac{m^2}{s}$$

Con estos dos valores se obtiene $f = 0.02$ como el Factor de pérdida de carga debido a la Fricción del agua contra la pared interna de la tubería como se puede ver en la siguiente imagen:

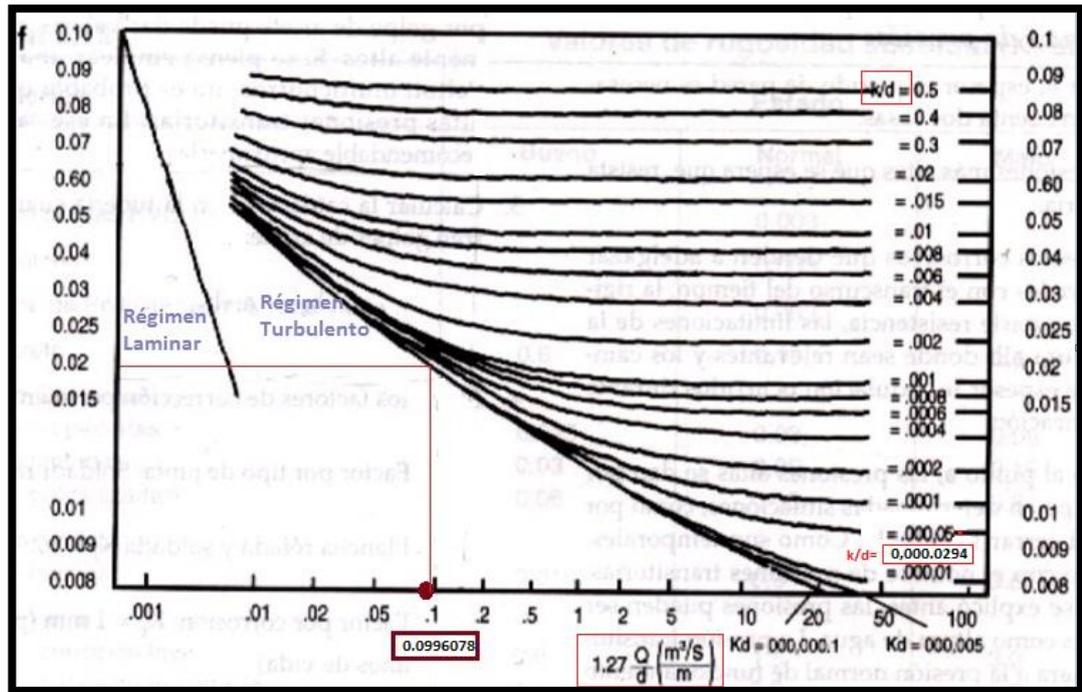


Figura 39: Diagrama de Moody con sus detalles de Régimen y valores obtenidos.

Fuente: (UCLM, 2015) Modificaciones Autor.

Ya con este valor se puede realizar el cálculo de las pérdidas de carga en tramos rectos de longitud L correspondiente a la altura de pérdida de carga debido a la fricción contra la pared interna de la tubería y lo podemos obtener mediante la siguiente ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_f = 0,08 * \frac{f * L * Q^2}{d^5}$$

$$H_f = 0,08 * \frac{0.02 * 224 * 0.004^2}{0.051^5}$$

$$H_f = 16,62023 \text{ metros.}$$

2.4.3 Pérdida de carga por accesorios adicionales en la conducción.

Hasta aquí lo que respecta a la pérdida de carga producida en el tramo recto de la tubería; pero en la instalación hay otro elementos o accesorios como válvulas, Tés o derivaciones en T, codos, bifurcaciones, uniones, reducciones, etc. que se puede calcular a partir de formulaciones empíricas y donde el coeficiente adimensional K que mide la caída de presión por turbulencias se mide experimentalmente y que se encuentran detalladas en la siguiente tabla orientativa ya que depende del fabricante:

Válvulas (abiertas)	Coef. de pérdida, K
De bola	$K = 0,1$
Compuerta	$K = 0,1 - 0,3$
Anti-retorno	$K = 1,0$
De asiento estándar. Asiento de fundición	$K = 4,0 - 10,0$
De asiento estándar. Asiento de forja (pequeña)	$K = 5,0 - 13,0$
De asiento a 45°. Asiento de fundición	$K = 1,0 - 3,0$
De asiento en ángulo. Asiento de fundición	$K = 2,0 - 5,0$
De asiento en ángulo. Asiento de forja (pequeña)	$K = 1,5 - 3,0$
Mariposa	$K = 0,2 - 1,5$
Diafragma	$K = 2,0 - 3,5$
De macho o tapón. Rectangular	$K = 0,3 - 0,5$
De macho o tapón. Circular	$K = 0,2 - 0,3$
Otros elementos	Coef. de pérdida, K
Codos a 90°	$K = 0,2$
Derivación	$K = 0,3$

Tabla 9: Factor de pérdida de carga debido a la rugosidad absoluta K de los distintos accesorios.

Fuente: (Ingemecánica, 2015).

Obtenemos el área de la tubería de conducción de fuerza para poder calcular su velocidad de acuerdo a la siguiente formulación:

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

$$A = \pi * \frac{0.051^2}{4} = 0,002043 \text{ m}^2$$

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

$$V = \frac{0,00354 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,00204282062299676 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,73289 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_{\text{turbulencia}} = \frac{V^2}{2 * g} * \sum(k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n)$$

$$h_{\text{turbulencia}} = \frac{1,73289^2}{2 * 9,806} * \sum(0,15 + 0,15 + 0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,3)$$

$$h_{\text{turbulencia}} = 0,351893 \text{ metros}$$

Una vez calculada las pérdidas de carga localizadas en los demás componentes se realiza una sumatoria de todos los valores y se agrega a la pérdida de carga calculada en el tramo recto del tubo con lo que se obtiene la pérdida de carga total por rozamiento en todo el ramal la cual se recomienda que oscile entre 3 y el 11% de la altura bruta caso contrario se recomienda colocar y calcular para una tubería de diámetro mayor para minimizar estas pérdidas por fricción y turbulencias.

$$H_t = h_{fricción} + h_{turbulencias}$$

$$H_t = 16,62023 \text{ metros} + 0,351893 \text{ metros}$$

$$H_t = 16,9721254 \text{ metros}$$

Que nos equivale a una altura neta (H_n) de 104.028 metros con un porcentaje de pérdidas de altura de:

$$h\% = \frac{h_t}{H_b} * 100$$

$$h\% = 14,02655\% \text{ que excede el valor recomendado } 3 \leq h\% \leq 11.$$

Por lo que tenemos tres opciones: la primera sería poner una tubería de una diámetro más grande pero de acuerdo a la tabla 8 la siguiente manguera es de 3 pulgadas = 76 mm de diámetro interno, es decir 50% más pero solo viene en rollos de 50 metros, son mucho más costosas y pesadas sobre todo por el difícil acceso al lugar de colocación adicional a que cambiaría hasta los accesorios adquiridos para la primera medición por lo que sería preferible poner en paralelo una tubería de 1 pulgada para compensar la pérdida, la segunda trabajar un poco sobrecargado excediendo el límite superior de pérdidas y la tercera y al parecer la más viable al momento, es reducir en la llave de control superior un porcentaje la compuerta reduciendo al caudal a un valor de 0.0354 m³/s con lo que se obtiene una pérdida porcentual de 10,985945% como se puede apreciar en el cuadro siguiente resaltado los dos valores así como las diferentes mediciones y cálculos preliminares en función de diversos caudales medidos a lo largo del proyecto donde se puede observar como varía en función del caudal, altura, diámetro de la tubería así como las pérdidas obtenidas en cada uno y finalmente la última fila un cálculo preliminar con los datos del GPS de la figura 41 para la futura ampliación de la fase dos del proyecto:

SISTEMA MICRO-HIDROELECTRICO PARA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA RENOVABLE

Cálculo Para Diseño de la Turbina Pelton - Micro-HidroEléctrica																										
DATOS CONSTRUCTIVOS					PERDIDAS DE CARGA DEBIDO A LA FRICCIÓN EN PARED DE TUBERÍA					VELOCIDAD DEL AGUA		PERDIDA DE CARGA DEBIDO A LOS ACCESORIOS					DATOS TECNICOS DE PLACA					POTENCIA GENERADA				
Caudal	Altura Bruta O Salto de Caudal	Longitud	Diámetro Tubería Presión Calculado	Diámetro Tubería Presión Disponible	Valor Rugosidad Absoluta ϵ o K	Rugosidad Relativa $\epsilon_r = \epsilon/d$	Relación $1,27 \cdot (Q/d)$	Factor pérdida carga debido a la Fricción	Pérdida Carga Fricción Pared Tubería	Area de la Tubería	Velocidad del Agua en la Tubería	Aceleración Gravedad	Pérdidas por Turbulencias en Accesorios	Pérdidas Carga Total Fricc + Acces	Pérdida Porcentual por Fricción	Viscosidad Cinemática	Número de Reynolds	Coefficiente de Rozamiento Daroy FD	Altura Neta	Densidad	Peso Especifico Agua p	Rendimiento Turbina	Potencia Mecánica Disponible Turbina	Rendimiento Generador	Rendimiento Transmisión Turbina	Potencia Útilo Neta Generada
Q	H _b	L	d'	d	ϵ o K	ϵ_r		f	h _f	A	V	g	h _{turb}	h _t	h _%	ν	Re	λ	H _n	ρ	Y	η_{turb}	P _{turb}	η_{gene}	$\eta_{transmisión}$	KVA
m ³ /s	metros	metros	metros	milímetros	m	adimensional	m ² /s	adimensional	m	m ²	m/s	m/s ²	m	m	%	m ² /s			m	Kg/m ³	N/m ²	u	KW	u	u	
			$0,3 \cdot ((d' \cdot L) / H_b)^{1/5}$	Catálogo (Diámetro Interno mm)	Tablas en mm	K/d	$1,27 \cdot (Q/d)$	Diagrama de Moody	$0,08 \cdot (f \cdot L \cdot Q^2 / d^5)$	$\pi \cdot d^2 / 4$	$Q = A \cdot V$		$h_{turb} = \sum (k \cdot h_v)$	$H_t = h_t + h_{turb}$	$h_v = h_v / H_t \cdot 100$ $3 \leq h_v \leq 11$	$1,519 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$Re = V \cdot d / \nu$	Diagrama de Moody	$H_n = H_t - ((\lambda \cdot L / d) + \sum (k_e + k_z + \dots + k_o)) \cdot V^2 / (2g)$	Tablas	$\gamma = \rho \cdot g$		$P_{turb} = \eta \cdot Q \cdot H_t \cdot \eta_{turb}$		$P = P_{turb} \cdot \eta_{gen} \cdot \eta_{trans}$	
0,0004526	118	224	0,015670241	0,0258	0,0000015	0,0000581395	0,022278557	0,02	6,422077479	0,000523	0,865712606	9,806	0,068785691	6,490863	5,5007315	0	14704,01	0,05	101,368823	1000	9806	0,85	382,400324	0,95	0,98	363,28031
0,000166	300	1200	0,012178015	0,0129	0,0000015	0,0001162791	0,016342636	0,02	148,1047043	0,000131	1,270102544	9,806	0,148056743	148,2528	49,417587	0	10786,26	0,033	47,4096484	1000	9806	0,85	65,5972506	0,95	0,98	62,317388
0,0014977	121	224	0,025164167	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,037295418	0,02	2,330027145	0,002043	0,733148071	9,806	0,049332601	2,37936	1,966413	0	24615,24	0,032	117,117825	1000	9806	0,85	1462,02818	0,95	0,98	1388,9268
0,0026626	121	224	0,031676234	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,066302965	0,02	7,364036408	0,002043	1,303374349	9,806	0,155915381	7,519952	6,2148362	0	43760,43	0,04	105,686834	1000	9806	0,85	2345,4766	0,95	0,98	2228,2028
0,003	121	224	0,033224793	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,074705882	0,02	9,348880961	0,002043	1,468557722	9,806	0,197939588	9,546821	7,8899343	0	49306,41	0,038	102,525423	1000	9806	0,85	2563,67895	0,95	0,98	2435,495
0,0033	121	224	0,034515913	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,082176471	0,02	11,31214596	0,002043	1,615413494	9,806	0,239506902	11,55165	9,5468205	0	54237,06	0,037	99,2301793	1000	9806	0,85	2729,40844	0,95	0,98	2541,0793
0,00354	121	224	0,035498916	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,088152941	0,02	13,01738185	0,002043	1,732898112	9,806	0,275611083	13,29299	10,985945	0	58181,57	0,036	96,6210288	1000	9806	0,85	2850,92462	0,95	0,98	2654,2108
0,0037	121	224	0,036132206	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,092137255	0,02	14,22068671	0,002043	1,81122119	9,806	0,301088107	14,52177	12,001467	0	60811,24	0,036	94,3674778	1000	9806	0,85	2910,28075	0,95	0,98	2764,7667
0,0038	121	224	0,036519702	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,094627451	0,02	14,99976012	0,002043	1,860173114	9,806	0,317583073	15,31734	12,658961	0	62454,79	0,035	93,6833584	1000	9806	0,85	2967,26861	0,95	0,98	2818,9052
0,004	121	224	0,037276728	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,099607843	0,02	16,62023282	0,002043	1,958076962	9,806	0,351892602	16,97213	14,02655	0	65741,89	0,035	90,732253	1000	9806	0,85	3025,04961	0,95	0,98	2873,7971
0,0045	121	224	0,039074982	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,112058824	0,02	21,03498216	0,002043	2,202836583	9,806	0,445364074	21,48035	17,752352	0	73959,62	0,034	83,7791099	1000	9806	0,85	3142,38267	0,95	0,98	2985,2635
0,005	121	224	0,04075696	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,124509804	0,02	25,96911378	0,002043	2,447596203	9,806	0,54983219	26,51895	21,916484	0	82177,36	0,033	76,3899223	1000	9806	0,85	3183,58821	0,95	0,98	3024,4088
0,0054	121	224	0,042031152	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,134470588	0,02	30,29037431	0,002043	2,643403899	9,806	0,641324266	30,9317	25,563387	0	88751,55	0,033	68,9686054	1000	9806	0,85	3104,16418	0,95	0,98	2948,956
0,0055	121	224	0,042340781	0,051	0,0000015	0,0000294118	0,136960784	0,02	31,42262767	0,002043	2,692355823	9,806	0,66529695	32,08792	26,518946	0	90395,09	0,03	71,8919536	1000	9806	0,85	3295,74642	0,95	0,98	3130,9591
0,01	162	300	0,053782688	0,076	0,0000015	0,0000197368	0,167105263	0,02	18,93098782	0,004536	2,204362093	9,806	0,445981135	19,37697	11,961092	0	110290,7	0,027	135,320678	1000	9806	0,85	11279,1139	0,95	0,98	10715,158

Tabla 10: Cálculos previos realizados para distintos ductos, alturas y caudales.

Fuente: (Autor, 2014).

$$H_n = 96,621 \text{ metros}$$

Tenemos ya los dos factores primordiales de la construcción física que son el caudal y la altura neta, que junto a las características del líquido que son la densidad con su correspondiente peso específico γ y el rendimiento de la turbina podemos calcular la Potencia a obtener mediante la ecuación 4 antes mencionada:

$$P_{Turbina} = \gamma \times Q \times H_n \times \eta_{Turbina}$$

$$P_{Turbina} = 9806 \times 0.0354 \times 96,62103 \times 0.85$$

$$P_{Turbina} = 2850,9246 \text{ W}$$

Cabe aclarar que esta es la potencia de la turbina más no la eléctrica generada ya que la misma depende de las pérdidas tanto en la transmisión como en el generador por lo que la potencia eléctrica generada será:

$$P_{E\acute{lectrica}} = P_{Turbina} \times \eta_{Transmisi\acute{o}n} \times \eta_{Generador}$$

$$P_{E\acute{lectrica}} = 2850,9246 \times 0.98 \times 0.95$$

$$P_{E\acute{lectrica}} = 2654,21 \text{ W}$$

Esta Potencia tendría a disminuir en función del desgaste sobre todo del desgaste mecánico y del mantenimiento al que esté sometido y por ello vamos a realizar un nuevo cálculo con un factor de rendimiento de 0.85 en la transmisión y generación que sería en el peor de los casos y con lo que obtenemos el siguiente valor que se encuentra dentro del valor previsto:

$$P_{E\acute{lectrica}} = P_{Turbina} \times \eta_{Transmisi\acute{o}n} \times \eta_{Generador}$$

$$P_{E\acute{lectrica}} = 2850,9246 \times 0.85 \times 0.85$$

$$P_{E\acute{lectrica}} = 2059,80 \text{ W}$$

2.5 Dimensionamiento de la Microturbina y Microgenerador.

La familia de las turbinas se sub clasifican de acuerdo a:

2.5.1 Elección y valoración del Tipo de Turbina según grado de Reacción.

Se clasifican de acuerdo al cociente de la altura de presión absorbida por el rodete contra la altura total absorbida por el rodete (León & Riveros, 2008).

$$\sigma = \frac{\text{Altura Presión del Rodete}}{\text{Altura de presión Total}}$$

$$\sigma = \frac{\text{Altura Presión del Rodete}}{\text{Altura Presión del Rodete} + \text{Presión Dinámica}}$$

Turbinas de acción con $\sigma = 0$

La energía de presión del agua se transforma completamente en energía cinética, es decir, su característica es que tienen la máxima presión en la entrada del rodillo.

Turbinas de Reacción con σ diferente de cero: $\sigma \neq 0$.

Turbinas de Reacción con σ menor a 1: Máquinas reales como Turbinas a gas y/o vapor con $\sigma = 0,5$.

Solamente una parte de la energía de presión del agua se transforma en energía cinética, es decir la mayor presión está en la entrada de la turbina y un poco menor presión en la salida de la turbina.

Turbinas de Reacción con $\sigma = 1$: Reacción Pura.

Una vez determinado los factores y valores de generación hidroeléctrica nos centramos en las características de las microturbinas, para ello de las más conocidas tenemos a la turbina Kaplan, Francis, Pelton y TM micro turbinas.

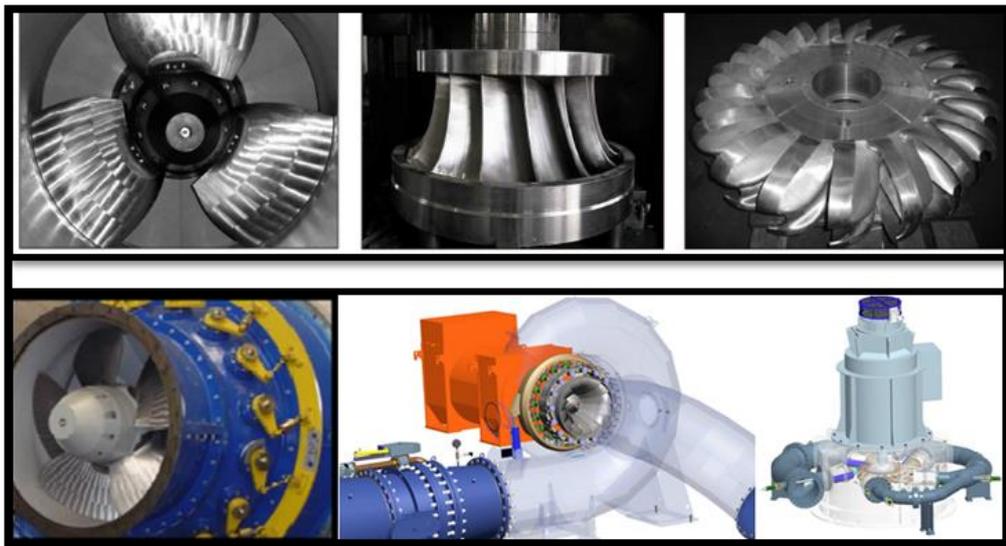


Figura 41: Constitución de las turbinas Kaplan, Francis y Rodete Pelton.

Fuente www.mavel.cz

De acuerdo a su rango de aplicación detallado en la siguiente gráfica y facilitado por el mismo proveedor de turbinas cuyos valores tanto de caudal, altura y potencia obtenemos el siguiente análisis:

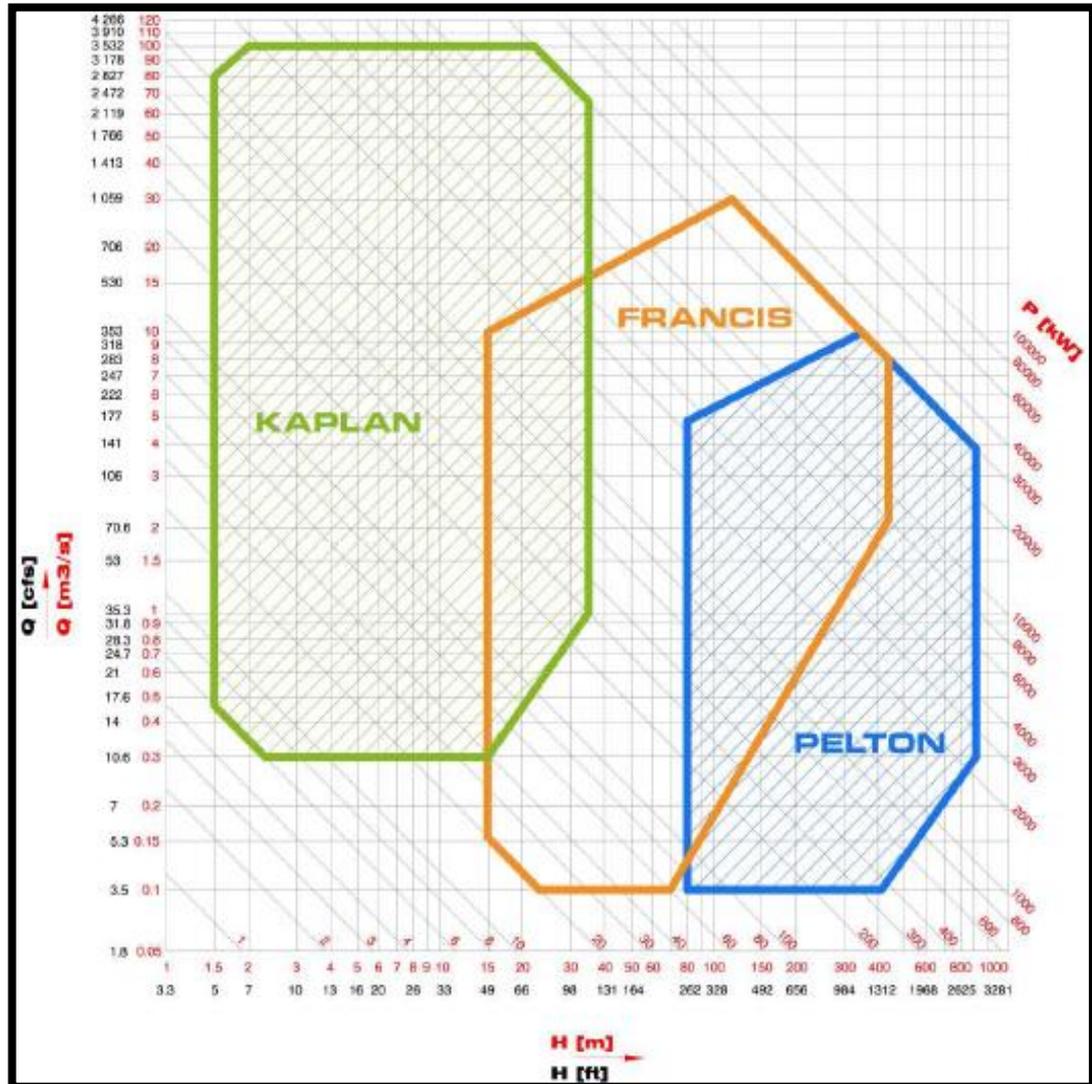


Figura 42: Rango de aplicación de las turbinas Kaplan, Francis y Rodete Pelton.

Fuente www.mavel.cz

Debido a que en el proyecto tenemos poco caudal y lo que nos ayuda para obtener energía potencial y su presión es la altura vamos a utilizar una turbina de acción siendo la más opcionada una turbina Pelton ya que funciona en base al flujo tangencial del agua por lo que se le conoce también como turbina de impulsión o de chorro libre de sección circular proveniente de uno o más toberas o inyectores que introducen el fluido contra los álabes o cucharas que se encuentran ubicados en la periferia de un disco ya sea mediante unión a la corona por cordones de soldadura o

sujeción mediante pernos al cual todo el conjunto se le denomina rodete que gira en la misma dirección que el agua a diferencia de las turbinas de reacción.

Partimos de calcular las velocidades a las cuales se va a generar que depende de la frecuencia (f) a la cual se desea generar que en nuestro país está estandarizado a 60 Hertz o ciclos por segundo y de la constitución física del generador particularmente del número de polos (#p) con el que fue fabricado el generador aunque en algunos textos lo hacen referencia por los pares de polos (pp) entendiéndose como par de polos un polo norte más un polo sur lo que nos da el valor de la Velocidad Síncrona (n_s) en revoluciones por minuto:

$$n_s = 120 * \frac{f}{\#p}$$

$$n_s = 60 * \frac{f}{pp}$$

$$n_s = 120 * \frac{60}{2}$$

$$n_s = 60 * \frac{60}{1}$$

$n_s = 3600$ rpm. (Revoluciones Por Minuto).

Se recomienda para estos proyectos unos generadores denominados de baja, que hace referencia al nivel de revoluciones por minuto inferior que se pueda ocupar y por ende de mayor número de polos, pero debido al tamaño reducido por la potencia y la disponibilidad comercial solo se encuentra en el mercado activo generadores de 3600 rpm y a menor escala los de 1800 rpm.

El principal criterio que se debe manejar a la hora de seleccionar el tipo de turbina es el Número Específico De Revoluciones (n_{er}) llamado velocidad específica que es el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se trata de buscar y que daría una potencia de un caballo vapor CV al ser instalada en un salto de altura unitaria y es el que rige el estudio comparativo de la velocidad de las turbinas por lo que se ocupa como base para su clasificación y se calcula como se detalla a continuación:

$$n_{er} = ns * \frac{P_{cv}^{1/2}}{Hn^{5/4}}$$

$$n_{er} = 3600 \times \frac{3,876^{1/2}}{96,621^{5/4}}$$

$$n_{er} = 23,397.$$

Al analizar esta última ecuación, se ve que a grandes alturas, para una velocidad y potencia determinada se requiere de una máquina con velocidad específica baja como es el rodete Pelton o de rueda de acción o impulso, en tanto que las turbinas de flujo axial con una alta velocidad específica es la indicada para pequeñas alturas; aunque si se arregla para colocar el rodete a una baja altura con caudal determinado y para una potencia pequeña el rodete suele ser demasiado grande en comparación con la misma potencia generada pero a grandes alturas donde operan con una máxima economía y rendimiento si la altura es mayor a 100 metros y máximo 450 metros ya que a mayores alturas el riesgo por la cavitación y la resistencia de los materiales por soportar altas presiones, generalmente se lo ocupa a alturas de 300 metros, para alturas menores a 30 metros se ocupa turbinas tipo hélice.

