



Implementación y evaluación de sistema hidro-generador eléctrico, para el acueducto Veredal Vancouver - La Rambla del municipio de San Antonio del Tequendama.

William Alejandro Casallas Martínez

Cod. 10431428780

Jhon Alexander Ruiz Amado

Cod. 11291518798

Oscar Díaz Pérez

Cod.11291716166

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica e Ingeniería en Control y Automatización Industrial

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2022

**Implementación y evaluación de sistema hidro-generador eléctrico, para el acueducto
Veredal Vancouver - La Rambla del municipio de San Antonio del Tequendama.**

**William Alejandro Casallas Martínez
Jhon Alexander Ruiz Amado
Oscar Díaz Pérez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
**Ingeniero en Control y Automatización Industrial.
Ingeniero Electromecánico.**

Director: Hugo Alba Díaz
Co-Director: Carlos Arturo García Gómez

Línea de investigación
Máquinas hidráulicas y generación de energía eléctrica

Universidad Antonio Nariño
Programa Ingeniería Electromecánica e Ingeniería en Control y Automatización Industrial
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado,
Implementación y evaluación de sistema hidro-generador eléctrico, para el acueducto
Veredal Vancouver - La Rambla del municipio de San Antonio del Tequendama,

Cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniero en Control y Automatización Industrial è Ingeniero
Electromecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, 03 de junio del 2022

Contenido

Contenido	1
Lista de Figuras	3
Lista de tablas	5
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
1 Descripción del proyecto.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Planteamiento del problema.....	7
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 Objetivo general.....	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
2 Marco teórico.....	10
2.1 Fuentes de energía sostenibles	10
2.2 Fuentes de energía no sostenibles	11
2.3 Categorización de las centrales de energía.....	11
2.3.1 Clasificación según la energía primaria que utilizan	11
2.3.2 Centrales hidroeléctricas	12
2.3.3 Por la capacidad de potencia.....	12
2.4 Energías del agua.....	13
2.4.4 Energía potencial.	13
2.4.5 Energía cinética.....	13
2.5 Principio de Bernoulli.....	14
2.6 Turbo máquinas hidráulicas:	15
2.6.1 Turbinas	15
2.6.2 Turbinas de acción.....	15
2.6.3 Turbinas de Reacción.....	15
2.7 Turbinas de acción Pelton.....	16
2.8 Elementos de una turbina Pelton.....	18
2.8.1 Rodete	18
2.8.2 Rueda motriz.....	19
2.8.3 Álabes	19
2.8.4 Distribuidor.....	20
2.9 Ángulos de lo álabes.....	20

2.10	<i>Clasificación de las turbinas Pelton</i>	21
2.10.1	Posición Horizontal.....	21
2.10.2	Posición Vertical.....	21
2.11	<i>Factores que pueden afectar la eficiencia en las turbinas</i>	22
2.12	<i>Máquinas eléctricas</i>	22
2.13	<i>Máquinas Eléctricas Rotativas</i>	23
2.13.1	Generadores eléctricos.....	23
2.13.2	Velocidad de rotación de un generador síncrono.....	23
2.13.3	Potencia en los generadores eléctricos.....	26
2.13.4	Potencia teórica de la turbina. [27].....	27
2.14	<i>Controlador lógico programable (PLC)</i>	27
2.14.1	Campos de aplicación.....	27
2.14.2	características.....	28
2.15	<i>Sistemas de supervisión</i>	29
2.15.1	Supervisión.....	29
2.15.2	Monitorización.....	29
2.15.3	Supervisión y monitorización.....	30
3	Desarrollo Metodológico	31
4	Recopilación de información y diseño de la casa de máquinas	31
4.1	<i>Generador Eléctrico</i>	33
4.2	<i>Rueda Pelton</i>	34
4.3	<i>Correas Y Poleas</i>	35
4.4	<i>Diseño casa de máquinas</i>	38
5	Análisis de información	40
5.1	<i>Instrumentación y equipos seleccionados</i>	41
5.2	<i>Construcción de estructura</i>	49
5.3	<i>Medición de caudal practico</i>	53
5	Implementación, montaje electromecánico y sistema de alarmas	57
5.1	<i>Sistema de alarmas</i>	60
6	Ajustes y evaluación del funcionamiento del sistema hidro-generador	65
6.1	<i>Medición de caudal</i>	65
6.2	<i>Caudal vs Potencia</i>	67
6.3	<i>Análisis de datos</i>	68
	Recomendaciones	71
	Conclusiones	72
	Referencias Bibliográficas	74
	Anexos	77

Lista de Figuras

Figura 1. Elementos cedidos.....	4
Figura 2. Coordenadas geográficas realizadas por GPS de la ubicación de la tubería.	5
Figura 3. Modelo de ubicación y altimetría de la tubería para Hacienda Chicamocha.	6
Figura 4. Visita al sitio de ejecución.....	7
Figura 5. Componentes en el generador con rueda Pelton.....	17
Figura 6. Rodete tipo Pelton.	18
Figura 7. Eje, acoplado a chavetas.....	19
Figura 8. Alabe Pelton.	19
Figura 9. Ángulos del álabe para una rueda Pelton.	20
Figura 10. Chorro en eje horizontal para una turbina Pelton.....	21
Figura 11. Turbina Pelton de un chorro eje horizontal.	22
Figura 12. Esquema de conexión sin escobillas.....	23
Figura 13. Relación entre la cantidad de polos y revoluciones por minuto.	25
Figura 14. Diagrama de flujo de potencia de un generador sincrónico.	26
Figura 15. Modelo previsto para el sistema hidro generador.....	32
Figura 16. Aproximación altimetría y ubicación del generador.	32
Figura 17. Generador monofásico.....	33
Figura 18. Placa de características del generador 2.8 kW.	34
Figura 19. Rueda Pelton.....	34
Figura 20. Álabes.....	35
Figura 21. Correa en V.....	36
Figura 22. Polea para eje motor.	36
Figura 23. Polea para eje rueda.....	37
Figura 24. Diseño 2D para equipo de generación (unidades en mm).....	40
Figura 25. Diseño 3D equipo de generación.....	40
Figura 26. Medidor de voltaje, corriente, y potencia.....	41
Figura 27. Sensor capacitivo.....	42
Figura 28. Manómetro.	42

Figura 29. Cuenta litros.....	43
Figura 30. Contador / temporizador programable.....	43
Figura 31. PLC logo 230RCE.....	44
Figura 32. Fuente de 110 VAC a 24 VDC.....	45
Figura 33. Tarjeta de sistema de alarma.	46
Figura 34. Datos de batería de respaldo, para sistema de alarma.	47
Figura 35. Controlador solar.....	48
Figura 36. Diagrama de conexión.....	48
Figura 37. Estructura.....	49
Figura 38. Estructura II.....	49
Figura 39. Pruebas realizadas.	50
Figura 40. Altimetría y ubicación de la tubería (nueva ubicación).....	51
Figura 41. Ensayos.....	54
Figura 41. Generador incorporado en el proyecto.	55
Figura 42. Generador incorporado.....	56
Figura 43. montaje del equipo.	57
Figura 44. montaje del equipo II.....	57
Figura 45. Ubicación sensor RPM.....	58
Figura 46. Distribución en tablero eléctrico.	58
Figura 47. Planos.	59
Figura 48. Sistema de alarmas.	60
Figura 49. Sistema de alarmas II.....	60
Figura 49. Esquema bajo caudal.	61
Figura 49. Esquema baja potencia.	61
Figura 50. Conexión sistema de alarmas.	61
Figura 51. Montaje.....	62
Figura 52. Pruebas.	63
Figura 55. Hidro generador.....	64
Figura 56. Caudal.....	65
Figura 57. Esquema de conexión contador.	66

Lista de tablas

Tabla 1. Categorización de centrales hidroeléctricas por su capacidad de generación.	12
Tabla 2. Medidas de la tubería de acuerdo con su ubicación.....	52
Tabla 3. Toma de datos de caudal practico.	53
Tabla 4. Caudal vs Potencia.....	67
Tabla 5. Relación datos de voltaje de salida vs RPM.	68
Tabla 6. Voltaje a la salida generador con relación a la hora de la medición.....	69

Lista de graficas

Grafica 1. Relación de caudal en el tiempo.	53
Grafica 2. Caudal registrado por caudalímetro y contador.	66
Grafica 3. Relación caudal vs potencia.	67
Grafica 4. Relación voltaje vs RPM.	68
Grafica 5. Voltaje de salida en la hora de la medición.	70
Grafica 6. Consumo en vatios por hora.	70

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Término	Símbolo	Unidades (SI)
Área	A	m^2
Longitud	L	m
Diámetro	D	m
Altura	H	m
Corriente eléctrica	I	A
Voltaje	V	V
Potencia eléctrica	W	W
Revoluciones	N	RPM
Momento o par	M	$N*m$
Caudal	Q	m^3/s
Presión	P	Pa
Peso específico	γ	N/m^3
Viscosidad	M	$Pa*s$
Velocidad angular	ω	rad/s
Masa	M	kg

Este proyecto está dedicado principalmente a Dios quien es la fuente de inspiración y fortaleza espiritual, nos dio la salud, fuerza para ser constantes y disciplinados en cada una de las pruebas y los retos en el transcurso de esta etapa en nuestras vidas, también a nuestras familias quienes con su comprensión e ímpetu nos formaron el carácter para con nosotros y siempre estuvieron brindándonos el apoyo y el aliento para culminar una meta más nuestras vidas. A nuestra alma mater junto a todos los docentes e ingenieros que nos brindaron sus conocimientos y experiencias para ser quienes somos hoy.

Agradecimientos

El agradecimiento para el ingeniero Hugo Alba, por su dedicación y guía en el desarrollo y puesta en marcha del presente proyecto. Ya que sin su colaboración esto mismo no hubiera sido posible.

Ya que gracias a este mismo se brindó un aporte social para esta comunidad.

También a los compañeros de carrera y amigos que dejamos en esta meta que está por culminar, sin su apoyo y compañerismo, hubiera sido difícil y des motivante la meta que estamos culminando.

Agradecemos a los ingenieros German Gutiérrez, Carlos García, Henry Moreno, John Ríos, Juan Monroy, Álvaro Torres, Carlos Avendaño, Jorge Romero y Nicolás Giraldo.

Por su apoyo en cada una de las materias vistas durante el transcurso de nuestras carreras, con su cooperación, ayuda y a ver compartir sus conocimientos de esta forma tuvimos las suficientes bases para desarrollar e implementación de este proyecto. Para ellos los cuales fueron más que docentes muchas gracias.

Y en última instancia, nuestros más sinceros agradecimientos al acueducto y a la comunidad de las veredas Vancouver la Rambla del municipio de San Antonio del Tequendama, quienes confiaron en nosotros para la realización de este proyecto.

Resumen

Este proyecto consiste en la implementación de un micro generador que aprovecha los recursos hídricos de la zona en la vereda Vancouver en el Municipio de San Antonio del Tequendama, Cundinamarca.

Para su ejecución se hicieron varias reuniones con el director de proyecto Ing. **Hugo Alba** y los ingenieros **Ávila Garzón Miguel Ángel, Gómez Cortés Hancel Raúl** debido a que ellos fueron las encargadas de adelantar el diseño y desarrollo del sistema hidro generador en su primera fase.

Este proyecto pretende surtir de energía eléctrica a futuros equipos de potabilización de agua que pretende instalar el acueducto Veredal Vancouver La Rambla. Este Acueducto hace captación de agua de la Quebrada Grande en el municipio de San Antonio del Tequendama. La implementación comprende desde la construcción del banco donde van alojados los equipos, la instalación de los mismos, las conexiones de tubería y manguera de conducción de agua, puesta en marcha del hidro generador y la monitorización, esta última contiene un sistema de alarmas en tiempo real por fallos en parámetros como potencia entregada, RPM de la rueda Pelton y caudal. Se realizaron las pruebas pertinentes para determinar el cumplimiento de los objetivos estipulados.

El proyecto tiene como proposito poder cooperar en el bienestar de la comunidad de las Veredas Vancouver y la Rambla del municipio de San Antonio del Tequendama que se verá altamente beneficiada con la implementación de éste hidro generador para en un futuro tener la instalación de equipos para potabilización.

PALABRAS CLAVE:

Implementación, Hidro-Generación, Electricidad, Potencia Eléctrica, supervisión.

Abstract

This project consists of the implementation of a micro generator that takes advantage of the water resources of the area in the Vancouver village in the Municipality of San Antonio del Tequendama, Cundinamarca.

For its execution, several meetings were held with the project director Ing. Hugo Alba and the engineers Ávila Garzón Miguel Ángel, Gómez Cortés Hancel Raúl because they were in charge of advancing the design and development of the hydro generator system in its first phase.

This project aims to supply electricity to future water purification equipment that the Veredal Vancouver La Rambla aqueduct intends to install. This Aqueduct collects water from the Quebrada Grande in the municipality of San Antonio del Tequendama.

The implementation includes from the construction of the bench where the equipment is housed, the installation of the same, the pipe connections and water conduction hose, start-up of the hydro generator and monitoring, the latter contains an alarm system in time due to faults in parameters such as delivered power, Pelton wheel RPM and flow rate. The relevant tests were carried out to determine compliance with the stipulated objectives.

The main purpose of this project is to be able to cooperate in the well-being of the community of Veredas Vancouver and the Rambla of the municipality of San Antonio del Tequendama, which will benefit greatly from the implementation of this hydro generator in order to have the installation of equipment in the future. for purification.

KEYWORDS:

Implementation, Hydro-Generation, Electricity, Electric Power, supervision

Introducción

Actualmente se pueden evidenciar avances tecnológicos relacionados con la potabilización de agua, estas técnicas comprenden por ejemplo el uso de desinfectantes, que de no ser precisos en su dosificación podrían ocasionar cambios en las propiedades del agua. Otras técnicas consisten en la utilización de filtros cerámicos, sin embargo, la adquisición o el mantenimiento de estos equipos para el tratamiento suelen resultar muy costosos.

En algunas regiones de Colombia e incluso en las afueras de las grandes ciudades por ejemplo en Bogotá, hay asentamientos sin suministro de agua potable y energía eléctrica. Es el caso de las veredas Vancouver y la Rambla, las cuales solo el 5% de sus habitantes cuentan con suministro de agua potable. (Fuente. Informe de asociación de usuarios del acueducto rural de la vereda Vancouver la Rambla).

Con el presente proyecto se busca proporcionar un sistema generador de energía eléctrica, que permita brindar acceso a recursos naturales y que funcione como alternativa para posibilitar el desarrollo económico y sostenible. Bajo este fundamento, se estará generando una ventaja en esta zona rural, otra de las ventajas de esta implementación, es que el hidrogenerador eléctrico, tiene un impacto mínimo al medio ambiente en comparación con hidroeléctricas de gran tamaño que utilizan represas o embalses que conmuevan en gran medida a este.

