



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
AUTOSUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA
CONSUMO HUMANO.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

MARCO RAMIRO GUERRERO RAMOS

MIGUEL ANGEL RUIZ ESTRADA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
AUTOSUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA
CONSUMO HUMANO.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: MARCO RAMIRO GUERRERO RAMOS

MIGUEL ANGEL RUIZ ESTRADA

DIRECTOR: Ing. DIEGO FERNANDO MAYORGA PEREZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Marco Ramiro Guerrero Ramos; Miguel Ángel Ruiz Estrada

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

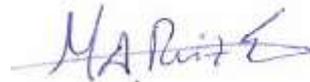
Nosotros, Marco Ramiro Guerrero Ramos y Miguel Ángel Ruiz Estrada, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de junio de 2023



Marco Ramiro Guerrero Ramos
020231733-5



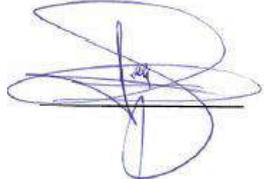
Miguel Ángel Ruiz Estrada
025008804-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOSUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO** , realizado por: **MARCO RAMIRO GUERRERO RAMOS Y MIGUEL ÁNGEL RUIZ ESTRADA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-20
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-20
Ing. John German Vera Luzuriaga ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-20

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de integración curricular en primer lugar a Dios, por brindarme salud para culminar esta meta

A mi familia por brindarme su apoyo en todo momento y motivarme a cumplir cada una de mis metas propuestas.

Marco Ramiro Guerrero Ramos

Dedico este trabajo a mi madre Virginia Estrada por ser un pilar fundamental en mi vida y en mi formación como ingeniero mecánico ya que a pesar de mis errores nunca dudó de mis capacidades y siempre mantuvo su fe en mí.

También se lo dedico a mi padre, Miguel Estuardo Ruiz, quien me inspiró a mejorar como persona inculcándome valores importantes como el respeto, honestidad y perseverancia. Sé que donde se encuentre está feliz y orgulloso de mí por alcanzar metas en la vida.

Miguel Ángel Ruiz Estrada

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi familia, que son la parte más importante en mi vida por sus consejos, por su cariño durante toda mi vida universitaria ayudándome a culminar una de las metas más importantes en mi vida.

Agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formarme y ser un profesional, al Ing. Otto Balseca, al Ing. Diego Mayorga y al Ing. John Vera por brindarnos su paciencia y conocimiento quienes con su experiencia han contribuido para elaborar el siguiente proyecto.

Marco Ramiro Guerrero Ramos

Agradezco a mis padres porque gracias a su esfuerzo y sacrificio me ayudaron a sacar adelante mi sueño de convertirme en ingeniero mecánico. Además, me enseñaron a no rendirme incluso en las circunstancias más adversas.

A mi abuelita Greta Dávila por el cariño y apoyo incondicional que siempre me brinda.

También agradezco a mis hermanos Andrés Ruiz y Danilo Jácome por siempre brindarme su apoyo y afecto.

Miguel Ángel Ruiz Estrada

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Delimitación.....	3
1.2.1 <i>Delimitación espacial.....</i>	<i>3</i>
1.2.2 <i>Delimitación temporal.....</i>	<i>3</i>
1.2.3 <i>Delimitación sectorial.....</i>	<i>3</i>
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
1.4.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Agua.....	5
2.2 Fuentes de agua.....	6
2.2.1 <i>Aguas subterráneas.....</i>	<i>6</i>
2.2.2 <i>Aguas superficiales.....</i>	<i>7</i>
2.3 Contaminación del agua.....	7
2.3.1 <i>Principales contaminantes del agua.....</i>	<i>7</i>
2.4 Aspectos de la calidad del agua.....	8

2.5	Tratamiento del agua.....	8
2.5.1	<i>Filtración de agua.....</i>	9
2.5.2	<i>Filtros de arena.....</i>	9
2.5.3	<i>Filtros de carbón activado</i>	10
2.5.4	<i>Métodos de desinfección de agua</i>	11
2.5.4.1	<i>Desinfección con cloro</i>	11
2.5.4.2	<i>Desinfección con Ozono</i>	11
2.5.4.3	<i>Radiación ultravioleta (UV).....</i>	11
2.5.4.4	<i>Propiedades de la radiación ultravioleta</i>	12
2.5.4.5	<i>Elementos de un sistema de desinfección ultravioleta</i>	12
2.6	Tipos de generación de energía.....	13
2.6.1	<i>Energía solar.....</i>	13
2.6.1.1	<i>Células fotovoltaicas</i>	14
2.6.1.2	<i>Parámetros de una célula fotovoltaica</i>	15
2.6.1.3	<i>Panel solar</i>	15
2.6.1.4	<i>Principales parámetros de un panel solar.....</i>	16
2.7	Micro Hidro generación	16
2.8	Turbinas	17
2.8.1	<i>Clasificación de las turbinas hidráulicas</i>	17
2.8.1.1	<i>Turbina Pelton</i>	18
2.8.1.2	<i>Turbina Michell Banki.....</i>	18
2.8.2	<i>Características generales de la turbina Michell-Banki.....</i>	19
2.8.2.1	<i>Componentes de la turbina Michell-Banki</i>	19
2.9	Parámetros de diseño.....	20
2.9.1	<i>Criterios de selección de turbina.....</i>	20
2.9.1.1	<i>Altura de salto.</i>	20
2.9.1.2	<i>Pérdidas de carga</i>	21
2.9.1.3	<i>Velocidad media.....</i>	21

2.9.1.4	<i>Factor de fricción del material</i>	22
2.9.1.5	<i>Número de Reynolds</i>	22
2.9.1.6	<i>Rugosidad relativa</i>	23
2.9.1.7	<i>Velocidades específicas</i>	23
2.10	Equipos	24
2.10.1	<i>Caudalímetro</i>	24
2.10.2	<i>GPS</i>	25
2.10.3	<i>Manómetro</i>	25
2.10.4	<i>Electroválvula</i>	26
2.11	Elementos finitos (SolidWorks y ANSYS)	26
2.11.1	Software CAD	26
2.11.2	Software CAE	27
2.12	Métodos de diseño	28
2.12.1	<i>Etapas de diseño</i>	28
2.12.1.1	<i>Definición del producto</i>	28
2.12.1.2	<i>Diseño conceptual del producto</i>	29
2.12.1.3	<i>Diseño de materialización</i>	29
2.12.1.4	<i>Diseño de detalle</i>	29
CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO	30
3.1	Metodología de diseño	30
3.2	Definición del producto	30
3.2.1	<i>Casa de la calidad</i>	30
3.2.1.1	<i>Voz del usuario</i>	31
3.2.1.2	<i>Voz del ingeniero</i>	32
3.2.1.3	<i>Correlaciones</i>	33
3.2.1.4	<i>Especificaciones técnicas</i>	34
3.2.1.5	<i>Compromisos técnicos</i>	35
3.2.1.6	<i>Prioridades técnicas</i>	35