Velocidad específica en r.p.m.	Tipo de turbina	Altura del salto en m .
Hasta 18	Pelton de un inyector	800
De 18 a 25	Pelton de un inyector	800 a 400
De 26 a 35	Pelton de un inyector	400 a 100
De 26 a 35	Pelton de dos inyectores	800 a 400
De 36 a 50	Pelton de dos inyectores	400 a 100
De 51 a 72	Pelton de cuatro inyectores	400 a 100
De 55 a 70	Francis muy lenta	400 a 200
De 70 a 120	Francis lenta	200 a 100
De 120 a 200	Francis normal	100 a 50
De 200 a 300	Francis rápida	50 a 25
De 300 a 450	Francis extrarrápida	25 a 15
De 400 a 500	Hélice extrarrápida	15
De 270 a 500	Kaplan lenta	50 a 15
De 500 a 800	Kaplan rápida	15 a 5
De 800 a 1100	Kaplan extrarrápida	Menos de 5

Tabla 11: Criterio de selección del tipo de turbina.

Fuente: (Crego, 2000)

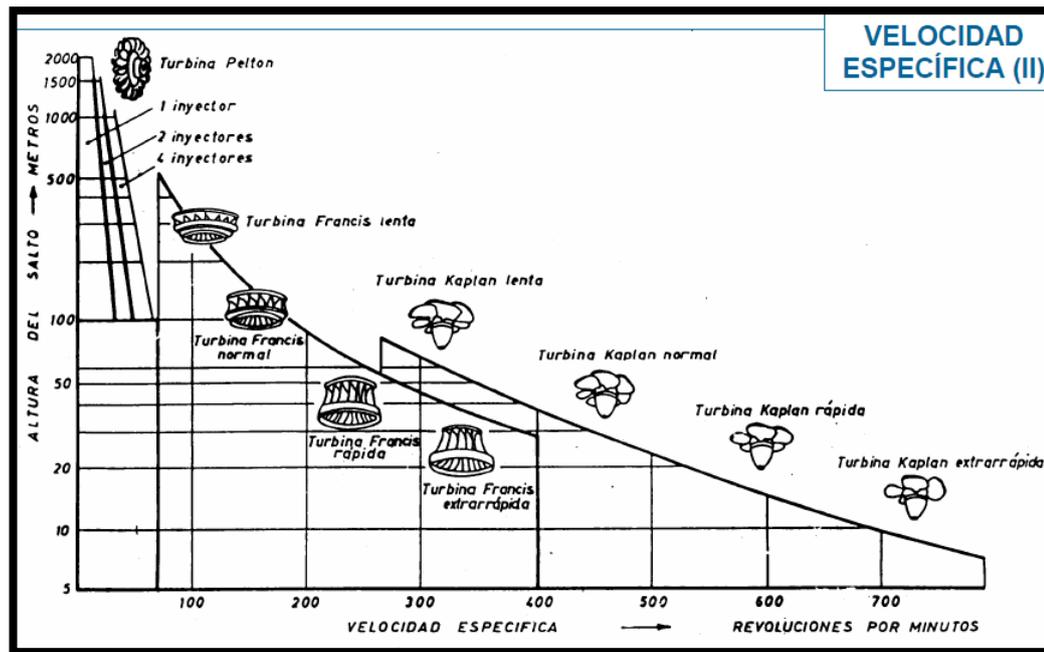


Figura 43: Tipos de turbinas de acuerdo a velocidad específica y altura.

Fuente: (Universidad de Oviedo, 2006)

2.5.2 Clases de Turbinas Pelton.

La subdivisión de las turbinas Pelton son rápidas cuando el número específico de revoluciones (n_{er}) es grande (mayores o iguales a 10) y lentas cuando el n_{er} es pequeño (< 10). Las turbinas Peltón son directamente proporcionales según la relación de revoluciones específicas con la de los diámetros, es decir, que las turbinas lentas tienen diámetros de rodets grandes pero con diámetro de chorro pequeño y consecuentes caudales y cucharas pequeñas en tanto que las turbinas rápidas tienen un diámetro de rodete pequeño, un diámetro de chorro grande y cucharas grandes.

2.5.3 Análisis del Triángulo De Velocidades Del Agua.

Tenemos listo el tipo de turbina por lo que su geometría se lo determina a partir del análisis de velocidades en el mismo momento en el que el chorro de agua hace contacto con la cuchara y en el punto de salida de la misma después de transmitir la energía potencial al rodete; partimos de determinar la velocidad en la salida inyector tomando en consideración las pérdidas por fricción en el inyector con su coeficiente de fricción KC que se estima varía entre 0,097 y 0,098 de acuerdo a:

$$C_i = KC * \sqrt{2 * g * H_n}$$

$$C_i = 0,0975 * \sqrt{2 * 9.806 \frac{m}{s^2} * 96,621m}$$

$$C_i = 42,4425 \frac{m}{s}$$

Que nos representa la Velocidad Absoluta de Salida del Chorro de Agua en la Tobera y que sería la misma con la Velocidad Absoluta de Entrada del Chorro de Agua en la Cuchara ya que sus dos puntos se encuentran demasiado próximos.

$$C_2 = C_i = 42,443 \frac{m}{s}$$

Para turbinas Peltón se tiene que el ángulo α_2 formado por la componente de velocidad absoluta C_2 y la velocidad tangencial U_2 es igual a cero de acuerdo al siguiente gráfico:

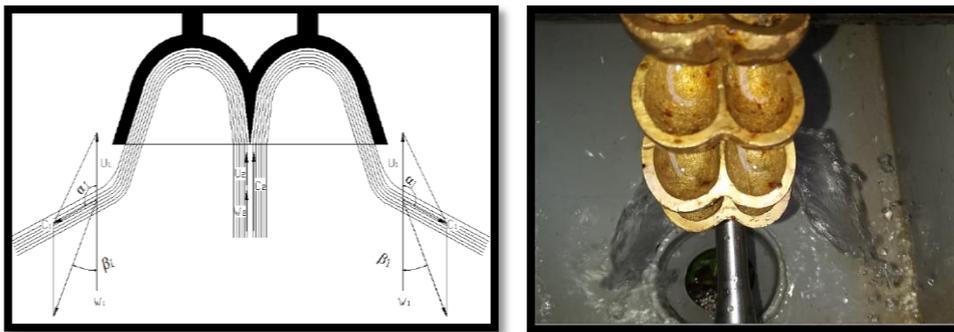


Figura 44: Diagrama de velocidades en las cucharas e imagen en la práctica del proyecto.

Fuente: (Bustamante & Arias, 2008).

Partimos de un coeficiente de velocidad tangencial K_U para turbinas Peltón que oscila entre $0,44 \leq K_U \leq 0,48$ y por tanto se obtiene que U_2 que es la velocidad tangencial de entrada del chorro de agua en la cuchara es de:

$$U_2 = K_U \times C_2 \times \cos \alpha_2$$

$$U_2 = 0.46 \times 42,4425 \times \cos 0 = 19,5236 \frac{m}{s}$$

Finalmente en cuanto a la entrada del agua hacia las cucharas o álabes del Rodete calculamos la velocidad relativa de acuerdo a la siguiente formulación:

$$W_2 = C_2 \times (1 - K_U)$$

$$W_2 = 42,4425419 \times (1 - 0.46) = 22,919 \frac{m}{s}$$

Pasamos ahora a la salida del agua de las cucharas a álabes del rodete donde tenemos un coeficiente de velocidad relativa por fricción con la superficie de la cuchara de $K_f = 0,98$ y calculamos su velocidad relativa de la salida del chorro de agua desde la cuchara que por el principio de continuidad tenemos:

$$W_1 = K_f \times C_2 \times (1 - K_U)$$

$$W_1 = K_f \times W_2$$

$$W_1 = 0,98 \times 22,919 \frac{m}{s} = 22,4606 \frac{m}{s}$$

Tenemos ahora que la velocidad tangencial de la salida del chorro de agua en la cuchara U_1 es igual a U_2 por estar a la misma distancia del centro giro en el rodete.

$$U_1 = U_2 = 19,5236 \frac{m}{s}$$

Tenemos el ángulo β_1 que es ángulo comprendido entre U_1 y W_1 en el triángulo de velocidades el mismo que se encuentra en el rango de $50 \leq \beta_1 \leq 200$ por lo que se tiene un valor para series estandarizadas de 10^0 y con lo que nos queda que la velocidad absoluta de salida del chorro de agua en la cuchara es de:

$$C_1 = C_2 \times \sqrt{KU^2 + Kf^2 * (1 - KU)^2 - 2 * KU * Kf * (1 - KU)\cos(\beta_1)}$$

$$C_1 = 42,4 \times \sqrt{0,46^2 + 0,98^2 * (1 - 0,46)^2 - 2 * 0,46 * 0,98 * (1 - 0,46)\cos(10)}$$

$$C_1 = 4,685 \frac{m}{s}$$

2.5.4 Rendimiento de la Turbina.

Ya con todos los valores de las velocidades y de sus coeficientes procedemos a calcular el rendimiento total de la turbina que es el que se usó en el cálculo de potencia generada el mismo que depende de la eficiencia hidráulica teórica de la turbina Pelton que depende de la forma, el paso, orientación de las cucharas así como del rozamiento con el inyector y de los accesorios instalados antes del mismo; en tanto que su eficiencia debido a las pérdidas generadas por choques, pérdidas

volumétricas, por fricción mecánicas y rozamiento con el aire o ventilación cuyo valor se lo tiene como referencia del orden del $\eta_{\text{pérdidas}} = 0.916$.

$$\eta_{\text{Turbina}} = \eta_{\text{Hidráulica Turbinas}} \times \eta_{\text{Pérdidas}}$$

En tanto que la eficiencia hidráulica teórica de la turbina se la calcula con la ecuación general de las turbinas que se detalla a continuación:

$$\eta_{\text{Hidráulica Turbina}} = 2 \times K_{C2} \times K_U \times (1 - K_U) \times (1 + K_f \times \cos \beta_1) .$$

$$\eta_{\text{Hidráulica Turbina}} = 2 \times 0,0975 \times 0.46 \times (1 - 0.46) \times (1 + 0,98 \times \cos 10^\circ) .$$

$$\eta_{\text{Hidráulica Turbina}} = 0,928064$$

$$\eta_{\text{Turbina}} = \eta_{\text{Hidráulica Turbinas}} \times \eta_{\text{Pérdidas}}$$

$$\eta_{\text{Turbina}} = 0,928 \times 0.916 = 0,850107.$$

Todos estos cálculos descritos y demás preliminares para orientación y selección de la óptima microturbina y microgenerador cuando varían los parámetros de caudal, altura y polos del generador en función de los disponibles comercialmente se los puede apreciar en la tabla 13 en donde en sus última tres filas se incluye el cálculo de pre factibilidad para la fase dos del proyecto a implementarse en un futuro no muy lejano en donde se puede observar que es pequeña la proporcionalidad que aumenta en tamaño general del rodete con sus cucharas o álabes así como el inyector comparado con la proporción que aumenta en potencia y sobre todo si se toma en consideración que al ser generadores más grandes ya se dispone de mayor número de polos por ejemplo de cuatro polos que nos da 1800 rpm siendo aún una turbina Pelton rápida pero ya con seis polos 1200 rpm pasa a ser una turbina lenta y por lo tanto tiene un diámetro de rodete más grande pero diámetro de chorro y cuchara más pequeño que al jugar con sus valores pueden llegar a ser las mismas cucharas pero en otra disposición de plato circular del rodete o en su defecto un mismo plato circular del rodete pero con otras cucharas y diámetro de chorros más grandes mientras el espacio físico para su colocación lo permita.

SISTEMA MICRO-HIDROELECTRICO PARA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA RENOVABLE

CALCULO PARA DISEÑO DE LA TURBINA PELTON																										
Datos Obtenidos Del Cálculo Hidráulico					Cálculo Microturbina y Número Especifico Revoluciones							Salida Agua Tobera/ Inyector		Entrada del Agua en las Cucharas o Alabes del Rodete					Salida Agua de las Cucharas del Rodete					Rendimiento Total de la Turbina		
Caudal	Altura Bruta O Salto de Caudal	Altura Neta	Aceleración Gravedad	Potencia Util o Neta Generada	Potencia Util en Caballos Vapor	Potencia Util o Neta Generada (kw)	Par	#p	f	n _s	n _{er}	K _c	C _i	C ₂	α ₂	K _{Uj}	U ₂	W ₂	K _f	W ₁	U ₁	β ₁	C ₁	η _{HidTurb}	η _{pérdidas}	η _{Turb}
Q	H _b	H _n	g	KVA	CV	KW	pp	#p	f	n _s	n _{er}	K _c	C _i	C ₂	α ₂	K _{Uj}	U ₂	W ₂	K _f	W ₁	U ₁	β ₁	C ₁	η _{HidTurb}	η _{pérdidas}	η _{Turb}
m ³ /s	metros	m	m/s ²				Par	u	Hz	rpm	rpm	Entre 0,97 y 0,98	m/s	m/s	Grados		m/s	m/s		m/s	m/s	Grados	m/s			
		$H_n = H_b - ((\Delta H^L/d) + \sum(k_1 + k_2 + \dots + k_n) \cdot v^2 / (2g))$			$kw/735,4$	$kw \cdot \cos \phi$				$120H/\#p = 60H/pp$	$n_{er} = (n_s \cdot P_{cv}^{1/2}) / H_n^{5/4}$	$K_c = (1 - (\Delta H / H_n))^{1/2}$	$C_i = K_c \cdot v^2 \cdot g \cdot H_n^{1/2}$	$C_2 = C_i$ por estar muy cercano salida tobera a cuchara	Para Pelton = 0°	$0,44 \leq K_{Uj} \leq 0,48$	$U_2 = K_{Uj} \cdot C_2 \cdot \cos(\alpha_2)$	$W_2 = C_2 \cdot (1 - K_{Uj})$	$K_f = 0,98$	$W_1 = K_f \cdot C_2 \cdot (1 - K_{Uj})$	$U_1 = U_2$ por estar a misma distancia del centro giro rodete	$5^\circ \leq \beta_1 \leq 20^\circ$ estándar 10°	$C_1 = C_2 \cdot (K_{Uj}^2 + K_{Uj}^2 \cdot (1 - K_{Uj})^2 - 2 \cdot K_{Uj} \cdot K_f \cdot (1 - K_{Uj}) \cdot \cos(\beta_1))^{1/2}$	$\eta_{HidTurb} = 2 \cdot K_{Uj}^2 \cdot C_2^2 \cdot K_{Uj} \cdot (1 - K_{Uj}) \cdot \cos(\beta_1)$	$\eta_{pérdidas}$ volúmetricas, por choque, por	$\eta_{Turb} = \eta_{HidTurb} \cdot \eta_{pérdidas}$
0,00149769	121	117,1178252	9,806	1462,0282	1,987805	1315,825	1	2	60	3600	13,1738751	0,975	46,72798542	46,72798542	0	0,46	21,4948732910	25,23311212	0,98	24,72844988	21,4949	10	5,158142732	0,928064237	0,916	0,850107
0,00149769	121	117,1178252	9,806	1462,0282	1,987805	1315,825	2	4	60	1800	6,586893755	0,975	46,72798542	46,72798542	0	0,46	21,4948732910	25,23311212	0,98	24,72844988	21,4949	10	5,158142732	0,928064237	0,916	0,850107
0,00266256	121	105,6868337	9,806	2345,4766	3,188961	2110,929	1	2	60	3600	18,97146963	0,975	44,38906543	44,38906543	0	0,46	20,4189700989	23,97009533	0,98	24,72844988	20,4190	10	4,89957342	0,928064237	0,916	0,850107
0,00266256	121	105,6868337	9,806	2345,4766	3,188961	2110,929	2	4	60	1800	9,485734816	0,975	44,38906543	44,38906543	0	0,46	20,4189700989	23,97009533	0,98	24,72844988	20,4190	10	4,89957342	0,928064237	0,916	0,850107
0,003	121	102,5254228	9,806	2563,679	3,485633	2307,311	1	2	60	3600	20,6017394	0,975	43,72011971	43,72011971	0	0,46	20,1112550676	23,60886464	0,98	23,13668735	20,1113	10	4,826114709	0,928064237	0,916	0,850107
0,003	121	102,5254228	9,806	2563,679	3,485633	2307,311	2	4	60	1800	10,3008697	0,975	43,72011971	43,72011971	0	0,46	20,1112550676	23,60886464	0,98	23,13668735	20,1113	10	4,826114709	0,928064237	0,916	0,850107
0,003	121	102,5254228	9,806	2563,679	3,485633	2307,311	3	6	60	1200	6,867246466	0,975	43,72011971	43,72011971	0	0,46	20,1112550676	23,60886464	0,98	23,13668735	20,1113	10	4,826114709	0,928064237	0,916	0,850107
0,0033	121	99,2301793	9,806	2729,4084	3,710963	2456,468	1	2	60	3600	22,14323538	0,975	43,011783	43,011783	0	0,46	19,7854201779	23,22636282	0,98	22,76183556	19,7854	10	4,747923838	0,928064237	0,916	0,850107
0,0033	121	99,2301793	9,806	2729,4084	3,710963	2456,468	2	4	60	1800	11,07161769	0,975	43,011783	43,011783	0	0,46	19,7854201779	23,22636282	0,98	22,76183556	19,7854	10	4,747923838	0,928064237	0,916	0,850107
0,0033	121	99,2301793	9,806	2729,4084	3,710963	2456,468	3	6	60	1200	7,381078459	0,975	43,011783	43,011783	0	0,46	19,7854201779	23,22636282	0,98	22,76183556	19,7854	10	4,747923838	0,928064237	0,916	0,850107
0,0033	121	99,2301793	9,806	2729,4084	3,710963	2456,468	4	8	60	900	5,535808844	0,975	43,011783	43,011783	0	0,46	19,7854201779	23,22636282	0,98	22,76183556	19,7854	10	4,747923838	0,928064237	0,916	0,850107
0,00354	121	96,62102882	9,806	2850,9246	3,876179	2565,832	1	2	60	3600	23,39725059	0,975	42,44254197	42,44254197	0	0,46	19,5235693050	22,91897266	0,98	22,46059321	19,5236	10	4,685087264	0,928064237	0,916	0,850107
0,00354	121	96,62102882	9,806	2850,9246	3,876179	2565,832	2	4	60	1800	11,69862529	0,975	42,44254197	42,44254197	0	0,46	19,5235693050	22,91897266	0,98	22,46059321	19,5236	10	4,685087264	0,928064237	0,916	0,850107
0,00354	121	96,62102882	9,806	2850,9246	3,876179	2565,832	3	6	60	1200	7,799083529	0,975	42,44254197	42,44254197	0	0,46	19,5235693050	22,91897266	0,98	22,46059321	19,5236	10	4,685087264	0,928064237	0,916	0,850107
0,00354	121	96,62102882	9,806	2850,9246	3,876179	2565,832	4	8	60	900	5,849312647	0,975	42,44254197	42,44254197	0	0,46	19,5235693050	22,91897266	0,98	22,46059321	19,5236	10	4,685087264	0,928064237	0,916	0,850107
0,00354	121	96,62102882	9,806	2850,9246	3,876179	2565,832	5	10	60	720	4,679450118	0,975	42,44254197	42,44254197	0	0,46	19,5235693050	22,91897266	0,98	22,46059321	19,5236	10	4,685087264	0,928064237	0,916	0,850107
0,00354	121	96,62102882	9,806	2850,9246	3,876179	2565,832	6	12	60	600	3,899541765	0,975	42,44254197	42,44254197	0	0,46	19,5235693050	22,91897266	0,98	22,46059321	19,5236	10	4,685087264	0,928064237	0,916	0,850107
0,0037	121	94,36747778	9,806	2910,2807	3,956881	2619,253	1	2	60	3600	24,34731306	0,975	41,94466515	41,94466515	0	0,46	19,2945459710	22,65011918	0,98	22,1971168	19,2945	10	4,630128343	0,928064237	0,916	0,850107
0,0037	121	94,36747778	9,806	2910,2807	3,956881	2619,253	2	4	60	1800	12,17376653	0,975	41,94466515	41,94466515	0	0,46	19,2945459710	22,65011918	0,98	22,1971168	19,2945	10	4,630128343	0,928064237	0,916	0,850107
0,0037	121	94,36747778	9,806	2910,2807	3,956881	2619,253	3	6	60	1200	8,11577102	0,975	41,94466515	41,94466515	0	0,46	19,2945459710	22,65011918	0,98	22,1971168	19,2945	10	4,630128343	0,928064237	0,916	0,850107
0,0038	121	93,68335836	9,806	2967,2686	4,034363	2670,542	1	2	60	3600	24,80915079	0,975	41,79234914	41,79234914	0	0,46	19,2244806051	22,56786854	0,98	22,11651117	19,2245	10	4,613314699	0,928064237	0,916	0,850107
0,0038	121	93,68335836	9,806	2967,2686	4,034363	2670,542	2	4	60	1800	12,40457539	0,975	41,79234914	41,79234914	0	0,46	19,2244806051	22,56786854	0,98	22,11651117	19,2245	10	4,613314699	0,928064237	0,916	0,850107
0,0038	121	93,68335836	9,806	2967,2686	4,034363	2670,542	3	6	60	1200	8,269716929	0,975	41,79234914	41,79234914	0	0,46	19,2244806051	22,56786854	0,98	22,11651117	19,2245	10	4,613314699	0,928064237	0,916	0,850107
0,004	121	90,73225303	9,806	3025,0496	4,112923	2722,545	1	2	60	3600	26,07207896	0,975	41,12883477	41,12883477	0	0,46	18,9192639955	22,20957078	0,98	21,76537936	18,9193	10	4,540071614	0,928064237	0,916	0,850107
0,004	121	90,73225303	9,806	3025,0496	4,112923	2722,545	2	4	60	1800	13,03603948	0,975	41,12883477	41,12883477	0	0,46	18,9192639955	22,20957078	0,98	21,76537936	18,9193	10	4,540071614	0,928064237	0,916	0,850107
0,004	121	90,73225303	9,806	3025,0496	4,112923	2722,545	3	6	60	1200	8,690692988	0,975	41,12883477	41,12883477	0	0,46	18,9192639955	22,20957078	0,98	21,76537936	18,9193	10	4,540071614	0,928064237	0,916	0,850107
0,0045	121	83,7791099	9,806	3142,3827	4,272451	2828,144	1	2	60	3600	29,35765679	0,975	39,52150086	39,52150086	0	0,46	18,1798903978	21,34161047	0,98	20,91477826	18,1799	10	4,362643513	0,928064237	0,916	0,850107
0,0045	121	83,7791099	9,806	3142,3827	4,272451	2828,144	2	4	60	1800	14,6788284	0,975	39,52150086	39,52150086	0	0,46	18,1798903978	21,34161047	0,98	20,91477826	18,1799	10	4,362643513	0,928064237	0,916	0,850107
0,0045	121	83,7791099	9,806	3142,3827	4,272451	2828,144	3	6	60	1200	9,78588598	0,975	39,52150086	39,52150086	0	0,46	18,1798903978	21,34161047	0,98	20,91477826	18,1799	10	4,362643513	0,928064237	0,916	0,850107
0,01	162	135,32	9,806	10715,2	14,56862	9643,68	1	2	60	3600	29,77208057	0,975	50,22807714	50,22807714	0	0,46	23,1049154831	27,12316165	0,98	26,58069842	23,1049	10	5,544505904	0,928064237	0,916	0,850107
0,01	162	135,32	9,806	10715,2	14,56862	9643,68	2	4	60	1800	14,88604029	0,975	50,22807714	50,22807714	0	0,46	23,1049154831	27,12316165	0,98	26,58069842	23,1049	10	5,544505904	0,928064237	0,916	0,850107
0,01	162	135,32	9,806	10715,2	14,56862	9643,68	3	6	60	1200	9,924026858	0,975	50,22807714	50,22807714	0	0,46	23,1049154831	27,12316165	0,98	26,58069842	23,1049	10	5,544505904	0,928064237	0,916	0,850107

Tabla 12: Cálculo para selección de microturbina, Número Especifico Revoluciones, velocidades y rendimiento.

Fuente: (Autor, 2014).

2.6 Cálculo y Diseño del Inyector.

Se recomienda su construcción en bronce o acero inoxidable por las condiciones de trabajo al cual se encuentra sometido, consta de una especie de codo de sección circular de dos pulgadas de ingreso en la cual en su primera parte se incorpora un mecanismo de aguja con la punta en forma de bulbo con la finalidad de regular el caudal y por ende la presión, debe tener una seguridad para que no se cierre por completo para evitar producir el golpe de ariete que son ondas que al chocar contra la pared que cierra se regresan en formas de olas hacia el ingreso por lo que si no dispone de una chimenea para desfogar estas sobrepresiones podría colapsar.

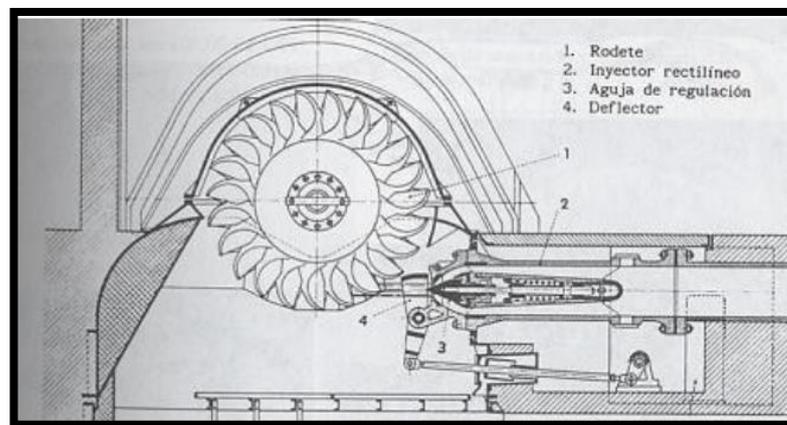


Figura 45: Ubicación del rodete, Deflector, Inyector y su Aguja de regulación de la turbina Pelton.

Fuente: (Bustamante & Arias, 2008).

A partir de ahora en adelante las proyecciones y diseños de componentes y del inyector mismo llamado también tobera se basan en el diámetro del chorro el cual se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$d_o = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot KC \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}} \quad [\text{metros}]$$

En donde KC es el coeficiente de la velocidad de la tobera y en la práctica no varía mucho con el caudal y su valor oscila entre 0.970 y 0.980.

$$d_o = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot 0,00354}{\pi \cdot 0,975 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,806 \cdot 96,621}}} \times 1000 \quad [\text{milímetros}]$$

$$d_o = 10,3052 \text{ milímetros.}$$

Para garantizar este chorro vamos a realizar la boca del tubo de 10.5 milímetros la cual deberá ser reforzada para evitar que se haga cónica o dañe por la presión con la que sale el agua y sobre todo si trae partículas de suciedad lodo y/o arena que corroan la boca de salida del inyector.

Con lo que vamos a dar un margen de variación máximo en la salida de la Tobera o Inyector que se lo calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Margen variación} = \left(\frac{d_0}{d_i}\right)^2$$

$$\text{Margen variación} = \left(\frac{10,3052}{10,5}\right)^2$$

$$\text{Margen variación r} = 0.96325 = 96,325\%$$

Es decir que el codo del inyector en la parte final consta de una reducción cónica circular a 10.6 milímetros que de acuerdo a Tabla 8 es un poco menos de media pulgada en la cual se da una fuerte aceleración del agua para transformar en trabajo al pegar contra los álabes del rodete por lo cual se recomienda construir la punta del bulbo y la aguja del bulbo así como la salida del inyector en unidades por separado para su fácil reemplazo en caso de avería o desgaste por la corrosión debido a partículas o suciedades que llegan con el agua a esta gran velocidad y alta presión .