En primera instancia se recopiló la información necesaria para caracterizar la zona, la población y sus necesidades en cuanto al consumo de agua, esto con el fin de establecer los parámetros para la implementación del generador.

Con este proyecto se da continuidad a la implementación del proyecto diseño y desarrollo del hidro generador realizado por los Ingenieros Hancel Raúl Gómez y Miguel Ángel Ávila el cual no fue puesto en marcha en su momento por temas de Pandemia y por el incremento en costos. Los elementos cedidos de la primera fase son: una rueda Pelton de 0.25 m de diámetro la cual consta de 20 Álabes y un generador monofásico de 1,5 kW, estos elementos previamente calculados y diseñados por ellos.

Figura 1. Elementos cedidos



Fuente: [8]

1 Descripción del proyecto

1.1 Antecedentes

Con el presente proyecto se busca realizar la implementación y evaluación de un sistema hidro generador el cual está diseñado con turbina tipo Pelton, partiendo de un proyecto anterior realizado por la Facultad de Ingeniería Mecánica Electrónica y Biomédica de la de la Universidad Antonio Nariño quienes fueron los encargados de realizar el diseño y desarrollo del sistema.

Las mediciones de geolocalización fueron tomadas por medio de un GPS, probadas por Google Earth, esto es para determinar la altura promedio de la línea de paso de distribución de agua al lugar donde se corta la tubería para el montaje de la turbina.

Figura 2. Coordenadas geográficas realizadas por GPS de la ubicación de la tubería.

ID	unidades UTM		ALTURA (m)		longitud	latitud
	X	Y				
1	570648.26	504782.57	2147	BocaToma	-74.36313176	4.566496421
2	570602.17	504869.48	2146	mang_3_inc	-74.36354653	4.567282984
3	570563.08	504952.41	2141	mang_3_inc	-74.36389824	4.568033488
4	570544.05	504980.37	2138	mang_3_inc	-74.36406956	4.568286569
5	570494.97	505057.28	2130	mang_3_inc	-74.36451137	4.568982695
6	570449.89	505129.2	2126	mang_3_inc	-74.36491716	4.569633649
7	570421.78	505224.13	2118	mang_3_inc	-74.36516979	4.570492617
8	570462.73	505248.17	2104	mang_3_inc	-74.36480047	4.570709758
9	570520.66	505286.23	2093	mang_3_inc	-74.36427796	4.571053588
10	570412.79	505215.12	2114	mang_3_inc	-74.36525091	4.570411184
11	570611.49	505398.31	2093	salida del bosque	-74.3634583	4.572066745
12	570695.35	506482.39	2081	descuelgue haciend	-74.36270169	4.572826667
13	571793.92	505946.97	1855	Clara Pineros	Usuario mas alto	
14	571828.67	507261.22	1726	AlfonsoRam	Usuario mas bajo	

Fuente: [8]

En la figura 3, se muestra el recorrido aproximado de la tubería desde la boca toma hasta el punto en donde se pretende hacer la instalación del generador (Hacienda Chicamocho), esta información fue suministrada por los ingenieros quienes diseñaron el generador.

Figura 3. Modelo de ubicación y altimetría de la tubería para Hacienda Chicamocho.



Fuente: [8]

Los parámetros principales para este sistema hidro generador son:

- Caudal: 220 L/min = 0.0036 m³/s
- Altura: 67 m
- Diámetro de la tubería principal: 3 in (0,0762 m)
- Diámetro de la tubería de inyección: 1 in (0,0254 m)

1.2 Planteamiento del problema

El acueducto veredal Vancouver La Rambla capta agua de una fuente llamada Quebrada Grande por medio de una manguera de abducción de 3" a un caudal de 220 L/min para proveer agua sin tratar a la comunidad en esta zona rural, sin embargo, requieren un sistema de potabilización que al desarrollarse contribuye a la sociedad y al medio ambiente para mejorar la calidad de vida de las personas que cuentan con esta fuente de agua.

En el año 2020 se realiza el diseño y desarrollo de un hidro generador el cual no culmina su fase de implementación debido a la emergencia sanitaria de ese mismo año, para el año 2021 Se retoma este proyecto para ejecutar su implementación.

Figura 4. Visita al sitio de ejecución.



Fuente: [8]

Es fundamental la implementación y puesta en funcionamiento del generador de 1,5 kW que fue diseñado con las características requeridas para la región como lo son una caída de agua y un caudal estimado, ya que se presentan dificultades en proyectos de potabilización de agua que dispondrán de este recurso eléctrico.

Esto conlleva el mejoramiento en la calidad de vida de más de 450 personas que consumen el preciado líquido hoy en día y de esta forma podrán aprovechar al máximo este recurso.

1.3 Justificación

En las veredas Vancouver y La Rambla las familias no cuentan con el suministro de agua potable, por tal razón es fundamental la implementación de este proyecto realizando el aprovechamiento de los recursos naturales de la zona. También se dispondrá de los conocimientos adquiridos durante la formación académica de los estudiantes de las carreras de Ingeniería Electromecánica e Ingeniería en Control y Automatización Industrial.

De acuerdo a lo conversado con la junta directiva del acueducto veredal y con el tutor de tesis y teniendo en cuenta los implementos futuros a instalar, se sugiere una potencia activa de 700 W aproximadamente, y un aumento de carga de solicitarse y/o requerirse, así como también el sistema debe ser capaz de brindar energía para su funcionamiento óptimo y confiabilidad estimada.

En las grandes ciudades se goza de un sistema eficiente de agua potable y de energía Eléctrica, pero en muchos otros lugares no se cuenta con estos sistemas, para eso se aplican pequeños proyectos que puedan beneficiar a las comunidades, en este caso se desea implementar un sistema de hidro generación de energía usando una rueda Pelton, con esto se tendrá la energía requerida para los equipos de potabilización contemplados, teniendo en cuenta que el punto eléctrico de conexión más cercano se encuentra a una distancia de 500 metros aproximadamente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar la Implementación y evaluación de sistema hidro-generador eléctrico, para el acueducto Veredal Vancouver - La Rambla del municipio de San Antonio del Tequendama.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar la casa de máquinas para alojar el hidro-generador, los equipos de transmisión, medición y comunicación del sistema con el fin de protegerlos del medio ambiente y/o terceros.
- Realizar el montaje del hidro-generador, ensamblar, el proyecto en sitio para su puesta en marcha y funcionamiento.
- Realizar la medición en tiempo real en los parámetros de caudal de potencia entregada y RPM de la rueda Pelton del sistema generador.
- Se realizará la medición del caudal por medio de un medidor de flujo, el cual estará ubicado a la entrada de la rueda Pelton.
- Enviar a través de un sistema de comunicación GSM, una alarma para alertar al encargado del acueducto sobre irregularidades que se presenten (bajo caudal y baja potencia).
- Hacer la recopilación de la información de los parámetros medidos con el fin de que puedan ser analizados por el acueducto. De igual manera presentar entregables del proyecto.
- Se realizará el estudio de caudal vs potencia. Para indicar cuáles serán sus máximos y mínimos de potencia.
- Se presentarán los planos eléctricos, control, también de la construcción civil, mecánica y la distribución del cuarto de máquinas.

2 Marco teórico

Existen diferentes tipos de energías fundamentales en la naturaleza a las que aplicando la tecnología correcta pueden ser transformadas en energía eléctrica, algunas de estas energías como la energía mecánica, luminosa, térmica, etc. [10]

Las cuales se pueden dividir en dos categorías:

- Fuentes de energía renovables
- Fuentes de energía no renovables

2.1 Fuentes de energía sostenibles

Todas estas son fuentes de energía que pueden ser renovables después de su uso ya sea natural o debido a la influencia de factores externos como lo es el hombre. las energías renovables relacionadas directamente con el sol tienen una mayor eficiencia energética, tales como:

- Energía luminosa
- Energía cinética del agua
- Energía termo solar
- Energía eólica

Estas fuentes de energía se reponen continuamente de forma natural a medida que se recuperan con los rayos emitidos por el sol. Otra posible fuente de energía es la quema de vegetación, sin embargo, este recurso de energía es algo deficiente, debido al mayor ciclo de recuperación y las emisiones de los productos de la combustión contribuyen al efecto invernadero y, por tanto, al cambio climático. [10]

2.2 Fuentes de energía no sostenibles

Las fuentes de energía no renovables incluyen principalmente la energía obtenida de la combustión de hidrocarburos es la principal opción energética utilizada en el transporte de mercancías y pasajeros. Es una forma de generar la cual no es renovable porque no hay forma de hacer hidrocarburos en procesos conocido por el hombre. [10]

2.3 Categorización de las centrales de energía

Las centrales eléctricas se pueden clasificar teniendo en cuenta múltiples aspectos como la potencia a generar o la energía principal que utiliza en su operación, entre otras clasificaciones. [9]

2.3.1 Clasificación según la energía primaria que utilizan

Existen varias formas de adquirir energía eléctrica a partir de las fuentes de energía existentes en el medio ambiente, a continuación, se describen las principales:

- Centrales termoeléctricas
- Centrales eólicas
- Centrales fotoeléctricas
- Centrales nucleares
- Centrales termo solares
- Centrales hidroeléctricas

2.3.2 Centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica convierte la energía cinética del agua en energía mecánica utilizada por un generador para generar electricidad. Las centrales hidroeléctricas se utilizan a menudo para la generación de energía debido a su alta eficiencia. [13]

2.3.3 Por la capacidad de potencia.

Según su capacidad de potencia, se clasifican en pico centrales, micro centrales, minicentrales, pequeñas centrales hidroeléctricas (Pch) y centrales hidroeléctricas (Ch).

Tabla 1. Categorización de centrales hidroeléctricas por su capacidad de generación.

POTENCIA EN (kW)	TIPO
0-50	MICROCENTRAL
50-500	MINICENTRAL
500-5000	PEQUEÑA CENTRAL

Fuente: [9]

2.4 Energías del agua

2.4.4 Energía potencial.

Es la energía que mide la capacidad que tiene dicho sistema para realizar un trabajo en función exclusivamente de su posición o configuración con relación a un plano de referencia.

[12]

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Ecuación 1. Energía potencial

E_p = Energía potencial

m = Masa

g = Gravedad

h = Altura

2.4.5 Energía cinética.

Es la energía producida durante el movimiento y está determinada por el trabajo requerido para acelerar un objeto de una masa establecida que parte del reposo hasta tener una velocidad determinada. [12]

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

Ecuación 2. Energía cinética

E_c = Energía cinética

m = Masa

v = Velocidad

La energía cinética se aumenta con el cuadrado de la velocidad.

En hidrodinámica la energía cinética de un fluido depende de la densidad del fluido entonces se tiene que:

$$\frac{\text{Energía cinética}}{\text{Volumen}} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{V} = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Ecuación 3. Energía cinética de un fluido

2.5 Principio de Bernoulli

Estudiar el movimiento de los fluidos en un sistema mecánico es llamado hidrodinámica. El físico suizo Daniel Bernoulli ha afirmado que existe una conexión entre presión, altura y velocidad de un fluido ideal (sin viscosidad ni fricción) a circulando y en una tubería cerrada, la energía del fluido es constante en todo momento y está sujeta de tres componentes: [15]

- Energía cinética por movimiento del fluido.
- Energía potencial gravitacional, debido al cambio de ubicación del fluido.
- Energía del fluido, relacionada con la presión que posee el fluido.

La siguiente ecuación es la ecuación de Bernoulli en la que se relaciona los tres componentes:

$$E_{c_1} + E_{p_1} + p_1 = E_{c_2} + E_{p_2} + p_2$$

Ecuación 4. Ecuación de Bernoulli [15]

E_c = Energía cinética

E_p = Energía potencial

p = Presión

Otra forma de expresarla es:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 + p_2$$

Ecuación 5. Ecuación de Bernoulli (2). [15]

ρ = Densidad del líquido

v = Velocidad del líquido

g = Aceleración de la gravedad

p = Presión

2.6 Turbo máquinas hidráulicas:

2.6.1 Turbinas

Una turbina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica extrayendo energía de un fluido. [8]

Se pueden clasificar según la presión en el rodete o el grado de reacción.

2.6.2 Turbinas de acción

Son en las que el fluido de trabajo que no afecta significativamente su presión. pasar por el rodete.

2.6.3 Turbinas de Reacción

Son en las que el fluido de trabajo afecta significativamente su presión durante la transición a través del rodete.

Para determinar a qué grupo pertenece una turbina es necesario calcular el grado de reacción de esta (ver **Ecuación 6**).

$$R = \frac{\textit{Altura de presión del rodete}}{(\textit{Altura de presión del rodete})+(\textit{Presión dinámica})} = \frac{\textit{Altura de presión del rodete}}{\textit{Altura de presión total}}$$

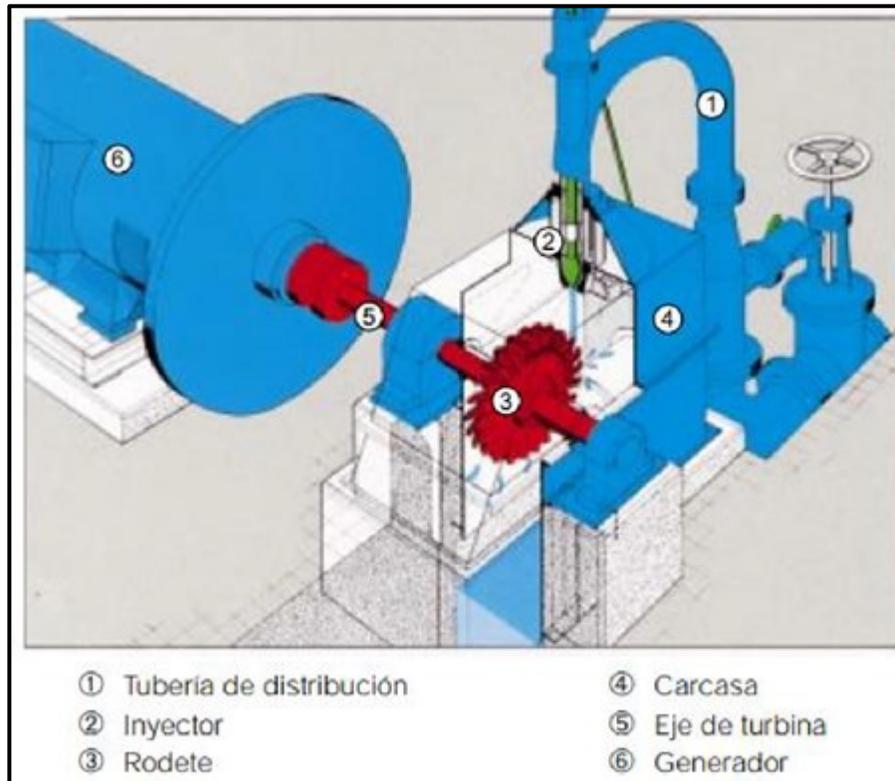
Ecuación 6. Fórmula para calcular el grado de reacción en turbomáquinas.