3.3	Diseño conceptual	37
3.3.1	<i>Análisis funcional modular</i>	37
3.3.1.1	<i>Nivel 0</i>	37
3.3.1.2	<i>Nivel 1</i>	38
3.3.1.3	<i>Nivel 2</i>	38
3.4	Matriz morfológica	40
3.4.1	<i>Evaluación de alternativas</i>	42
3.4.1.1	<i>Criterios de evaluación</i>	44
3.4.2	<i>Solución 1 (Alternativa 1).....</i>	45
3.5	Condiciones ambientales	45
3.5.1	<i>Altura</i>	46
3.6	Selección de componentes.....	48
3.6.1	<i>Selección del material para la tubería</i>	48
3.6.2	<i>Selección del manómetro</i>	49
3.6.3	<i>Selección de filtro.....</i>	50
3.6.4	<i>Selección de electroválvula</i>	51
3.6.5	<i>Selección del dispositivo de desinfección.....</i>	52
3.7	Diseño sistema fotovoltaico.....	53
3.7.1	<i>Selección de la batería</i>	53
3.7.2	<i>Selección del panel.....</i>	55
3.7.2.1	<i>Criterios de selección del panel</i>	55
3.7.2.2	<i>Eficiencia de los paneles monocristalinos y policristalinos</i>	55
3.7.2.3	<i>Tabla de ponderaciones de los paneles solares.....</i>	56
3.7.3	<i>Conexión en serie de Paneles solares</i>	56
3.7.3.1	<i>Cálculo de los paneles solares en serie</i>	57
3.7.4	<i>Calculo y selección del controlador de carga</i>	58
3.7.4.1	<i>Controladores MPPT</i>	58
3.7.5	<i>Selección del inversor</i>	59

3.7.5.1	<i>Inversor de onda sinusoidal pura</i>	60
3.7.6	Cálculo de divisor de voltaje	61
3.7.7	Selección sensor de corriente	62
3.7.8	Reductor de voltaje LM 2596	63
3.7.9	Selección de microcontrolador	63
3.7.9.1	<i>Arduino mega 2560</i>	64
3.7.10	Selección de la pantalla de visualización de datos	65
3.7.11	Selección del puente H	65
3.7.12	Placa de circuitos	66
3.7.13	Tablero de control	67
3.8	Diseño de la microturbina	68
3.8.1	Determinación del caudal	68
3.8.2	Cálculo del salto neto aprovechable	69
3.8.3	Selección y velocidad de giro de la turbina	73
3.8.3.1	<i>Determinación del coeficiente de velocidad de rotación</i>	73
3.8.4	Dimensionamiento del Rodete	74
3.9	Modelado preliminar de la microturbina	77
3.9.1	Modelado de los álabes.	77
3.9.2	Modelado del eje.	78
3.9.3	Modelado del retenedor y el acople mecánico.	78
3.9.4	Modelado de la carcasa de la microturbina	79
3.9.4.1	<i>Modelado de la parte inferior de la carcasa de la microturbina.</i>	79
3.9.4.2	<i>Modelado de la parte superior de la carcasa de la microturbina.</i>	79
3.10	Validación de la geometría.	80
3.10.1	Análisis CFD	80
3.10.2	Análisis MEF	84
3.10.2.1	<i>Análisis MEF en los álabes de la microturbina</i>	84
3.10.2.2	<i>Análisis MEF en la carcasa de la microturbina</i>	87

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	90
4.1	Construcción de la microturbina	90
<i>4.1.1</i>	<i>Impresión 3D de componentes</i>	<i>91</i>
<i>4.1.2</i>	<i>Mecanizado del eje fijo</i>	<i>92</i>
<i>4.1.3</i>	<i>Selección de motor DC como generador</i>	<i>93</i>
<i>4.1.4</i>	<i>Ensamble de la microturbina</i>	<i>94</i>
4.2	Diagramas de conexiones eléctricas	96
<i>4.2.1</i>	<i>Conexión de los paneles solares a la batería</i>	<i>96</i>
<i>4.2.2</i>	<i>Conexión de la microturbina</i>	<i>96</i>
<i>4.2.3</i>	<i>Conexión del reductor de voltaje.</i>	<i>97</i>
<i>4.2.4</i>	<i>Conexión de la batería al inversor</i>	<i>98</i>
<i>4.2.5</i>	<i>Conexión de Datalogger (spi)</i>	<i>98</i>
<i>4.2.6</i>	<i>Conexión pantalla LCD (I2C)</i>	<i>98</i>
<i>4.2.7</i>	<i>Diagrama de conexión del Arduino y puente H</i>	<i>99</i>
4.3	Elementos del prototipo autosustentable de tratamiento de agua	99
4.4	Elementos del sistema fotovoltaico	102
4.5	Implementación del equipo	104
<i>4.5.1</i>	<i>Colocación de la base de los paneles</i>	<i>104</i>
<i>4.5.2</i>	<i>Colocación de los paneles</i>	<i>104</i>
<i>4.5.3</i>	<i>Conexión de los paneles</i>	<i>105</i>
<i>4.5.4</i>	<i>Colocación del tablero de control</i>	<i>106</i>
<i>4.5.5</i>	<i>Instalación de baipás en la tubería principal</i>	<i>106</i>
<i>4.5.6</i>	<i>Recolección de muestras de agua</i>	<i>109</i>
4.6	Pruebas de funcionamiento	110
<i>4.6.1</i>	<i>Generación de los paneles solares en días nublados</i>	<i>111</i>
<i>4.6.2</i>	<i>Carga de la batería del día nublado</i>	<i>114</i>
<i>4.6.3</i>	<i>Generación de los paneles solares en días soleados</i>	<i>115</i>
<i>4.6.4</i>	<i>Carga de la batería del día soleado</i>	<i>118</i>