Figura 46: Proceso construcción del inyector para diámetro de Chorro.

Fuente: (Autor, 2015).

Este codo tiene un radio de curvatura grande con la finalidad de evitar desprendimientos, este y más valores lo podemos apreciar a continuación donde podemos observar el cálculo para caudales y alturas cercanas para tener presente como varía en función de los mismos y así como también al final los preliminares para la implementación de la fase dos del proyecto.

SISTEMA MICRO-HIDROELECTRICO PARA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA RENOVABLE

Cálculo para Diseño del Bulbo de la Aguja de la Tobera o Inyector de la Turbina Pelton																												
Datos Preliminares para el Cálculo					Salida Agua de Tobera		Diseño y Dimensiones de la Tobera o Inyector								Diseño y Dimensiones del Bulbo o Aguja para la Tobera o Inyector								Especificaciones					
Caudal	Altura Bruta O Salto de Caudal	Altura Neta	Aceleración Gravedad	Potencia Util o Neta Generada	Coefficiente de Velocidad por Pérdidas Fricción en Inyector	Diámetro de la Sección del Chorro de Agua a la Salida de la Tobera a o Inyector	Diámetro de la Salida o Boca de la Tobera o Inyector	Rendimiento de la Tobera o Inyector	r	l	d2	d1	dt	dt _{maximo}	l	α ₀	α ₁	dv	b	a	x	Y	C _i	A _N	A _{Nmax}	Q _N	Q _{Nmax}	η _{tobera}
Q	H _b	H _n	g	KVA	K _c	d _o	d _i	η _{inyector}	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	grados	grados	mm	mm	mm	mm	grados	m/Seg	m ²	m ²	m ³ /Seg	m ³ /Seg	adimensional
m ³ /s	metros	m	m/s ²		Entre 0,97 y 0,98	mm	mm	adimensional	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	grados	grados	mm	mm	mm	mm	grados	m/Seg	m ²	m ²	m ³ /Seg	m ³ /Seg	adimensional
		$H_n = H_b - ((\lambda \cdot L/d) + \sum (k_1 + k_2 + \dots + k_n)) \cdot V^2 / (2g)$			$K_c = 1 - (\Delta H / H_n) \wedge (L / Z)$	$d_o = (((4 \cdot Q) / (\pi \cdot K_c \cdot (2 \cdot g \cdot H_n) \wedge (1/2))) \wedge (L / Z)) \cdot 1000$	$\eta_i = (d_o / d_i) \wedge (Z)$		$r = 1,5 \cdot d_i$	$l = 6 \cdot d_i$	$d_2 = 4,5 \cdot d_i$	$d_1 = 2,5 \cdot d_i$	$dt = 1,1 \cdot d_i$	$dt_{maximo} = 1,25 \cdot d_i$	$l = 0,6 / Z$	$40 \leq \alpha_0 \leq 60$	$60 \leq \alpha_1 \leq 90$	$dv = 0,58 \cdot d_i$	$b = 3,25 \cdot d$	$a = d_i \cdot 1,42$	$x = 0,5 \cdot d_i$	$20 \leq Y \leq 30$	$C_i = K_c \cdot (2 \cdot g \cdot H_n) \wedge (1/2)$	$A_{Nmax} = \pi \cdot d_i^2 / 4$	$A_{Nmax} = \pi \cdot d_{Nmax}^2 / 4$	$Q_N = A_N \cdot Velocidad$	$Q_{Nmax} = A_{Nmax} \cdot Velocidad$	$\eta_{tobera} = (C_i \cdot Z) / (2 \cdot g \cdot H_n)$
0,01	30	25,2536	9,806	1959,6713	0,975	24,2238	26	0,8680	390	156	117	65	28,6	32,5	16,25	50	70	15,08	84,5	36,92	13	25	21,698361	0,0005309	0,0008296	0,0115203	0,018000457	0,950625
0,01	30	25,2536	9,806	1959,6713	0,975	24,2238	26	0,8680	390	156	117	65	28,6	32,5	16,25	50	70	15,08	84,5	36,92	13	25	21,698361	0,0005309	0,0008296	0,0115203	0,018000457	0,950625
0,000452588	118	108,6680	9,806	409,93566	0,975	3,5781	3,7	0,9352	55,5	22,2	16,65	9,25	4,07	4,625	2,3125	50	70	2,146	12,025	5,254	1,85	25	45,0107744	0,0000108	0,0000168	0,0004840	0,000756188	0,950625
0,00149769	118	113,8107	9,806	1420,7438	0,975	6,4341	6,7	0,9222	100,5	40,2	30,15	16,75	7,37	8,375	4,1875	50	70	3,886	21,775	9,514	3,35	25	46,0635139	0,0000353	0,0000551	0,0016240	0,002537562	0,950625
0,00149769	118	114,7922	9,806	1432,996	0,975	6,4203	6,6	0,9463	99	39,6	29,7	16,5	7,26	8,25	4,125	50	70	3,828	21,45	9,372	3,3	25	46,2617095	0,0000342	0,0000535	0,0015827	0,002472973	0,950625
0,00266256	118	107,8617	9,806	2393,7417	0,975	8,6947	8,9	0,9544	133,5	53,4	40,05	22,25	9,79	11,125	5,5625	50	70	5,162	28,925	12,638	4,45	25	44,8434573	0,0000622	0,0000972	0,0027898	0,004359021	0,950625
0,003	118	105,1290	9,806	2628,7832	0,975	9,2886	9,5	0,9560	142,5	57	42,75	23,75	10,45	11,875	5,9375	50	70	5,51	30,875	13,49	4,75	25	44,271772	0,0000709	0,0001108	0,0031381	0,00490325	0,950625
0,0033	118	102,4261	9,806	2817,3159	0,975	9,8057	10	0,9615	150	60	45	25	11	12,5	6,25	50	70	5,8	32,5	14,2	5	25	43,6989453	0,0000785	0,0001227	0,0034321	0,005362667	0,950625
0,0035	118	100,4812	9,806	2931,3227	0,975	10,1469	10,3	0,9705	154,5	61,8	46,35	25,75	11,33	12,875	6,4375	50	70	5,974	33,475	14,626	5,15	25	43,2820624	0,0000833	0,0001302	0,0036064	0,005634979	0,950625
0,0037	118	98,4218	9,806	3035,3167	0,975	10,4870	10,7	0,9606	160,5	64,2	48,15	26,75	11,77	13,375	6,6875	50	70	6,206	34,775	15,194	5,35	25	42,8362351	0,0000899	0,0001405	0,0038518	0,006018507	0,950625
0,0038	118	97,3493	9,806	3083,38	0,975	10,6569	10,8	0,9737	162	64,8	48,6	27	11,88	13,5	6,75	50	70	6,264	35,1	15,336	5,4	25	42,6021856	0,0000916	0,0001431	0,0039027	0,006098026	0,950625
0,004	118	95,1183	9,806	3171,2819	0,975	10,9973	11,2	0,9641	168	67,2	50,4	28	12,32	14	7	50	70	6,496	36,4	15,904	5,6	25	42,1111962	0,0000985	0,0001539	0,0041488	0,006482515	0,950625
0,0045	118	89,0403	9,806	3339,7205	0,975	11,8586	12	0,9766	180	72	54	30	13,2	15	7,5	50	70	6,96	39	17,04	6	25	40,7435584	0,0001131	0,0001767	0,0046080	0,007199981	0,950625
0,005	118	82,2473	9,806	3427,6986	0,975	12,7505	12,8	0,9923	192	76,8	57,6	32	14,08	16	8	50	70	7,424	41,6	18,176	6,4	25	39,1585374	0,0001287	0,0002011	0,0050389	0,007873291	0,950625
0,01	162	135,3200	9,806	10715,22	0,975	15,9214	16	0,9902	240	96	72	40	17,6	20	10	50	70	9,28	52	22,72	8	25	50,2280771	0,0002011	0,0003142	0,0100990	0,015779616	0,950625

Tabla 13: Cálculo para inyector de la turbina Pelton y dimensiones de sus partes.

Fuente: (Autor, 2014).

Así también vemos las dimensiones de los componentes y partes internas del inyector que se los elaborará de acuerdo a la siguiente gráfica:

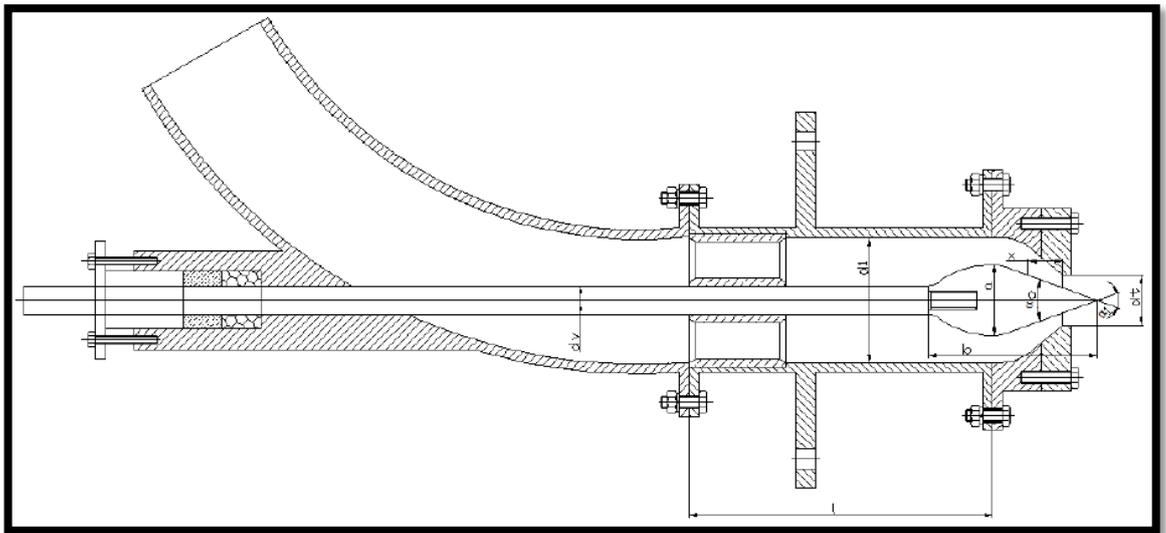


Figura 47: Partes constitutivas con sus dimensiones del Inyector y su Bulbo de la turbina Pelton.

Fuente: (Bustamante & Arias, 2008).

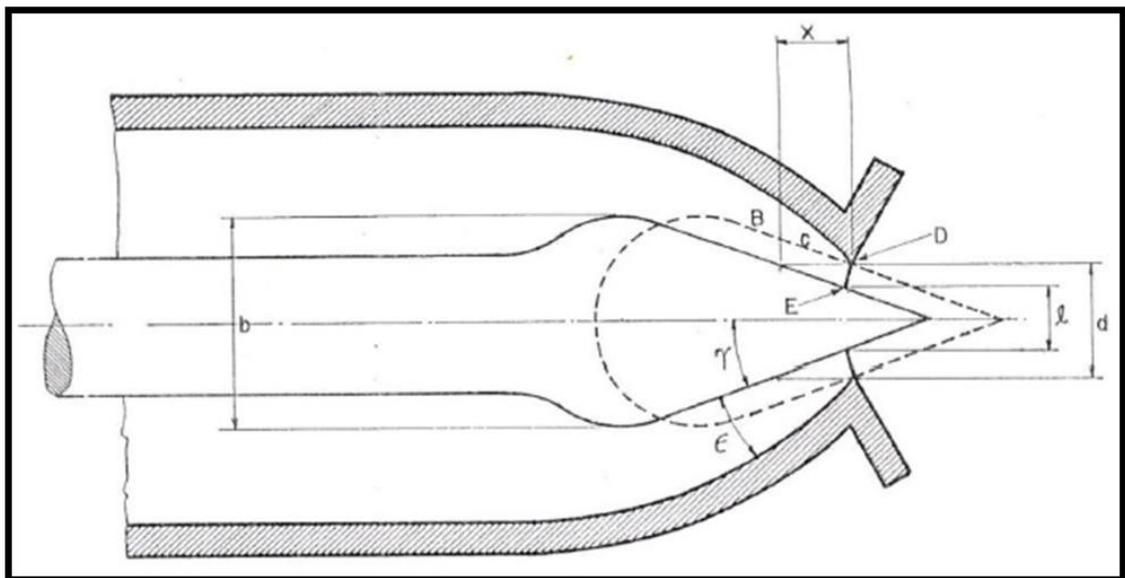


Figura 48: Movimiento de la aguja con su Bulbo para regulación del Inyector de la turbina.

Fuente: (Bustamante & Arias, 2008).

2.6.1 Rendimiento del Inyector.

El rendimiento total de la Tobera o Inyector depende de la velocidad del chorro de agua a la salida del inyector, del salto geodésico o altura neta y

básicamente representa el porcentaje aprovechable descontando las pérdidas por rozamiento en las paredes del inyector, se lo calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\eta_{\text{inyector}} = \frac{\frac{Ci^2}{2 \times g}}{H}$$

$$\eta_{\text{inyector}} = \frac{\frac{43,0118^2}{2 \times 9,806}}{96,62103}$$

$$\eta_{\text{inyector}} = 0,976295640224435 \text{ } 97.63 \%$$

Y finalmente tenemos el caudal nominal que va en la placa de la turbina:

$$Q_{\text{nominal}} = A \times V$$

$$Q_{\text{nominal}} = \left(\pi \times \frac{do^2}{4} \right) \times Ci.$$

$$Q_{\text{nominal}} = \left(\pi \times \frac{10,3051898466681^2}{4} \right) \times 43,01178$$

$$Q_{\text{nominal}} = 0,003587479 \frac{m^3}{s}$$



Figura 49: Pruebas y ensamblaje del inyector con sistema de conexión y sujeción a usar en proyecto.

Fuente (Autor, 2015).

De las primeras pruebas realizadas se observó que impurezas como piedras pequeñas o arenas de tamaño considerables pero de menor tamaño que el agujero de salida del inyector salía con una velocidad considerable y golpean duro los alabes o cucharas y una en especial que logró ingresar de tamaño mayor que el agujero se

clavó con tal fuerza que cerro bruscamente el paso del agua en su totalidad lo que provocó que fallen las abrazaderas industriales en las uniones de las mangueras de presión y la última en particular se fuese hacia abajo por la presión por lo que para evitar este particular y tomando en consideración la futura aplicación de acuacultura se diseñó un sistema cernidor de impurezas detallado a continuación.

2.6.2 Sistema seguridad del inyector.

La toma de agua consta de un sistema cernidor de impurezas que consiste en dos anillos cerrados de manguera de dos pulgadas con un total de 15 metros de longitud con agujeros en sus cuatro costados con la finalidad de evitar que ingresen impurezas grandes que puedan obstaculizar la salida de los inyectores como ocurrió en una de las pruebas preliminares para posterior a su colocación proceder con el llenado del pozo con una altura promedio de 1.70 metros.



Figura 50: Profundidad del pozo y sistema anti impurezas para el inyector.

Fuente: (Autor, 2015).

2.7 Cálculo y diseño de los alabes o cucharas del rodete.

Los álabes tienen la forma de dos cucharas unidas, es decir, son dos semi elipsoides a cuya unión se le denomina cresta o nervio con la finalidad de que el fluido pegue en el nervio y divida mitad del fluido hacia la una cuchara y la otra mitad hacia la otra cuchara eliminando mutuamente la fuerza axial de la una mitad con la otra mitad y termina expulsada por sus costados logrando que se transmita la energía con la que llega el agua hacia las cucharas y consecuentemente al rodete y

por ende hacia su eje la energía cinética, presión y potencial debido a la velocidad y la altura. (Bustamante & Arias, 2008).

Se recomienda que el material a utilizarse sea resistente al desgaste por rozamiento y corrosión del agua y lo suficientemente duro para resistir las máximas fuerzas presentes ya sea la fuerza de presión de empuje del agua cuando el eje esta frenado y la fuerza centrífuga cuando se embala y así mismo la mezcla de las dos cuando se encuentra en régimen de trabajo normal.

El material que mayormente se usa en muy pequeñas alturas del salto geodésico son fundiciones de metal y/o aluminio, para grandes cucharas es el acero inoxidable o bronce por su resistencia y ductilidad y maleabilidad y para grandes centrales se usan con aleaciones entre ellas las de níquel.

El número de cucharas y su ángulo se encuentra normado en tablas y se calcula en función de la frecuencia y de la velocidad de rotación del generador que a su vez define el número específico de revoluciones por lo que partimos de la siguiente relación de diámetros entre el diámetro Pelton D_P que es el diámetro de paso de la turbina versus el diámetro del chorro, esto lo tenemos a través de las siguientes ecuaciones:

$$D_P = \frac{f \cdot K_u \cdot \sqrt[2]{2 \cdot g \cdot H}}{\pi \cdot N_e r} * 1000 \quad [mm]$$

Donde K_u lo determinamos anteriormente en el análisis de velocidad tangencial y varía entre 0,44 y 0,48, por lo tanto al reemplazar valores tenemos:

$$D_P = \frac{60 * 0,46 * \sqrt[2]{2 * 9.806 * 96,621029}}{\pi * 23,389282} \times 1000 [mm]$$

$$D_P = 106,23154 [mm]$$

La Relación de diámetros Pelton D_P versus diámetro del chorro.

$$\delta = \frac{d_o}{D_p}$$

$$\delta = \frac{10,3051898466681 \text{ mm}}{106,231540570566 \text{ mm}}$$

$$\delta = 0,09700688$$

Este valor es muy importante ya que si δ tiene un valor excesivamente alto se tendría un caudal más grande y como las cucharas son proporcionales al diámetro del chorro estas serían más grandes que no caben en el rodete.

En cambio si δ es demasiada pequeña se pierde la calidad del chorro del agua al tener que recorrer una gran distancia desde la salida de la tobera además que implica disminuir el número específico de revoluciones con lo que aumenta el número de cucharas y por ser tan denso choca el chorro de agua de la cuchara con el dorso de la siguiente cuchara y así sucesivamente.

Por lo tanto se presentan los rangos de valores permitidos de acuerdo a la relación δ :

El valor del límite práctico del bajo rendimiento se encuentra cuando la relación de diámetros δ oscila entre los siguientes valores $\frac{1}{100} < \delta < \frac{1}{7}$ es decir:

$$0.01 < \delta < 0,142857$$

El valor del límite práctico del buen rendimiento se encuentra cuando la relación de diámetros δ oscila entre los siguientes valores $\frac{1}{30} < \delta < \frac{1}{9}$

$$0,03333 < \delta < 0,111111.$$

Es por ello que de la relación inversa $1/\delta$ es decir D_p/d_0 se determina o calcula el porcentaje de rendimiento de la turbina que para tener una idea si $1/\delta = D_p/d_0$ está en 6.5 se tiene un rendimiento de 82% en tanto que si $1/\delta = D_p/d_0 = 20$ estamos en un valor de 90%.

Por lo que nos encontramos con un número específico de revoluciones de 23,397 que corresponde a una turbina Pelton rápida y dentro del límite del buen rendimiento $\delta = \frac{1}{10.29}$ con lo que aproximadamente estamos en un porcentaje de rendimiento del 89,1%.

$$\frac{1}{\delta} = \frac{D_p}{d_0}$$

$$\frac{1}{\delta} = 10,3$$

Con esta relación de $1/\delta = D_p/d_0 = 10,3$ de la siguiente tabla obtenemos el valor mínimo de cucharas de 18 y máximo de 23 con sus respectivos valores de ángulos, nos quedamos con el valor de 18 para nuestro proyecto y un ángulo de 7 grados por lo que podemos pasar al siguiente punto.

$\frac{D_p}{d}$	Número de cucharas (Z)										
	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
15	10°	9°	8°	7°	6°	5°	4°	-	-	-	-
14	-	10°	9°	8°	7°	6°	5°	-	-	-	-
13	-	-	11°	9°	8°	7°	6°	4°	-	-	-
12	-	-	-	11°	10°	9°	7°	6°	-	-	-
11	-	-	-	14°	12°	11°	9°	8°	6°	-	-
10	-	-	-	-	16°	14°	12°	11°	9°	7°	-
9	-	-	-	-	-	18°	16°	14°	12°	10°	-
8	-	-	-	-	-	25°	23°	20°	18°	15°	13°
7,5	-	-	-	-	-	30°	27°	27°	22°	19°	16°

Tabla 14: Número de cucharas con ángulos β_4 en función de relación D_p/d_0 .

Fuente: (Hernández e Indacochea 1988).

2.8 Diámetro de la circunferencia al girar la punta del rodete.

Determinamos el diámetro de la circunferencia de la punta de la arista de la cuchara al girar el rodete ya que de este valor encontramos el tamaño total del rodete a partir de la siguiente ecuación: (Bustamante & Arias, 2008).

$$D_a = D_p + 2 \times d_i$$

$$D_a = 106,23154 + 2 \times 10.5$$

$$D_a = 127,232 \text{ mm}$$

Se utiliza el método gráfico para el diseño del mismo el cual va en función del diámetro del chorro de agua y se lo va a determinar los valores a partir de la siguiente tabla con sus correspondientes gráficas respectivamente:

SISTEMA MICRO-HIDROELECTRICO PARA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA RENOVABLE

Cálculo Para Diseño de las Cucharas Pelton																											
Datos del cálculo Hidráulico							Salida Agua de la Tobera o Inyector					Datos y Especificaciones constructivas Constructivos															
Caudal	Altura Bruta O Salto de Caudal	Altura Neta	Aceleración Gravedad	Potencia Utilio Neta Generada	Potencia Util en Caballos Vapor	Velocidad Sincrona	Número Especifico De Revoluciones	Coefficiente de Velocidad por Pérdidas por Fricción en el inyector	Diámetro de la Sección del Chorro de Agua a la Salida de la Tobera o Inyector	Diámetro de la Salida o Boca de la Tobera	Coefficiente de Velocidad Tangencial	Diámetro Pelton	Relación entre Diámetro Pelton y Diámetro de sección del chorro	Validación de la relación de diámetros	Relación Inversa 1/δ = Dp/do	Dimensión de los álaves o cucharas Pelton.										Diámetro de la circunferencia al girar la punta de la arista del rodete	
Q	H _b	H _n	g	KVA	CV	n _s	n _{er}	K _c	d _o	d _i	K _U	D _p	δ	δ	1/δ	B	L	D	f	M	e	β ₁	β ₂	l	β ₃	β ₄	Da
m ³ /s	metros	m	m/s ²			rpm	rpm	Entre 0,97 y 0,98	mm	mm		mm	dimensional	dimensional	dimensional	mm	mm	mm	mm	mm	mm	grados	grados	mm	grados	grados	mm
		$H_n = H_b - ((\lambda * L / d) + \sum (k_1 + k_2 + \dots + k_n)) * V^2 / (2g)$			kw/736	$120 * f / p = 60 * f / pp$	$n_{er} = (n_s * P_{cv}^{-1/3}) / H_n^{5/4}$	$K_c = (1 - (\Delta H / H_n))^{1/2}$	$d_o = (((4 * Q) / (\pi * K_c * (2 * g * H_n))^{1/2}))^{1/2} * 1000$		$0,44 \leq K_u \leq 0,48$	$D_p = (((\pi * K_U * (2 * g * H_n)^{1/2}) / (\pi * n_{er})) * 1000$	$\delta = d_o / D_p$	$\delta = n_{er} / 240$	$1/\delta = D_p / d_o$	$B = 3 * d_i$	$L = 2,8 * d_i$	$D = 0,9 * d_i$	$f = 0,9 * d_i$	$M = 1 * d_i$	$e = 0,45 d$	$12 \leq \beta_1 \leq 18$	$14 \leq \beta_2 \leq 18$	$l = 1,6 * d_i$	$4 \leq \beta_3 \leq 6$	$11 \leq \beta_4 \leq 15$	$D_a = D_p + 2 * d_i$
0,00045259	121	101,36882	9,806	382,400324	0,5195657	1800	4,03378012	0,975	3,64080733	3,8	0,46	217,6205	0,01673007	0,01680742	59,7726005	11,4	10,64	3,42	3,42	3,8	1,71	15	16	6,08	5	13	225,220522
0,00149769	121	113,81068	9,806	1462,02818	1,9864513	3600	13,6493729	0,975	6,43409534	6,6	0,46	115,2947	0,05580567	0,05687239	17,9193258	19,8	18,48	5,94	5,94	6,6	2,97	15	16	10,56	5	13	128,494651
0,00149769	121	113,81068	9,806	1462,02818	1,9864513	1800	6,82468644	0,975	6,43409534	6,7	0,46	230,5893	0,02790284	0,02843619	35,8386516	20,1	18,76	6,03	6,03	6,7	3,015	15	16	10,72	5	13	243,989301
0,003	121	102,52542	9,806	2563,67895	3,4832594	3600	20,5947228	0,975	9,34705968	9,5	0,46	109,4293	0,08541646	0,08581135	11,7073451	28,5	26,6	8,55	8,55	9,5	4,275	15	16	15,2	5	13	128,429253
0,0033	121	99,230179	9,806	2729,40844	3,7084354	3600	22,1356938	0,975	9,88367159	10	0,46	107,6563	0,09180763	0,09223206	10,8923411	30	28	9	9	10	4,5	15	16	16	5	13	127,656322
0,00354	121	96,621029	9,806	2850,92462	3,8735389	3600	23,3892819	0,975	10,3051898	10,5	0,46	106,2315	0,09700688	0,09745534	10,3085476	31,5	29,4	9,45	9,45	10,5	4,725	15	16	16,8	5	7	127,231541
0,0354	121	96,621029	9,806	2850,92462	3,8735389	1800	11,694641	0,975	32,5878716	10,5	0,46	212,4631	0,15338134	0,04872767	6,51969799	31,5	29,4	9,45	9,45	10,5	4,725	15	16	16,8	5	13	233,463081
0,0037	121	94,367478	9,806	2910,28075	3,9541858	3600	24,3390208	0,975	10,5978448	10,8	0,46	104,9854	0,10094591	0,10141259	9,90629528	32,4	30,24	9,72	9,72	10,8	4,86	5	13	17,28	5	13	126,58538
0,0038	121	93,683358	9,806	2967,26861	4,031615	3600	24,8007013	0,975	10,759658	11	0,46	104,6041	0,10286073	0,10333626	9,72188345	33	30,8	9,9	9,9	11	4,95	15	16	17,6	5	13	126,604141
0,004	121	90,732253	9,806	3025,04961	4,1101218	3600	26,0631993	0,975	11,1278651	11,3	0,46	102,9434	0,10809693	0,10859666	9,25095666	33,9	31,64	10,17	10,17	11,3	5,085	15	16	18,08	5	13	125,543398
0,0045	121	83,77911	9,806	3142,38267	4,2695417	3600	29,3476581	0,975	12,0405022	12,2	0,46	98,92032	0,1217192	0,12228191	8,21563091	36,6	34,16	10,98	10,98	12,2	5,49	15	16	19,52	5	13	123,320322
0,005	121	76,389922	9,806	3183,58821	4,3255275	3600	33,1533144	0,975	12,988179	13	0,46	94,45733	0,13750313	0,13813881	7,27256179	39	36,4	11,7	11,7	13	5,85	15	16	20,8	5	13	120,457334
0,01	162	135,32	9,806	10715,2	14,558696	1800	14,8809704	0,975	15,9214194	16,2	0,46	251,4367	0,06332178	0,06200404	15,7923535	48,6	45,36	14,58	14,58	16,2	7,29	15	16	25,92	5	13	283,836684
0,01	162	135,32	9,806	10715,2	14,558696	3600	29,7619408	0,975	15,9214194	16,2	0,46	125,7183	0,12664357	0,12400809	7,89617677	48,6	45,36	14,58	14,58	16,2	7,29	15	16	25,92	5	13	158,118342

Tabla 15: Cálculo y dimensión para las cucharas con sus ángulos respectivos en función del diámetro del chorro.