- Si $R = 0$, se trata de una máquina de acción
- Si $R = 1$, se trata de una máquina de reacción pura
- Si $R < 1$, Caso habitual de las máquinas reales. Es usual construir turbinas de vapor y turbinas de gas con un grado de reacción igual a 0,5.

2.7 Turbinas de acción Pelton

Son turbinas en las que la tubería de distribución conduce el agua hacia los inyectores y estos transforman la presión del fluido en energía cinética. Generalmente Se utilizan para caudales pequeños, en saltos de agua con un alto grado de desnivel de 40 a 1700 metros, brindan un rendimiento del 90%.

Figura 5. Componentes en el generador con rueda Pelton.



Fuente: [4]

En estas turbinas el ingreso del agua es a gran velocidad hacia la rueda Pelton (3) a través de la tubería de distribución (1) y el inyector (2), Se llama distribuidor a esta parte del hidrogenerador.

El inyector (2) cuenta con una válvula de aguja y un deflector el cual impide el golpe de ariete en la turbina durante las paradas de la rueda Pelton ya sea por emergencia o por secuencia de operación.

La rueda o rodete (3) fabricada generalmente en acero fundido compuesta por un conjunto de cucharas álabes, sobre las cuales golpea el chorro de agua que ingresa. [25]

En las turbinas Pelton se obtiene un mayor rendimiento del sistema en comparación con turbinas Francis y Kaplan, es importante tener en cuenta que el agua pasa por conductos llamados toberas, Las turbinas Pelton generalmente pueden tener máximo dos ruedas o rodetes y seis toberas. [3]

2.8 Elementos de una turbina Pelton

2.8.1 Rodete

Se puede decir que es el elemento central o más importante de una turbina hidráulica tipo Pelton, es la encargada de convertir la energía del agua en energía cinética.[5]

Figura 6. Rodete tipo Pelton.



Fuente: [4]

2.8.2 Rueda motriz

En esta pieza mecanizada y de alta resistencia es donde se alojan y se ensamblan los álabes, se acopla al eje por medio de anclajes ó chavetas para garantizar una buena sujeción. [5]

Figura 7. Eje, acoplado a chavetas.



Fuente: [5]

2.8.3 Álabes

Son diseñados para recibir el impacto directo del chorro de agua, generalmente están dispuestos en forma de doble cuchara (ver figura 8). En la unión central de las cucharas es donde golpea el chorro. [5]

Figura 8. Alabe Pelton.



Fuente: [5]

2.8.4 Distribuidor

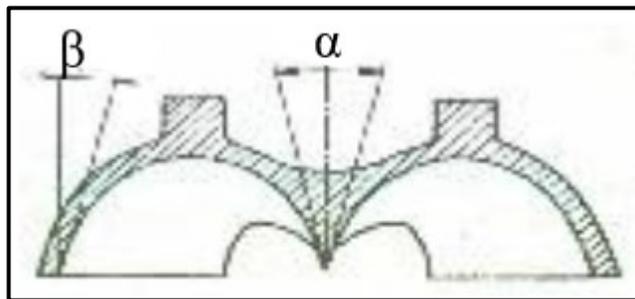
Está construido por uno o varios elementos para la inyección de agua, cada uno de estos tiene como objetivo dirigir el fluido en forma uniforme hacia el motor o generador. Puede regular el paso de agua incluso puede llegar a cortarlo por completo y está formado por:

- **Recámara de distribución:** Es la adaptación de la tubería forzada y se une por medio de una brida o unión. También se le conoce como recámara de inyectores, ya que tiene como función dirigir el agua hasta el inyector.
- **Inyector:** encargado de regular el caudal de agua, es decir, una boquilla con un orificio redondo, montada al final de la recámara Su distribución y función es dirigir el chorro hacia el rotor de forma que la extensión de la tobera forma un ángulo de 90° con su radio. [8]

2.9 Ángulos de lo álabes

En la Figura 9 se muestra los ángulos α y β . El ángulo α es el formado entre los dos lados interiores del álabe y tiene unas medidas alrededor de 20° , lo ideal son 0° , pero de ser así debilitaría el nervio central donde pega el chorro. Mientras que β está entre 8° y 12° . [8]

Figura 9. Ángulos del álabe para una rueda Pelton.



Fuente: [8]

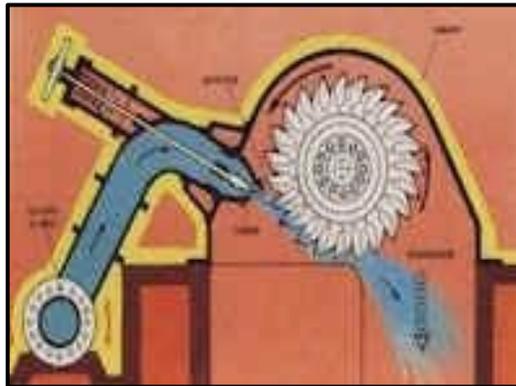
2.10 Clasificación de las turbinas Pelton

Las turbinas Pelton se clasifican de acuerdo con la posición del eje que mueven, las hay de tipo vertical y horizontal.

2.10.1 Posición Horizontal

En esta posición se pueden colocar como máximo dos inyectores debido a su complicada instalación, la ventaja es la facilidad del mantenimiento de la rueda sin necesidad de desmontar la turbina

Figura 10. Chorro en eje horizontal para una turbina Pelton.

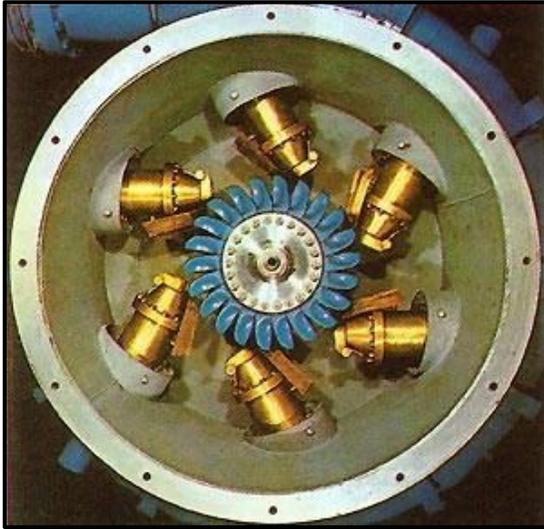


Fuente: [8]

2.10.2 Posición Vertical

En esta posición se facilita la distribución de alimentación en un plano horizontal y con esto se puede aumentar el número de chorros sin aumentar el caudal. Se debe tener en cuenta que, en la posición vertical, se hace más difícil y por lo tanto más caro su mantenimiento, lo que hace que esta posición sea más conveniente para aquellos lugares en donde se tengan aguas limpias y que no produzcan gran efecto abrasivo sobre los álabes o cucharas.

Figura 11. Turbina Pelton de un chorro eje horizontal.



Fuente: [8]

2.11 Factores que pueden afectar la eficiencia en las turbinas.

- Fricción en la carcasa.
- Fricción y turbulencia en las superficies guías.
- Turbulencia según el agua que ingresa al rodete.
- Fricción en la estructura del rodete.
- Porosidad en los álabes y mal acabado de estos. [11]

2.12 Máquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas son dispositivos capaces de transformar cualquier tipo de energía en energía eléctrica y/o viceversa como ejemplo un motor eléctrico, convierte la energía eléctrica en energía mecánica. [2] Se dividen en máquinas eléctricas rotativas y máquinas eléctricas estacionarias.

2.13 Máquinas Eléctricas Rotativas

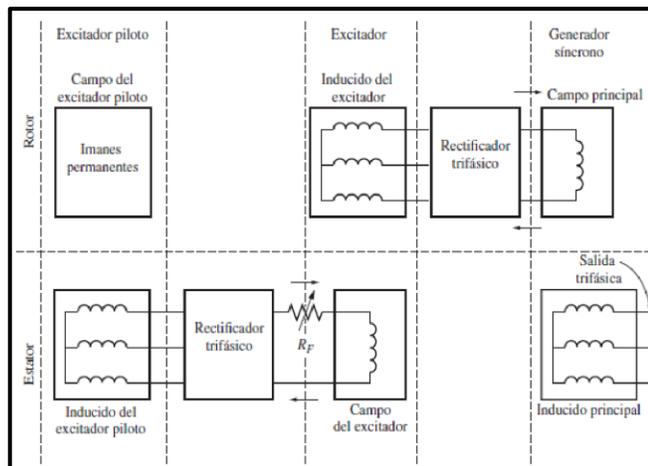
2.13.1 Generadores eléctricos

Este tipo de máquinas son las responsables de convertir la energía mecánica en energía eléctrica [21], son las que se encuentran en las plantas generadoras de todos los tipos como térmicas, hidráulicas, nucleares, renovables entre otras. Los generadores síncronos se utilizan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica y de esta manera generar corriente alterna. [21]

2.13.2 Velocidad de rotación de un generador síncrono

La frecuencia eléctrica se sincroniza con la rotación mecánica del generador.

Figura 12. Esquema de conexión sin escobillas.



Fuente: [21]

La velocidad del rotor de un generador depende de la rotación de los campos magnéticos, estos están relacionados directamente con la frecuencia eléctrica (50Hz o 60Hz), esta relación está determinada por la ecuación 5. [21].

$$f_e = \frac{n_m p}{120}$$

Ecuación 7. Fórmula para calcular el grado de reacción en turbomáquinas.

f_e = Frecuencia eléctrica en Hz

n_m = Velocidad mecánica de campo magnético en RPM

p = Número de polos

$$n_m = \frac{120 * f_e}{p}$$

Ecuación 8. Fórmula para calcular RPM de los generadores.

Al aplicar la ecuación 6 se puede determinar fácilmente las RPM de los generadores síncronos a 50 Hz y 60 Hz, en el caso de la frecuencia de la red colombiana es de 60 Hz [21].

Para ilustrar mejor este factor.

El número específico de revoluciones (n_s) sirve para saber a cuantas revoluciones por minuto (RPM) girará una turbina imaginaria semejante a la que se desea plantear. [2] [3] [4]

$$n_s = \frac{n\sqrt{N}}{H_n^{1.25}}$$

Ecuación 9. Fórmula para calcular RPM de los generadores. [4]

N = Potencia (W)

H_n = Altura (m)

n = Rpm

El número obtenido indica un aproximado de cuantas revoluciones debe girar la rueda Pelton con los parámetros dados por el terreno y el generador.

Figura 13. Relación entre la cantidad de polos y revoluciones por minuto.

FRECUENCIA DE RED ELECTRICA	
# DE POLOS	60Hz
2	3600 rpm
4	1800 rpm
6	1200 rpm
8	900 rpm
10	750 rpm
12	600 rpm

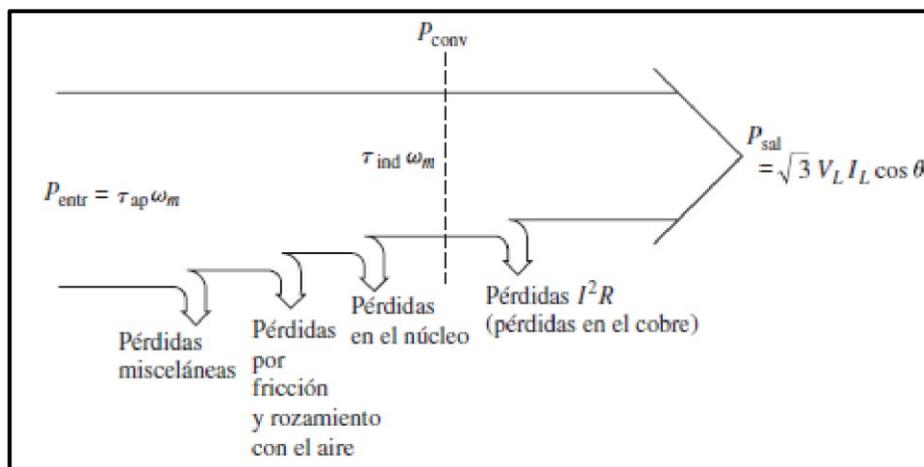
Fuente: [21]

2.13.3 Potencia en los generadores eléctricos.

Sin importa el tipo de fuente de energía que se utilice para generar una potencia mecánica siempre y cuando tenga una velocidad constante sin importar en consumo en la potencia que se esté necesitando en el momento, si esto no se garantiza de esta forma se pueden presentar fallas en la frecuencia y daños o afectaciones en los elementos que estén conectados u alimentados por el generador y que dependan de él. [21]

Como en las máquinas no lineales la potencia mecánica que entra no será igual a su potencia eléctrica de salida, esto se debe a pérdidas mecánicas de la máquina. [21]

Figura 14. Diagrama de flujo de potencia de un generador sincrónico.



Fuente: [21]

2.13.4 Potencia teórica de la turbina. [27]

Para el cálculo de la potencia teórica que se desea generar y basados en los parámetros preliminares para el diseño se tiene que:

$$P = Q * \rho * g * H\eta$$

Q = Caudal

ρ = Peso específico del agua

g = Gravedad

H = Altura neta

η = Rendimiento

2.14 Controlador lógico programable (PLC)

El controlador lógico programable es un equipo Electrónica digital con memoria que puede grabar o almacenar las instrucciones y permite realizar funciones específicas, por ejemplo, lógica, secuencial, funciones de temporización, conteo y aritmética diseñadas para controlar máquinas y procesos. También se puede describir como la realización de equipos electrónicos. programa cíclico. Se utilizan en ambientes industriales donde su desempeño debe ser rápido y eficiente.[1]

2.14.1 Campos de aplicación.

Gracias a las amplias funciones, el controlador PLC tiene una alta gama de aplicaciones. Siendo su fuerte principal o mayor desempeño en el mercado, las instalaciones donde la maniobra, el control y la señalización son indispensables. Este se desarrolla en procesos industriales, hogares, vigilancia, por sus características como tamaño, facilidad de montaje, programación y modificación del mismo programa para un uso rápido. [1]

2.14.2 características.