4.6.5	<i>Generación de la turbina</i>	118
4.7	Resultados de la calidad de agua	120
4.7.1	<i>Pruebas de calidad de agua antes del prototipo de desinfección</i>	120
4.7.2	<i>Determinación del tratamiento para mejorar la calidad del agua</i>	121
4.7.3	<i>Pruebas de calidad de agua después del prototipo de desinfección</i>	121
4.7.4	<i>Comparación de pruebas antes y después del tratamiento.</i>	123
4.8	Resultado de análisis de costos de la implementación del prototipo	123
4.8.1	<i>Costos Baipás</i>	123
4.8.2	<i>Costos Sistema fotovoltaico</i>	124
4.8.3	<i>Costos Equipos</i>	125
4.8.4	<i>Costos Manufactura</i>	125
4.8.5	<i>Costos directos totales</i>	125
4.8.6	<i>Costos indirectos</i>	126
4.8.7	<i>Costos totales</i>	126
	CONCLUSIONES	127
	RECOMENDACIONES	128
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Indicadores de la calidad de agua.....	8
Tabla 2-2: Principales métodos de desinfección de agua	9
Tabla 3-2: Tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones	10
Tabla 4-2: Escala de generación de energía	16
Tabla 5-2: Parámetros de selección de turbina.....	24
Tabla 1-3: Voz de usuario. Necesidades y requisitos del usuario	32
Tabla 2-3: Ponderaciones para la prioridad	32
Tabla 3-3: Voz del ingeniero (Necesidades y requisitos técnicos)	33
Tabla 4-3: Valores de relación del factor de incidencia	33
Tabla 5-3: Correlaciones	34
Tabla 6-3: Especificaciones del producto.....	34
Tabla 7-3: Niveles de correlación	35
Tabla 8-3: Prioridades técnicas	37
Tabla 9-3: Evaluación del peso específico de cada criterio	43
Tabla 10-3: Evaluación del peso específico del criterio precio	43
Tabla 11-3: Evaluación del peso específico del criterio almacenamiento	44
Tabla 12-3: Evaluación del peso específico del criterio peso	44
Tabla 13-3: Evaluación del peso específico del criterio autonomía.....	44
Tabla 14-3: Resultados de las soluciones	44
Tabla 15-3: Propiedades de altura del punto máximo y mínimo	47
Tabla 16-3: Altura de los puntos	48
Tabla 17-3: Propiedades generales del material de la tubería.....	48
Tabla 18-3: Especificaciones técnicas del manómetro analógico	50
Tabla 19-3: Características técnicas del filtro de anillos	50
Tabla 20-3: Especificaciones de la electroválvula de bola	51
Tabla 21-3: Características técnicas de lampara UV	52
Tabla 22-3: Características técnicas de la batería.....	54
Tabla 23-3: Eficiencia de los paneles monocristalinos y policristalinos.....	55
Tabla 24-3: Ponderación de los paneles solares	56
Tabla 25-3: Especificaciones técnicas del panel IKAO de 150 W	57
Tabla 26-3: Especificaciones técnicas del controlador MPPT 130 D	59
Tabla 27-3: Especificaciones técnicas del inversor de onda.....	61
Tabla 28-3: Especificaciones técnicas del sensor de corriente	62

Tabla 29-3: Características técnicas del reductor de voltaje LM2596	63
Tabla 30-3: Especificaciones técnicas del microcontrolador.....	64
Tabla 31-3: Especificaciones técnicas de la pantalla LCD	65
Tabla 32-3: Características técnicas del puente H TB6612	66
Tabla 33-3: Elementos en la placa de circuitos	67
Tabla 34-3: Elementos del tablero de control.....	68
Tabla 35-3: Parámetros ingresados en el caudalímetro ultrasónico	68
Tabla 36-3: Datos de caudal obtenidos	69
Tabla 37-3: Datos de tramos de tubería.....	70
Tabla 38-3: Datos de pérdidas por longitud de tubería calculados	72
Tabla 39-3: Parámetros de la turbina.....	74
Tabla 40-3: Variación de β_1 respecto a α_1	75
Tabla 41-3: Parámetros de malla del volumen de control (CFD)	80
Tabla 42-3: Condiciones de trabajo para simulación.....	82
Tabla 43-3: Fuerzas resultantes	84
Tabla 44-3: Parámetros de mallado de los álabes de la microturbina para el análisis MEF.....	85
Tabla 45-3: Parámetros de mallado de la carcasa de la microturbina para el análisis MEF.....	88
Tabla 1-4: Tipo de fabricación u obtención de componentes de la microturbina	90
Tabla 2-4: Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304.....	93
Tabla 3-4: Características técnicas del generador.....	93
Tabla 4-4: Materiales y equipos para el prototipo	100
Tabla 5-4: Equipos y materiales tablero de control	102
Tabla 6-4: Indicadores luminosos	106
Tabla 7-4: Accesorios para conexión de baipás en la tubería principal de 1 pulgada	107
Tabla 8-4: Accesorios para conexión en la reducción de tubería de $\frac{3}{4}$ pulgadas	108
Tabla 9-4: Análisis físico químico de aguas antes del prototipo de desinfección	120
Tabla 10-4: Análisis físico químico de aguas después del prototipo de desinfección.....	122
Tabla 11-4: Comparación de análisis físico químico de aguas antes y después del prototipo ..	123
Tabla 12-4: Costos Baipás	123
Tabla 13-4: Sistema fotovoltaico	124
Tabla 14-4: Costos Equipos	125
Tabla 15-4: Costos Manufactura	125
Tabla 16-4: Costos directos.....	125
Tabla 17-4: Costos indirectos.....	126
Tabla 18-4: Costos totales	126