Fuente: (Autor, 2015).

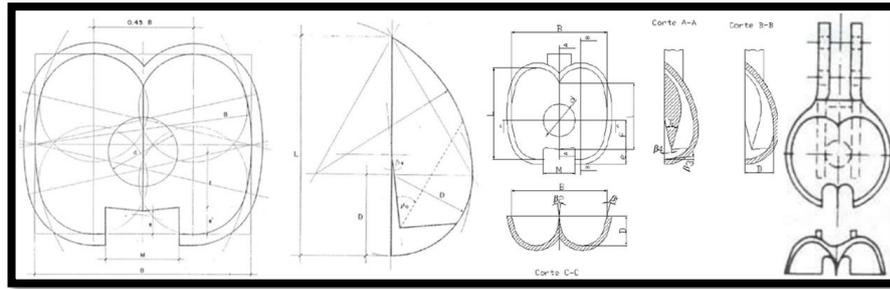


Figura 51: Dimensiones, cortes y geometría de los álabes o cucharas.

Fuente: (Bustamante & Arias 2008).



Figura 52: Alabes o cucharas a ser usadas en el proyecto.

Fuente: (Autor, 2015).



Figura 53: Eje de 3/4 acero inoxidable con sus chumaceras de 3/4 y disposición de las cucharas.

Fuente: (Autor, 2015).



Figura 54: Disco acero inoxidable y disposición de cucharas previa su colocación.

Fuente: (Autor, 2015).



Figura 55: Ubicación del rodete, manzana, modificación por disposición y tamaño físico.

Fuente (Autor, 2015).

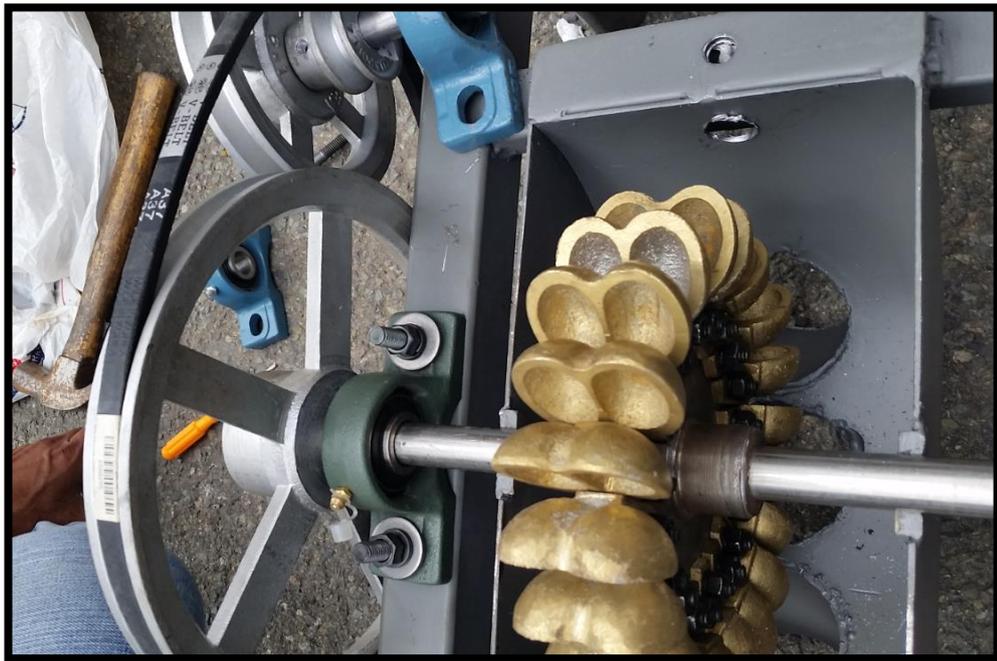


Figura 56: Proceso constructivo: carcazas, ensamble eje, chumaceras y poleas con bandas.

Fuente: (Autor, 2015).

2.9 Estudio de carga eléctrica actual y proyección de demanda.

La carga emplazada actualmente promedio con la que esta vivienda está trabajando está alrededor de 430 watts de potencia según una toma de datos realizada de acuerdo a datos facilitados por los ocupantes de la vivienda motivo de estudio pero debido a los pocos artefactos y a las dos horas diarias que aproximadamente funcionan pueden sobrepasar el valor máximo del generador por lo que a una leve sobrecarga en la misma está provocando que la misma se averíe con alta frecuencia

tomando en consideración un promedio de vida útil de un año aproximado siendo que funciona alrededor de dos horas diarias.

TOMA FISICA DE CARGA ACTUAL DE LA VIVIENDA MOTIVO DE ESTUDIO.				
Items	Denominación	Luminarias Incandescentes (W)	Luminarias Ahorradores(W)	Circuito
1	Luz Sala	100	25	Iluminación
2	Luz Cocina	100	25	Iluminación
3	Luz Dormitorio	75	20	Iluminación
4	Luz Baño	60	15	Iluminación
5	Luz Quemador	60	20	Iluminación
6	Televisión	74	74	Fuerza
7	Radio	15	15	Fuerza
8	Cargador Celular	8	8	Fuerza
9	Laptop	75	75	Fuerza
10	Licuada	600	600	Fuerza
Sumatoria 1	ILUMINACION TOTAL:	395	105	Iluminación
Sumatoria 2	CARGA O FUERZA TOTAL:	772	772	Fuerza
Factor 1	Factor Diversificación Iluminación:	0,9	0,7	Iluminación
Factor 2	Factor Coincidencia Fuerza:	0,9	0,6	Fuerza
Parcial 1	ILUMINACION DIVERSIFICADA:	355,5	73,5	Iluminación
Parcial 2	CARGA O FUERZA DIVERSIFICADA:	694,8	463,2	Fuerza
Sumatoria	Sumatoria dos circuitos diversificada.	1050,3	536,7	Sumatoria
Factor	Factor Simultaneidad entre circuitos:	0,9	0,8	Sumatoria
Total	CARGA TOTAL APROXIMADA (Vatios)(W):	945,27	429,36	Total
Total Max	Carga Total Máxima:	1167	877	Total Máximo
Datos placa	Voltaje Nominal (Voltios)	115	115	
Protección	Intensidad de Corriente (Amperios):	8,21973913	3,733565217	
Protección Max	Intensidad de Corriente Máxima(Amperios):	10,14782609	7,626086957	
Energía por día	Potencia * número de horas funcionamiento	1890,54	858,72	
Energía por mes	Energía de un día por el numero de días	56716,2	25761,6	
KWH al mes	Vatios /1000 para pasar a Kilovatios	56,7162	25,7616	

Tabla 16: Toma de carga eléctrica emplazada actualmente.

Fuente: (Autor, 2014).

El proyecto inicial de los usuarios era incrementar a un generador de 1000 Watts en uso continuo y para ocasiones de mayor demanda usar en paralelo con el de 800 Watts que se posee actualmente, pero con la proyección casi inmediata de estudios de sus habitantes se prevé que la demanda llegue hasta dos veces la demanda actual, es decir los 1600 Watts de potencia por lo que en medida de esta proyección y de la disponibilidad comercial del generador de 2000 Watts que se dispone así como al ingresar dentro del valor calculado de acuerdo a la potencia generada en función de la reserva de caudal y altura con lo que garantizamos el cien por ciento de su generación.

La proyección de carga con los artefactos eléctricos que se van a usar facilitados por los futuros usuarios y que según datos de placa se obtiene la siguiente tabla con los valores de potencia y cálculo diversificado de la misma con su corriente de consumo para las protecciones que se muestran a continuación.

Items	Denominación	Luminarias Incandescentes (W)	Luminarias Ahorradores(W)	Luminarias LED	Circuito
1	Luz Sala	100	25	9	Iluminación
2	Luz Sala	100	25	9	Iluminación
3	Luz Cocina	100	25	9	Iluminación
4	Luz Dormitorio	75	20	7	Iluminación
5	Luz Dormitorio	75	20	7	Iluminación
6	Luz Baño	60	15	7	Iluminación
7	Luz Bodega	60	15	7	Iluminación
8	Luz Quemador	60	20	7	Iluminación
9	Luz Exterior Costados Frontal	200	50	18	Iluminación
10	Luz Exterior Costados Posterior	200	50	18	Iluminación
11	Luz Galpones Interior	200	50	18	Iluminación
12	Luz Galpones Exterior	200	50	18	Iluminación
13	Televisión	74	74	74	Fuerza
14	Radio Despertador	15	15	15	Fuerza
15	Equipo de Sonido	150	150	150	Fuerza
16	Cargador Celular	8	8	8	Fuerza
17	Adaptador Modem Internet	10	10	10	Fuerza
18	Laptop	75	75	75	Fuerza
19	Licudadora	600	600	600	Fuerza
20	Micoondas	1200	1200	1200	Fuerza
21	Refrigeradora	430	430	430	Fuerza
Sumatoria 1	ILUMINACION TOTAL:	1430	365	134	Iluminación
Sumatoria 2	CARGA O FUERZA TOTAL:	2562	2562	2562	Fuerza
Factor 1	Factor Diversificación Iluminación:	0,7	0,7	0,7	Iluminación
Factor 2	Factor Coincidencia Fuerza:	0,6	0,6	0,6	Fuerza
Parcial 1	ILUMINACION DIVERSIFICADA:	1001	255,5	93,8	Iluminación
Parcial 2	CARGA O FUERZA DIVERSIFICADA:	1537,2	1537,2	1537,2	Fuerza
Sumatoria	Sumatoria dos circuitos diversificada.	2538,2	1792,7	1631	Sumatoria
Factor	Factor Simultaneidad entre circuitos:	0,78	0,8	0,8	Sumatoria
Total	CARGA TOTAL APROXIMADA (Vatios)(W):	1979,796	1434,16	1304,8	Total
Total Max	TOTAL MAXIMA:	3992	2927	2696	Total Máximo
Datos placa	Voltaje Nominal (Voltios)	115	115	115	
Protección	Intensidad de Corriente (Amperios):	17,21561739	12,47095652	11,34608696	
Protección Max	Intensidad de Corriente Máxima(Amperios):	34,71304348	25,45217391	23,44347826	
Energía por día	Potencia por número horas en funcionamiento	3959,592	2868,32	2609,6	
Energía por mes	Energía de un día por el numero de días	118787,76	86049,6	78288	
KWH al mes	Vatios /1000 para pasar a Kilovatios	118,78776	86,0496	78,288	

Tabla 17: Proyección de demanda de carga para una vivienda.

Fuente: (Autor, 2015).

2.10 Puesta a Tierra y Protección.

Puesta a tierra significa el aterramiento físico o la conexión de un equipo a través de un conductor hacia tierra. La tierra está compuesta por muchos materiales, los cuales pueden ser buenos o malos conductores de la electricidad pero la tierra como un todo, es considerada como un buen conductor. Por esta razón y como punto de referencia, al potencial de tierra se le asume cero. La resistencia de un electrodo de tierra, medido en ohmios, determina que tan rápido, y a que potencial, la energía se equipara. De esta manera, la puesta a tierra es necesaria para mantener el potencial de los objetos al mismo nivel de tierra. En síntesis los Sistemas de Puesta a Tierra nos protegen de Sobretensiones (Perturbaciones), de manera de garantizar protección

al personal y a los equipos así como para fijar un potencial de referencia único a todos los elementos de la instalación.

Para cumplir con esto, las redes de tierra deben tener 2 características principales:

Constituir una tierra única equipotencial.

Tener un bajo valor de resistencia.

Se aclara que la resistencia del suelo varía con la temperatura, la humedad y la acumulación de sales.

El sistema de puesta a Tierra y pararrayos que se considera para este proyecto tomando en consideración que tiene una alta densidad pluviométrica y que se encuentra en terrenos cultivables en su mayoría de color negro y con bastante humus propio de la vegetación de la zona con un factor de resistividad de alrededor de 50 ohmios por metro se la presenta en la siguiente imagen.

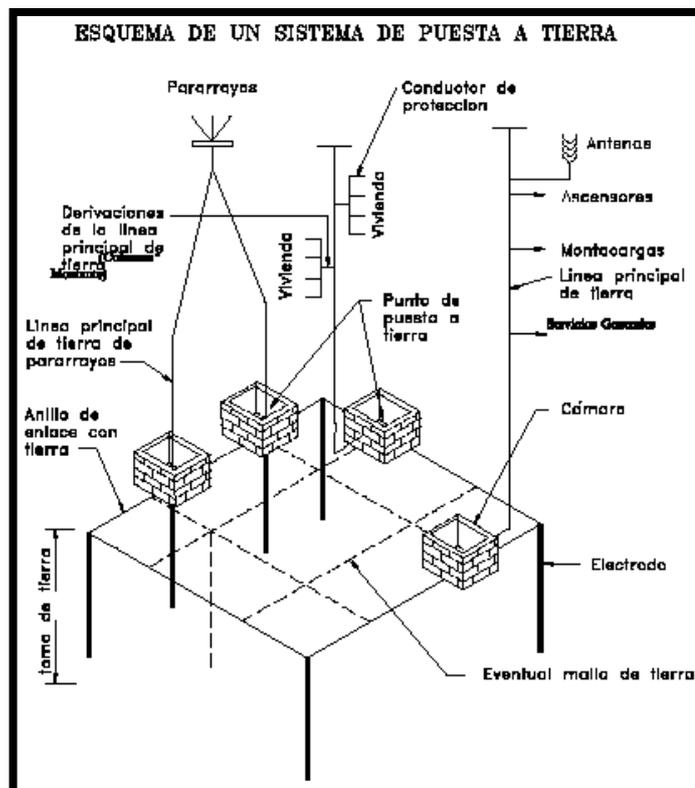


Figura 57: Sistema de puesta a Tierra propuesto.

Fuente: (Sandoval, 2015).

Los electrodos de puesta a tierra usados son de varillas copperweld de cobre de 1,80 metros de altura que resisten a la corrosión de la actividad química del suelo y la humedad que irán totalmente enterradas y con un alambre de cobre desnudo de sección 8 AWG que unirá y creará un circuito cerrado para evitar que las corrientes electrostáticas generen campos electromagnéticos o eléctricos y magnéticos por separado por lo que se recomienda mantengan una distancia mínima de 10 metros. Como es de conocimiento general el pararrayos por sí solo no sirve de protección por lo que ha este se lo va a conectar a un buen sistema de aterramiento con mínimo dos líneas principales de Tierra para asegurar la correcta conducción de una posible descarga eléctrica del rayo con el sistema de puesta a tierra que presente una resistencia menor de 10 ohmios asegurando que no existan bucles que produzcan sobretensiones inducidas debido a que no en todas las partes la tierra presenta la misma resistividad.

2.11 Emisión de CO₂ y gases de efecto invernadero.

2.11.1 Dióxido de Carbono.

Su fórmula CO₂, Los usan las plantas para con la luz del día realizar fotosíntesis y expulsar oxígeno, pero por la noche al igual que la mayoría de seres vivos expulsan anhídrido carbónico como desecho del metabolismo, también lo desechan los géiseres, volcanes y forma un gas importante que regula el efecto invernadero y en nuestro tema de estudio debido al crecimiento desmesurado de las combustiones de carbono y combustibles fósiles que desde la revolución industrial ha acrecentado en la atmósfera aumentando el calentamiento global y causando un cambio climático en un efecto antropogénico que es el efecto de procesos o materiales de actividades humanas distintas a las que se provocan por desarrollo natural progresivo.

2.11.2 Gases de efecto invernadero.

El dióxido de Carbono, vapor de agua y otros gases son importantes en la troposfera para el efecto invernadero que es contribuir que el calor absorbido de la tierra no se pierda y sea posible la vida como la conocemos; pero el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad humana y está

haciendo que este efecto sea negativo en cuanto al calentamiento global, a pesar de que el aire forma en la troposfera una mezcla de gases bastante homogénea a una temperatura y presión determinadas, hasta el punto de que su comportamiento es el equivalente al que tendría si estuviera compuesto por un solo gas.

2.11.3 Análisis y cuantificación.

Para realizar un análisis de la ventaja económica de este tipo de proyectos a partir de recursos renovables con el consecuente ahorro en disminución por consumo de combustibles para producir energía eléctrica vamos a realizar un doble análisis a partir de dos puntos de vista, el primero en función de cuanto le ahorra al estado un proyecto de este tipo si se usara generación térmica para cubrir a un usuario de este tipo individualmente y en segundo lugar de cuanto le ahorra a la familia beneficiaria el tener que usar un generador propio como lo realizan actualmente, por lo tanto:

El primero y sobre todo lo que respecta a un análisis Nacional al momento presente y en nuestro medio a nivel de todo el País vamos a tomar como referencia los datos brindados en la cadena radial Azuay Habla del mes de Febrero de rendición de cuentas de los días lunes brindada por el Ministro de Electricidad y Energía Renovable Doctor Esteban Albornoz ya que son datos que engloban las características nacionales y a todos los índices que esta cartera de Estado maneja, en la cual se menciona de los ocho proyectos emblemáticos con una generación de 2700 MW que producen 5 mil millones de dólares con un ahorro de mil millones dólares al año en ahorro de combustibles con la cual se podrá incluso llegar a la venta de energía a los países vecinos de Colombia y Perú conjuntamente con el fortalecimiento de la red de transmisión a 500.000 voltios con una inversión de 800.000 millones de dólares y 19 millones de dólares en fortalecimiento de redes energía eléctrica de Distribución siendo el año 2014 donde más se ha ampliado esta característica, donde también se destacó el Proyecto Eólico Villonaco de 16.5 megavatios y el de la isla Baltra de 2.25 MW con tres aerogeneradores tipo full converter de magneto permanente de 750 KW cada uno. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

A esto cabe acotar para los fines comparativos el costo total del proyecto bordea los 26 millones de dólares que al año proveerá aproximadamente de 5000 MWh/año ahorrando 450000 galones de diesel por año de la central térmica de

Puerto Ayora en esta isla y que proveerá de energía a la isla Baltra y a la isla vecina de Santa Cruz que es la de mayor consumo en el Archipiélago de Galápagos en donde se realizaron dos estudios de factibilidad en la isla Santa Cruz y uno en la isla Baltra en el sitio ecológicamente alterado por la construcción de la antigua base aérea utilizada por los Estados Unidos en la segunda Guerra Mundial y siendo este el lugar más opcional por las características técnicas, económicas y sobre todo ambientales llevadas a cabo por la Estación Charles Darwin en la que se destaca la no presencia de petreles, poca actividad de murciélago gris y nulos murciélago rojo (ELECGALAPAGOS, 2014).

Con ello se logrará una reducción en el transporte y trasiego y del riesgo de derrames así como se prevé que con la reducción del combustible en los grupos generadores disminuirá la emisión de gases contaminantes como el Dióxido de azufre SO₂, Óxidos de Nitrógeno NO_x liberados al aire por la combustión y los Dióxido de Carbono de efecto invernadero en la siguiente cuantificación: (Ergal, 2014)

Reducción de emisiones de SO₂: 5,76 Toneladas por año.

Reducción de emisiones de NO_x: 49 Toneladas por año.

Reducción de emisiones de CO₂: 3.680 Toneladas por año.

Referencia	Potencia KW	Galones de Diesel	Reducción de emisiones de SO ₂ : Toneladas por año.	Reducción de emisiones de NO _x : Toneladas por año.	Reducción de emisiones de CO ₂ : Toneladas por año.
Baltra	2250	450000	5,76	49	3.680
Actual	0,8	160	0,002048	0,017422222	1,308444444
Proyección Usuarios	1	200	0,00256	0,021777778	1,635555556
Fase 1	2	400	0,00512	0,043555556	3,271111111

Tabla 18: Cuantificación del ahorro de galones de diesel al año y sus emisiones respectivas de acuerdo a la potencia disponible.

Fuente Autor.

El segundo análisis de cuantificación se lo realiza a partir de los datos que actualmente se utilizan para suplir esta falta de energía eléctrica de la red pública en el sitio mismo de la micro generación y que es propia de los usuarios dueños de la misma, ya que para ello se lo está ocupando con generadores eléctricos de 800 VA el cual se lo prende por aproximadamente 2 horas diarias y para ello se consume un

valor semanal de 8 dólares a un valor actual de 1.3214286 dólares por cada galón de gasolina más el 12% del Impuesto de Valor Agregado IVA, los datos de placa y características se los puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 58: Generador que se ocupa actualmente para suplir la falta de energía eléctrica.

Fuente: (Autor, 2015).

Con estos valores antes mencionados realizamos el cálculo de cuanto le cuesta a esta familia tener la Energía Eléctrica con este sistema y sus valores para diferentes períodos de tiempo, de aquí se obtiene que en una hora de generación eléctrica con este generador consume 0,3861 galones de gasolina con un valor de 0,57 Dólares, es decir para ocupar un período de tiempo de seis horas diarias para sus actividades cotidianas más las horas de estudio diarias, o en el mejor de los casos para las 24 horas del día, los siete días de la semana y los 365 días del año se consumiría lo siguiente con el sistema actual:

$$\text{Consumo Gasolina Anual} = 0,3861 * 24 * 365 = 3382,239 \text{ Galones}$$

$$\text{Consumo Dólares Anual} = 5005,71 \text{ Dólares.}$$

A continuación por su parte se presenta una tabla con el resumen de los valores tanto de gasolina como su correspondiente valor en dólares tanto del generador actual, antigua proyección del usuario a 1000 Watts, así como también del que se ocupará en el proyecto de 2 KW, el valor del cálculo total del proyecto.

	VA	VALOR SEMANAL DOLARES	HORAS DIARIAS	HORAS SEMANALES	DOLARES POR HORA	DOLARES POR SEIS HORAS	DOLARES POR DIA	DOLARES POR MES	DOLARES POR AÑO
ACTUAL	800	8	2	14	0,571428571	3,428571429	13,71428571	411,4285714	5005,714286
AMPLIACION	1000	10	2	14	0,714285714	4,285714286	17,14285714	514,2857143	6257,142857
FASE 1	2000	20	2	14	1,428571429	8,571428571	34,28571429	1028,571429	12514,28571
TEORICO F1	2600	26	2	14	1,857142857	11,14285714	44,57142857	1337,142857	16268,57143
FASE 2	10700	107	2	14	7,642857143	45,85714286	183,4285714	5502,857143	66951,42857
	VA	VALOR SEMANAL DOLARES	PRECIO GALON EXTRA	GALONES SEMANALES	GALONES POR HORA	GALONES POR SEIS HORAS	GALONES POR DIA	GALONES POR MES	GALONES POR AÑO
ACTUAL	800	8	1,480000032	5,405405289	0,386100378	2,316602267	9,266409066	277,992272	3382,239309
AMPLIACION	1000	10	1,480000032	6,756756611	0,482625472	2,895752833	11,58301133	347,49034	4227,799136
FASE 1	2000	20	1,480000032	13,51351322	0,965250944	5,791505666	23,16602267	694,98068	8455,598273

Tabla 19: Cuantificación del ahorro en gasolina y en dólares con el generador y consumo actual.

Fuente: (Autor, 2015).

A esto podría acotar que en este tiempo de tres años y tres meses de permanencia en el sector se encuentra utilizando ya el tercer generador siendo los anteriores de similares características y con un valor aproximado de 800 dólares ya que al usar y sobre todo conectar una carga de valor cercano al nominal por un tiempo considerable estos dejan de funcionar por lo que para nuestro proyecto se considera un valor superior a tres veces su capacidad de carga pero por limitaciones de adquisición ya que comercialmente se dispone de valores de 2000 KW, 3000 KW y 5000 KW se lo ocupará de 2000 KW que nos da una capacidad de carga de 2.5 veces la potencia nominal actual solo con la fase uno del proyecto ya que con la fase dos este valor sería de 10.715 KW adicionales llegando a ser superior a 15 veces la capacidad de carga actual y que nos generaría un ahorro de:

$$\text{Consumo Gasolina Anual} = 15 * 0,3861 * 24 * 365 = 45237,45 \text{ Galones.}$$

$$\text{Consumo Dólares Anual} = 66951,43 \text{ Dólares.}$$

Este parámetro se lo puede visualizar y resumir de mejor manera al usar aplicativos como la calculadora de la huella de carbono que nos permite cuantificar el valor de la huella de carbono en este caso referenciado al parámetro del consumo eléctrico de la vivienda ya que es el valor a modificar con el proyecto, es decir, cuanto de carbono ahorramos en la emisión al usar este proyecto de energía renovable limpia.

Para ello tomamos los valores al mes que se consume en la casa motivo de estudio primero para el valor actual, segundo para el valor medio proyectado a suplir de forma inmediata y con tiempo de funcionamiento 24 horas y como última parte

para el valor de máxima carga proyectada a suplir siendo el generador a usar de 2000 Vatios y con un tiempo de funcionamiento completo de las 24 horas, de donde podemos cuantificar el ahorro de Toneladas de CO2 de emisiones que se eliminan al usar energías renovables en lugar de gasolina como combustible contribuyendo así a lograr el cuidado ambiental al acercar más de la media nacional al objetivo mundial como se puede apreciar en las siguientes imágenes:

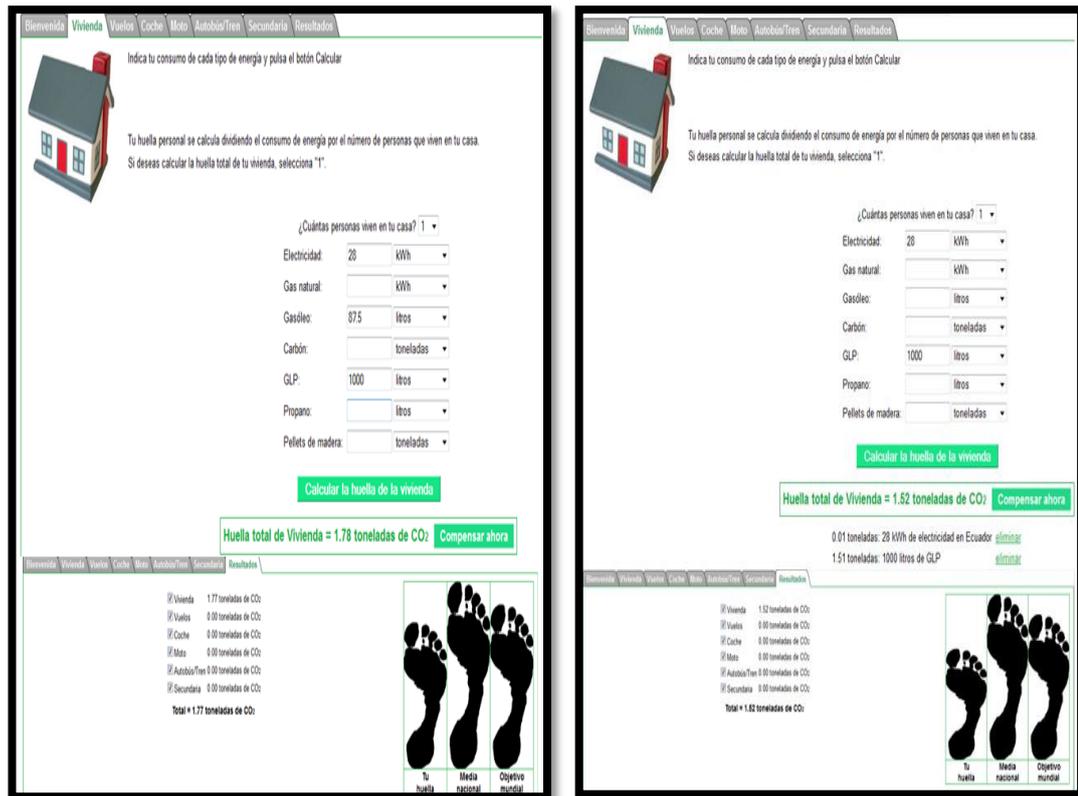


Tabla 20: Huella de carbono actual y toneladas de CO2 a eliminar con el consumo de Energía Hidráulica.