Cada PLC ofrece ventajas distintas, esto es debido principalmente, a la diversidad de modelos actuales en el mercado y los avances que van surgiendo día a día.[1]

Las ventajas que ofrece un dispositivo de este tipo son las siguientes:

Beneficios:

- Optimización en los tiempos de programación, parametrización puesta en marcha y diseño.
- Posee la facilidad de ampliaciones o extensiones para otros tipos de supervisiones en los procesos.
- Ocupan menos espacio en los tableros de control que se disponen para ellos.
- Economía o ahorro en el mantenimiento, Aumenta el buen funcionamiento del sistema, al descartar o minimizar mantenimientos correctivos frecuentes por los contactos móviles estos equipos pueden indicar y detectar averías propias.
- En el mercado se encuentran de varios tipos y costos, según sea la implementación hacer o ejecutar.

2.15 Sistemas de supervisión

2.15.1 Supervisión

El control de procesos se entiende como un conjunto de actividades realizadas para asegurar el correcto funcionamiento de un proceso incluso en situaciones incorrecto o de daños o averías. De hecho, se puede argumentar que la supervisión está presente en todo proceso de producción y es realizada por operadores y supervisores que determinan presencia de anomalías, monitorear, ajustar parámetros y Cambios en la configuración o parametrización de actuadores para detener o salvar un proceso y que es y que este sea confiable.[23]

2.15.2 Monitorización

Se define como monitorización la automatización de un proceso en la vigilancia dotando al usuario de las herramientas necesarias para alertar, así como la interacción amigable entre el operario y el proceso registrando la evolución o (históricos). Teniendo como finalidad facilitar la detección de eventos anómalas y su diagnóstico a través de un seguimiento constante de las variables en su proceso.[23]

2.15.3 Supervisión y monitorización.

La puesta en marcha de un sistema bajo una supervisión consta de tres pasos fundamentales: la detección de fallas, el diagnóstico de éstas y la reconfiguración del equipo o sistema, que permitirá continuar con el correcto funcionamiento de acuerdo con sus especificaciones fijadas o predispuestas. En caso de no realizarse los tres pasos anteriores, no se considera un sistema bajo una supervisión si no como un sistema de vigilancia y asistencia a el operador y se tiene como un sistema de monitorización.

Estos son los sistemas que avisan al operador y determinan que hay un error en el mismo el proceso, así como su origen y acciones a realizar. En este caso, el sistema de vigilancia se forma a través de un ambiente de monitoreo con el operador responsable así también es habitual referirse a estos sistemas como entornos de monitorización. [23]

3 Desarrollo Metodológico

Para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto se desarrollaron 4 etapas:

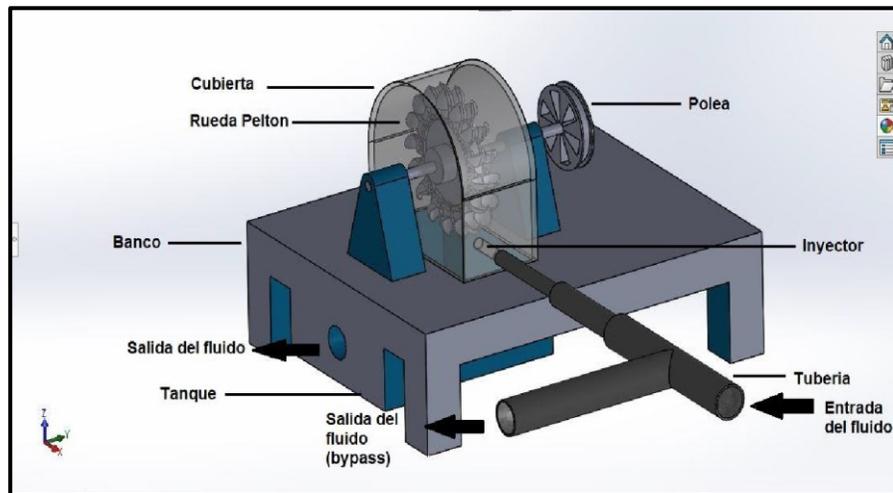
- Fase 1: Recopilación de información y diseño de la casa de máquinas
- Fase 2: Análisis de información
- Fase 3: Implementación y montaje electromecánico y sistema de control y/o alarmas.
- Fase 4: Ajustes y evaluación del funcionamiento del sistema hidro-generador

4 Recopilación de información y diseño de la casa de máquinas

Para esta etapa esta se tuvo dos reuniones con los ingenieros, Ávila Garzón Miguel Ángel, Gómez Cortés Hancel Raúl; en la primera reunión ellos explican la idea principal y descripción del proyecto, además del porque no se llegó a la implementación, debido a dos factores importantes que fueron, la emergencia sanitaria y los costos elevados para los materiales y equipos.

Con la segunda reunión nos muestran el modelo inicial que se tenía planeado para la construcción del equipo y sus partes como se observa en la figura 15, además la simulación del recorrido aproximado de la tubería iniciando desde la boca toma y finalizando en el punto previsto inicialmente para el montaje véase figura 16.

Figura 15. Modelo previsto para el sistema hidro generador.



Fuente: [8]

Figura 16. Aproximación altimetría y ubicación del generador.



Fuente: [8]

Posteriormente los ingenieros realizan entrega de los equipos que se relacionan a continuación: Generador eléctrico 2.8 kW, rueda Pelton, correas y poleas los cuales tenían a disposición para la implementación del proyecto.

4.1 Generador Eléctrico

Figura 17. Generador monofásico.



Fuente: [fuente propia]

El generador eléctrico recibido es un equipo de segunda mano en buen estado, cumple con las características establecidas por el proyecto. Inicialmente se había contemplado una potencia de 1.5 kW, sin embargo, por cuestiones de costos no se adquirió uno de dichas características y se optó por un generador de 2.8 kW que proporcionaba una rentabilidad favorable, con características como:

- Monofásico (120 V)
- 2.8 kW
- 60 Hz
- IP 20 (grado de protección)
- Condensador de 70 μ F

Figura 18. Placa de características del generador 2.8 kW.

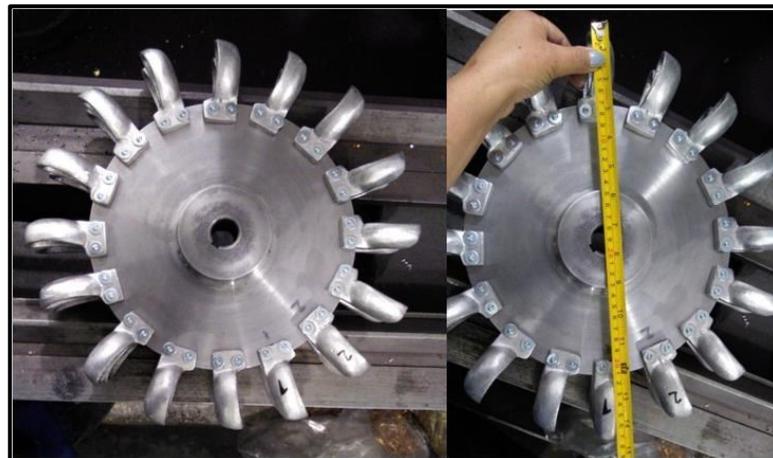
SINGLE-PHASE BRUSHLESS ALTERNATOR			
TYPE GSa - Mi-2	COSφ 1.0		50 Hz
KW	V	A	RPM
2.8	240	11.7	3500
	120	23.8	IP 20
BEARINGS 1807042ZC3		ALUMINUM FRAME D.C. 17V	

Fuente: [fuente propia]

La placa de características de generador se puede notar en la figura 18, mostrando la información específica de este equipo, como lo son sus revoluciones nominales (3500 RPM), la frecuencia de operación (50 Hz), la potencia nominal (2800W), el número de fases (monofásico) y valores de voltaje y corriente dependiendo el tipo d conexión.

4.2 Rueda Pelton

Figura 19. Rueda Pelton.



Fuente: [fuente propia]

El diámetro total de la rueda Pelton es de 37.5cm, construida con de 16 álabes, cada uno con una longitud de 6, 25cm, el plato posee un diámetro de 25cm, con un diámetro del eje de 2.54cm.

Figura 20. Álabes.



Fuente: [fuente propia]

4.3 Correas Y Poleas

Poleas en V: Generalmente utilizadas en la transmisión de potencia para maquinaria industrial, automotriz y agrícola. Se clasifican para altos y bajos niveles de velocidad y potencia, de alta calidad, balanceado y sin imperfecciones en sus superficies. Las poleas en V otorgan grandes beneficios como ahorro de energía, menores costos de mantenimiento, poca necesidad de intervención en mantenimiento, transmisiones ligeras. En este caso las poleas a utilizar son de aluminio, sección ranurada en V.

Figura 21. Correa en V.



Fuente: [fuente propia]

Características correa. Referencia: A73

Caucho con refuerzos en cable de poliéster y recubrimiento con textil de algodón con poliéster impregnado en caucho.

- Descripción: A73 Correa en V
- Ancho: Superior: 1/2"
- Peso: 0.46 lb
- Resistencia a la Temperatura: - 35 °C a + 70 °C
- Polea recomendada: más de 71 mm (2.75")

Figura 22. Polea para eje motor.



Fuente: [fuente propia]

Descripción:

- Polea en aluminio
- 2 canales
- Tipo A
- Diámetro externo 110 mm
- Diámetro eje 20 mm

Figura 23. Polea para eje rueda.



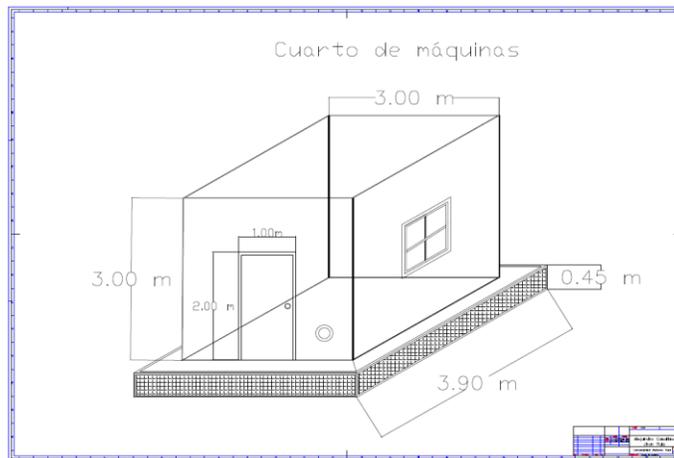
Fuente: [fuente propia]

Descripción:

- Polea reforzada en aluminio
- 1 canal
- Tipo A
- Diámetro externo 460 mm
- Diámetro eje 22 mm

4.4 Diseño casa de máquinas

Figura 24. Diseño de casa de máquinas.



Fuente: [fuente propia]

Para alojar el sistema hidro generador, los equipos de transmisión, medición y comunicación del sistema con el fin de protegerlos del medio ambiente y/o terceros.

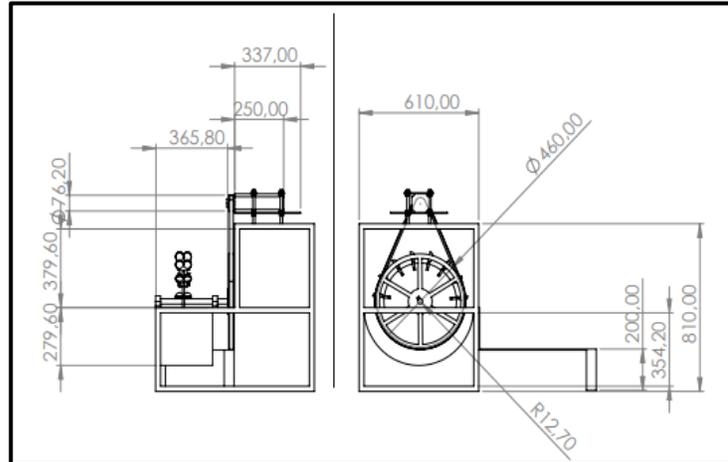
Basados en las medidas de los equipos a instalar y proporción de espacios para un tránsito libre se realiza el dimensionamiento y diseño del cuarto de máquinas con medidas de 3 metros de ancho por 3 metros de largo con una altura de 3 metros.

Se inicia limpieza de terreno para después nivelar con maquinaria, se procede a trazar los ejes según planos. Siguiendo determinado proceso se realiza la excavación de las zanjas, se construyen los cimientos y al terminar se inicia el armado de las vigas tanto longitudinales como transversales, continua con el cimbrado de las vigas y a vaciar el concreto. La cimentación es parte fundamental ya que esta permitirá transmitir el peso de la casa al terreno, el tipo de cimentación dependerá de la clasificación del suelo.

Para los muros estructurales se colocarán bloques No. 4 de forma discontinua de una hilada a otra, con una pega con espesor de 10mm, es necesario la abertura de los muros sabiendo que el vano 1 que es de la puerta tiene una medida de 2m de alto por 1m en lámina y

5 Análisis de información

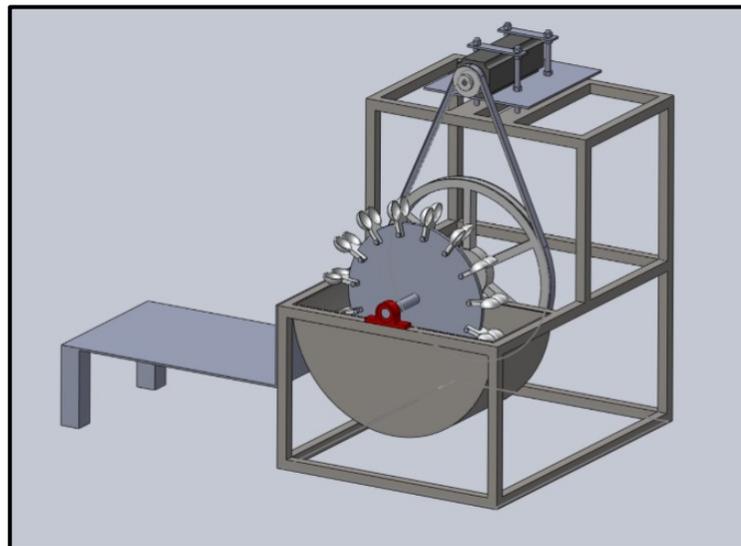
Figura 24. Diseño 2D para equipo de generación (unidades en mm).



Fuente: [fuente propia]

Utilizando el software de diseño AutoCAD se realiza la geometría en 2D del equipo generador, definiendo las medidas y acotando sus piezas. Con estas dimensiones preliminares se hace un diseño con ensamble en el software SolidWorks (Figura 25).

Figura 25. Diseño 3D equipo de generación.