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Diagrama de una lampara UV	11
Ilustración 2-2: Equipo de radiación UV con lampara sumergida.....	13
Ilustración 3-2: Estructura de la célula solar.....	14
Ilustración 4-2: Curva característica I-V de una célula solar	15
Ilustración 5-2: Rueda Hidráulica. (Primera turbina hidráulica).....	17
Ilustración 6-2: Clasificación de turbinas hidráulicas por la variación de presión	17
Ilustración 7-2: Turbina Pelton.....	18
Ilustración 8-2: Turbina Michell Banki	18
Ilustración 9-2: Componentes de una turbina Michell Banki.....	20
Ilustración 10-2: Esquema de salto de agua.....	21
Ilustración 11-2: Diagrama de Moody en conductos de paredes lisas y rugosas.....	22
Ilustración 12-2: Caudalímetro por ultrasonido TDS-100H.....	24
Ilustración 13-2: GPS Montana 680	25
Ilustración 14-2: Componentes de una válvula solenoide.....	26
Ilustración 15-2: Logo SolidWorks	27
Ilustración 16-2: Logo ANSYS	28
Ilustración 1-3: Metodología de diseño implementada	30
Ilustración 2-3: Compromisos técnicos	35
Ilustración 3-3: Resultados de la casa de la calidad	36
Ilustración 4-3: Función primaria del prototipo	37
Ilustración 5-3: Nivel de la estructura modular	38
Ilustración 6-3: Nivel de la estructura modular (mecanismo de filtración)	38
Ilustración 7-3: Nivel de la estructura modular (mecanismo de mantenimiento).....	39
Ilustración 8-3: Punto A (Bocatoma).....	46
Ilustración 9-3: Punto B (intersección vía Catequilla y Mercedes Moncayo)	46
Ilustración 10-3: Toma de datos en el punto B mediante GPS.....	47
Ilustración 11-3: Densidad vs precio	49
Ilustración 12-3: Manómetro analógico.....	49
Ilustración 13-3: Filtro de anillos	50
Ilustración 14-3: Electroválvula de bola.....	51
Ilustración 15-3: Lampara UV.....	52
Ilustración 16-3: Diagrama sistema fotovoltaico	53
Ilustración 17-3: Batería de gel	54

Ilustración 18-3: Esquema de dos paneles conectados en serie	57
Ilustración 19-3: Controlador solar MPPT 130 D.....	58
Ilustración 20-3: Inversor sinusoidal de onda pura	60
Ilustración 21-3: Diagrama divisor de corriente	61
Ilustración 22-3: Sensor de corriente ACS712 – 30A.....	62
Ilustración 23-3: Reductor de voltaje LM2596.....	63
Ilustración 24-3: Arduino Mega 2560	64
Ilustración 25-3: Pantalla LCD 20x4 I2C	65
Ilustración 26-3: Puente H TB6612.....	66
Ilustración 27-3: Placa de circuitos.....	66
Ilustración 28-3: Tablero de control	67
Ilustración 29-3: Tramo recorrido entre el punto A y B.....	69
Ilustración 30-3: Datos de longitud y altura obtenidos del dispositivo GPS	70
Ilustración 31-3: Cálculo del factor de fricción de tubería mediante el diagrama de Moody	71
Ilustración 32-3: Perfil de velocidades de un rodete Michell-Banki	75
Ilustración 33-3: Modelado 3D de los álabes de la microturbina.....	77
Ilustración 34-3: Modelado 3D del eje fijo.....	78
Ilustración 35-3: Modelado 3D del retenedor	78
Ilustración 36-3: Modelado 3D del acople mecánico.....	79
Ilustración 37-3: Modelado 3D de la carcasa inferior de la microturbina	79
Ilustración 38-3: Modelado 3D de la carcasa superior de la microturbina.....	80
Ilustración 39-3: Velocidad vectorial en la microturbina: a) isométrica, b) posterior, c) superior, d) Líneas de flujo en el control de volumen	83
Ilustración 40-3: Perfil de presión: a) Carcasa, b) Álabes.....	83
Ilustración 41-3: Propiedades mecánicas del PETG	85
Ilustración 42-3: Resultados en los álabes: a) Deformación total, b) Esfuerzo equivalente (Von- Mises), c) Factor de seguridad	87
Ilustración 43-3: Resultados en la carcasa: a) Deformación total, b) Esfuerzo equivalente (Von- Mises), c) Factor de seguridad	89
Ilustración 1-4: Impresora 3D Artillery Sidewinder X1	92
Ilustración 2-4: Componentes de la microturbina siendo extruidos con impresión 3D.....	92
Ilustración 3-4: Barra de acero inoxidable AISI 304	93
Ilustración 4-4: Fijación de bujes en la carcasa	94
Ilustración 5-4: Fijación del retenedor en la carcasa superior de la microturbina	94
Ilustración 6-4: Fijación del eje en los alabes de la turbina	94
Ilustración 7-4: Montaje de álabes sobre la carcasa.....	95

Ilustración 8-4: Fijación del acople al eje del generador.....	95
Ilustración 9-4: Soldadura de cables a las terminales del generador	95
Ilustración 10-4: Diagrama de conexión de los paneles solares	96
Ilustración 11-4: Diagrama de conexión de la microturbina	97
Ilustración 12-4: Diagrama de conexión de la microturbina	97
Ilustración 13-4: Diagrama de conexión de la batería al inversor	98
Ilustración 14-4: Diagrama de conexión de Datalogger al Arduino	98
Ilustración 15-4: Diagrama de conexión de la pantalla LCD al Arduino	99
Ilustración 16-4: Diagrama de conexión al Arduino	99
Ilustración 17-4: Colocación de la base de los paneles	104
Ilustración 18-4: Ubicación de los paneles solares	104
Ilustración 19-4: Conexión de los paneles en serie	105
Ilustración 20-4: Conexión de los conectores macho y hembra de los paneles	105
Ilustración 21-4: Tablero de control con los indicadores luminosos	106
Ilustración 22-4: Instalación de baipás en la tubería principal	108
Ilustración 23-4: Conexión de la cámara de desinfección ultravioleta.....	109
Ilustración 24-4: Recolección de muestras para análisis físico de la calidad de agua	109
Ilustración 25-4: Recolección de muestras para análisis químico de la calidad de agua	110
Ilustración 26-4: Prueba de funcionamiento de la lampara de desinfección de 55W	110
Ilustración 27-4: Prueba de funcionamiento de focos que consumen 55W	111
Ilustración 28-4: Voltaje generado en día nublado	111
Ilustración 29-4: Amperaje generado en día nublado	112
Ilustración 30-4: Comparación de la intensidad generada por los paneles solares con la intensidad demandada en un día nublado	112
Ilustración 31-4: Potencia generada en día nublado.....	113
Ilustración 32-4: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia demandada en un día nublado	113
Ilustración 33-4: Voltaje generado en día soleado	115
Ilustración 34-4: Amperaje generado en día soleado	116
Ilustración 35-4: Comparación de la intensidad generada por los paneles solares con la intensidad demandada en un día soleado	116
Ilustración 36-4: Potencia generada en día soleado	117
Ilustración 37-4: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia demandada en un día soleado	117
Ilustración 38-4: Voltaje generado por la turbina	119
Ilustración 39-4: Amperaje generado por la turbina	119

Ilustración 40-4: Prueba de calidad del agua antes del tratamiento	121
Ilustración 41-4: Prueba de calidad de agua luego del tratamiento	122

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LAMPARA ULTRAVIOLETA 55.