Fuente: (Carbon footprint, 2015)

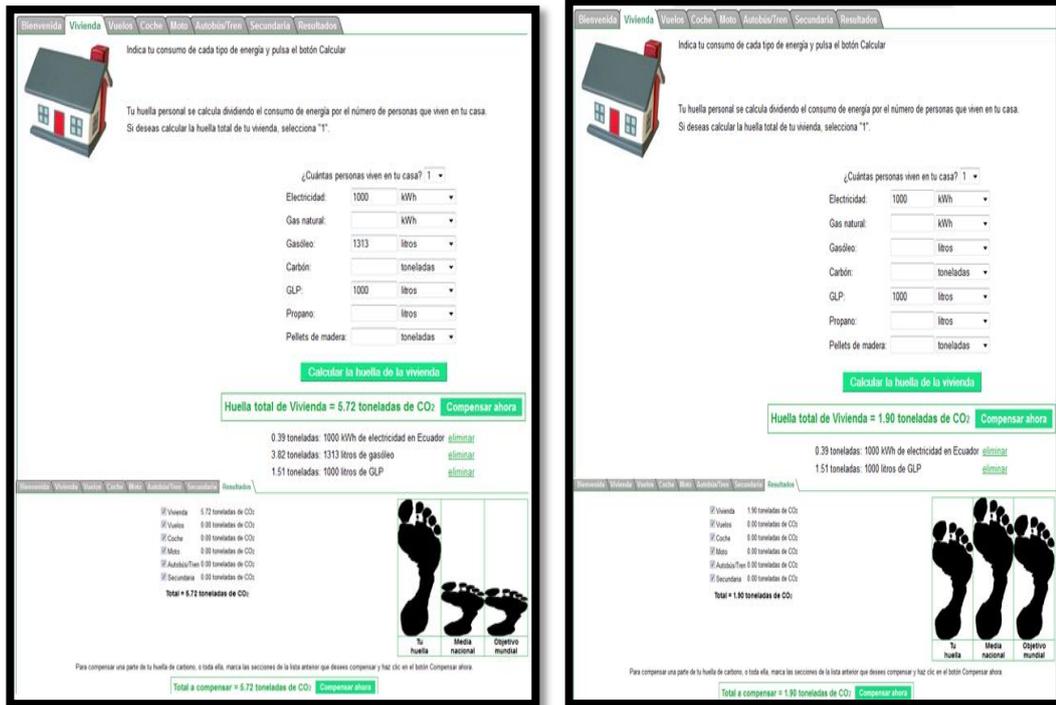


Tabla 21: Huella de carbono media y toneladas de CO2 a eliminar con el consumo de Hidro Energía.

Fuente: (Carbon footprint, 2015)

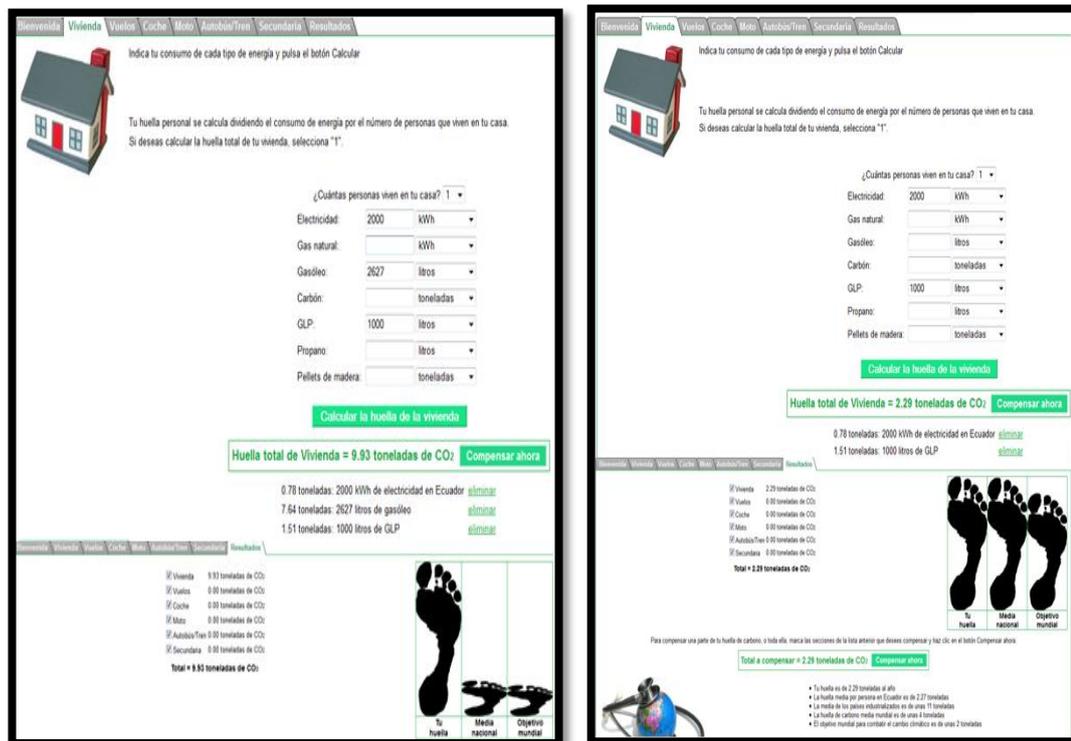


Tabla 22: Huella de carbono total y toneladas de CO2 a eliminar con el consumo de Energía Hídrica.

Fuente: (Carbon footprint, 2015)

De estos tres cálculos podemos acentuar que en el primer caso reducimos de 1,78 Toneladas de CO₂ a 1,52 Toneladas de CO₂ que no es muy notorio ya que es el valor más bajo de KWh y con un tiempo de 2 horas de uso diario como esta en la actualidad; en tanto que para los dos cálculos siguientes tenemos 5,72 Toneladas de CO₂ a 1,90 Toneladas de CO₂ y de 9.93 Toneladas de CO₂ a 2.29 Toneladas de CO₂ respectivamente que representa un considerable ahorro de emisiones ya que es para un valor medio de carga y para la carga máxima pero tomando en consideración un funcionamiento de las 24 horas diarias como se tiene proyectado trabajar siendo un punto favorable para justificar la elaboración de este proyecto sobre todo si se toma conciencia de valor del cuidado ambiental tan importante hoy en día.

Con estos datos de mejora ambiental, beneficios sociales y económicos de la generación eléctrica en base a Energía Renovable Hídrica del proyecto en mención que a más de convertirse en una solución a la carencia de prestación de Energía Eléctrica siendo este un servicio básico y considerando que “el agua es un derecho irrenunciable, elemento básico y elemental para la vida, la salud y la alimentación en un ambiente sano y equilibrado como lo establece la Constitución de la República del Ecuador” se elabora un plan de sociabilización con la gente del sector a los cuales mediante una visita al lugar del proyecto se les indicará el uso que se le está dando al agua evidenciando que no se somete a ningún proceso de contaminación si no por lo contrario se optimiza su transportación devolviendo al final una agua de igual o mejor calidad ya que aparte de prevenir su contaminación y arrastramiento de partículas de arcilla, tierra y arenas así como restos vegetales y desechos de animales del sector pasa por un proceso de turbulencia, presión, golpe contra los álabes y oxigenación al caer la misma que ayuda a su tratamiento y conservación, a más de que como no se lo disminuye, ni consume, ni tampoco contamina en el proyecto es apta para la utilización en agricultura, ganadería y acuicultura. (SENAGUA, 2015).

Una vez realizado el proceso de sociabilización se tramitará las respectiva solicitud con los documentos correspondientes al Subsecretario de la Jurisdicción de la entidad del SENAGUA y organismos correspondientes para continuar con el procedimiento de la institución que incluye la publicación en la prensa y citación en carteles en los lugares en lugares más cercanos a la petición, de ser necesario para ser aprobada la solicitud se procederá con la visita del perito del SENAGUA para la demarcación hidrográfica y resolución definitiva.

CAPITULO 3.

PRUEBAS APLICADAS AL SISTEMA MICRO - HIDROELECTRICO.

3.1. Mediciones preliminares en la turbina.

Para esta parte del proyecto vamos a realizar las mediciones iniciales de operatividad en el sitio mismo donde va a funcionar y con las condiciones con la que va a operar en régimen permanente, para ello se recomienda primero sujetar firmemente los módulos del generador y de la turbina con el sistema de transmisión y alinearlos correctamente en el sentido de giros de las bandas con las poleas, una vez concluido sujetar con la presión correcta los prisioneros con las llaves hexagonales correspondientes siendo que no todos son iguales observando su alineación y balanceo previo antes de conectar a la presión del agua, posterior a ello se recomienda aislar la parte del agua con la del generador para prevenir salpicaduras de agua entre estas dos partes tomando en consideración que estas pruebas, calibración e imágenes de verificación de funcionamiento se las va a realizar con la carcasa superior abierta.



Figura 59: Montaje de turbina y generador para pruebas preliminares en el sitio del proyecto.

Fuente: (Autor, 2015).

3.1.1 Pruebas en vacío sin carga.

Conocer la velocidad de giro real en el eje conductor de la turbina con condiciones normales de trabajo cuya medición fue de 1978 rpm para calcular la relación de transmisión en un factor de 2.4 para garantizar los 3600 rpm y prevenir embalamiento de la turbina en caso de falla de las poleas y banda de transmisión.

Cabe aclarar aquí que si se dispondría de un generador de 4 polos 1800 rpm este iría directo al eje a través de un matrimonio evitando las pérdidas de fricción y calentamiento entre bandas con poleas, también cabe acotar que por motivos de tamaño del rodete de 8 pulgadas y la polea original del motor de 5 pulgadas con disco de fricción y ventilador no se aplica una relación directa de poleas de 12 a 5 lo ideal o al menos de 10 a 5 ya que al ejercer la fuerza del chorro de agua del inyector en los alabes a una diámetro menor 8 pulgadas y transmitir la fuerza en el de 12 pulgadas este tiende a frenarse considerablemente con lo que pierde velocidad y no alcanza el Voltaje nominal ni el sincronismo para la frecuencia (Voltaje entre 80 y 105 Voltios) adicional a que el chorro de agua tiende a salpicar demasiado al chocar contra las cucharas siendo que están muy duras de girar, por lo que se rediseño para un rodete de diámetro mayor de alrededor de 10 pulgadas para conseguir evitar las pérdidas en la relación de transmisión y reducir el costo del eje de acero, dos chumaceras, reducir dos poleas y dejar de dos a una banda tipo A optimizando esa energía mecánica aplicando directamente a la polea del generador para su mayor aprovechamiento energético.



Figura 60: Pruebas y Medición de la velocidad en vacío de la turbina.

Fuente: (Autor, 2015).

3.1.2 Pruebas en turbina con sistema de bandas y poleas sin generador.

Medir la velocidad de giro en el segundo eje llamado eje conducido obteniendo un valor de 3519 rpm tras usar la reducción de poleas de 8 a 4 y con la carga que ello implica para calcular la relación de transmisión final al generador en un factor de 1.2 para garantizar los 3600 rpm y prevenir embalamiento de la turbina en caso de falla de las poleas y banda de transmisión.



Figura 61: Pruebas y medición de velocidad con la carga del sistema de transmisión sin generador.

Fuente: (Autor, 2015).

3.1.3 Pruebas de la turbina con el generador.

Conocer la velocidad de giro máximo en el eje del generador con la llave de control principal con una apertura del 100 % (20 vueltas completas) con la que se obtiene la medición de 4103 rpm tras usar la reducción de poleas de 6 a 5 en la parte final para conocer la velocidad hasta el generador considerando la carga propia de la masa del rotor del generador referida a la turbina y del sistema de transmisión referida a la turbina para garantizar los 3600 rpm y prevenir embalamiento en este caso del generador en caso de ausencia de carga o por falla y/o actuación del sistema de protección.

Finalmente se procede con la calibración primero en frecuencia y segundo en el voltaje en el variac con el interruptor térmico en posición off para prevenir que la carga eléctrica conectada sufra daños como los tres primeros focos que se averiaron.



Figura 62: Calibración en voltaje y frecuencia con el interruptor térmico en off.

Fuente: (Autor, 2015).

Se evalúa el estado final con la reducción a 14 vueltas (70%) de apertura de la llave de control principal con la que se obtiene el voltaje y la frecuencia deseado previa la energización del circuito de carga para prevenir averías mediante la regulación del mismo como se procedimiento de seguridad:

Energización del circuito de carga y pruebas con dos circuitos de 5 focos cada uno total 10 focos normales y un foco grande de 105 Watts en las diferentes combinaciones: sin carga, uno por uno, combinación dos cargas juntas así como las tres cargas por separado como pruebas previas y al mismo tiempo para una vez pasado las pruebas pasar al diseño y ensamblaje final de toda la estructura de soporte tanto para Inyector, sujeciones, Turbina, Generador y Tablero de Protección.



Figura 63: Energización del circuito carga y pruebas con tres circuitos de focos.

Fuente (Autor, 2015).

3.1.4 Estudio de comportamiento y variación de carga.

La turbina Pelton por ser una turbina de acción o de impulso presenta un muy buen rendimiento tanto al realizar un análisis en función de la potencia o variación de

la carga así como al realizar un análisis en función del caudal, como se puede apreciar en las siguientes imágenes: (Mataix, 1975).

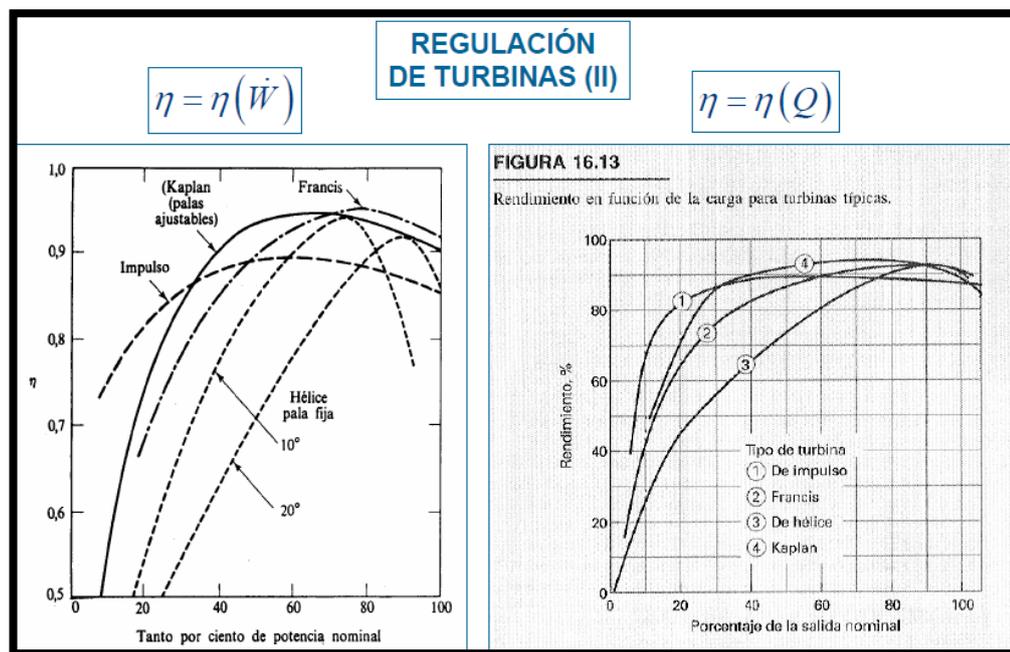


Figura 64: Curva característica de las diferentes clases de Turbinas.

De este análisis se puede concluir que de las cuatro turbinas, la turbina Pelton o de impulso es la que mantiene un margen más estable en cuanto a su variación del rendimiento desde aproximadamente el 30 al 95% de su capacidad nominal, esto fue el segundo factor primordial al momento de elegir nuestro tipo de turbina ya que por el tipo de proyecto del carácter doméstico en los que el factor costo beneficio es de gran importancia, ya que esta particularidad repercute favorablemente en nuestro proyecto debido a que la característica de control y regulación es mínima en comparación con las otras turbinas, no así obstante en grandes aprovechamientos para generación hidroeléctrica ya que con un alto costo de regulación y control se puede mejorar un porcentaje del rendimiento de las turbinas que no es justificable en pequeños proyectos hidroeléctricos, además consideramos que la turbina tiene una capacidad de 2,850 KW y el generador disponible comercialmente es de 2.5 en pequeño rango y en nuestro medio de consigue de 2 KW, es decir 70% de su capacidad nominal con lo que garantizamos que trabajamos dentro del margen de operatividad del generador sin sobrecargarle al mismo obviamente pudiendo acoplarle al mismo eje o a través de poleas un pequeño generador de $\frac{3}{4}$ o de 1 HP aproximado similar al que se usa actualmente sobre todo para cubrir las exigencias

de las horas pico de consumo pero con la implementación de un sistema de control, regulación y puesta en paralelo respectivo para su optimización.

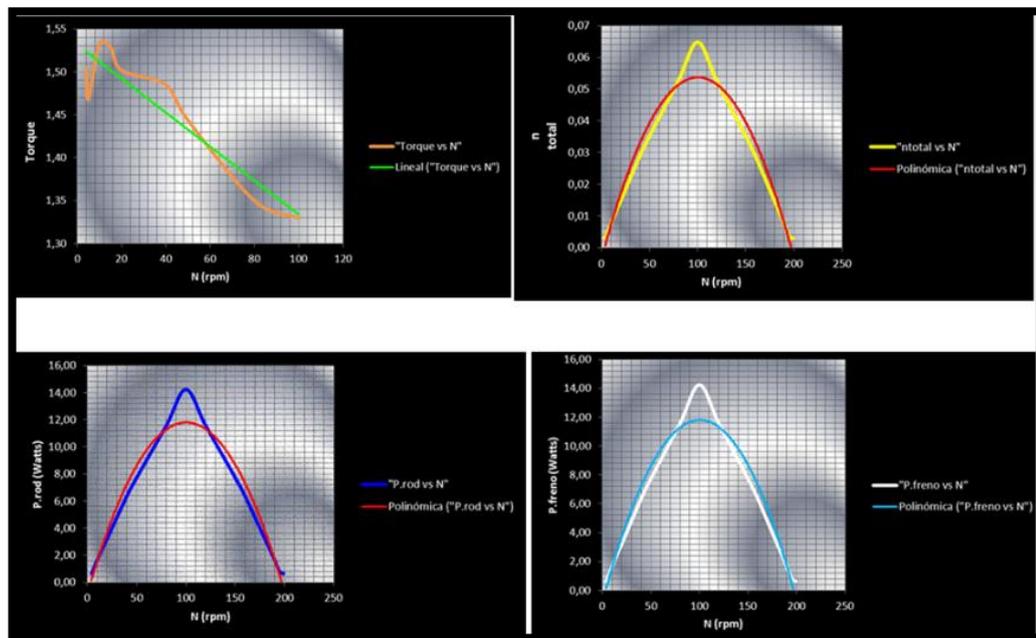


Figura 65: Gráfico de las curvas características de la Turbina Pelton.

3.1.5 Regulación de velocidad a través de la regulación de caudal.

De las mediciones preliminares del punto anterior se percató de la alta sensibilidad en la frecuencia al variar el caudal por lo que tenemos que darle una mayor estabilidad, para ello vamos a citar algunos parámetros a implementar. El uso de nuestra turbina hidráulica es para hacer girar el generador eléctrico que a su vez nos proporcionará energía eléctrica y es la principal aplicación que se la da a nivel mundial por lo que se requiere que su velocidad de giro se mantenga constante y es a la velocidad de sincronismo que para nuestro caso fue calculado a 3600 rpm para proporcionar los 60 Hertz de la frecuencia de la red pública, para ello es importante monitorear a cada momento la misma y en función de la carga demandada a cada instante se procede a abrir o cerrar una cierta cantidad el caudal de ingreso en el distribuidor del inyector con la finalidad de mantener la frecuencia en el valor de 60 Hz de manera constante. (Maloney, 1997)

Para ello se requiere que esta regulación sea de manera automática con un sistema de control de lazo cerrado en la cual la salida sea la velocidad de giro constante que nos de la frecuencia de 60 Hertz:

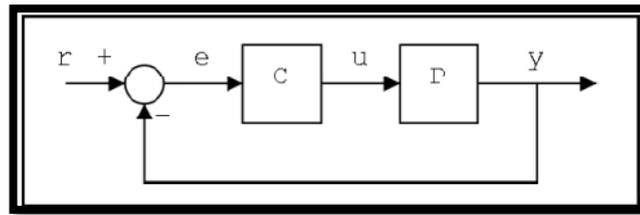


Figura 66: Sistema de Control Lazo cerrado de la velocidad de giro de la Turbina.

Para ello un mecanismo básico y funcional es el sistema centrífugo conocido como mecanismo de bolas o regulador de Watt que está conectado directa o indirectamente a la velocidad de rotación del eje y que para los rpm deseado se mantiene en la posición de la figura pero si aumenta o disminuye su velocidad por el efecto de la velocidad centrífuga sube o baja respectivamente haciendo que la válvula de control que puede ser por aceite a presión, se cierre o abra proporcionalmente a la velocidad cierta cantidad hasta estabilizar en la velocidad síncrona de giro calibrada como velocidad deseada.

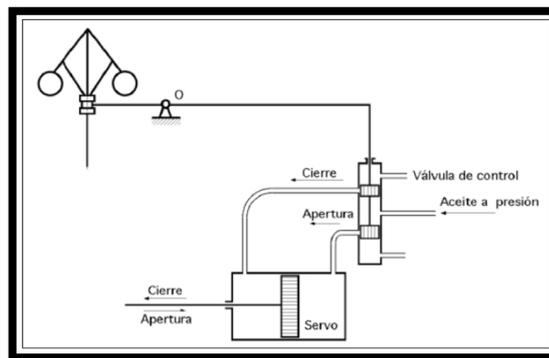


Figura 67: Mecanismo de Watt o Regulador de bolas.

Para nuestro caso particular vamos a utilizar con un mecanismo comandado por un motor eléctrico de 12 voltios que se usa para los eleva vidrios de los carros que estará sujeto fijo al mecanismo o mariposa de apertura /cierre de la llave de control con lo cual vamos a regular el caudal de ingreso hasta obtener los 3600 rpm ajustados a la frecuencia de 60 Hertz.

3.1.6 Estabilización de velocidad con el volante o disco de inercia.

Otro sistema de bajo costo y que presta bastante ayuda con la regulación de velocidad con él que cuenta el proyecto es el conocido disco o volante de inercia que consiste en una lámina de hierro circular de masa considerable en forma de disco que

va acoplada rígidamente al eje de la turbina o del generador el cual tiene entre sus principales funciones:

Evitar que el conjunto turbina generador por causa alguna se quede sin carga conectada a sus bornes y se presente el efecto conocido como girar en vacío el cual puede ocasionar el fenómeno que puede ser perjudicial conocido como embalamiento del eje debido al aumento constante y progresivo de la velocidad por falta de una carga que produzca un efecto o par frenante al mismo para evitar que supere los márgenes máximos permitidos en lo que a la capacidad mecánica de sujeción se refiere en sus puntos de apoyo, por lo que se optó para la fase dos por reemplazar la polea tipo A de aluminio por una de metal ya que la diferencia de peso y de precio es considerable cerca de 4 veces mayor lo que nos va a brindar inercia para evitar embalamiento en caso de falla de la banda o matrimonio que une la turbina con el generador.

Brindar la inercia mínima y necesaria suficiente para que una vez que se ha logrado la velocidad de sincronismo a la cual trabaja en régimen permanente una pequeña desviación de su velocidad a causa de un leve aumento o disminución de carga no presente un efecto transitorio en su velocidad y por ende en su frecuencia por lo que el sistema brinda una significativa atenuación hasta que el sistema de control haga su trabajo de regulación y si la fluctuación fue de un período muy corto y regresa a su velocidad normal realiza el efecto atenuante tanto en la alteración como en regreso a su valor nominal provocando que el efecto negativo de la variación no se presente de manera brusca, con lo cual se logra el fenómeno de un controlador integral PI.



Figura 68: Sistema Regulator de Velocidad mediante volante de Inercia en generador de 9 KW.

Fuente (Autor, 2014).

3.1.7 Sistema para minimizar el efecto del golpe de ariete.

También debemos tener cuidado con el golpe de ariete cuando la variaciones de caudal sean bruscas sobre todo para demasiado caudal o si se cierra total o gran parte de la compuerta de ingreso a los inyectores de las turbinas ya que por el efecto del choque contra la compuerta empezarán a regresar ondas aguas arriba que serían perjudiciales de acuerdo a su nivel de amplitud por el cierre brusco pero sobre todo si caen en oscilaciones que colapsarían las tuberías de presión, para ello se va a disponer de una chimenea para que desfoguen estas sobrepresiones y oscilaciones o simplemente con la reducción de la sección de la Chimenea se amortigüen las oscilaciones permitiendo incluso que rebosen las oscilaciones por la parte superior de la chimenea como se lo puede apreciar en la siguiente gráfica:

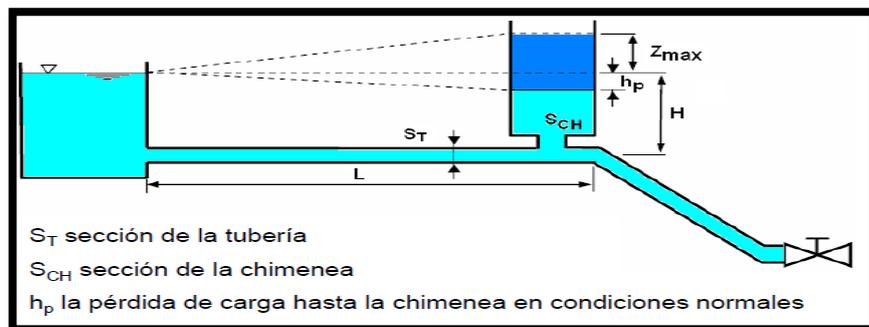


Figura 69: Sistema de Chimenea para minimizar el efecto del golpe de Ariete.

3.1.8 Sistema de medición de la presión a la llegada del inyector.

Esta presión estará siempre sometida a una valoración con un manómetro de 200 psi instalado con sus tres bushings respectivos a la llegada del inyector y antes de la salida para la Chimenea para una medición continua y valoración de la presión de trabajo tanto para control como para mantenimiento ya que es un indicador de toda la parte hidráulica antes del inyector como el que se ilustra a continuación:

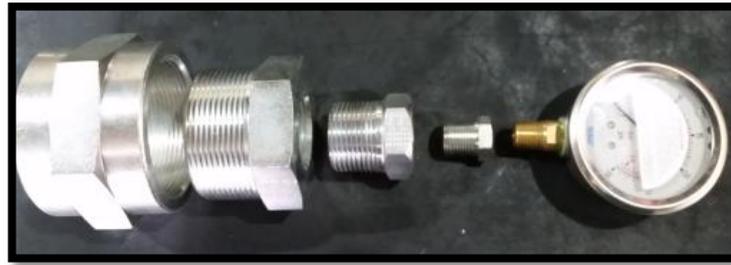


Figura 70: Medición y acoples usados para la instalación del manómetro.