Fuente: [fuente propia]

5.1 Instrumentación y equipos seleccionados

Figura 26. Medidor de voltaje, corriente, y potencia



Fuente: [fuente propia]

Este equipo medidor de energía digital implementado para el monitoreo de variables de Voltaje, Corriente, Potencia y Consumo en corriente alterna, esto permite registrar en consumo en Watios/hora y gracias a su memoria interna permite mantenerla aún con ausencia de energía o restablecer la medición si se desea.

- Alto de 5 cm
- Ancho de 4,5 cm
- Largo de 8,5 cm
- Tensión nominal de 80 a 260 VAC
- Corriente mínima y máxima de 0 a 100 Amp.
- Frecuencia de 45 a 65 Hz.

Figura 27. Sensor capacitivo.



Fuente: [fuente propia]

Descripción:

Este dispositivo está ubicado en la estructura del generador, cerca al eje del motor, accionado por el pasador de la polea, con ayuda del PLC indica las RPM actuales a las que gira el generador.

- Diámetro de 12 mm
- Rango de medida máxima de 20 mm
- Alimentación de 12 a 24 VDC
- Salida PNP

Figura 28. Manómetro.



Fuente: [fuente propia]

Descripción:

Este equipo muestra la presión en la manguera de 2 pulgadas por la que ingresa el agua antes de entrar a la reducción de 1 pulgada.

- Presión máxima de 160 psi o 11 bar
- Rosca de ½

Figura 29. Cuenta litros.



Fuente: [fuente propia]

Descripción:

Este dispositivo indica mediante pulsos de voltaje la cantidad de agua que pasa por dentro del ducto, conectado en la tubería de distribución antes del inyector. De esta forma se obtendrá una relación en el caudal del fluido, antes de llegar a la rueda Pelton.

- Alimentación de 12 VDC
- Tipo de salida NPN

Figura 30. Contador / temporizador programable.



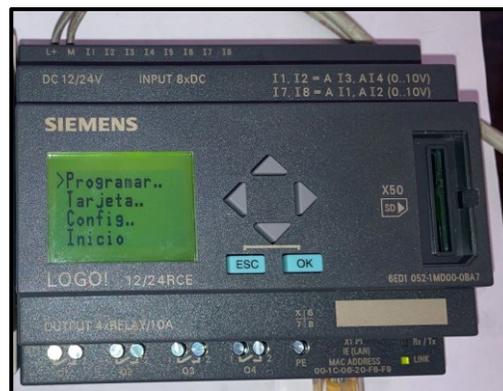
Fuente: [fuente propia]

Descripción:

Este equipo muestra el flujo del agua en litros que pasa por el ducto de 1 pulgada y se utilizara como herramienta para él envío de una alarma al no tener un caudal dentro de la tubería.

- Alto 7 cm
- Ancho 7 cm
- Largo de 7,5 cm
- 1 entrada NC Y NO - 5A
- Alimentación de 100 a 240 VAC
- Señal análoga de 12 VDC a 100 mA

Figura 31. PLC logo 230RCE.



Fuente: [fuente propia]

Descripción:

Este equipo guardará en la entrada 1 la información de las RPM del motor, la cual será usada para la alarma de ausencia de RPM, de igual modo, se utilizarán las entradas 2 y 3 para las alarmas de ausencia en la generación y ausencia de caudal.

Las salidas utilizadas serán:

Q1: Ausencia en las RPM

Q2: Ausencia en generación

Q3: Ausencia de caudal

- 12/24: 12/24 V DC versión
- 8 entradas y 4 salidas tipo relay
- Relay outputs (without R: solid-state outputs)
- Reloj en tiempo real integrado
- Tipo de conexión Ethernet interface
- Módulo análogo
- TD: Texto en el display

Figura 32. Fuente de 110 VAC a 24 VDC.



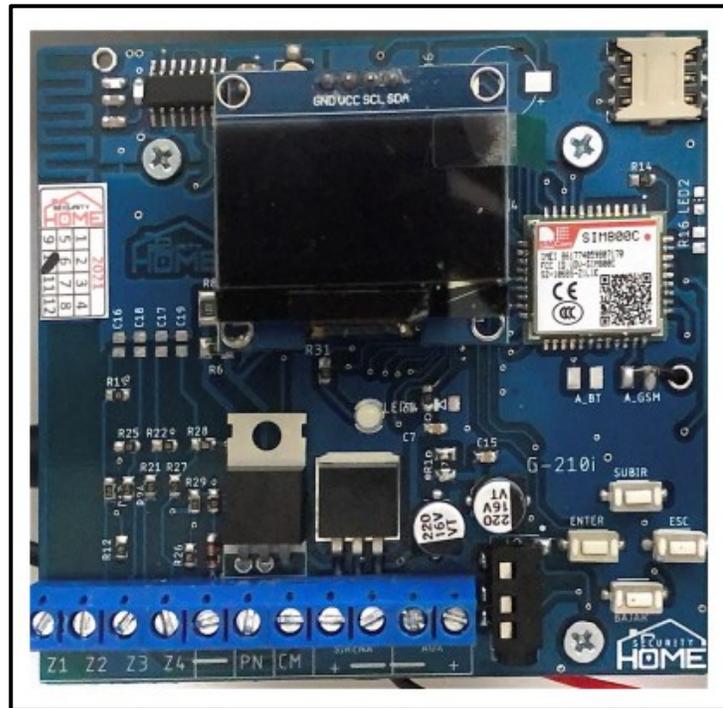
Fuente: [fuente propia]

Descripción:

Este equipo se utilizará para bajar la tensión de 110 VAC a 24VDC, para energizar el PLC y sensor de RPM.

- Largo de 7 cm
- Alto de 9 cm
- Ancho 5 cm
- Alimentación de 100 - 240 VAC
- salida 24 VDC - 1.3 A

Figura 33. Tarjeta de sistema de alarma.



Fuente: [fuente propia]

Descripción:

La tarjeta de comunicación se encuentra alojada en la caja con las siguientes medidas:

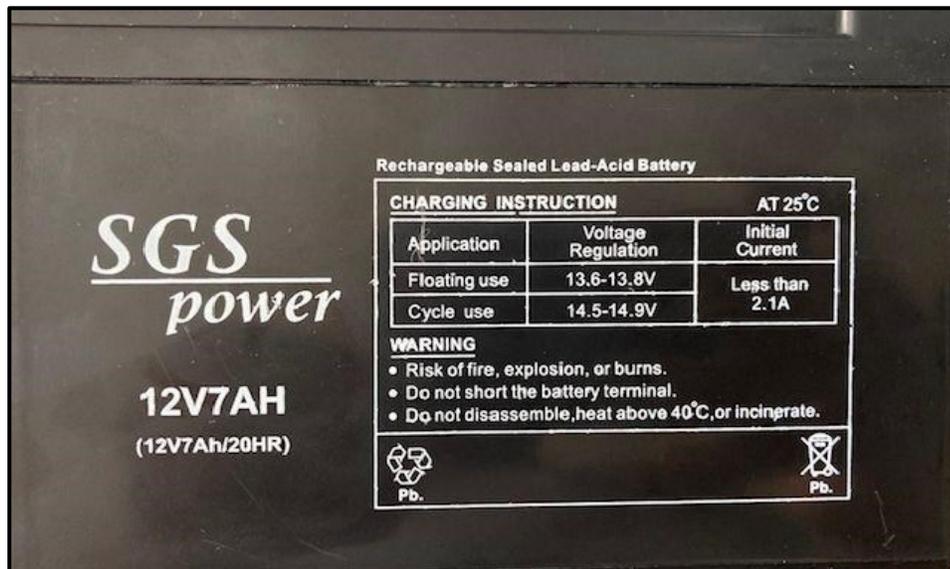
- Largo 16 cm
- Ancho 7 cm
- Alto 20 cm

Las medidas de la tarjeta son:

- Largo 7 cm
- Alto 4.3 cm
- La tarjeta tiene una conectividad de 3G para envío de mensajes de texto

Esta tarjeta genera alarmas por medio de un mensaje de texto y llamada telefónica, dirigida a la persona encargada del acueducto, para que este pueda verificar alguna falla en el suministro de agua.

Figura 34. Datos de batería de respaldo, para sistema de alarma.



Fuente: [fuente propia]

Descripción:

- Largo: 14 cm
- Alto: 6.5 cm
- Ancho: 7 cm
- Alimentación de 7 VDC
- Carga máxima de 2.1 A

Esta batería mantendrá el sistema de alarmas encendido en caso de que el generador presente alguna falla, brindando un respaldo al envío de alertas.

Figura 35. Controlador solar.



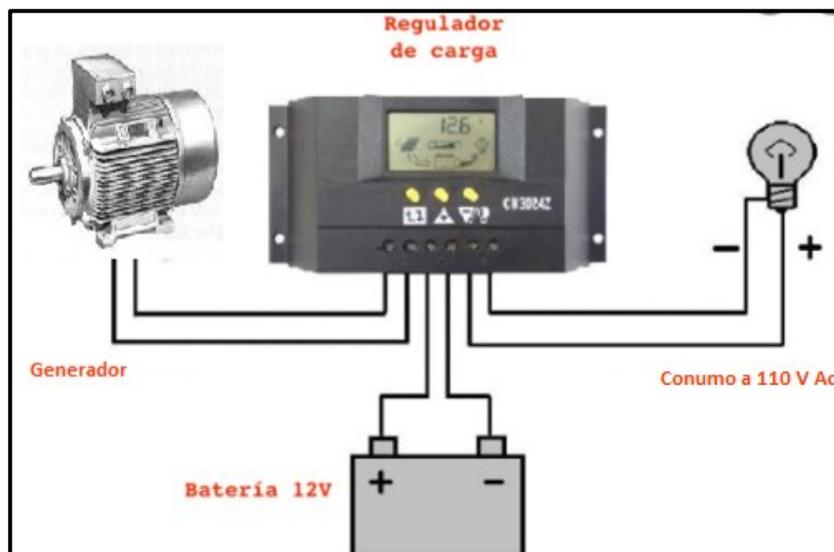
Fuente: [fuente propia]

Descripción:

Este equipo mantendrá la batería del sistema de alarma cargada para dar la confiabilidad al momento de su operación.

- Tensión nominal - Voltaje 12V/24V Autodetección
- Pantalla LED/LCD
- Tamaño 133.5 x 78 x 35 cm
- Autoconsumo 10 mA

Figura 36. Diagrama de conexión



Fuente: [fuente propia]

5.2 Construcción de estructura

Figura 37. Estructura.



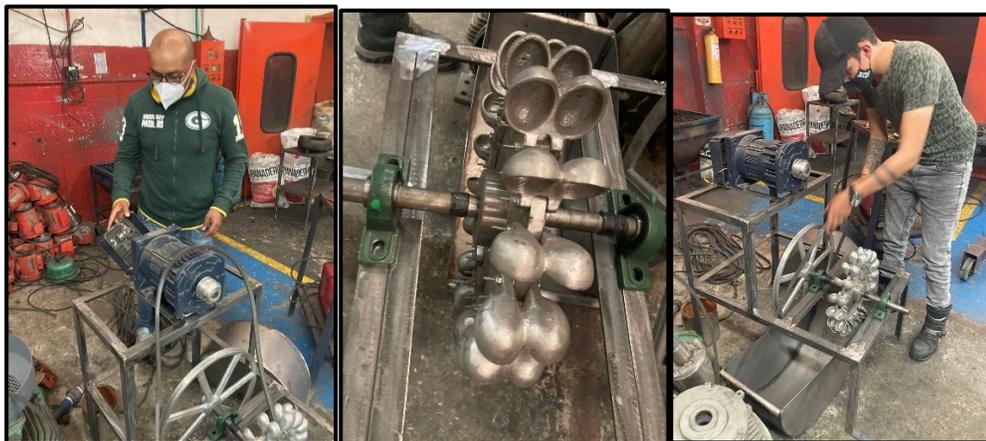
Fuente: [Fuente propia]

Descripción:

- Altura de 81 cm
- Ancho de 61 cm
- largo de 92 cm

Estructura en ángulo metálico con medidas de $\frac{1}{4}$ " por $\frac{1}{2}$ ", cubierta con pintura epóxica, con el fin de aumentar su vida útil, guarda de seguridad para cubrir rueda Pelton y posibles pérdidas de agua, también se utiliza para el desagüe hacia el tanque.

Figura 38. Estructura II.



Fuente: [Fuente propia]

Ya con parte del equipo ensamblado como el generador y poleas, se inician pruebas con una hidro lavadora de 1.5 kW, 1800 Psi y 5.8 litros por minuto donde se determina las RPM a las cuales tendría una óptima operación con el fin de tener un voltaje determinado.

Sin embargo, la presión y caudal de la hidro lavadora no fueron los adecuados para alcanzar las RPM mínimas para un funcionamiento adecuado.

Figura 39. Pruebas realizadas.



Fuente: (Fuente propia)

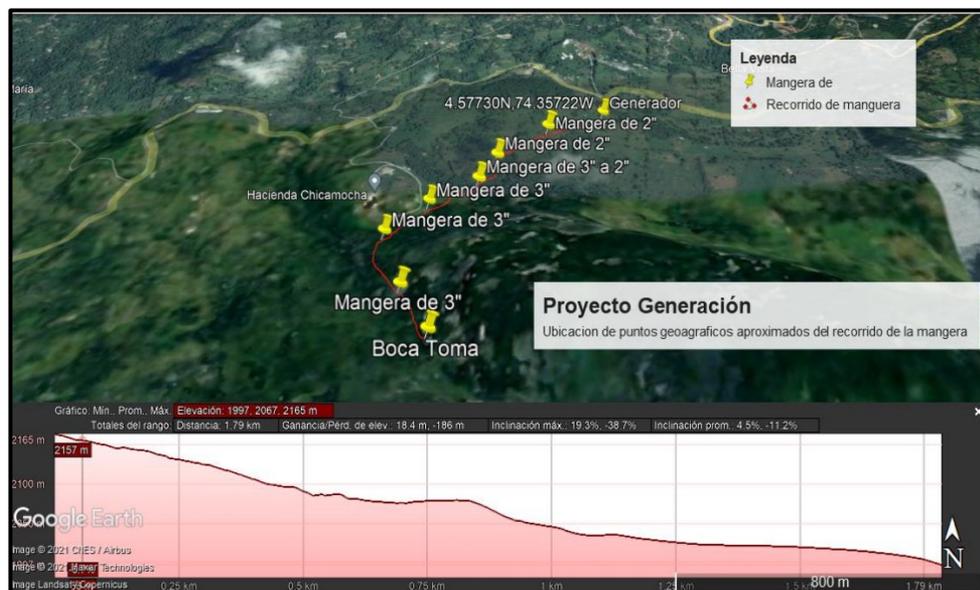
Se realizan pruebas de funcionamiento al generador de 2.8 kW, el cual se conecta de forma mecánica con polea y correa a un motor 1 kW a 3600 RPM donde se evidencia que el generador presenta inconvenientes ya que consta de un condensador de arranque el cual debe iniciarse con una fuente de alimentación externa, debido a esto se reemplaza el condensador por uno nuevo de iguales características (70 mf a 220V) el cual no requiere que se inicie con una fuente externa. Nuevamente se realiza el montaje donde observa que a 2800 RPM se generan 70 V inestables.