ANEXO B: DATOS OBTENIDOS DE VOLTAJE, INTENSIDAD, POTENCIA EN UN DÍA NUBLADO.

ANEXO C: DATOS OBTENIDOS DE VOLTAJE, INTENSIDAD, POTENCIA EN UN DÍA SOLEADO.

ANEXO D: DATOS OBTENIDOS DE VOLTAJE, INTENSIDAD, POTENCIA DE LA TURBINA.

ANEXO E: INFORME TÉCNICO DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO.

ANEXO F: INFORME TÉCNICO DE LA CALIDAD DEL AGUA LUEGO DEL TRATAMIENTO.

ANEXO G: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO.

ANEXO H: MANUAL DE MANTENIMIENTO.

ANEXO I: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN.

RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo por objetivo diseñar y construir un prototipo autosustentable para tratamiento de agua para consumo humano. La revisión bibliográfica permitió establecer los parámetros de diseño fundamentales en el prototipo. Se empleó la metodología del diseño concurrente que permitió la generación de posibles alternativas de selección de componentes mediante la aplicación del QFD. Mediante la interpretación de un análisis fisicoquímico de agua realizado a una muestra tomada en la comunidad de Rumicruz se encontró presencia de coliformes, por lo cual se determinó que el tratamiento adecuado de desinfección de agua es el método de radiación ultravioleta, sin embargo, el uso de este sistema implicó la generación de 65 W que han sido proporcionados a través de energía solar y mediante el uso de una batería que permitió el funcionamiento continuo del prototipo. Además, para facilitar el mantenimiento del sistema de desinfección se implementó el uso de una electroválvula alimentada por medio de la micro hidro generación de una microturbina que aprovecha el potencial hidro cinético presente en las tuberías de agua de la comunidad. Los componentes mecánicos de la microturbina fueron calculados y diseñados teóricamente para después ser verificados mediante la modelación en el software SolidWorks para luego llevar a cabo un análisis dinámico del fluido y un análisis de elementos finitos en el software ANSYS, donde se verificó el comportamiento tanto del fluido como del mecanismo sometido a cargas máximas para su posterior construcción. Se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo que comprobaron su auto sustentabilidad para un funcionamiento continuo, además el sistema de desinfección obtuvo resultados favorables ya que se redujo la presencia de coliformes de 300 UFC/100ml a ausencia de estas, eliminando la presencia de microorganismos en el agua, proporcionando datos de análisis encontrados dentro del rango de referencia de la norma INEN 1108.

Palabras clave: <PROTOTIPO> <TRATAMIENTO DE AGUA> <COLIFORMES> <ENERGÍA SOLAR> <MICROHIDROGENERACIÓN> <MICROTURBINA> <RADIACIÓN ULTRAVIOLETA>

1362-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this technical project was to design and build a self-sustaining prototype for water treatment for human consumption. The bibliographical review allowed to establish the fundamental design parameters in the prototype. The concurrent design methodology was used, which allowed the generation of possible component selection alternatives through the application of the QFD. Through the interpretation of a physicochemical analysis of water carried out on a sample taken in the Rumicruz community, the presence of coliforms was found, for which it was determined that the adequate treatment of water disinfection is the ultraviolet radiation method, however, the use of this system implied the generation of 65 W that have been provided through solar energy and through the use of a battery that allowed the continuous operation of the prototype. In addition, to facilitate the maintenance of the disinfection system, the use of a solenoid valve powered by the micro hydro generation of a micro turbine that takes advantage of the hydro kinetic potential present in the community water pipes was implemented. The mechanical components of the microturbine were calculated and theoretically designed to later be verified by means of modeling in the SolidWorks software to later carry out a dynamic analysis of the fluid and a finite element analysis in the ANSYS software, where the behavior of both the fluid as well as the mechanism subjected to maximum loads for its subsequent construction. Functional tests of the prototype were carried out, which verified its self-sustainability for continuous operation, in addition, the disinfection system obtained favorable results since the presence of coliforms of 300 CFU/100ml was reduced in the absence of these, eliminating the presence of microorganisms in the water, providing analysis data found within the reference range of the INEN 1108 standard.

Keywords: <PROTOTYPE> <WATER TREATMENT> <COLIFORMS> <SOLAR ENERGY> <MICROHYDROGENERATION> <MICROTURBINE> <ULTAVIOLET RADIATION>



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

CI:0603747809

INTRODUCCIÓN

El agua es de vital importancia para el ser humano, sin embargo, el agua consumida en muchas comunidades rurales no cuenta con tratamientos adecuados que permitan que sea segura para el consumo humano, el agua puede contaminarse por diferentes tipos de microorganismos como bacterias, virus, hongos y parásitos que pueden resultar perjudiciales para la salud. Al beber agua contaminada, las personas pueden contraer enfermedades como diarrea, cólera, fiebre y otros problemas de salud que pueden ser graves e incluso fatales en algunos casos. La desinfección del agua es de gran importancia porque puede eliminar o reducir significativamente los microorganismos que pueden causar enfermedades graves en los seres humanos.

La desinfección del agua por radiación ultravioleta (UV) es una forma efectiva y respetuosa con el medio ambiente de eliminar los microorganismos presentes en el agua sin la necesidad de usar productos químicos, además que no altera el sabor, el olor ni el color del agua. La radiación ultravioleta es capaz de penetrar en las células de los microorganismos y alterar su material genético, lo que impide su reproducción y por lo tanto los hace incapaces de causar enfermedades. Además, es un proceso rápido y fácil de aplicar en diferentes situaciones, lo que lo convierte en una herramienta útil para garantizar el suministro de agua potable segura y saludable.

Para que sea posible el uso del método de desinfección de agua por radiación ultravioleta es necesario el uso de energía eléctrica, sin embargo, en zonas rurales muchas veces no es posible el acceso a la red eléctrica, por lo que en el presente proyecto se hace uso de la energía solar ya que es una fuente autosustentable de energía que no se agota. Además, la energía solar es limpia y no produce emisiones de gases de efecto invernadero ni otros contaminantes atmosféricos, lo que ayuda a reducir la huella de carbono, también es una fuente de energía descentralizada que puede ser utilizada en lugares remotos y rurales donde el acceso a la red eléctrica es escaso.