Fuente: (Autor, 2015).

3.1.9 Sistema de Protección y Regulación de Voltaje.

A la salida del generador se conecta a una caja de conexión y protección en la cual va instalada un variac para calibración máxima y mínima de voltaje así como un foco para visualización de encendido/apagado, un fusible de 10 Amperios ya que su excitación máxima es de 12 Voltios y 8.3 Amperios según placa del Generador para el devanado de excitación y para la salida de Corriente un interruptor térmico para protección de sobrecarga de acuerdo la capacidad del generador, en este caso:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{2000}{115}$$

= 17.39 Amperios.

Disponible comercialmente y para garantizar al Generador será de 16.2 Amperios.



Figura 71: Pruebas realizadas en el Generador a usarse en el proyecto.

Fuente: (Autor, 2015).

3.1.10 Pruebas de generación al variar caudal así como al variar la relación de transmisión para una relación de velocidad vs voltaje.

A continuación se tabula los valores obtenidos en las diversas mediciones de campo en el lugar mismo del proyecto y con toda la estructura armada cuando se varía el caudal y la relación de transmisión de poleas para obtener las diferentes velocidades de giro expresadas en Revoluciones por minuto (RPM) y su correspondiente voltaje generado siendo el voltaje nominal de 115 Voltios, para las pruebas se aplica sin usar el variac para obtener los valores y gráficos respectivos así como su margen de variación del rango de trabajo:



Figura 72: Muestras de mediciones de velocidad realizadas con Tacómetro y de Voltajes en terminales con diversas cargas con el proyecto funcionando.

Fuente: (Autor, 2015).

Empezaremos por las pruebas de Velocidad Vs Voltaje generado en terminales con la ayuda de un tacómetro y un voltímetro para con sus datos elaborar la curva característica; para lo cual se recomienda desconectar el circuito eléctrico mediante el interruptor térmico principal (breaker) para evitar efectos secundarios en la carga eléctrica conectada en el proceso de arranque para una vez alcanzado alrededor de los 3000 revoluciones por minuto mínimos conectar la carga eléctrica aunque este proceso sea por breves segundos (3 segundos aproximado) ya que si bien antes de esa velocidad ya genera voltaje el mismo es muy bajo proporcional a la velocidad como se puede apreciar en la siguiente tabla lo que repercute en una mayor corriente que podría dañar a ciertos elementos sobre todo fuentes de poder, reguladores de voltaje y chips de carga de algunos artefactos eléctricos y/o tarjetas electrónicas, posterior a ello y con atención al voltímetro del generador se pone el breaker en encendido para medir y/o usar el generador siendo esta no solo una recomendación para las pruebas sino como normativa general para el arranque y uso del generador.

Velocidad de Rotación (Revoluciones Por Minuto)	Voltaje Generado (Voltios)
4103	126,6
4049	126,5
3634	126,5
3616	126,4
3608	126,1
3600	126
3592	125,9
3468	124,8
3211	123
3173	122,9
3130	119
3061	118
2975	112
2847	116,2
2728	109,5
2568	101,5
2558	85
2554	83
2538	81
2293	80
2257	79
1958	76
1930	70
1814	67
1748	65,8
1675	65,3
1668	63
1665	59,9
1633	59,4
1613	58
1600	55
1582	52
1578	51,1
1552	49
1496	37
1447	29
1430	18,7
1103	17,1
1031	13,9
928,6	13,1

Tabla 23: Tabulación Velocidad Rotación del Generador Vs Voltaje Generado.

Fuente: (Autor, 2015).

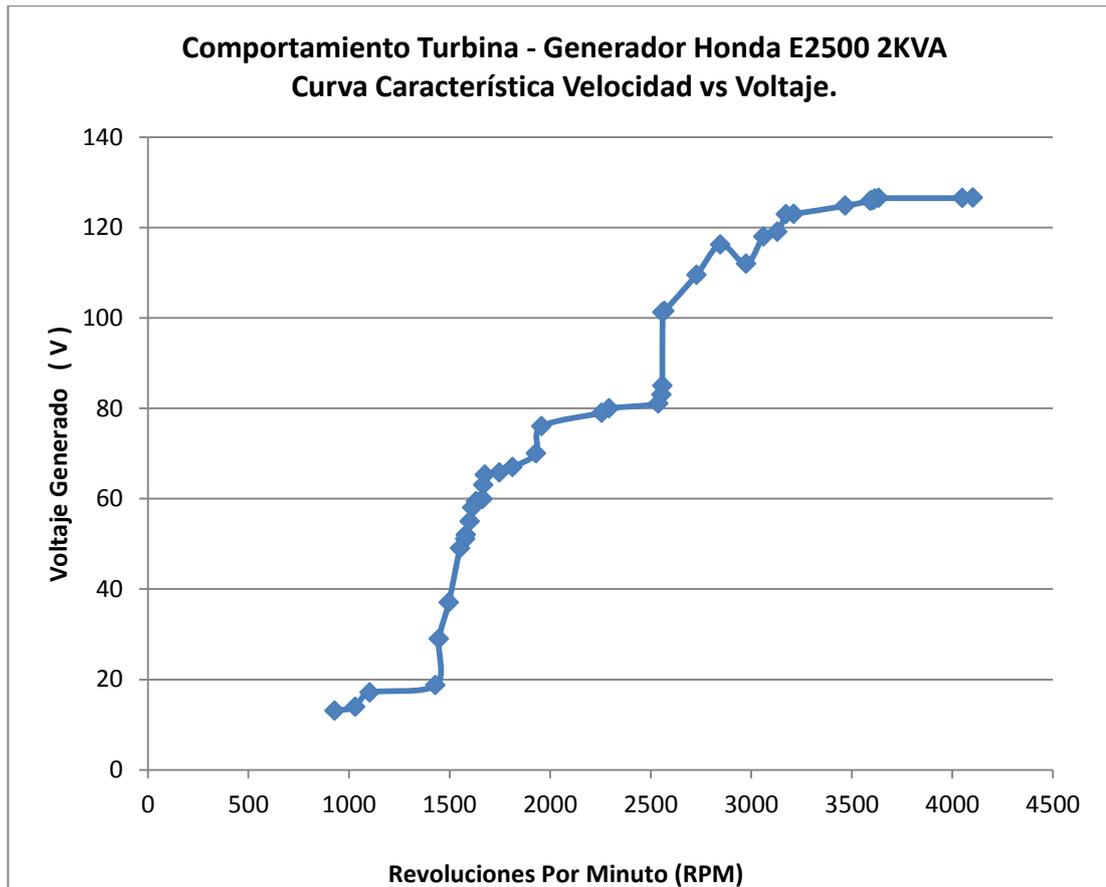


Figura 73: Grafica de Curva Característica de Velocidad vs Voltaje.

Fuente: (Autor, 2015).

3.1.11 Medición de presión de trabajo del proyecto.

A continuación se muestran los valores de presión obtenidos en el lugar mismo del proyecto con valores que oscilan entre 120 a 80 PSI para las primeras pruebas y para la segunda prueba de 170 a 150 PSI que se muestran a continuación.



Figura 74: Medición de Presión de trabajo en el proyecto, manómetro 200 PSI.

Fuente: (Autor, 2015).

Presión de trabajo	Voltaje Generado
Pounds-force per Square Inch (PSI)	Voltios (V)
120	126,6
119	126,5
118	126,5
117	126,4
116	126,1
115	126
114	125,9
113	124,8
112	123
111	122,9
110	119
109	118
108	112
107	116,2
106	109,5
105	101,5
104	101,2
103	85
102	83
100	80
99	79
98	76
97	70
96	67
95	65,8
94	65,3
93	63
92	59,9
90	59,3
89	58
88	55
87	52
86	51,1
85	49
84	37
83	29
82	27,8
81	18,7
80	17,1
79	13,9

Tabla 24: Tabulación Presión de trabajo en la entrada del Inyector Vs Voltaje Generado.

Fuente: (Autor, 2015).

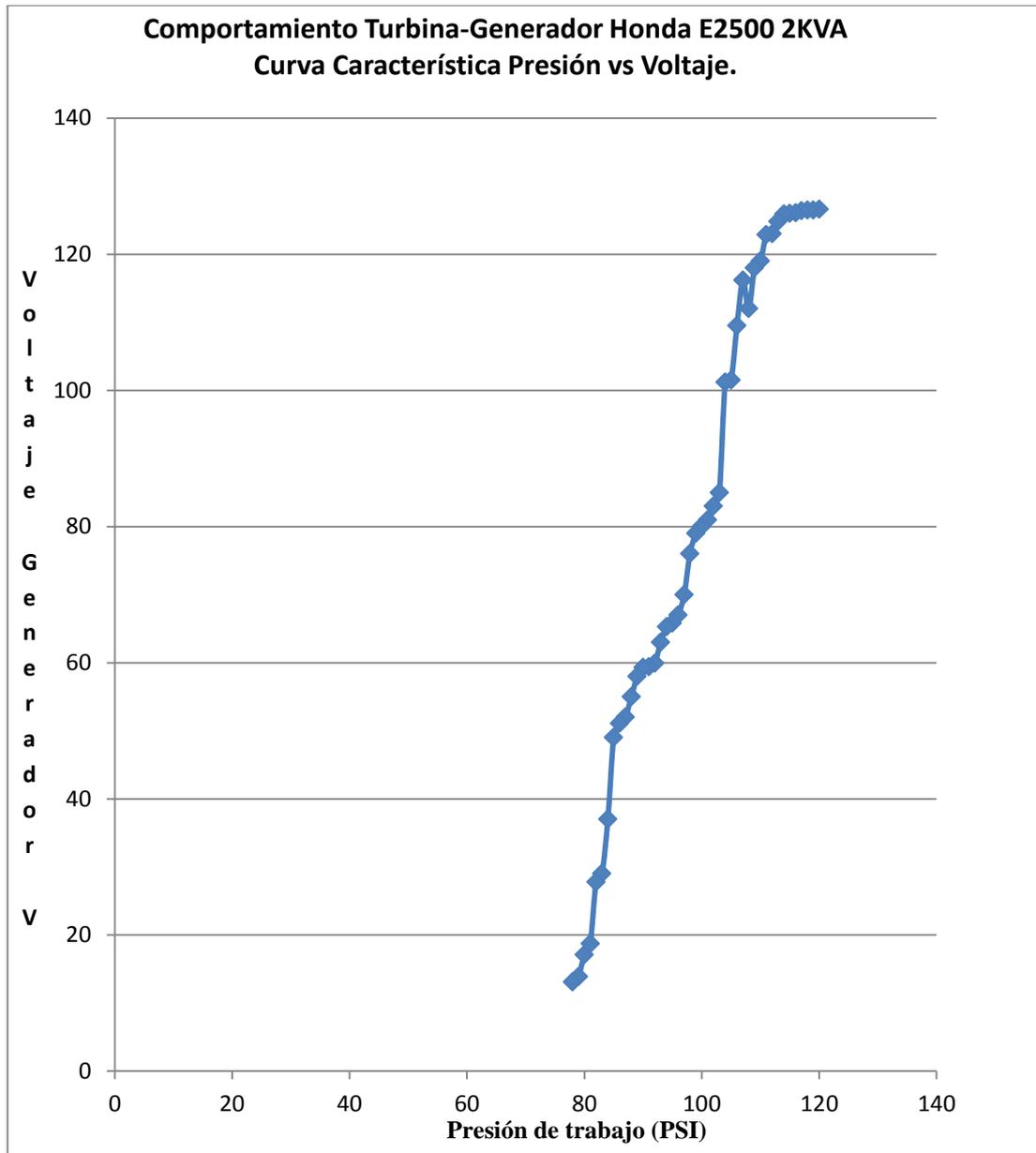


Figura 75: Gráfica Presión de trabajo en la entrada del inyector Vs Voltaje.

Fuente: (Autor, 2015).

De esta prueba cabe recalcar que se requiere unos 70 psi para vencer la estática y la inercia tanto de la turbina, ejes, banda, poleas y empezar a girar partiendo del estado de reposo hasta el estado normal de funcionamiento y serán estos datos los iniciales para la posterior construcción del inyector con su bulbo y comandados por un sistema de control para mantener la frecuencia de trabajo en los 60 Hertz como valor deseado y estable.

Presión de Trabajo	Velocidad de Rotación
Libras-fuerza por Pulgada Cuadrada (PSI)	RPM
120	4103
119	4049
118	3634
117	3616
116	3608
115	3600
114	3592
113	3468
112	3211
111	3173
110	3130
109	3061
108	2975
107	2847
106	2728
105	2568
104	2559
103	2558
101	2538
100	2293
99	2257
98	1958
97	1930
96	1814
95	1748
94	1675
93	1668
92	1665
91	1633
90	1623
89	1613
87	1582
86	1578
84	1496
83	1447
82	1446
81	1430
80	1103
79	1031
78	928,6

Tabla 25: Tabulación valores de Presión de Trabajo Vs. Velocidad de Rotación.

Fuente: (Autor, 2015).

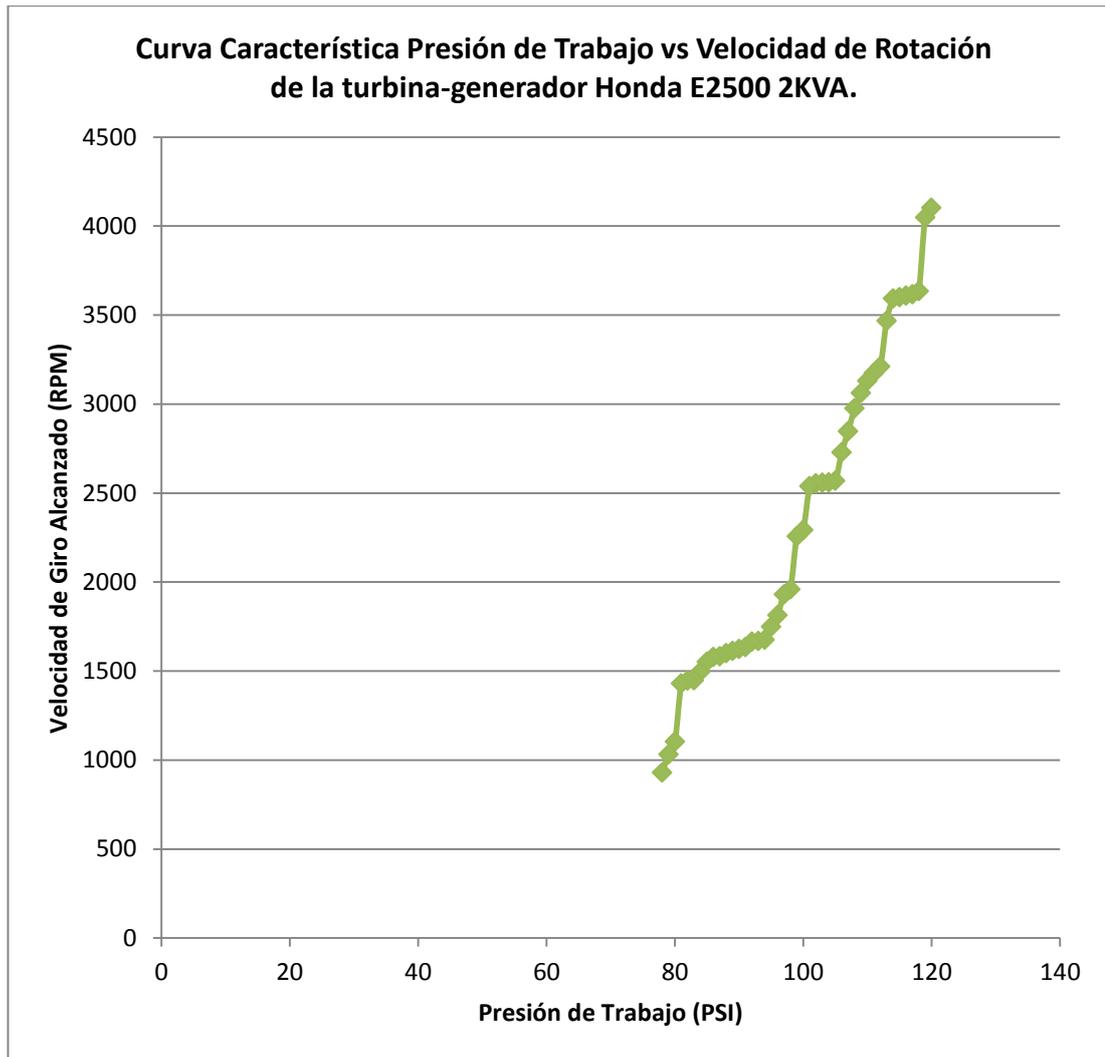


Figura 76: Curva Característica Presión de Trabajo (PSI) vs Velocidad (RPM)

Fuente: (Autor, 2015).

3.1.12 Mediciones y pruebas aplicadas a la turbina rediseñada.

Para este punto vamos a realizar la valoración de la turbina rediseñada que incluye un tamaño de rodete más grande de 10 pulgadas con la finalidad que a más de brindar mayor potencia elimina un juego de transmisión (dos chumaceras, una banda tipo A, inercia del eje de acero y de dos poleas) lo cual evita pérdida mecánicas por fricción, por tense de poleas y desbalance del mismo, evita desgaste de banda y colocación de grasa de dos chumaceras, así como previene la falla y deterioro de cualquiera de estos elementos durante su funcionamiento alargando su vida útil y nivel de confiabilidad del sistema así como reduciendo el período de mantenimiento.

Una muestra de las mediciones realizadas junto con los valores normalizados obtenidos incluido el valor óptimo que se busca mantener sobre todo en frecuencia así como las gráficas correspondientes son las que se ilustran a continuación:



Figura 77: Medición de voltaje y frecuencia con la turbina funcionando.

Fuente: (Autor, 2015).



Figura 78: Funcionamiento, Conexión y Vista de la Turbina.

Fuente: (Autor, 2015).

Velocidad de Rotación	Voltaje Generado
Instrumento Tacómetro (RPM)	Voltios (V)
0	0
2295	118
2995	118,1
3288	118,9
3329	119
3363	118,5
3423	119,2
3440	119,2
3501	119,1
3506	119,2
3796	119,1
4204	118,9
4849	119

Tabla 26: Valores de Velocidad y Voltaje para obtener su curva característica y su perturbación.

Fuente: (Autor, 2015).

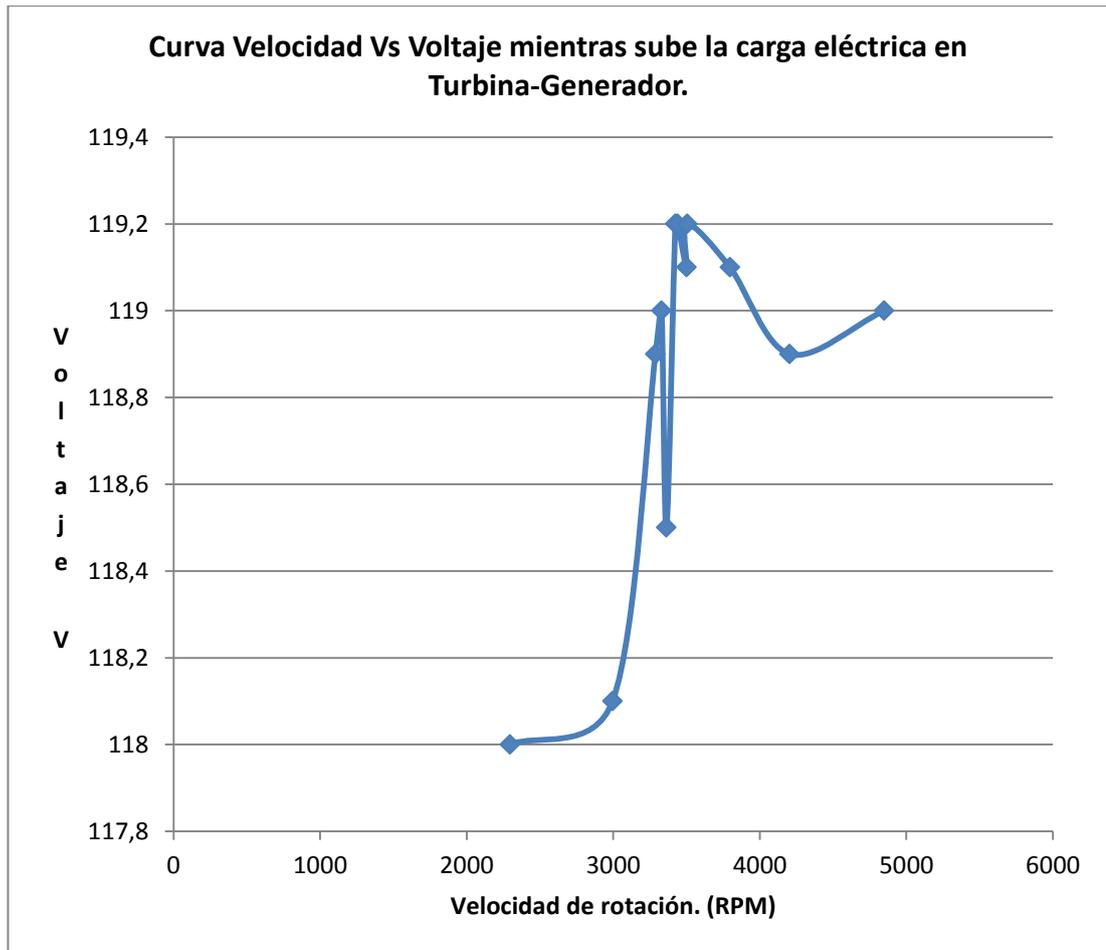


Figura 79: Curva Velocidad vs Voltaje mientras sube la carga eléctrica y su perturbación.

Fuente: (Autor, 2015).

Velocidad de Rotación	Frecuencia
Revoluciones Por Minuto (RPM)	Hertz (Hz)
2295	49
2995	49
3288	53
3329	54
3363	55
3423	56
3440	57
3501	58
3506	59
3796	63
4204	68
4849	81

Tabla 27: Tabulación de variación de frecuencia al variar la velocidad al manipular el caudal.

Fuente: (Autor, 2015).

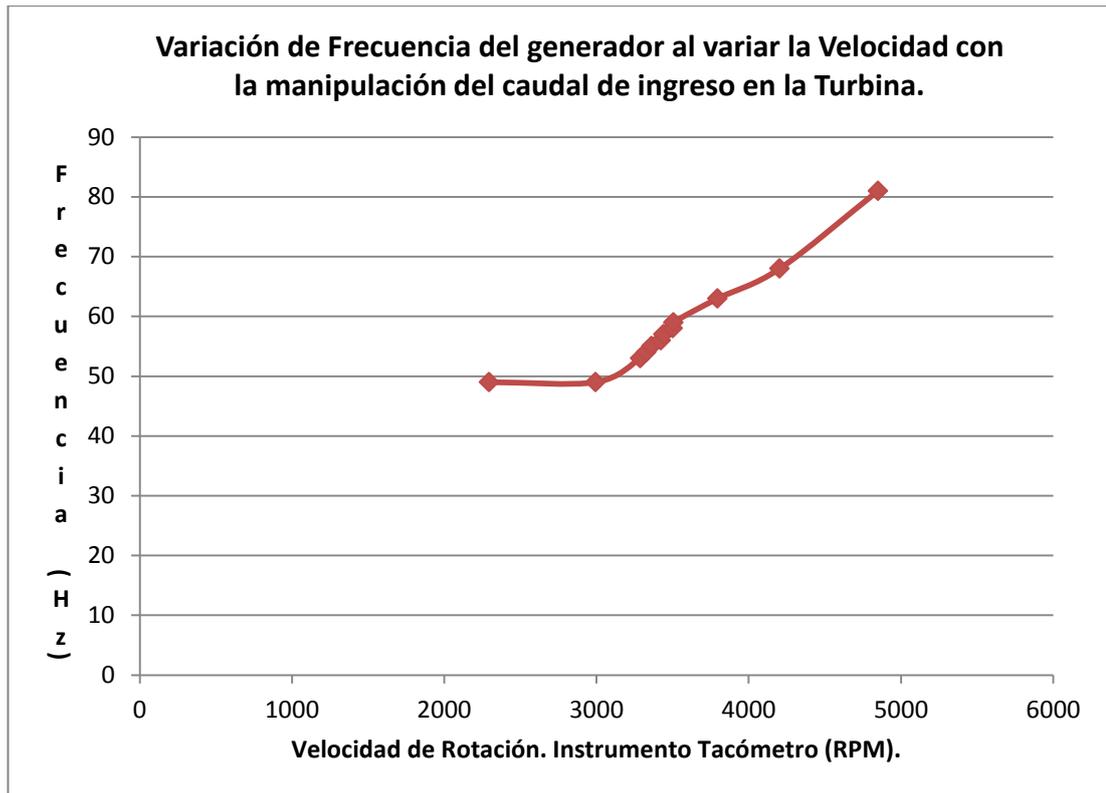


Figura 80: Curva de variación de Frecuencia Vs. velocidad al manipular el caudal.

Fuente: (Autor, 2015).

Voltaje Generado	Corriente de Carga
Voltios (V)	Amperios (A)
119,3	3,23
119,2	3,14
119,2	3,13
119,1	3,12
119,4	2,18
119,2	2,17
119,3	2,14
119,9	1,272
120,9	1,27
119,1	1,267
119,1	1,265

Tabla 28: Fluctuaciones Corriente vs Voltaje Generado compensando caudal.

Fuente: (Autor, 2015).