Posteriormente a ello se hace contacto con personal de la hacienda Chicamocha y se pacta una reunión con el fin de informarles el alcance del proyecto y los objetivos de éste, ya en sitio validan las condiciones de la tubería existente de 3" y el lugar exacto donde se realizaría la implementación.

Pasado el tiempo la hacienda Chicamocha declina respecto a la ejecución del proyecto en sus predios. El personal del acueducto Veredal muy gentilmente manifiesta que se pondrán en contacto con el propietario de un predio en la vereda la Rambla donde posiblemente faciliten el espacio para desarrollar el proyecto.

Se asigna un nuevo sitio para la implementación del proyecto, Finca Santo Domingo, donde se hace reconocimiento del lugar y se establece con los encargados el espacio para el montaje del hidro generador, posterior se da traslado de los equipos desde la ciudad de Bogotá.

Figura 40. Altimetría y ubicación de la tubería (nueva ubicación).



Fuente: [fuente propia]

Por medio GPS y Google Earth se establecen unas medidas de geolocalización, planteando el recorrido de la manguera para la nueva ubicación del generador, con esto también se obtiene una altura promedio desde la boca toma hasta el punto de instalación.

Tabla 2. Medidas de la tubería de acuerdo con su ubicación.

ID	Latitud	Longitud	Ubicación	Altura
1	4.57730	74.35722	Generador	1997 m
2	4.572826667	74.36270169	Manguera de 2"	2016 m
3	4.572066745	74.3634583	Manguera de 2"	2029 m
4	4.570709758	7436480047	Manguera de 3" a 2"	2045 m
5	4.568982695	74.35451137	Manguera de 3"	2079 m
6	4.568286569	74.36406956	Manguera de 3"	2087 m
7	4.568033488	74.36389824	Manguera de 3"	2105 m
8	4.565672829	74.36354653	Manguera de 3"	2137 m
9	4.566496421	74.36313176	Boca toma	2165 m

Ya en el lugar autorizado se contempla la instalación del equipo e inicio de pruebas, se ubica la estructura del generador en la parte superior de un tanque de concreto, en el cual se pretende hacer la recirculación del agua, posterior se interviene la manguera de 2" insertando un acople para unirla a una tubería de igual diámetro, donde se instaló el manómetro con el cual se podrán obtener datos de presión.

5.3 Medición de caudal practico.

Esta medición de caudal se realiza de forma experimental utilizando un tanque plástico de 55 galones, tomando con un cronometro los tiempos en el cual era llenado de agua, suministraba por la manguera de 2".

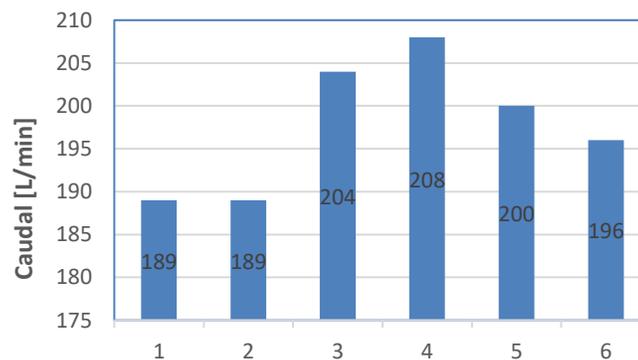
Tabla 3. Toma de datos de caudal practico.

Ítem	Caudal (gal/min)	Caudal (L/min)	Caudal (m3/s)
1	50	189	0,00315
2	50	189	0,00315
3	54	204	0,0034
4	55	208	0,00346
5	53	200	0,00333
6	52	196	0,00326
Promedio	52,33	197,67	0,00329

Fuente: [fuente propia]

En la tabla 3, se observa un registro de la medición de caudal donde cada ítem equivale al promedio tomado de 5 registros por visita, inicialmente medido en galones por minuto y posterior su equivalencia en litros por minutos y metro cubico por segundo. También en esta se calcula un promedio general aproximado el cual es de **0,00329** metro cubico por segundo.

Grafica 1. Relación de caudal en el tiempo.



Fuente: [fuente propia]

La grafica anterior muestra promedio final registrado del caudal en litros por minuto durante cada visita, presentado un caudal inicial de 189 (L/min) con un incremento aproximado del 12% para la tercera visita, esto por que se realiza una limpieza a los filtros, removiendo ramas y hojas que obstruyen el paso de agua por la manguera, para la visita 5 y 6 se percibe un decremento del 5.8% en el caudal. Con esto se establece, que se deben hacer limpiezas periódicas del filtro para Mantener un caudal promedio sobre los 197 (L/min).

Figura 41. Ensayos.



Fuente: (Fuente propia)

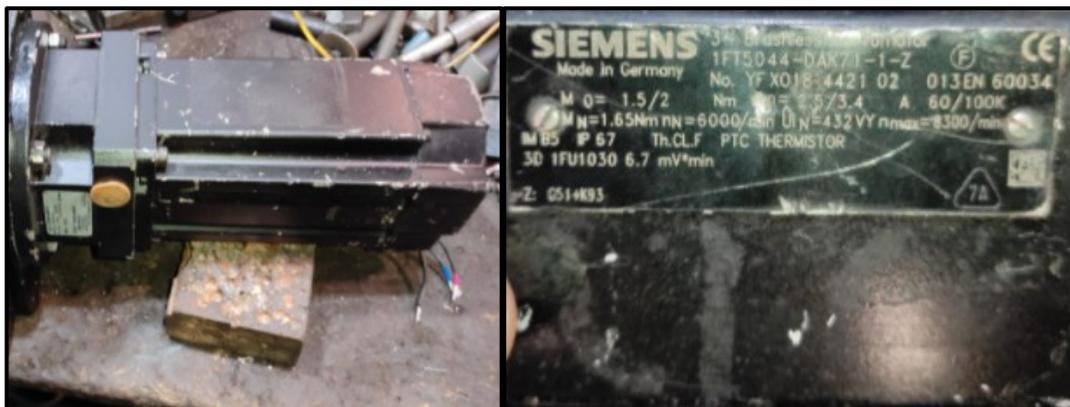
Con el generador de 2,8 kW teniendo en cuenta los datos de placa de características con unos RPM nominales de 3600 y con un promedio de 197 litros por minuto se evidencia que no genera un voltaje considerado.

Se realizan varias pruebas y ajustes en las poleas con una relación inicial de 1 a 2, obteniendo en el generador unas 2470 RPM, en base a esto, se determina cambiar la relación de poleas pretendiendo conseguir mayor RPM en el generador.

Para lograr una velocidad deseada de 3600 RPM en el generador, se instala una polea de 18 pulgadas en el eje de la rueda Pelton y una de 3 pulgadas en el eje del generador con lo que se obtiene una velocidad promedio en el generador de 3450 RPM al momento de generar la energía eléctrica y al exigirle al generador su carga máxima, la relación que se tiene entre la polea de la rueda Pelton y la polea del generador es de 1:7.

Debido al cambio de ubicación y las nuevas condiciones de caudal, se concluye que se requiere cambiar el generador.

Figura 42. Generador incorporado en el proyecto.



Fuente: [fuente propia]

Este generador se incorpora al proyecto debido al cambio de las condiciones geográficas en la implementación, ya que el anterior generador es más robusto, necesita de más caudal y presión para poder generar, este nuevo generador es pequeño y se ajusta condiciones dadas por el terreno.

Descripción:

- Servo motor trifásico
- Peso de 2,5 kg
- largo 25 cm, alto 7.7 cm, ancho 7.6 cm.
- Tensión de 110 a 220 voltios
- Corriente máxima 7.2 Amperios.

Figura 43. Generador incorporado.



Fuente: [fuente propia]

Se agrega el nuevo generador a la estructura para lo cual fue necesario añadir una base que soporte el motor, esta base de medidas de 240 mm por 370 mm la cual tiene unas perforaciones donde va una varilla roscada de 3/8" con la que se da una elevación a la base, tensionando la correa de transmisión, además de permitir alinear la polea del motor con la de la rueda Pelton.

5 Implementación, montaje electromecánico y sistema de alarmas

Figura 44. montaje del equipo.



Fuente: [fuente propia]

En esta fase de implementación con el generador instalado se hace el replanteo en la parte de instrumentación debido al cambio de la ubicación del generador. Con ayuda de un manómetro se obtiene una presión dinámica en la tubería de dos bar. Por esta razón se toma la decisión de implementar un caudalímetro cuya ficha técnica indica una presión mínima de operación de 2 bar.

Figura 45. montaje del equipo II.



Fuente: [fuente propia]

Se pasa a la ubicación del medidor de RPM en la estructura que debe ser lo más cerca al eje del motor para tomar la medida precisa de los giros, este sensor lleva la señal a la entrada 3 del PLC.

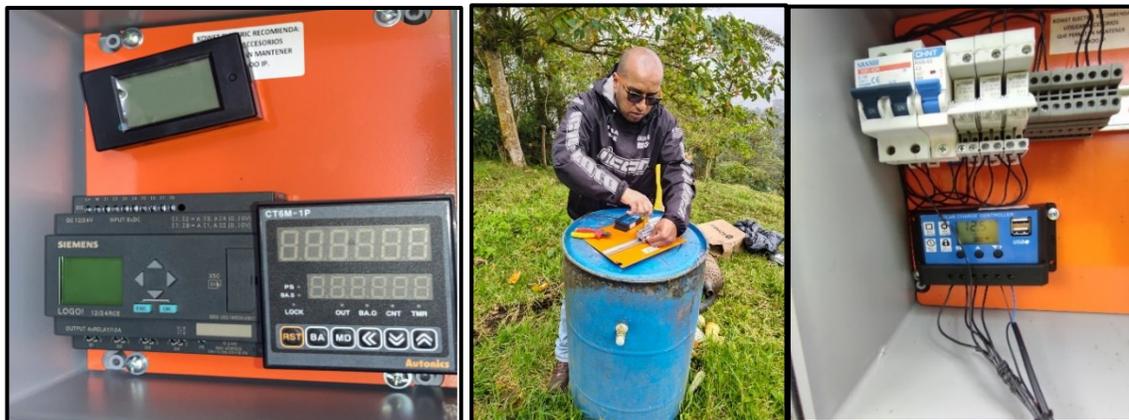
Figura 46. Ubicación sensor RPM.



Fuente: [fuente propia]

Ubicado en la parte trasera de la estructura está el tablero eléctrico (anexo 8, plano de control) el cual aloja los equipos tales como: PLC con su fuente de voltaje de 110v a 24v DC, breaker de protección contra cortocircuito y sobrecarga, relevos de apoyo para salidas de alarma.

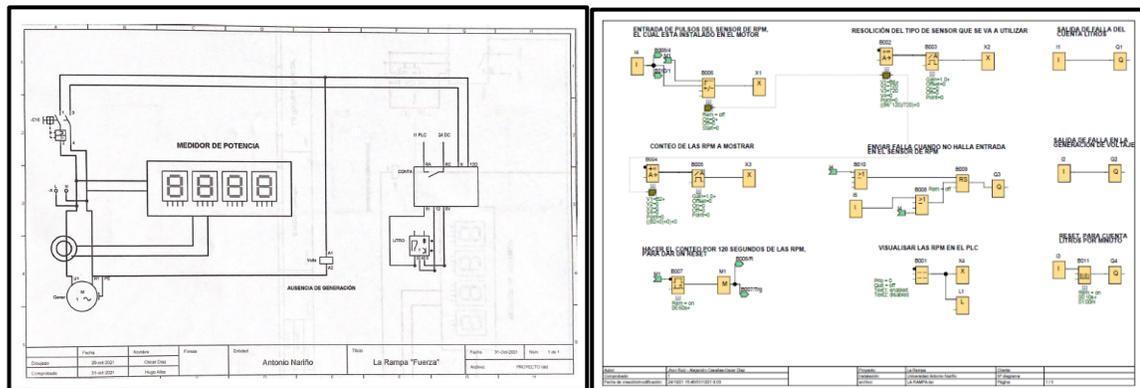
Figura 47. Distribución en tablero eléctrico.



Fuente: [fuente propia]

Para realizar el montaje de los equipos eléctricos se tuvo en cuenta los diseños eléctricos de potencia y control que se encuentran en el **anexo 7**, (Plano de fuerza) y **Anexo 8**, (Plano de control).

Figura 48. Planos.



Fuente: [fuente propia]

Los cuales fueron seleccionados en referencia a los cálculos:

Corriente de diseño: I_{Ac}

Carga: 6 A

Factor de protección: 1.25

$$I_{Ac} = 6A * 1.25 = 7.5A$$

La corriente de diseño para el generador es de 7.5 A, por esta razón se instala un breaker de protección de 10 A.

Corriente de diseño: I_{Dc}

Fuente: 0.3 A

PLC: 0.1 A

Sistema de alarmas: 0.2 A

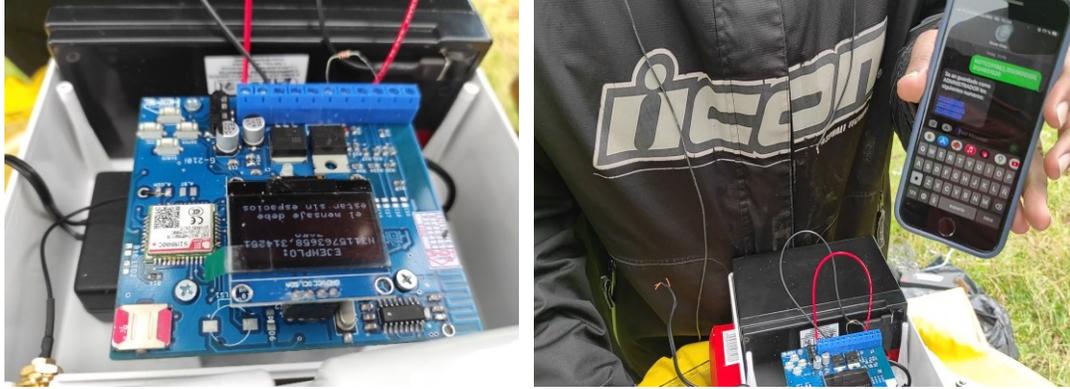
Factor de protección: 1.25

$$I_{Dc} = (0.3A + 0.1A + 0.2) * 1.25 = 0.75A$$

La corriente de diseño para el control es de 0.75 A y se instala el breaker de protección con el valor comercial más cercano que es de 1 A.