Además, con la finalidad de facilitar el mantenimiento del sistema de desinfección ultravioleta se implementó un sistema de micro generación hidráulica que aprovecha el caudal de agua presente en la tubería que reparte el agua a los hogares de la zona donde se realiza el proyecto, con la combinación de estas dos fuentes energéticas se garantiza la auto sustentabilidad y la independencia energética del prototipo diseñado.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación, características no deseables del agua, estas pueden ser naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales o también conocidas como aguas negras. La finalidad de estas operaciones es obtener agua con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varían en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final. (Muñoz Cruz, 2008)

En el trabajo realizado por (D. Powell et al., 2018) con título “Design of pico-hydro turbine generator systems for self-powered electrochemical water disinfection devices” llevado a cabo en la universidad de Toronto en Canadá, se basaron en un método de desinfección de agua de piscina electroquímico, el cual utilizaba electrólisis por corriente directa para añadir iones desinfectantes a la fuente de agua, sin embargo, la falta de un sistema de generación de energía por turbina apropiado para esta aplicación limitó la dispersión de esta tecnología. Este artículo desarrolló un diseño de turbina novedoso capaz de operar bajo condiciones de flujo bajo.

Para optimizar este diseño, se estudió el método de diseño Taguchi usando un modelo de análisis CFD de una turbina acoplada con un modelo de generador DC. El estudio llevó a diseños de turbinas mejoradas que fueron probadas experimentalmente en conjunción con un generador más apropiado, mostrando mejoras tanto en el sistema de salida de energía eléctrica como en el sistema de eficiencia. Esta investigación cuyo objetivo fue mejorar el rendimiento del dispositivo de desinfección electroquímico, resultó en un aumento mucho mayor de iones añadidos al agua sin la necesidad de añadir una presión de caída excesiva en el sistema de recirculación de la piscina en donde el dispositivo fue instalado.

En el trabajo realizado por (Calderón, 2014) con título “Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta.” realizado en la Universidad politécnica salesiana sede Cuenca, donde se diseñó y construyó un equipo con luz ultravioleta para determinar la eficiencia de la aplicación del dispositivo sobre agua residual; se determinó que a menor caudal el equipo resultó ser más eficiente, obteniendo así una eficiencia de 100% con un caudal de 3.61 ml/s, ya que se consiguió eliminar en totalidad la presencia de coliformes en el agua tratada, con lo cual se demostró que el tratamiento de agua con la aplicación de luz ultravioleta es eficiente para eliminar coliformes presentes en el agua.

Según (Ovando, 2018) y su proyecto técnico “Diseño y construcción de una mini turbina hidráulica tipo turgo para ser instalada en canales principales de riego para generar energía mecánica.”, buscó generar energía mecánica para posteriormente ser transformada en energía eléctrica para

utilizarla en localidades con presencia de canales principales de riego y que no cuenten con energía eléctrica. Esta turbina teóricamente alcanzó una velocidad de giro de 118 rpm aproximadamente, generando un torque teórico de 25.85 Nm, sin olvidar que la velocidad de la turbina dependió de las condiciones de flujo y ambientales que se presentaron dichos días.

1.2 Delimitación

1.2.1 Delimitación espacial

El presente proyecto de integración curricular se desarrolla en la comunidad de Rumicruz, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, Ecuador.

1.2.2 Delimitación temporal

Para el presente proyecto serán considerados datos tomados en el año 2023, acatando un periodo de seis meses para la elaboración de este proyecto.

1.2.3 Delimitación sectorial

El presente trabajo se acoge al presente Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025, en concordancia con el Eje 2 planteado el cual indica, economía al servicio de la sociedad, inmerso en el objetivo 5 que menciona lo siguiente: Impulsar la productividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.

1.3 Formulación del problema

El agua es de vital importancia para el ser humano, ya que, debido a que es considerada como solvente universal, ayuda a eliminar las sustancias que resultan de los procesos bioquímicos producidos en el organismo. Sin embargo, también puede transportar sustancias nocivas al organismo, ocasionando daños en la salud de las personas.

Según (Bofill-Mas, 2005) y su estudio “Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos” muchos tipos de virus pueden infectar al hombre y a los animales al ser excretados al medio ambiente por medio de las heces y la orina, esto puede causar distintas enfermedades como meningitis, algunos tipos de parálisis, enfermedades respiratorias, diarreas y vómitos, miocarditis, anomalías congénitas de corazón, hepatitis, infecciones oculares.

Debido a las condiciones no tratadas en las que el agua usada para consumo humano llega a la población de las zonas rurales, se producen deterioros en la salud de las personas que la consumen, por lo que se requiere diseñar un prototipo que sea capaz de tratar el agua con la ayuda de luz ultravioleta que será alimentada de energía eléctrica por medio de paneles solares que aprovecharán las condiciones ambientales de la comunidad, con el fin de mejorar la calidad del agua para que los usuarios la beban sin temor a verse afectados por repercusiones en su salud, además de mejorar sus condiciones de vida. En la actualidad se pueden notar grandes cambios climáticos debido a la contaminación ambiental, por lo que se busca implementar y aprovechar los recursos disponibles para mitigar el impacto ambiental en dichas comunidades.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo autosustentable para tratamiento de agua para consumo humano.

1.4.2 Objetivos específicos

- Implementar un sistema autosustentable de energía que permita el funcionamiento del prototipo.
- Determinar el tratamiento de agua adecuado para mejorar la calidad de la misma.
- Realizar toma de datos del prototipo para la comprobación de su funcionamiento.
- Establecer la calidad de agua obtenida con el funcionamiento del sistema de desinfección.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Agua

El agua está compuesta con características únicas, de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural.

El agua aparentemente se resume en una simple fórmula: H_2O , que es la característica más general de las grandes masas que cubren el 71% de la superficie de la tierra y que conforman lo que se denomina la hidrosfera.

Aunque la física moderna representa en forma compleja los átomos por medio de modelos orbitales, cabe hacer una representación geométrica simple de la molécula del agua; de acuerdo con ella, puede decirse que el átomo de oxígeno tiene seis electrones en su órbita exterior, la cual, para ser estable, debería tener ocho. Por su parte, cada átomo de hidrógeno tiene un electrón en su órbita, que, para ser estable, debería tener dos. De esta manera, dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno 'asocian' sus electrones exteriores para dar la configuración de la molécula de agua.

Esta asociación no se hace de cualquier manera: los dos átomos de hidrógeno interaccionan a los lados del átomo de oxígeno, de ello se derivan dos consecuencias de gran importancia.

En primer lugar, la extremada estabilidad de la molécula de agua a causa de que en el enlace entre el oxígeno y el hidrógeno se origina una asociación de electrones -enlace llamado de covalencia-; por esta razón es muy difícil disociar dicha molécula, lo que le permite existir en condiciones extremas y en diferentes lugares del universo.