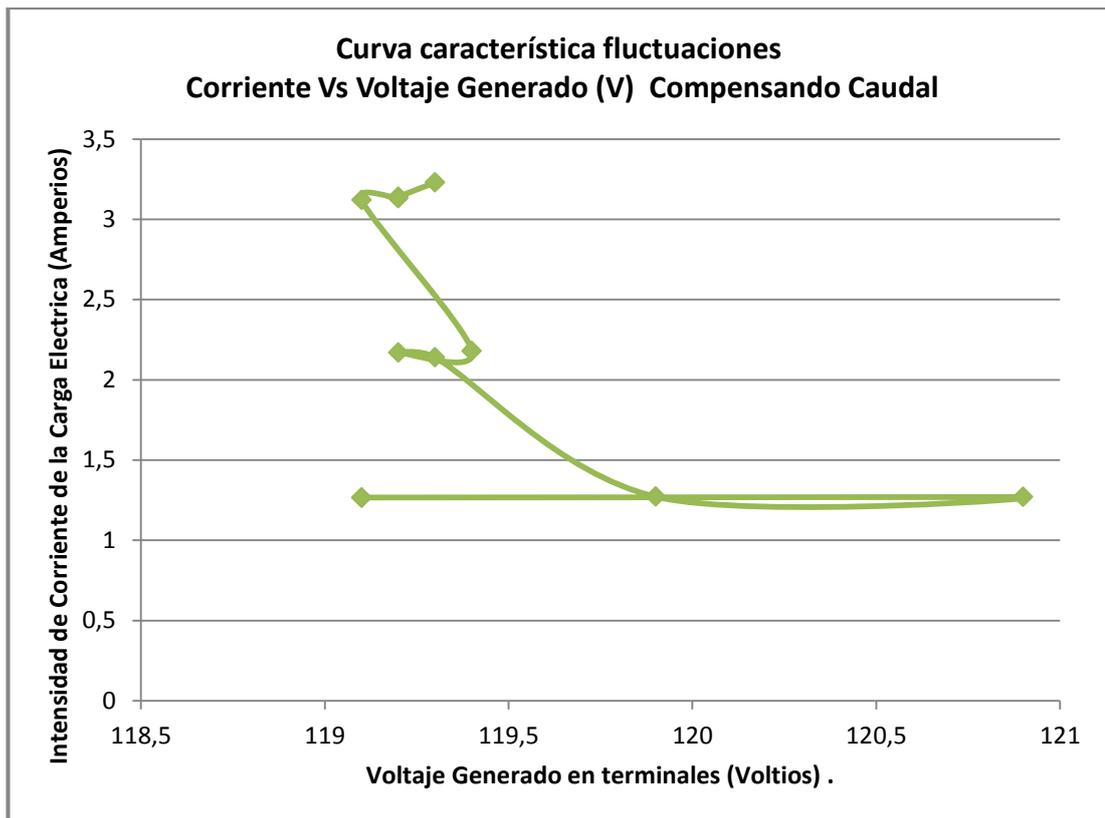


Figura 81: Curva de Fluctuaciones Intensidad vs Voltaje Compensando Caudal.

Fuente: (Autor, 2015).

De este último gráfico corroboramos el margen de variación del voltaje de salida que tienen las turbinas de acción o de impulsión tangencial y más aún si no trabaja en su capacidad máxima, al mismo tiempo que se observa cómo afecta la caída de tensión mientras aumenta su corriente de carga y el efecto al compensar con más caudal de ingreso con lo cual se mantiene dentro del margen de variación aceptable el cual mejorará considerablemente con la implementación de la tarjeta electrónica que controlará el bulbo con su aguja de regulación de caudal automáticamente en el inyector así como con la tarjeta electrónica de control automático de carga balastro o carga dummy a ser implementado para optimizar el proceso de control automático para garantizar niveles de confiabilidad de los parámetros eléctricos a entregar.

Para ello procedemos a calcular el porcentaje de regulación de voltaje de carga de acuerdo a la siguiente expresión tomando dos escenarios posibles, primero Dentro del rango normal de funcionamiento que de acuerdo a costumbres de uso se mantendrá inicialmente en un 50% de carga aproximado regulando su caudal de

ingreso y segundo tomando el valor máximo y mínimo cuando opere al 100% aunque para ello con estos valores nos servirán de base para la implementación del sistema de regulación automático tanto de caudal como de carga.

$$\text{Regulación de Voltaje} = \frac{\text{Voltaje Vacío} - \text{Voltaje a Media Carga}}{\text{Voltaje a Media Carga}} * 100$$

$$\text{Regulación de Voltaje} = \frac{V_o - V_{mch}}{V_{mch}} * 100$$

$$\text{Regulación de Voltaje} = \frac{119 - 113}{113} * 100$$

$$\text{Regulación de Voltaje} = 5.30 \%$$

$$\text{Regulación de Voltaje} = \frac{\text{Voltaje Vacío} - \text{Voltaje a Plena Carga}}{\text{Voltaje a Plena Carga}} * 100$$

$$\text{Regulación de Voltaje} = \frac{126 - 108}{108} * 100$$

$$\text{Regulación de Voltaje} = 16.666 \%$$

A continuación como figura 82 se detalla un esquema básico del proyecto en el cual se puede visualizar la fase uno motivo de estudio del proyecto así como su proyección de la fase dos del mismo con la finalidad de aprovechar el salto geodésico del agua y su caudal en dos ocasiones en serie desde su toma de inicio hasta el lugar del proyecto ya que al momento se lo ocupa solo la fase uno por motivos de carácter económico, de tiempo, de prueba y de carga a suministrar la cual es tendiente a incrementar con el paso del tiempo con lo que se puede garantizar el abastecimiento continuo.

Y en la posterior Figura 83 se detalla las características principales y componentes de la red eléctrica interna de ampliación desde la casa de máquinas donde se ubica la turbina y el generador hasta la vivienda motivo de estudio a la que se va a aprovisionar con la Energía Hídrica el mismo que se construirá por un personal calificado siguiendo las normas técnicas establecidas.

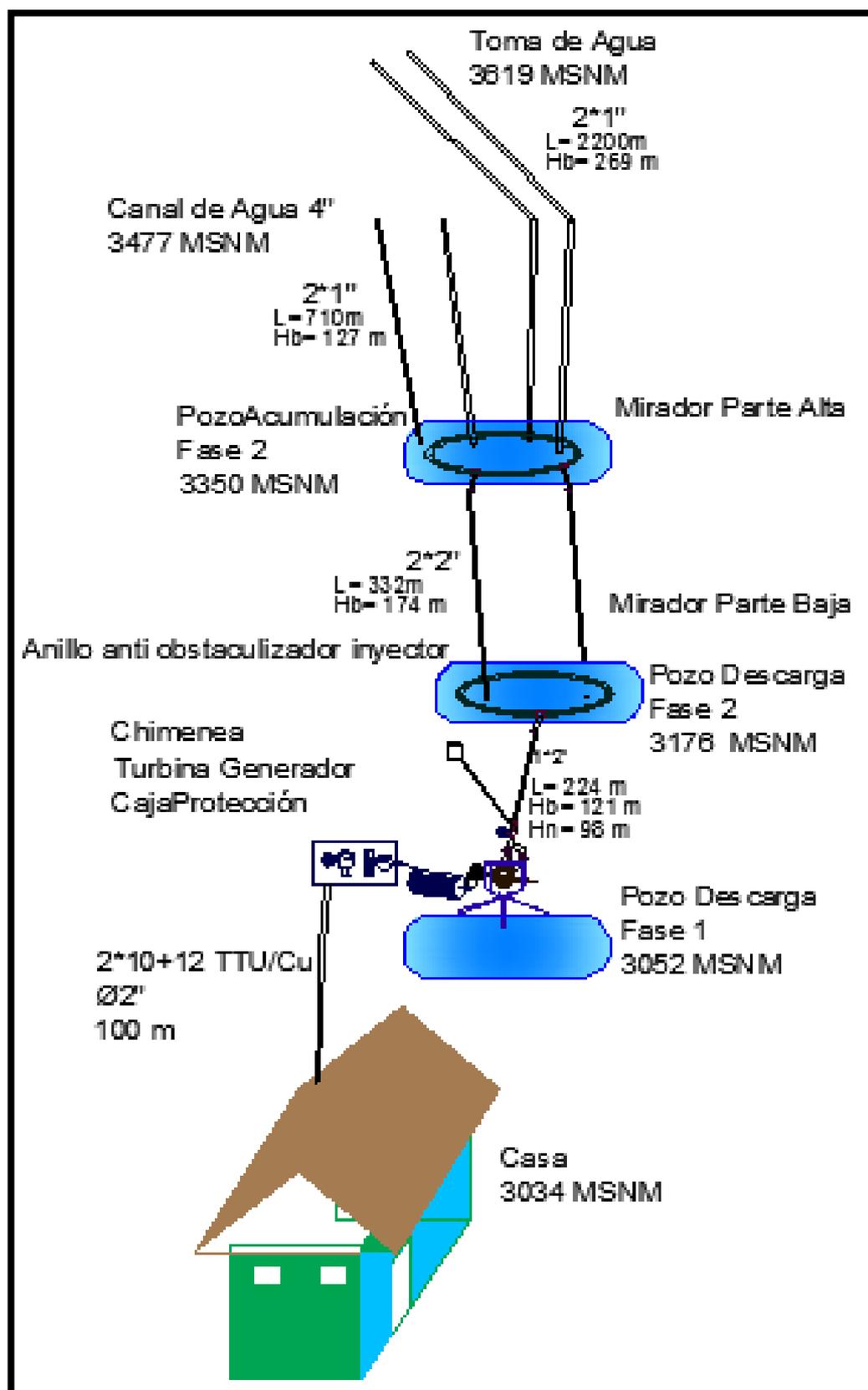


Figura 82: Esquema general del proyecto.

Fuente: (Autor, 2015).

3.2. Diseño de planos de ampliación de la red eléctrica interna.

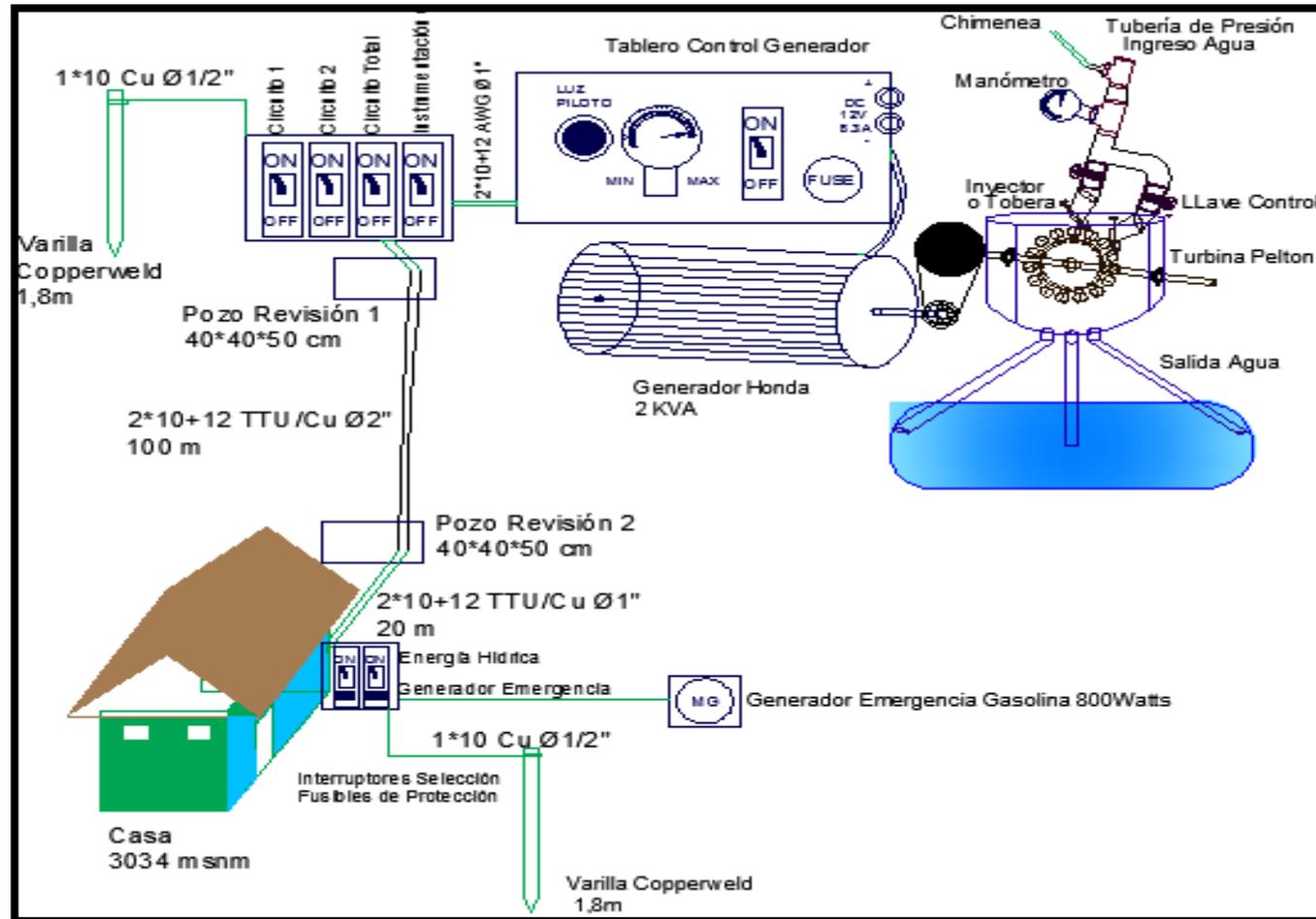


Figura 83: Planos de ampliación de la red Eléctrica en el lugar del proyecto.

Fuente: (Autor, 2015).

3.3. Metodologías y clases de Mantenimiento.

Se entiende por mantenimiento a la actividad que ayuda a conservar los equipos y el sistema en general con la finalidad de cuidar lo que se tiene y explotar energicamente y eficientemente los recursos y maquinaria instalada ya que de nada serviría grandes soluciones que predisponen diseños impresionantes, innovaciones y tecnologías de recuperación tanto del proceso industrial como económico pero si no le damos en correcto mantenimiento este no estaría disponible el cien por ciento ocasionando que se opaque lo que hemos obtenido y traiga consigo la pérdida económica y de tiempo que se vería reflejado en una baja producción, este proceso de mantenimiento también ha tenido su evolución desde que se realizaba después de un falló en la primera generación donde mantenimiento era sinónimo de reparar hasta la primera guerra mundial, luego de ello el reemplazo de componentes por ciclos o períodos en la segunda generación y como tercera generación ya se lo sometía a procesos de lubricación y ajustes en busca de alargar su vida útil y cambio de componentes una vez que haya finalizado hasta ahora en la cuarta generación en donde se tiene una ingeniería de mantenimiento .

En cuanto al tema de mantenimiento de nuestro proyecto vamos a acotar que por tratarse de un equipo que tiene la característica 24 por 365 es decir que va a estar sometido a un funcionamiento continuo durante todo el tiempo de su operación hay que presentarle bastante atención sobre todo a las partes móviles que por su trabajo están sometidos a un constante desgaste y por lo tanto requieren de especial atención, para ello vamos a partir de las diferentes técnicas de mantenimiento en post de atender este requerimiento que busca maximizar el tiempo de vida útil de los componentes pero minimizando el tiempo muerto que ocurre cuando el equipo se paralice por agotamiento o vetustez de sus componentes y los mismos dejen de funcionar acarreado consigo daños mayores o paralización de otros componentes que si están funcionales en el mismo tiempo.

3.4. Mantenimiento Preventivo.

Se lo cataloga como el conjunto de acciones y técnicas aplicadas para detectar fallas en sus etapas iniciales y que posterior a un proceso de corrección se evita que se manifieste en una falla más grande cuando se encuentre en operación acarreado

paralizaciones innecesarias y pérdidas económicas adicional a los tiempos muertos desde la ocurrencia de la falla hasta que se vuelva a su régimen de operación normal. (Solomantenimiento.com, 2015).

Mediante una correcta acción de la misma vamos a conservar tanto las instalaciones de la tubería, de la turbina, del generador y de las instalaciones eléctricas que usamos en el proyecto, para ello tenemos como propósito evitar, mitigar, prever las fallas del sistema completo antes de que las mismas ocurran en una incidencia y/o paralización con el objetivo principal de garantizar su correcto funcionamiento y operación en los niveles óptimos y con gran eficiencia y fiabilidad.

Esta operación consiste principalmente de una inspección visual de todo el sistema en condiciones de funcionamiento y seguridad donde con las pertinentes revisiones y mediciones de parámetros para poder determinar que no presenten valores fuera del rango de operación con lo cual comprobamos fallas en su fase inicial y las corregimos, calibramos o reparamos en su momento oportuno para impedir que el sistema o sus componentes se descompongan y dejen de funcionar ya que ello, la mayoría de veces trae consecuencias graves por el fallo causado en sus componentes que implica mayores gastos y la paralización del mismo que se vería reflejado en la falta del suministro de Energía Eléctrica.

Una vez detectado la falla siempre y cuando esta genere señales o síntomas de su existencia tales como: vibraciones, ultrasonido (superior al rango de captación del oído humano de 20 a 20.000 Hertz), partículas de desgaste, ruido, alta temperatura y/o alto consumo de corriente, empalmes o borneras en mal estado, resistencias del aislamiento y otras aplicamos un plan para mitigar los mismos. A su vez este tipo de mantenimiento lo vamos a subdividir en tres modalidades claro está que una de ellas podría suplir o posponer de una o de las otras dos:

3.4.1 Mantenimiento Programado.

Lo vamos a realizar de acuerdo a los períodos de tiempo programados, es decir, básicamente se la realiza de acuerdo a las tablas, valores y catálogos recomendados de los componentes que usamos en nuestro sistema, por citar, los rodamientos, bujes y chumaceras se encuentran catalogados por sus horas de uso y este puede variar de acuerdo a su envejecimiento, por ejemplificar de acuerdo a la

tabla ocho de los datos técnicos de las mangueras nos brindan una garantía de ocho años en los cuales las inspecciones serán por validación, rutina y garantía pero posterior a este tiempo las inspecciones serán de mayor rigurosidad y con menor periodo de tiempo.

3.4.2 Mantenimiento Predictivo.

Se ocupa de determinar el momento preciso en que el equipo necesitará ser revisado por lo que se predice el tiempo máximo de utilización.

Las técnicas de detección de falla y defectos en el sistema implica desde la utilización de los cinco sentidos muy cautelosamente como son el tacto, la vista, el oído, el olfato y el sabor para el caso puntual del agua hasta el uso de herramienta básicas, instrumentos sofisticados, controles estadísticos y procesos de control de calidad entre los cuales podemos citar análisis de circuitos eléctricos, cuadros de vibraciones, termografías, validación de motores y generadores, tribologías (fricción, desgaste y lubricación) con la finalidad de reducir pérdidas y desgaste, mejorar los movimientos rotativos, evitar pérdidas de energía y en general incrementar la productividad y reducir el mantenimiento.

Uno de los puntos más críticos será la rotación y alineación de la turbina con el eje del generador incluyendo bujes y rodamientos aunque hoy en día se dispone de equipos de medición que incluyen su software que generan un reporte automático por lo que se los llama libre de error humano entre los cuales uno de los más conocidos hoy en día es el Shaftalign como el que se puede apreciar a continuación:



Figura 84: Medición de alineación y desbalancee del eje.

Fuente: (Instituto Mexicano de Mantenimiento Predictivo, 2014).

3.4.3 Mantenimiento de Oportunidad.

Este lo realizaremos aprovechando aquellos momentos en los que el sistema no se emplea con lo que se busca evitar sacarlo de actividad para dicho proceso o en su defecto que su impacto sea el menor posible, un claro ejemplo de esta clase de mantenimiento es el que se brinda en períodos de fin de año en grandes empresas como la Llantera, Fibroacero y otras más, para nuestro proyecto consideraremos los siguientes puntos:

Este mantenimiento es proactivo ya que permite determinar las fallas antes de que ocurran y al estar en su etapa incipiente nos brinda el tiempo necesario para realizar acciones correctivas que garanticen una mejor calidad de reparaciones al ser sus paros programados y bajo condiciones controladas. (Monografias.com, 2015)

El horario tendría que ser en el día para aprovechar la luz solar ya que su mayor uso se lo da en las noches, iniciar temprano una buena alternativa para avanzar lo máximo posible en todos los puntos de revisión en el transcurso del día, preferiblemente feriados por el tiempo de ida y vuelta y mínimo dos técnicos para coordinar los de la parte hidráulica con la parte mecánica con la parte eléctrica y de acuerdo a las correcciones realizadas y valoraciones en los mismos aplicar una metodología de mantenimiento predictivo y/o programado e incluso correctivo en los cuales se incluyan algún repuesto requerido y/o herramienta particular para realizar dicho proceso de regularización.

Para implementar el proceso de mantenimiento predictivo y justificar económicamente como también en la parte técnica del mismo, se debe determinar en qué sistema, parte, máquina o proceso de lo va a implementar y para ello debemos contar con un equipo altamente competente en el área de mantenimiento, conocer los diferentes modos de falla y los efectos negativos que estos pueden tener para de acuerdo a ello determinar los factores a monitorear y seleccionar el método más aplicable técnica y económicamente en base a sus ventajas y desventajas en busca de cambiar el mantenimiento correctivo por el preventivo en cuanto sea posible.

Para que el programa de mantenimiento preventivo se considere efectivo esto a manera general debe incrementar la confiabilidad en todo el sistema y el

desempeño operacional de las máquinas con lo que se reduce el tiempo de mantenimiento y paralización optimizando el tiempo de producción en general.

En nuestro caso particular como habíamos citado una de las partes críticas está en la duración de los rodamientos, cojinetes y chumaceras tanto de la turbina, acople y generador, para ello vamos a monitorear que no es más que medir la variable en este caso desgaste y vibración desde un inicio y compararla con las mediciones futuras con el fin de determinar su porcentaje de desviación por el uso a través del tiempo y lo contrastamos con los datos técnicos del fabricante para valorar su uso en un rango moderado, para ello de la orden de trabajo de mantenimiento vamos a elaborar nuestro propio cuadro de duración, desgaste y vibración con las condiciones en las que labora el proyecto similar y partiendo como referencia para los primeros mantenimientos la desviación de acuerdo al tiempo de uso como se puede apreciar en la siguiente gráfica:

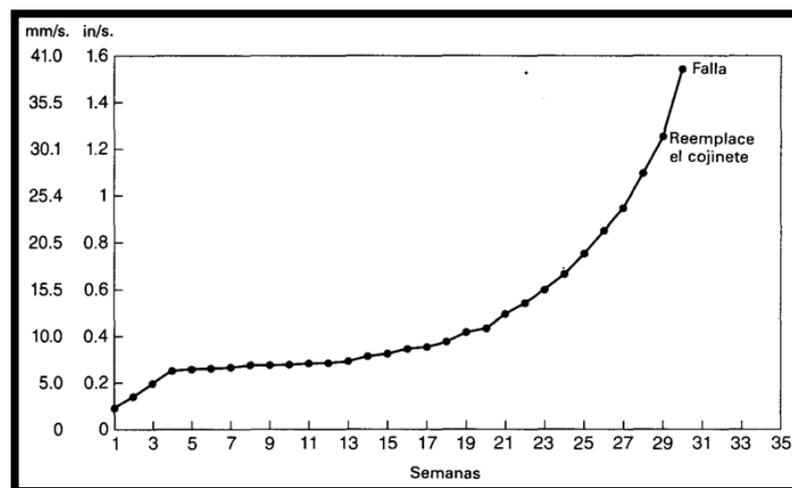


Figura 85: Período de duración y reemplazo de cojinetes.

Fuente: (Monografias.com, 2015)

Otro parámetro importante a tener en consideración para nuestro proyecto es el análisis por ultrasonido pasivo ya que la mayoría de fallas están a una frecuencia aproximada de 40 Kilohertzios entre las que podemos citar fricciones mecánicas, fugas de vacío o presión, arcos eléctricos, e incluso el análisis de vibraciones anteriormente descrito no es tan eficaz cuando la velocidad está por debajo de las 300 revoluciones por minuto por lo que se vuelve un complemento a la misma, a esto cabe acotar que como son de corta longitud se atenúan rápidamente sin provocar

rebotes y como ventaja se tiene es su alta direccionalidad por lo que permite detectar la falla con precisión y rapidez sin que influya el ruido ambiental por fuerte que sea.

3.5. Mantenimiento Correctivo.

Es la forma más primitiva del mantenimiento en donde se localizaba una avería y se la procedía a corregir y/o reemplazar dado la simplicidad de las máquinas pero ahora obedece a todo un proceso preventivo y de optimización de recursos detallados en el numeral anterior donde después se seguir el proceso y por anomalía, por término de vida útil o por una causa de fuerza mayor en donde ocurre una falla o avería en el equipo que por su naturaleza la mayoría no estaban planificadas ni presupuestados por lo que trae los costos de reparación y cambio de repuestos de piezas del equipo siendo a veces el costo operacional es el más elevado por la paralización, falta de producción y tiempo de respuesta del mismo reparo del mismo tomando en consideración la distancia de ubicación del proyecto, disponibilidad del técnico y stock de repuestos en caso de requerirlos.

Para el proyecto tenemos un elemento crítico en el inyector con su boca de salida, aguja y bulbo de regulación que por la gran presión y aceleración a la que se somete corre riesgo de tener una falla no prevista y que por su ubicación, una obstrucción de la misma podría ocasionar un colapso de la tubería de presión por lo que por política de garantía y de seguridad se lo ha provisto de un inyector y todo su conjunto adicional el mismo que se encuentra colocado y conectado en el mismo y listo para trabajar pero regulado por una válvula de compuerta la que comandará en caso de caso de un mantenimiento preventivo y/o correctivo de emergencia.

Cabe recalcar que todas las valoraciones, mediciones y reparaciones de cada una de las revisiones realizadas serán documentadas en su respectiva orden de trabajo secuencial y de ser necesario con los respaldos respectivos ya sea en fotos, mediciones, facturas, bitácoras y estadísticas para detectar desviaciones de valores la misma que irá archivada en una base de datos que servirá para la elaboración de reportes, análisis de históricos y de guía para generalizar y/o estandarizar el proceso futuro a seguir con el fin de optimizar el mismo así como el uso y/o reemplazo de componentes con otros de mejor calidad y/o rendimiento en caso de ser necesario.

Para llevar un control se elabora una base de datos de las inspecciones realizadas tanto de rutina como de verificación con todos los informes necesarios tomados de cada orden de trabajo que se realicen con la finalidad de llevar una bitácora para su análisis y muestreo del proceso de desgaste tanto normal como por posibles eventualidades con la finalidad de pronosticar de mejor manera las labores de mantenimiento y/o corrección de ser así necesario.

Para ello partimos de la orden de trabajo y de acuerdo a sus antecedentes vamos a aplicar las acciones necesarias tanto de prevención, corrección y hasta optimización de así requerirlo ya sea en la parte mecánica, hidráulica, eléctrica y de control automático.

PLAN DE MANTENIMIENTO MICROHIDROELÉCTRICA		
Orden de trabajo Número:		Firma
Responsable:		
Revisado por:		
Aprobado por:		
Inspección Visual	Recomendaciones	Observación
Cernidor de Impurezas	Limpieza	
Tuberías:	Uniones, Abrazaderas Industriales y Fugas	
Rotación Eje:	Alineación, Chavetas, Centrado y Desbalanceamiento	
Chumaceras:	Sujecciones, Prisioneros, Engrasado y Sonido	
Banda:	Velocidad, Desbalance y/o cabezamiento	
Polvoas:	Alineación, Desgaste y Tense	
Conexiones Eléctricas:	Sujeccion, Empalmes, Aislamiento, Conexiones, Puntos Calientes	
Infraestructura:	Puntos humedos, Oxidación, Goteras, Protecciones y Seguridad	
Revisión y Medición Presión	Recomendaciones	Observación
Valor (PSI):		
Dentro del Rango Permitido	Si	Anexo A
	No	Anexo B
Revisión y Medición Frecuencia	Recomendaciones	Observación
Valor (Hz):		
Dentro del Rango Permitido	Si	Anexo C
	No	Anexo D
Revisión y Medición Voltaje	Recomendaciones	Observación
Valor (V):		
Dentro del Rango Permitido	Si	Anexo E
	No	Anexo F
Medición Alineación y Tribología	Recomendaciones	Observación
Valor (%):		
Dentro del Rango Permitido	Si	Anexo G
	No	Anexo H
Orden de Trabajo Anexo A Anexo B Anexo C Anexo D Anexo E Anexo F Anexo G Anexo H		

Tabla 29: Orden de trabajo a ser usada en las inspecciones y sus Anexos.

Fuente: (Autor, 2015).

CAPITULO 4.