5.1 Sistema de alarmas.

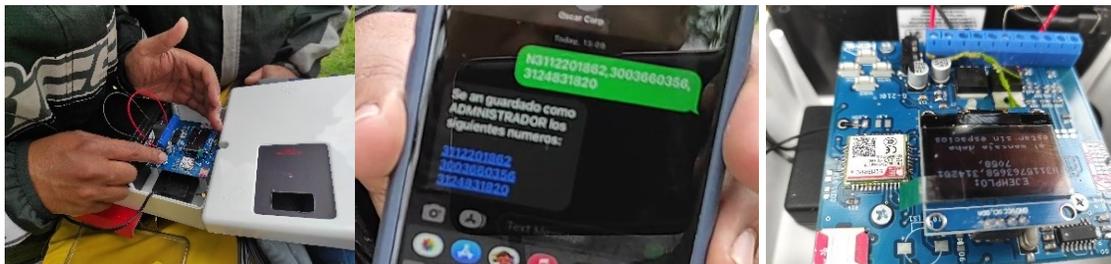
Figura 49. Sistema de alarmas.



Fuente: [fuente propia]

El sistema de alarma el cual tiene una alimentación de 12 VDC va dentro de este tablero para que sea practico a la hora de trasportar, el sistema de alarma cuenta con 3 entradas, para 8 números de teléfono de los cuales uno solo será maestro, el cual hará una llamada con un mensaje de voz predeterminado y enviará 1 mensaje de texto como alerta adicional.

Figura 50. Sistema de alarmas II.

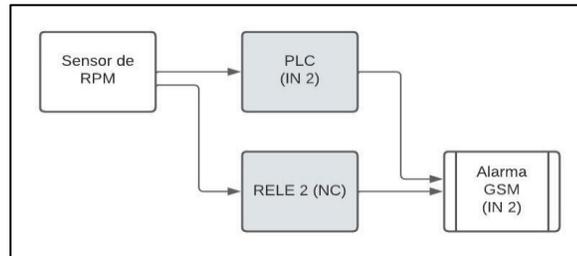


Fuente: [fuente propia]

- Alarma por bajo caudal

Con ayuda del contador el cual tiene una salida en sus terminales 3 y 4 que consta de un contacto normalmente abierto (NO) y a su vez energiza la entrada 1 del sistema GSM el cual indicara ausencia de fluido en la tubería de entrada de la rueda Pelton, realizando una llamada a los números registrados.

Figura 51. Esquema bajo caudal.

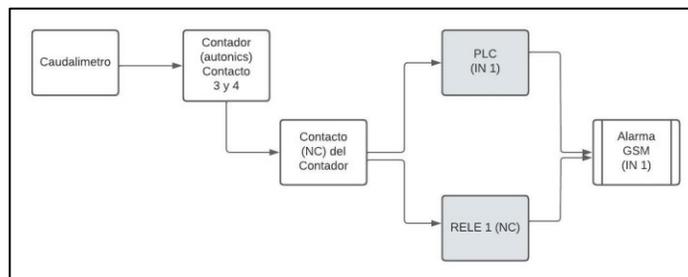


Fuente: [fuente propia]

- Alarma por baja potencia

Utilizando el sensor ubicado en la estructura del generador cerca al eje del motor, que indica las RPM del motor, el cual está conectado a la entrada 2 del PLC y en paralelo al contacto (NC) del relevo 2 y dirigido a la entrada 2 del sistema GSM, generando una alerta por posibles daños.

Figura 52. Esquema baja potencia.



Fuente: [fuente propia]

La tarjeta de alarmas mantiene una buena señal, además que contiene una antena para mayor rango, se opta por un Sin car, Claro ya que ofrece mejor cobertura para la zona.

Figura 53. Conexión sistema de alarmas.



Fuente: [fuente propia]

Figura 54. Montaje.



Fuente: [fuente propia]

Después de hacer pruebas sin carga se realizan las pruebas con carga conectando 3 bombillos de 100 w en paralelo y al estar la generación en su voltaje pico 115 v se evidencian caídas de voltaje entre 40- 50 V, cada bombillo consume 1.2 A aproximadamente. Se determina realizar la inversión económica para adquirir una batería de 12v, 7A y 20 horas de servicio y un conversor de DC a AC esto con el fin de almacenar la energía y poder tener un respaldo suficiente y evitar las caídas de voltaje, paralelo a esto se está realizando la configuración del PLC, sensores y sistemas de comunicación.

Figura 55. Pruebas.



Fuente: [fuente propia]

Potencia teórica de la turbina

Los datos obtenidos para determinar la potencia son:

$$Q = 3.28069 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \quad \rho = 1000 \frac{Kg}{m^3} \quad g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$H = 84 m \quad \eta = 90\%$$

$$P = Q * \rho * g * H\eta \quad [27]$$

Q = Caudal (dato adquirido en la medición de caudal)

ρ = Peso específico del agua

g = Gravedad

H = Altura neta

η = Rendimiento

$$P = \left(3.28069 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \right) * \left(1000 \frac{Kg}{m^3} \right) * \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right) * (84 m) * (0,9) = 2.4 kW$$

Utilizando como fuente los datos del terreno de instalación se determina la potencia de la turbina, con un caudal de $3.28069 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$ y una carga neta de 84 m, obteniendo como resultado una potencia teórica 2.4 kW.

Figura 56. Hidro generador.



Fuente: [fuente propia]

6 Ajustes y evaluación del funcionamiento del sistema hidro-generador

En esta etapa se dan los últimos ajustes y detalles al equipo, puesto que ya se encuentra en su correcto funcionamiento, se realiza cambio de alguna tornillería del equipo, se considera que el equipo es funcional a pesar de haber tenido que realizar cambios en el generador e incorporar algunos elementos eléctricos que no estaban contemplados inicialmente como la batería. Además, se realiza la evaluación del sistema generador analizando variables como caudal, voltaje y RPM.

6.1 Medición de caudal.

Utilizando un caudalímetro para medir la cantidad de agua que pasa por el ducto, conectado en la tubería de 1 pulgada antes del inyector, mediante pulsos de voltaje genera una señal positiva la cual es recibida por el contador.

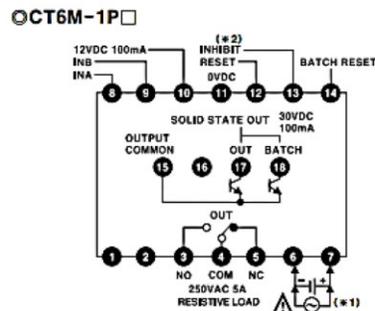
Figura 57. Caudal.



Fuente: [fuente propia]

El contador / temporizador CT6M-1P de medidas 72 x 72 mm, con entradas de alimentación a 110 VAC en los terminales 6 y 7 y la alimentación del caudalímetro está en las terminales 11 (0 VDC) y 10 (12 VDC), con la señal de pulso conectada a la terminal 9.

Figura 58. Esquema de conexión contador.

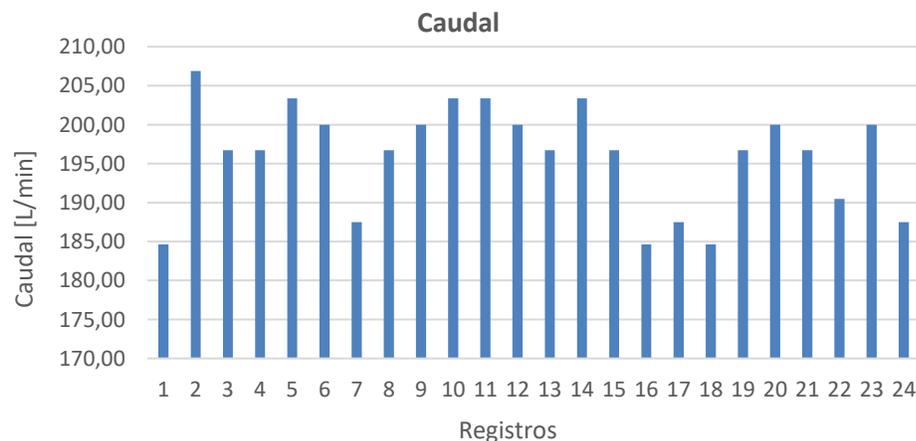


Fuente: [fuente propia]

Para dar un valor de set value tomamos como referencia el promedio de caudal medido de forma practica el cual está representado en la **Tabla 4**. (Toma de datos de caudal) y representado en la gráfica 2, donde se obtiene un caudal promedio de 197,67 (L/min).

Con ayuda de este contador se realiza la toma de datos de caudal, con intervalos de 10 min durante 4 Horas, estos valores se adjuntan en el **anexo 17**.

Gráfica 2. Caudal registrado por caudalímetro y contador.



En representación de los valores registrados se presenta la **gráfica 2**, donde se observa en el costado izquierdo el caudal obtenido y en la parte inferior el número de registros con valores de caudal pico de 206 L/min, así como uno mínimo de 184 L/min.

6.2 Caudal vs Potencia.

Basados en la toma de datos recopilados y adjuntados en el anexo 18 se presenta un resumen en la tabla 5, encontrando como valor pico, un caudal de 203,39 L/min con una potencia generada de 1.1 kW.

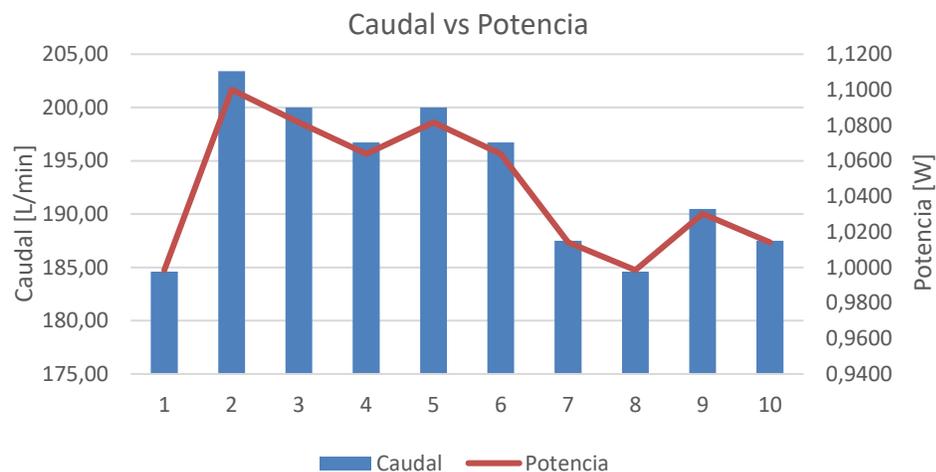
Tabla 4. Caudal vs Potencia.

Caudal [L/min]	184,62	203,39	200,00	196,72	200,00	196,72	187,50	184,62	190,48	187,50
Potencia [W]	0,9985	1,1000	1,0817	1,0639	1,0817	1,0639	1,0141	0,9985	1,0302	1,0141

Fuente: [fuente propia]

Obteniendo los datos de caudal máximo y mínimo que se muestran en la tabla número 4, los cuales muestran la cantidad de agua que pasa por el ducto de esta misma forma se muestra en el medidor de voltaje, corriente y potencia.

Gráfica 3. Relación caudal vs potencia.



Tomando 10 datos relevantes del caudal con respecto a la potencia, la gráfica 3 nos muestra que el caudal será directamente proporcional a la potencia, esto quiere decir que a mayor caudal obtendremos una potencia estable con una eficiencia y sostenibilidad al colocar una carga constate sobre la generación.

6.3 Análisis de datos.

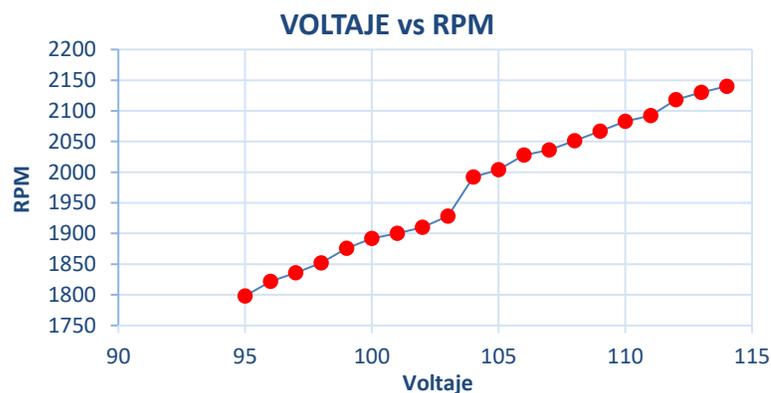
Al implementar el nuevo generador, se retoman las pruebas para determinar voltaje de salida donde y se determina el caudal por minuto, el voltaje vs las RPM como se relaciona a continuación.

Tabla 5. Relación datos de voltaje de salida vs RPM.

VOLTAJE OUT (V)	114	113	110	109	108	106	103	101	100	98	96	95
RPM	2140	2130	2083	2067	2051	2028	1928	1900	1892	1852	1822	1798

Con la toma de datos en las revoluciones por minuto y el voltaje generado, por medio del sensor capacitivo ubicado en el eje del motor y el medidor de potencia, los datos obtenidos nos muestran en la table número 5.

Grafica 4. Relación voltaje vs RPM.



Con la toma de datos de voltaje y revoluciones por minuto, se puede ver en la gráfica número 4 que esta relación será directamente proporcional, esto quiere decir que entre más rápido gire en eje de generador mayor será el voltaje generado por el mismo.