En segundo lugar, la asimetría de la molécula de agua: a un lado, su componente de oxígeno, de carga negativa, y, al otro, su componente de hidrógeno, de carga positiva. De ahí que la molécula actúe como un pequeño imán. Las interacciones eléctricas entre el hidrógeno de una molécula y los pares de electrones relativamente "libres del oxígeno de otra, dan lugar a un enlace molecular llamado "enlace de hidrógeno". Gracias a la presencia de estos enlaces, cada molécula de agua tiene una tendencia a asociarse con Otras Cuatro.

Desde el punto de vista químico es excepcional su importancia, ya que la casi totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza tienen lugar en sustancias disueltas en agua. El agua es un medio de transporte de nutrientes; esa trata de una cualidad muy importante para la vida, ya que para algunos ecosistemas el agua sirve de recipiente de sustancias vitales para su existencia.

El agua tiene otras muchas propiedades, como su facilidad para disolver una gran cantidad de sustancias (de ahí que rara vez sea pura), su fuerte tendencia a empujar las paredes de los tubos

capilares y ascender por ellos, su propensión a dejarse atrapar en la constitución de numerosas rocas, en forma de hidratos que, como el ópalo, adoptan a veces los colores más tornasolados.

El agua tiene una capacidad calorífica alta. Su calor específico, por definición, es de una caloría por gramo. Es importante recordar que la mayor parte de la energía solar que llega a la superficie terrestre es absorbida por la hidrosfera, donde se transforma en calor que transporta ella misma o se transfiere a la atmósfera y a otras esferas. (García, et al., 2001)

2.2 Fuentes de agua.

Entre las fuentes de abastecimiento de agua se tiene las siguientes:

- Subterráneas: manantiales, pozos.
- Superficiales: lagos, ríos, canales.
- Pluviales: aguas de lluvia.

A la hora de seleccionar una fuente de abastecimiento hay varios aspectos que se deben analizar, como, por ejemplo, las necesidades de la población, la calidad de agua, su disponibilidad durante todo el año, incluso los costos involucrados en la implementación del sistema, tanto la inversión como el costo de operación y mantenimiento. (Castro & Pérez, 2009)

La elección del tipo de fuente de abastecimientos tiene influencia directa sobre las alternativas tecnológicas viables. Para determinar el nivel de rendimiento que se puede brindar con el servicio dependerá de la fuente de abastecimiento elegida. Otro aspecto para tomar en cuenta es el costo de operación y mantenimiento, este costo debe ser compatible con el perfil socioeconómico de los beneficiarios y su capacidad de gestión. (Castro & Pérez, 2009)

2.2.1 Aguas subterráneas.

Es aquellas que encontramos bajo la superficie del terreno, es decir bajo el nivel freático del terreno y que satura completamente los poros y fisuras de este. Esta agua fluye hacia la superficie de diferentes formas, entre ellas a través de manantiales, cauces fluviales, áreas de rezume, o inclusive directamente al mar. En ocasiones de forma artificial es dirigida hacia pozos, galerías u otros tipos de captaciones, su circulación está a merced de la naturaleza por lo que se renueva constantemente. La recarga de estas fuentes es principalmente abastecida por las precipitaciones, también puede darse por escorrentía y cursos superficiales de agua (sobre todo en climas áridos), producidos por acuíferos cercanos o retornos de regadíos. Sus desplazamientos dentro de los acuíferos en muy lento, su velocidad media normal es apenas de unos decímetros a centenares de metros durante un año, si esta agua encuentra conductos preferentes su velocidad de circulación puede aumentar. (López, et al., 2009)

Un par de factores importantes son los responsables de la existencia del agua subterránea:

- La gravedad, que mueve al agua hacia el centro de la Tierra
- El tipo de rocas, que, de acuerdo con su porosidad, almacenarán más o menos agua.

2.2.2 Aguas superficiales.

Se considera aguas superficiales a las que circulan sobre la superficie del suelo. Esta es producida por la escorrentía que se genera debido a precipitaciones o afloramiento de aguas subterráneas. Una vez que esta fuente es producida sigue el camino que le ofrezca la menor resistencia, circulando de forma correntosa, lo cual conocemos como ríos y arroyos, aunque también puede formar lagos o embalses en donde el agua se presenta quieta.

Para determinar la calidad de un río o un arroyo se debe tener presente que variara de acuerdo con los caudales estacionales, es decir puede verse afectado en gran manera por las precipitaciones y vertidos que recibe. Los lagos y embalses a diferencia de los ríos presentan menor cantidad de sedimentos, pero en cuanto a actividad microbiológica se ven sujetos a un mayor impacto. (INDUANALISIS, 2019)

2.3 Contaminación del agua.

Se conoce como contaminación del agua a toda acción o al efecto de introducir algún material que realice cambios en la condición del agua, sea de forma directa o indirecta, la cual produzca una alteración perjudicial en su calidad. El agua se considera un recurso renovable, al ser utilizada en actividades humanas puede llegar a ser contaminada, por lo que su uso se puede volver más nocivo que útil. (Ibáñez, 2012)

Para proteger y extender la salud del ser humano este debe contar con agua natural y limpia. Pero si esta no cumple con la composición o estado de las condiciones establecidas para su consumo se considera que está contaminada. Mantener unas condiciones normales reduce la posibilidad de contraer y propagar enfermedades como la colera, disentería, fiebre tifoidea y otras enfermedades diarreicas, las cuales son la principal causa de muertes de niños de entre 1 y 4 años. (Ibáñez, 2012)

La contaminación del agua en gran parte se debe al crecimiento industrial, la urbanización y población humana en aumento, esto hace necesario un aumento el suministro del agua potable y el tratamiento de aguas cloacales. El agua se ha vuelto un bien necesario y vital para la alimentación, actividades e higiene del ser humano, y también para ámbitos como la agricultura y la industria. Por ello, aunque las aguas destinadas al consumo de la población tienen exigencias higienes más rigurosas, no se está cumpliendo con las mismas, esto hace que la cantidad y calidad de esta se vea afectada, así como también sus fuentes naturales. (Ibáñez, 2012)

2.3.1 Principales contaminantes del agua.

- Los agentes patógenos: son virus, bacterias o parásitos, estos contaminan el agua al entrar en contacto con la misma debido a la descomposición de desechos orgánicos.
- Los desechos que requieren oxígeno: hay varios desperdicios que con ayuda de bacterias se los puede descomponer, pero necesitan oxígeno, al existir una alta población de bacterias consumen el oxígeno presente en el agua llegando a agotarlo y matando toda la vida acuática presente en ella.