POLITICAS DE GARANTÍA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para garantizar el normal funcionamiento de la turbina se tendrá en consideración los siguientes elementos que ayuden a minimizar factores que afecten el normal deterioro de los componentes y de su vida útil.

4.1 Consideraciones:

La instalación se deberá realizar previo un estudio de factibilidad donde se garantice los requerimientos mínimos de funcionalidad sobre todo lo que se demanda a disponibilidad de caudal, altura, sujeciones fijas, protección y de presión para la tubería de fuerza con las pérdidas que no sobrepasen los márgenes permitidos por turbulencia y fricción máximo del once por ciento como estipula la tabla once en lo referente al cálculo hidráulico, en cuanto al pozo de acumulación de caudal y de presión con sus respectivos sistemas de drenaje para sobre caudales así como con sistema impermeabilizante para evitar fugas de caudal y acumulación de sedimentos, en cuanto a lo referente a la parte eléctrica y electrostática se garantizara los estándares de pérdidas por caída de tensión, sistemas de protección ante sobrecarga eléctrica, sistema de protección de sobre demanda así como a eventuales corrientes de arranque y/o de cortocircuitos y sistema de puesta a tierra para protección.

4.2 Políticas de Garantía:

Se entenderá como política de garantía un daño o fallo causado en uno o más de sus componentes o en el sistema completo debido a un problema de diseño, fabricación o componentes usados en el mismo, es decir, a lo que normalmente se conoce como daños de fábrica.

Otro elemento crítico a tener presente es el bulbo, la aguja de regulación de caudal y la boca de inyección de la tobera ya que en esta se produce una fuerte aceleración y la presencia de partículas de considerable tamaño pueden provocar la obstrucción, atascamiento o desgaste excesivo del mismo por lo que para evitar en lo mínimo posible el sistema deberá contar en la boca de la toma del agua del pozo

regulador un sistema de filtración que garantice que estas partículas no ingresen a la tubería de presión la cual deberá cumplir con una periodicidad de limpieza de la misma así como del pozo para eliminar impurezas en el mismo y este estará en función de la calidad y limpieza del agua con la que se trabaja.

No están sujetas a daños cubiertos por garantía del fabricante lo relacionado a estética, descoloramiento y envejecimiento normal de sus cubiertas y carcasas.

No se entenderá por políticas de garantía a daños causado por el normal uso, desgaste y deterioro debido a la decadencia propia de los componentes para lo cual se va a regir en las características de funcionamiento y políticas de garantía propias de sus componentes, sobre todo en lo que refiere a elementos que debido a su función como son los bujes, rodamientos, carbones o escobillas así como colector de delgas que por su uso constante tienden a terminar su vida útil, estos regularmente se las cataloga por sus horas de uso.

Quedan exentos de todo tipo de política de garantía aquellos equipos que registren una o más de cualquiera de las siguientes particularidades:

Señales de humedad, sulfatación y/o corrosión de sus partes internas y/o externas ya sean del sistema del generador, sistema de protección y/o conducción eléctrica a excepción de lo concerniente a la tuberías de agua tanto de conducción como de presión y de la turbina con sus partes ya que por la naturaleza de su trabajo están sometidos a la misma.

Señales de golpes o forcejeos en las carcasas o componentes del generador, turbina, borneras, cajas de protección y alojamiento de elementos de conexión, maniobra y protección que pueden ocasionar fisuras internas que se verán reflejadas en su deterioro a corto, mediano o largo plazo en sus componentes sobre todo y en especial atención lo referente al eje y sistema de acople turbina generador que pueda ocasionar un desequilibrio del eje de rotación con su consecuente deterioro.

Indicios de mala manipulación en el sistema completo incluido:

Falsos contactos en borneras o puntos de contacto de la parte eléctrica que puedan ocasionar puntos calientes por un chispeo continuo que dañen el contacto debido a un inapropiado ajuste en sus uniones, empalmes o sujeciones de borneras.

Averías o forcejeos en rodamientos y/o chumaceras del eje de la turbina que provoquen un desbalance del mismo con el consecuente desgaste de forma irregular de los mismos y posibles rozamientos con elementos cercanos como el inyector.

Y con sobre atención a los sellos de apertura de las tapas laterales del generador ya que su diseño presenta alteraciones cuando han sido abiertas por personal no autorizado, esto debido a que en estas tapas cubiertas los mismos llevan consigo los rodamientos del rotor bobinado de campo cuyo desbalance y/o des centralidad podría ocasionar un giro y desbalance irregular del mismo.

Dentro de las características de seguridad, garantía y de fiabilidad se le ha dotado al proyecto se una política de seed stock que para este caso es de otra unidad similar por lo que el costo inicial es alto, no así cuando se trata de una producción en serie donde se recomienda un valor mínimo del 3% y máximo del 10% por lo que a menudo se dispone de unas cinco unidades por cada cien para cambios por garantía o préstamo momentáneo mientras la unidad defectuosa ingresa a revisión, reparación y/o cambio definitivo ya sea por garantía o por venta si no se siguieron las recomendaciones y términos descritos en los párrafos anteriores.

4.3 Recomendaciones:

Para la fabricación del rodete usar un material que resista la fatiga, la corrosión y la erosión por lo que el acero inoxidable o sus aleaciones son una buena opción pero por la complejidad de la ductilidad y maleabilidad del mismo se tomó por experimento con álabes de fundiciones de aluminio, cobre y bronce mediante un proceso que ayuda al reciclaje de componentes, se lo puede fabricar unido o por separado los alabes o cucharas con el plato circular que sostiene la misma pero por razones de manipulación al momento constructivo se lo aplicó por separado y se deberá tener especial cuidado en la sujeción ya sea mediante cordones de suelda o con pernos para que el mismo soporte la presión máxima cuando el rodete esté en reposo e impacte el chorro de agua a presión así como al momento que se encuentre girando con la máxima velocidad y por la fuerza centrífuga tienda a expulsarse, se tomó la opción de sujeción por pernos por el tema de reemplazo de álabes en caso de una avería así como también por el mismo motivo se tomó la precaución de fundir

unas cucharas adicionales para muestra y emergencia para así poder garantizar su provisión en algún periodo falla o de mantenimiento preventivo.

Se recomienda usar valores estandarizados ya que se presentó un inconveniente al trabajar inicialmente con eje de 5/8 y luego era muy difícil conseguir juego de chumaceras de esta medida a pesar de recorrer gran cantidad de locales en busca de los mismos por lo que se tomó la opción de cambiarse a un eje de diámetro un tanto superior de 3/4.

El proceso de fabricación de una unidad como siempre resulta tediosa, compleja y costosa no así obstante si se lo realiza mediante una producción en serie ya que los cálculos, moldes, tiempo, materiales, personal y conocimientos se los puede reutilizar con el consecuente ahorro de tiempo, dinero y optimización de recursos que se ve reflejado en una mejora continua del producto.

4.4 Conclusiones:

El proyecto resultó muy importante e interesante ya que se alinea con la temática del cambio de la matriz energética y sobre todo de la matriz productiva nacional que hoy en día es impulsada por la Vicepresidencia de la República y por un ex docente de nuestra Universidad el Dr. Esteban Albornoz a la cabeza del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable que buscan optimizar el uso de la Energía Eléctrica aprovechando los recursos renovables en nuevos procesos como el de la cocina a inducción y autos eléctricos que antes no se usaban ni pensaban en nuestro medio, con lo que se busca disminuir el consumo de recursos no renovables como son los derivados del petróleo que acarrear grandes costos por temas de subsidio del Estado ya que si bien Ecuador exporta petróleo a cambio le toca importar gran parte de sus derivados como gasolina, gas de uso doméstico y otros a más de que son altamente peligrosos por ser de rápida combustión e inflamables y que incurren en altos costos por subsidio de estos productos que para solventarlos se hablan de nuevos impuestos que perjudican el bolsillo del pueblo ecuatoriano.

Otro punto que cabe resaltar de este proyecto es que se incursionó en nuevos temas como en el cálculo hidráulico, pérdidas de presión en tuberías, golpe de ariete, Principio de Bernoulli, dimensionamiento de componentes mecánicos, lugares y adquisición de componentes mecánicos, hidráulicos y proceso de fabricación

metalúrgicos que inicialmente se presentó como un obstáculo para avanzar en este proyecto sobre todo en lo concerniente al rodete y ahora es un conocimiento y logro obtenido al culminar la materialización del proyecto.

La ocasión se prestó como la oportunidad para profundizar en los temas de turbinas, centrales, energías renovables y costo de producción por generación mediante quema de combustibles fósiles con el consecuente ahorro no solo de la parte económica sino también del gran impacto ambiental favorable que las energías renovables brindan mediante la disminución de CO₂ y gases nocivos como también de efecto invernadero que cada vez se enfatizan más en post de buscar mejorar la calidad de vida sin dañar el medio ambiente ya que es el único que tenemos y se está destruyendo cada día más rápido de lo que imaginamos con la creciente población, industrialización de los procesos y fabricación de los diversos productos por lo que a nivel nacional y mundial es promovido por las grandes autoridades.

Una ventaja que cabe salvar también es el hecho de que con los conocimientos adquiridos en los años de la Universidad se puede implementar un proyecto o proceso que busca cubrir una demanda insatisfecha y va en favor de la sociedad o de ciertas familias indistintamente de su afinidad y/o clase social, política, ideológica que tenga sino con el afán de brindar una solución técnica, viable, económica y ecológicamente sustentable.

Vale la pena mencionar también que no solo se trata un proyecto de grado que se termina y queda ahí, sino por lo contrario es el proyecto inicial que proveerá de recursos energéticos para la ampliación tanto a su fase dos y tres eléctricamente hablando como también a la ampliación del proyecto agrícola, ganadero, acuacultura y turismo con la realización del teleférico que se tiene como objetivo implementar y que también son promovidos por las grandes autoridades en el marco de la política de la sana alimentación y del buen vivir en el cual este proyecto de mini generación eléctrica servirá como ayuda para el consumo eléctrico del mismo y como fuente de emergencia ante un eventual corte de energía cuando ya se conecte con la red eléctrica de distribución.

Desde el punto de vista de la viabilidad del proyecto se puede acotar que a más de lograr el efecto de mini generación hidroeléctrica descentralizada y su aporte económico ya que la misma se la puede usar, ampliar y hasta vender a más usuarios

y/o a las empresas distribuidoras con los medidores bidireccionales llegando a un mutuo acuerdo, se obtiene un beneficio en la parte hídrica ya que en la diversificación y al minimizar las pérdidas en la transportación del agua logramos una mayor cantidad de la misma para ocupar por los habitantes del lugar en las demás actividades en una zona que escasea del líquido vital para las demás labores por lo que se beneficia a los habitantes de las zonas donde se emplaza estos proyectos con lo que se demuestra su competitividad sin causar daños al medio ambiente con lo que se obtiene un valor agregado de estos mini aprovechamientos hidráulicos y más aún si se toma en cuenta el valor ambiental dentro del proyecto.

Para culminar también se puede expresar que esta idea se la pueda aplicar en mayor magnitud en los pequeños sistemas de provisión de agua de las comunidades, Gobiernos Provinciales, Gobiernos Autónomos Descentralizados o de las grandes empresas de abastecimiento de agua potable del país y en nuestro caso puntual de la ciudad de Cuenca con los sistemas de captación de agua potable de Etapa sin perjudicar al mismo ni al medio ambiente sino por el contrario ayuda con un efecto de amortiguamiento y eliminación de partículas al ingresar a la tubería de presión en un régimen turbulento para posterior a ello golpear los álabes de la turbina y la oxigenación del mismo que produce al caer el agua desde una altura considerable al(os) pozos de acumulación, reservorio y desfogue del mismo sistema pudiendo ser no solo uno sino varios sistemas en cascadas e interconectados entre sí para una mayor producción y optimización del mismo recurso.

ANEXOS.

Muestras de mediciones de voltaje realizadas en la microturbina.



Figura 86: Mediciones de voltaje realizadas en el desarrollo del proyecto.

Fuente: (Autor, 2015).

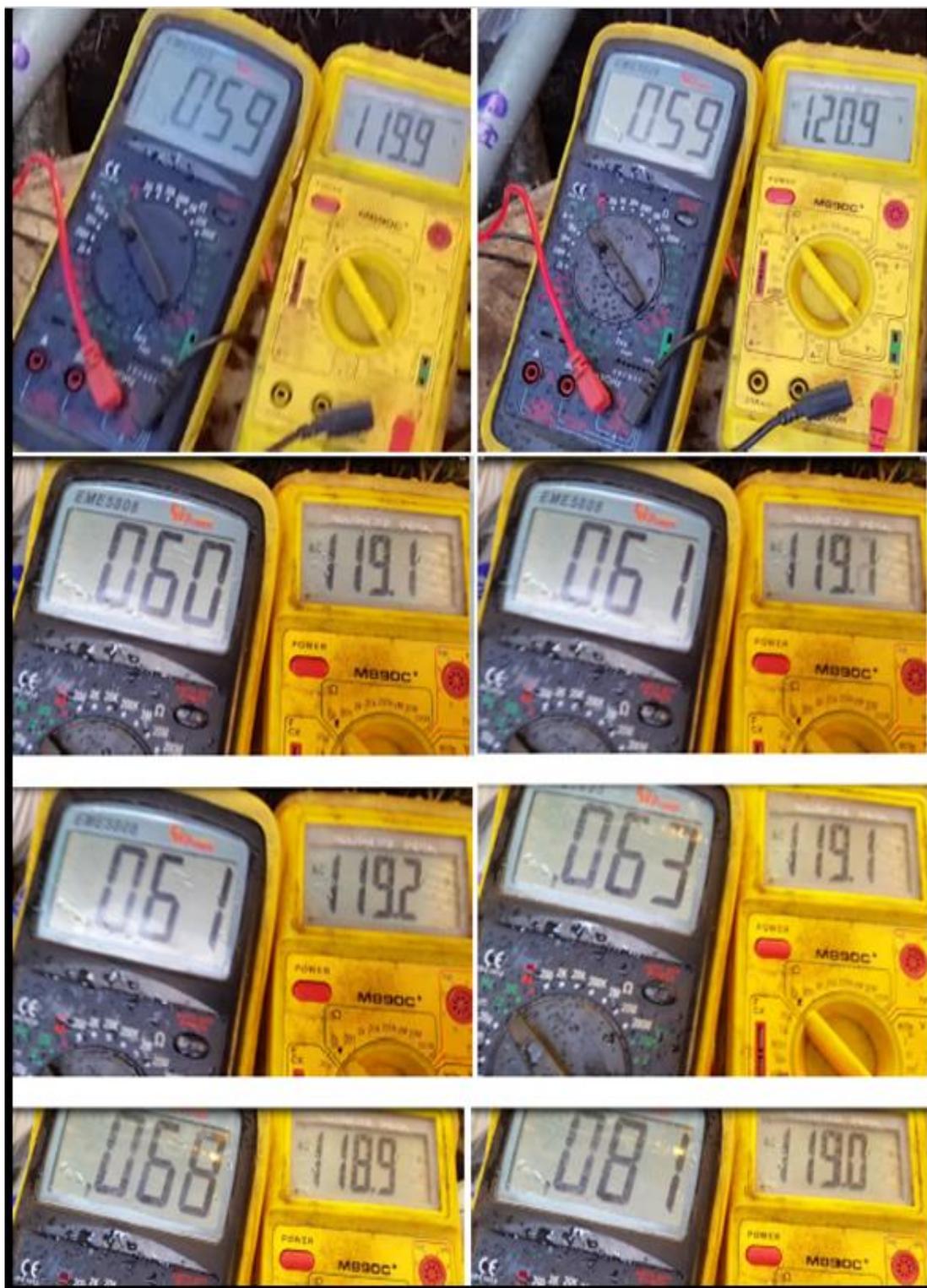


Figura 87: Calibración voltaje y frecuencia al regular el caudal.

Fuente: (Autor, 2015).

Mediciones de frecuencia al variar el caudal y la carga eléctrica.



Figura 88: Rango de variación de frecuencia de acuerdo al caudal mínimo.

Fuente: (Autor, 2015).



Figura 89: Rango de variación de frecuencia de acuerdo al caudal máximo.

Fuente: (Autor, 2015).

Medición de corriente realizada con el Amperímetro.

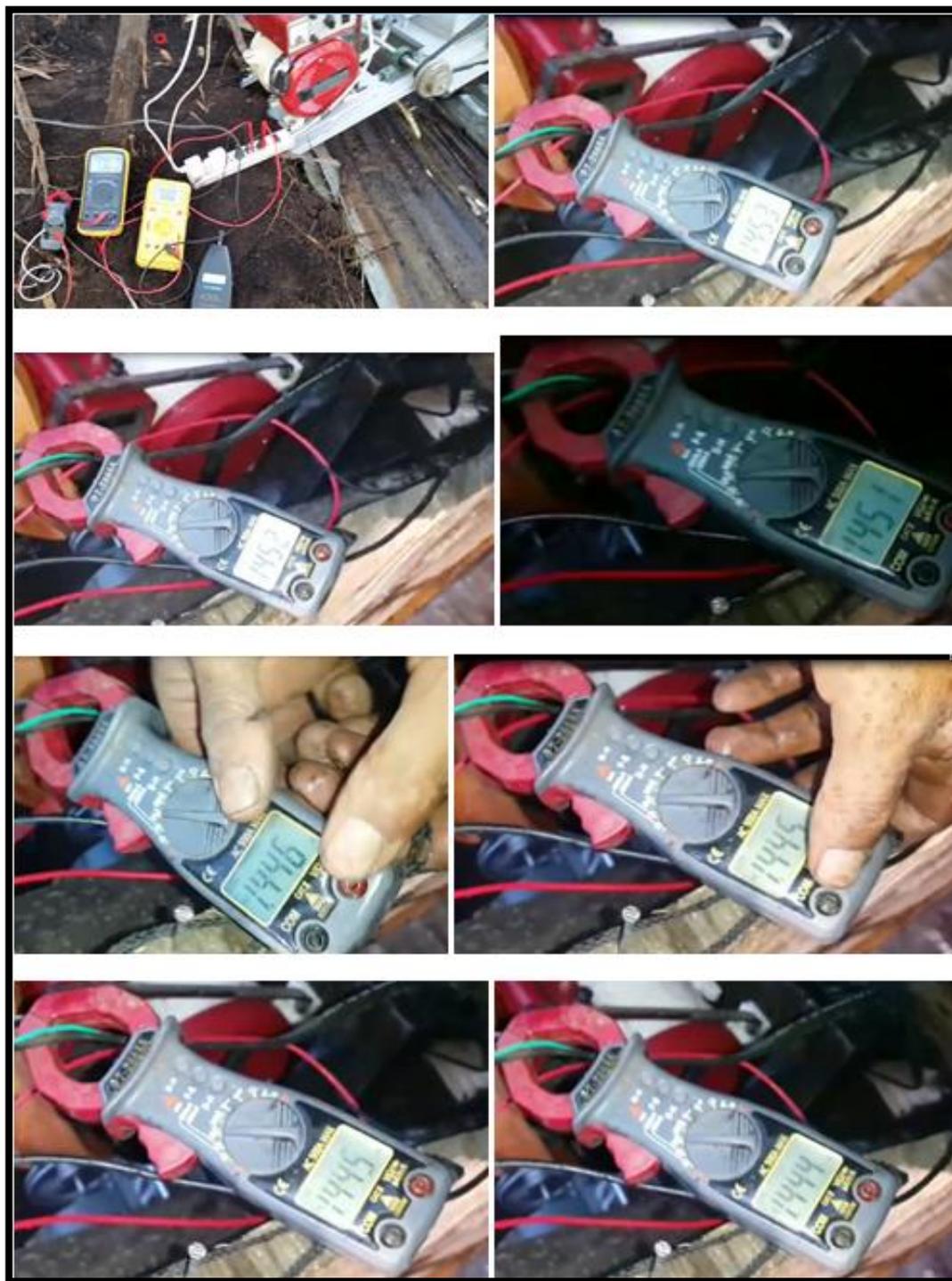


Figura 90: Muestreo de valores de intensidad de carga en pruebas preliminares.

Fuente: (Autor, 2015).

Medición de presión en lugar del proyecto con manómetro 200 PSI.



Figura 91: Medición de presión rango 80 a 120 PSI y 140 a 170 PSI en pruebas.

Fuente: (Autor, 2015).

Medición de Velocidad de giro o rotación en cada uno de los ejes .





Figura 92: Verificación de velocidad en revoluciones por minuto con diversos caudales y diversas cargas conectadas en el proyecto.

Fuente: (Autor, 2015).

Bibliografía:

Bueno Tenezaca, D., & Toledo Torres, N. (2013). *Análisis del Valor Natural y Paisajístico de un sector del cerro cabogana y propuesta de un centro turístico*. Recuperado el 2014, de Universidad De Cuenca: dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/503

Ecuador Noticias. (Octubre del 2014) Obtenido de: www.ecuadorecuadoriano.blogspot.com/2012/07/mapa-de-cuenca.html.

Google Maps. (Octubre del 2014) Obtenido de: (<https://www.google.com.ec/maps/@-2.8644219,-79.0358669,13z?hl=en>)

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (Noviembre del 2014) Obtenido de: <http://www.energia.gob.ec/ministerio-de-electricidad-y-energia-renovable-presento-el-primer-atlas-eolico-del-ecuador/>

Medina Alvarez, C & Seccia Arriaza P. (Diciembre del 2014) *Fuentes de Generación Alternativas*. Recuperado de: <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno03/alternativa.htm>

AGN, (05 de Febrero del 2014) Central Saymirín, Fase V operará desde Agosto. *El Mercurio*. Recuperado de <http://www.elmercurio.com.ec/416798-inicia-equipamiento-en-hidroelectrica-saymirin/>

Agua Potable. *Métodos de Medición de Caudales*. (09 de Enero del 2010) Recuperado de <http://aguapotable-ledwin.blogspot.com/2010/01/metodos-de-medicion-de-caudales.html>.

Bustamante Cabrera, E., & Arias Reyes, C. (2008). Diseño y construcción de una turbina Peltón para generación Eléctrica. Recuperado el 2014, de Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, obtenida de: dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/794/3/CAPITULO%20N%201.pdf.

Calculo y Diseño de Instalaciones de Fontanería (Diciembre 2014) *Ingemecánica*. Recuperado de: http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorial_n208.html

Cáceres D, (06 de Noviembre del 2011) Río Paute. El Corazón Hidroeléctrico del Ecuador. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/82418>

Carbon footprint (2015) *Calculadora de la Huella de Carbono*. Tomado de <http://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=es&tab=2>

Central Hidroeléctrica, (s.f). En *Wikipedia*. Recuperado el 31 de Enero del 2015 de http://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroeléctrica.

Crego Hernández Isabel. (Octubre 2000). *Programa de Caracterización de las Turbinas Hidráulicas del Laboratorio de Energética*, Obtenido de: http://personales.unican.es/renedoc/Trasperecias-WEB/Trasp-Sist-Ener/03T_HIDRAULICAS.pdf.

Departamento de Desarrollo sostenible. *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y la escorrentía*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>

Diez aplicaciones útiles para arquitectos, diseñadores, constructores (15 de Agosto del 2012) Obtenido de: <http://blog.trabajando.com.ar/recursos/133-10-aplicaciones-utiles-para-arquitectos-diseñadores-y-constructores>

Ecuaplastic – Mapico Distribuciones. (29 de Marzo del 2011) Mapico, todo para la construcción. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/63342-mapico-todo-para-la-construccion/>

El Autor (2015). *Estudio y Diseño de un Sistema Micro-Hidroeléctrico para generación y abastecimiento de Energía Eléctrica mediante Energía Renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón Cuenca*. Tesis Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador.

ERENOVABLE (12 de Junio del 2007) *La Nevada solar one ya está funcionando*. Obtenido de: <http://www.erenovable.com/la-nevada-solar-one-ya-esta-funcionando-una-de-las-plantas-solares-mas-grandes-del-mundo>

ERGAL (Octubre 2014) *Energías Renovables para Galápagos*. Obtenida de: <http://www.ergal.org/cms.php?c=1229>

ELECGALAPAGOS (Noviembre 2014) *Proyecto Parque Eólico Baltra 2.25 MW*. Obtenido de <http://www.elecgalapagos.com.ec/proyecto-e%C3%B3lico-baltra-225-mw-5>

Fernández Tania, (2014-2015) *Energía Geotérmica: Ventajas y Desventajas*. Recuperado de: <http://curiosidades.batanga.com/2011/01/28/energia-geotermica-ventajas-y-desventajas>

Hernández Valdez, C y Indacochea, E. (1988) *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas*. Volumen II, Olade.

León Javier y Rivero Víctor. “Diseño, Construcción, Montaje y Operación de una Turbina Pelton para generar Electricidad”. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Edición 2008.

Ingemecánica (2015), *En Wikipedia*. Recuperado de: <http://ingemecanica.com>.

Instituto Mexicano De Mantenimiento Predictivo (Diciembre 2014) *Tecnología Avanzada para Mantenimiento Predictivo*. Obtenido de http://www.tam.com.mx/shaftalign_0.html

MAVEL (22 de Noviembre del 2014), Facilitado desde <http://www.mavel.cz>

Mataix Claudio, (1975) *Turbomáquinas Hidráulicas*. Tercera Edición. Editorial ICAI, Madrid

Maloney Timothy, (1997) *Electrónica Industrial Moderna*. Tercera Edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 992 pag.

MEER (Noviembre del 2014) *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*. Obtenido de: <http://www.ecuadorcambia.com/>

Monografias.com (Marzo 2015) *Mantenimiento Predictivo*. Obtenido de: <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml>

Sandoval Serrano R, (2015) *Cursos de Conexión a Tierra de sistemas de potencia y redes de computadora*. Extraído de: Monografías.com (<http://www.monografias.com/trabajos14/conexiontierra/conexiontierra.shtml>)

Presión, Libras por pulgada cuadrada, (s,f.) En *Wikipedia*. Obtenido de: http://es.wikipedia.org/wiki/Libra_por_pulgada_cuadrada.

Rocano Tenezaca, G., y Baculima Pintado, M. (2015). *Estudio para la Determinación de la producción de Energía Eléctrica a partir del aprovechamiento del Biogas de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues*. Recuperado el 2014, de Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca: <dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7907/1/UPS-CT004750.pdf>

Rocano Tenezaca, M. (2007). *Diseño de un biodigestor aplicado a las centrales hidroeléctricas mediante la utilización de delirio acuático*. Recuperado el 2014, de Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca: <dspace.ups.edu.ec>.

SENAGUA, (2015) Secretaría Nacional del Agua, Demarcación Hidrográfica Santiago. Facilitado de: [www.agua.gob.ec / dhsantiago@senagua.gob.ec](http://www.agua.gob.ec/dhsantiago@senagua.gob.ec)

Solomantenimiento.com (Febrero 2015). *Portal de Mantenimiento*. Recuperado de http://www.solomantenimiento.com/m_preventivo.htm

Universidad de Oviedo (2006). *Turbinas Hidráulicas*. Obtenido de: ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/TURBINAS_0.pdf.

UCLM (Noviembre 2015) *Area Mecánica de Fluidos*. Obtenido de <http://www.uclm.es/area/amf/gonzalo/IngFluidosFiles/Multimedia/Graphs/MoodyPeq.pdf>.

UNESA (24 de Septiembre del 2007) *Como Fabricar Electricidad Centrales Fotovoltaicas*. Obtenido de: <http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/largoviaje/fotovoltaicas.htm>