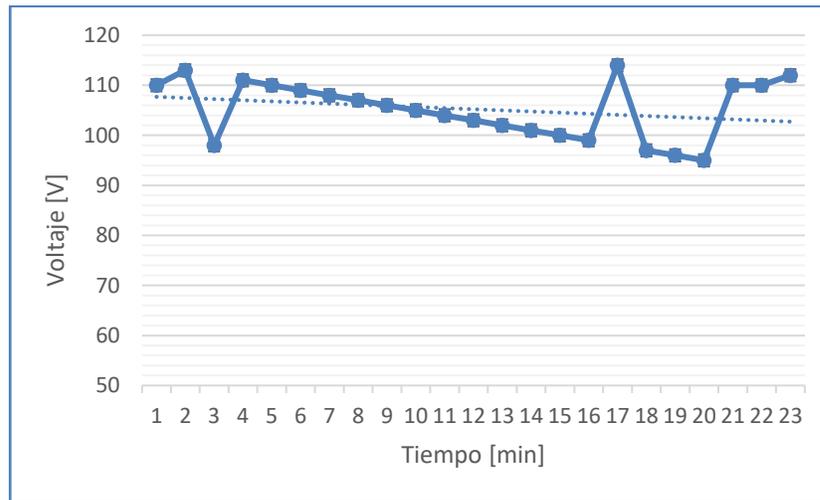
Con la toma de la medición en el voltaje de salida durante un tiempo aproximado de 23 minutos, la cual se muestra en la anterior gráfica, Muestra que tenemos un voltaje de valor pico máximo de 114 voltios y valor pico mínimo de 98 voltios. Para este tipo de generador estaría entre los rangos de trabajo o de generación estándar, que se deben llevar a una mejora para poder estabilizar este voltaje y no tener perdidas entre los picos mínimos y máximos.

Tabla 6. Voltaje a la salida generador con relación a la hora de la medición.

VOLTAJE OUT (V)	110	113	110	109	108	106	105	101	114	96	95	110	112
TIEMPO (min)	8:40	9:00	10:00	10:20	10:40	11:20	11:40	13:00	14:00	14:40	15:00	15:40	16:00

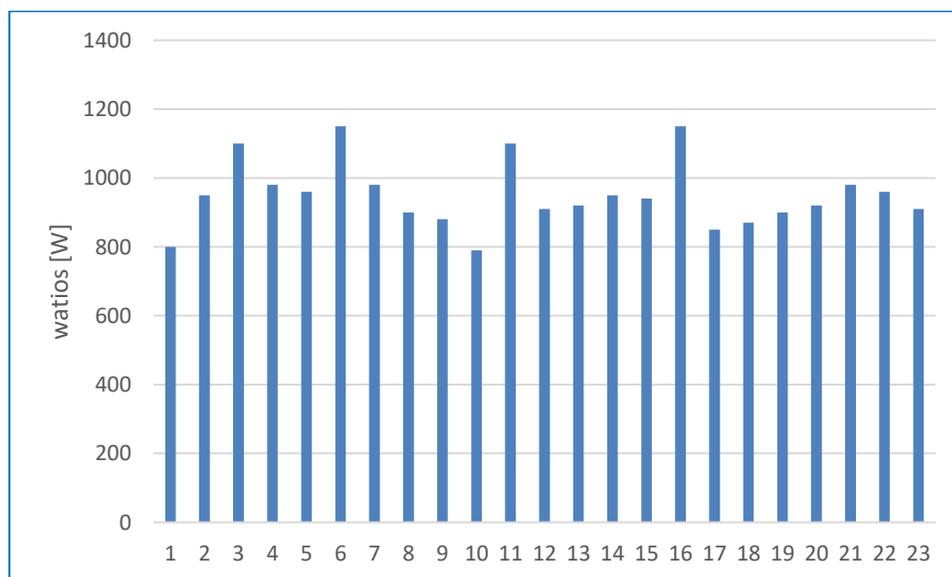
Con la toma de datos de la tabla 6, se muestra el cambio en la generación durante el periodo de 6 a 8 horas aproximadas estos cambios son debido al caudal y por los cambios en la presión de la tubería, estas variaciones son normales por el tipo de tubería que se tiene en el sitio.

Grafica 5. Voltaje de salida en la hora de la medición.



En la gráfica 4, se contempla el comportamiento del equipo con un consumo de potencia demandada, en donde se registra por cada hora de trabajo y entregando una potencia media de 961 vatios de potencia, aproximando la misma, el equipo será capaz de suministrar un consumo de un kilo vatio por hora.

Grafica 6. Consumo en vatios por hora.



Recomendaciones

Dentro de las recomendaciones que se deben tener en cuenta para continuar con el desarrollo y mejoras de este proyecto cabe mencionar las siguientes:

- Es conveniente cambiar la tubería que está ubicada a 400 metros antes de llegar al generador, ya que esta se encuentra con una reducción de 3" a 2", para que esta tubería llegue en 3" hasta el generador. La tubería que se encuentra en 2" actualmente está obstruida por vegetación y con fugas por acoples o uniones que no se encuentran en las mejores condiciones, este cambio con el fin de evitar pérdidas de agua.
- Se recomienda como una mejora implementar un banco de baterías, esto con el fin de almacenar energía la energía proveniente del generador y a su vez un inversor de voltaje para darle uso a esa energía almacenada de esta forma se minimizará caídas de voltaje y se mantendrá una potencia estable.
- Se puede realizar el cambio del generador de menor RPM las cuales pueden ser entre 800 a 1200 RPM, para tener un voltaje de salida eficiente y estable. (este generador no es comercial y se recomienda realizar un diseño previo para hacer la fabricación de este).
- Para tener una lectura confiable y precisa en las RPM del generador se aconseja ubicar un encoder absoluto, el cual guardar la posición final antes de tener una falla por energía o movimiento, este debe ser de múltiple giro.
- Se recomienda el cambio a un manómetro digital ya que actualmente se tiene uno análogo el cual puede presentar des calibración con mayor frecuencia.

Conclusiones

1. Se diseñó la casa de máquinas para alojar el sistema hidrogenerador, los equipos de transmisión, medición y comunicación del sistema con el fin de protegerlos del medio ambiente y/o terceros. Donde comprende un cuarto de máquinas de 3m de ancho por 3m de largo, con puerta de acceso de 2m de alto por 1m de ancho en lámina y cerradura para su seguridad, una ventana en estructura metálica y vidrio con vista exterior con medidas de 1,1m de ancho por 1,1m de alto. El techo será en teja eternit, con piso placa en concreto de 3000psi teniendo en cuenta que debe soportar el peso de la estructura. En su interior lleva 2 tomacorrientes dobles monofásicas (110v), Un interruptor y una roseta para el alumbrado, lo anterior se puede contemplar en los anexos 3 y 4.
2. Ya con el sitio definido por el acueducto veredal se realizó el montaje del hidrogenerador y ensamble en sitio para validar su puesta en marcha y funcionamiento. En las coordenadas Latitud: 4.57730, Altitud: 74.35722, Vereda la rambla, finca Santo Domingo. Se instaló estructura metálica la cual tiene medidas de: altura 81cm, ancho 61cm y largo 92cm la cual está construida por Angulo metálico de ¼” por ½” y cuenta con una guarda de protección en lámina para evitar posibles accidentes.
3. Se realizó la medición en tiempo real de los parámetros de potencia encontrándose en el lugar escogido una presión de 2bar, una potencia promedio generada de 1kW, dentro del rango de 2140 RPM de la rueda Pelton, de acuerdo a lo mencionado en la tabla No 5.
4. Al realizar medición en tiempo real en los parámetros de potencia entregada y RPM de la rueda Pelton del sistema generador.
 - a) Se concluye que es inversamente proporcional la relación entre la potencia entregada y las RPM, ya que, al subir la potencia activa, disminuye las RPM un 40%, se observó que al colocarle una carga de 1.5 A la tensión entregada bajó súbitamente de 110 V a 50v.
 - b) Observando el resultado del proyecto se llegó a la conclusión de que se requiere una presión dinámica constante para unas RPM deseadas de esta forma no habrá caída súbitamente en el voltaje y de esta forma se garantizará la potencia deseada.

5. Al realizar la medición de caudal por medio de un medidor de flujo, el cual está ubicado en la tubería de entrada de la rueda Pelton se puede concluir:
 - a) Con los resultados obtenidos que, al tener mayor flujo en la manguera de 2 pulgadas, se puede obtener una potencia estable en kW.
 - b) Se puede concluir que teóricamente se tiene una potencia activa de 2 kW, esto debido a las pérdidas en la manguera por obstrucción y pendientes de subidas y bajadas en el terreno.
6. Se realizó el montaje y pruebas del sistema de comunicación GSM, con diferentes operadores de red móvil, se valida la cobertura en zona para tener confiabilidad del funcionamiento, Posterior se generan fallas de caudal y de presión, validando el envío a un equipo celular receptor.
7. Para el sistema de alarmas GSM se puede concluir que:
 - a) Con estas alarmas se hace los seguimientos necesarios para las mejoras en el proyecto por parte del acueducto y los encargados del mantenimiento correctivo y preventivo en la manguera.
 - b) El envío de estas alarmas ayuda al acueducto con las prontas intervenciones para mejorar el suministro de agua a los usuarios del acueducto.
8. Al realizar el estudio de caudal vs potencia, se puede concluir que:

Evaluando los datos obtenidos se obtiene un promedio de 105 V a 1977 RPM, con valores picos de 114 V a 2140 RPM, podemos decir que es eficiente a mayores RPM.
9. Se realizó la implementación del sistema hidro generador, obteniendo así resultados en la instalación y toma de datos de las pruebas realizadas, con un promedio de 105 V a 1977 RPM, se sugiere implementar un banco de baterías para alcanzar valores de tensión estable.
10. Podemos concluir que el proyecto es bueno y funcional para lo cual la comunidad obtendrá un beneficio, sirviendo de prototipo para otros lugares de la zona donde se cuente con el recurso hídrico.

Referencias Bibliográficas

- [1] Micro capacitación. Controlador lógico programable (PLC). Curso 061/Micro.com.ar
- [2] Mataix y Plana, Claudio. (1986). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Madrid, España: Ediciones del castillo s.a.
- [3] Penche, Celso. (1998). Manual de pequeña hidráulica. Bruselas, Bélgica: dg xvii.
- [4] Jara Wilfredo. (1998). Máquinas hidráulicas. Rimac, Perú: W&H EDITORES.
- [5] PAPER, Publicado en la Web <http://usuarios.lycos.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/T-3.1.2.htm>
- [6] Fuente: ORTIZ Flores Ramiro, Pequeñas centrales hidroeléctricas MC GRAW HILL, 2001
- [7] MARCHEGANI, Ariel. Cavitación. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de ingeniería. Departamento de mecánica aplicada.
[http://fain.uncoma.edu.ar/La.M.Hi/textos/Maquinas%20hidraulicas/CAVITACION%20\(v%201.2\).pdf](http://fain.uncoma.edu.ar/La.M.Hi/textos/Maquinas%20hidraulicas/CAVITACION%20(v%201.2).pdf)
- [8] CAMACHO, Pedro. Apuntes de Maquinas hidráulicas. Instituto Tecnológico de Acapulco. Ingeniero Asesor. México.
http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm
- [9] ORTIZ Ramiro “pequeñas centrales hidroeléctricas” segunda edición, editorial mexicana 1982
- [10] GRAINGER Jhon j – William d. Stevenson jr. 1 edición McGraw hill, 2002
- [11] CABALLERO, Alexander. BOHORQUEZ, Alfredo. Turbina tipo Pelton para planta Microhidrogeneradora, diseño y construcción. Trabajo de Grado

- [12] VIII encuentro latinoamericano y del Caribe sobre pequeños aprovechamientos hidroenergeticos1999
- [13] CASTRO “minicentrales hidroeléctricas Madrid 2006
- [14] Harper Gilberto, Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales, segunda edición, editorial LIMUSA
- [15] Mecánica De Fluidos. Robert Mott. Sexta Edición. Editorial Pearson.
- [16] DOUGLAS C, Giancoli, OLGUIN C, Victor. Física: principios con aplicaciones, volumen 2. 6ta Edición. México: Editorial Pearson Educación, 2007. 554-555p
- [17] “Sistemas de Control Automático”. Autor: Benjamín C. Kuo, Séptima Edición. Editorial: “Prentice Hall Hispanoamericana S.A” ,1996.
- [18] introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo.” Ing. Mario Alberto Perez. Ing. Analía Perez Hidalgo. Bioing. Elisa Perez Berenguer.
- [19] HAMROCK BERNARD elementos de máquinas. McGraw Hill 1999. Capítulo 11 ejes y partes asociadas
- [20] DISEÑO, CONSTRUCCION, MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA TURBINA PELTON PARA GENERAR ELECTRICIDAD. JAVIER HERNAN LEON RIBERO VICTOR ANDRES RIVEROS SANTOS/ 2008
- [21] Chapman Stephen, (2012). Máquinas eléctricas. México D.F, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

- [22] Diseño y desarrollo de un sistema hidro generador eléctrico de baja potencia por medio de una turbina Pelton. (2020) Ávila Garzón Miguel Ángel.Gómez Cortés Hancel Raúl
- [23] CEA-IFA; Sistemas de supervision; Introduccion a la monitorizacion y supervision experta de procesos. Métodos y herramientas. Joan Colomer. Joaquim Meléndez. Jordi Ayza.
- [24] Ingeniería, Estudios y Proyectos NIP, S.A (noviembre 1995) MINIHIDRÁULICA EN EL PAÍS VASCO
<https://www.eve.eus/CMSPages/GetFile.aspx?guid=237caabd-fce4-4cbf-ba58-67b124c63bfb>
- [25] MANWELL, James, MCWOWAN, Jon, Y ROGERS, Anthony. Wind energy explained. 2da Edition. United Kingdom: Editorial Wiley, 2009. 234-235p
- [26] A. Ruiz, J. Garcia, and J. Mesa, “Error, Incertidumbre, Precisión Y Exactitud, Términos Asociados a La Calidad Espacial Del Dato Geográfico,” I Congr. Int. Catastro Unificado y Multipropósito, pp. 1-8, 2010.
- [27] DINA, Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación, en gestión 2013 – 2014 vol.81.
- [28] Hermenegildo Rodriguez Galbarro, Correas de Trasmisión Calculo y Diseño, Ingemecamica.

Anexos

- **Anexo 1**, Plano estructura
- **Anexo 2**, Plano estructura medidas
- **Anexo 3**, Plano casa de máquinas, modelo 1 de 2
- **Anexo 4**, Plano casa de máquinas, modelo 2 de 2
- **Anexo 5**, Esquema interno de casa
- **Anexo 6**, Distribución eléctrica
- **Anexo 7**, Plano de fuerza
- **Anexo 8**, Plano de control
- **Anexo 9**, Bloques de programación
- **Anexo 10**, Datasheet PLC
- **Anexo 11**, Tarjeta sistema de alarmas
- **Anexo 12**, Datasheet contador
- **Anexo 13**, Datasheet Caudalímetro
- **Anexo 14**, Datasheet Sensor
- **Anexo 15**, La rampa escalera
- **Anexo 16**, Conexión de alarma
- **Anexo 17**, Medición de caudal
- **Anexo 18**, Caudal vs Potencia
- **Anexo 19**, Registro de potencia [W]
- **Anexo 19**, Voltaje a la salida del generador
- **Anexo 20**, Datos voltaje, corriente, y potencia