- Hay varios contaminantes que envenenan el agua, como son las sustancias químicas inorgánicas que contienen ácidos, o los compuestos de metales tóxicos.
- Las sustancias químicas orgánicas también afectan la vida del agua como el petróleo, el plástico, plaguicidas y detergentes.
- La contaminación de esta incluso se da por nutrientes vegetales que provocan el crecimiento excesivo de plantas acuáticas, ya que estas al morir y descomponerse agotan el oxígeno presente el agua y matan las especies marinas que se encuentran en ella.
- La mayor fuente de contaminación proviene de sedimentos o materia suspendida que enturbia el agua.
- Además, si la temperatura del agua se eleva disminuirá también el oxígeno del agua y afectará la supervivencia de los organismos acuáticos. (Ibáñez, 2012)

2.4 Aspectos de la calidad del agua.

Según la Organización Mundial de la Salud (2004) el agua potable es aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes sensibilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. El agua posee unas características variables que la hacen diferente de acuerdo con el sitio y al proceso de donde provenga, estas características se pueden medir y clasificar de acuerdo con las características físicas, químicas y biológicas del agua.

Estas últimas son las que determinan la calidad de esta y hacen que ésta sea apropiada para un uso determinado. En las Guías para la calidad del agua potable (2008) se muestran los principales parámetros que de acuerdo con sus valores determinan si el agua es de buena calidad para un uso determinado. En la siguiente tabla se puede apreciar los principales parámetros físicos, químicos y biológicos para determinar la calidad del agua. (Atencio, 2018)

Tabla 1-2: Indicadores de la calidad de agua

Parámetros	Descripción
Parámetros físicos	Sólidos o residuos, turbiedad, color, olor y sabor, y temperatura.
Parámetros químicos	Aceites y grasas, conductividad eléctrica, alcalinidad, cloruros, dureza, pH, sodio, sulfatos
Parámetros biológicos	Algas bacterias (coliformes termo tolerantes y coliformes totales), recuento heterotrófico, protozoos, virus y helmintos patógenos

Fuente: (García y Huaynate, 2019)

2.5 Tratamiento del agua.

Los organismos responsables del suministro de agua potable no tienen una amplia cobertura o no son suficientes en las zonas rurales de nuestro país, diversas causas como la falta de recursos económicos o técnicos pueden ser los motivos, es bien conocido la amplia variedad de enfermedades infecciosas que provoca el consumo de agua contaminada con microorganismos,

ante tal situación, diversos métodos de desinfección (físicos y químicos) de mayor aplicación en zonas rurales o marginadas son descritas a continuación como alternativas de tratamiento.

Tabla 2-2: Principales métodos de desinfección de agua

Métodos Físicos	Filtración
	Temperatura
	Radiación (solar, luz UV, Gamma)
	Procesos electrolíticos
Métodos Químicos	Yodo
	Bromo
	Ozono
	Cloro

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

2.5.1 *Filtración de agua*

Es el método más común para remover partículas pequeñas transportando el agua a través de material poroso. Por ejemplo, cuando el agua pasa a través de lechos de arena, las partículas son retenidas en los espacios que hay entre los granos o en la superficie de estos en el proceso llamado adsorción. Las partículas se detienen en la superficie de los granos y éstas son retenidas por las fuerzas de adsorción. De esta manera la filtración ayuda a controlar la contaminación biológica y la turbiedad, que es la medida de la opacidad del agua causada por materia suspendida y que reduce la efectividad de los compuestos para su desinfección. En algunos sistemas de filtración se forman en el material poroso capas que contienen microorganismos, algas, bacterias y materia orgánica. Este proceso de filtración ocurre de manera natural cuando las aguas superficiales se mueven a través del material poroso del suelo para recargar los mantos freáticos y son removidas las partículas contenidas por lo que el agua del subsuelo no requiere de ningún tratamiento posterior. Las tecnologías de filtración comúnmente utilizadas para el tratamiento de aguas son la filtración lenta a rápida en lechos de arena, sistemas de empaque para filtración.

Existen diversos sistemas de filtración, como son: filtros lentos de arena, filtros de tierras diatomáceas, filtros directos, filtros empacados, filtros de membrana y filtros de cartuchos. (Salamanca, 2014)

2.5.2 *Filtros de arena*

Para el mejoramiento de la calidad del agua en zonas rurales y urbano marginadas es muy adecuado emplear la filtración lenta en arena (FLA), debido a que diseñarla, operarla y darle mantenimiento es sencillo, y tiene una alta eficacia debido a que la cantidad de virus lo elimina radicalmente, con respecto a las bacterias un 99 a 99.9%, y a los huevos de nemátodos hasta un 99.99%, que hacen mucho daño a la salud. (González, Martín y Figueroa, 2017)

La turbiedad del efluente en un filtro correctamente diseñado y bien operado puede llegar a 1 UTN. El removimiento de carbono orgánico biodegradable se da hasta en un 50%, gracias a la actividad biológica que se genera en los lechos; la peroxidación permite que hasta en un 60% el color real se remueva. El hierro se puede disminuir del 30 al 90%, sin embargo, para que no se colmate el filtro rápidamente se lo debe empacar con un grano de arena más grande (~0.5 mm) que el normal (T.E. 0.3 mm), ya que esto puede pasar si el hierro llega a ser mayor a 1 mg/l. Se debe tener en cuenta que el agua que atraviesa por los filtros debe poseer turbiedades promedio menores al 10UTN para lograr largas carreras de filtración, cuyo aspecto se logra con ayuda de estos filtros gruesos antes mencionados.(González, Martín y Figueroa, 2017)

2.5.3 Filtros de carbón activado

Los filtros de carbón activado son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. El carbón activado tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie de este. Estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común. Entre las limitaciones que presentan es que deben recibir Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones 66 mantenimiento frecuente y periódico para evitar obstrucción de tuberías. Es difícil percibir cuándo un filtro ha dejado de funcionar adecuadamente, por lo que una de sus limitaciones es que pueden haber dejado de funcionar y que el usuario no se haya percatado de ello. Otras limitaciones están relacionadas a que no remueven bacterias, metales, nitratos, pero principalmente que generan un residuo carbón ya saturado- que no es de fácil disposición, especialmente si el agua contiene compuestos orgánicos tóxicos que son retenidos en el filtro de carbón activado.(Environmental Protection Agency, 1990)

Tabla 3-2: Tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones

Tecnología	Aplicación	Manejo	Costo	Limitantes
Filtros de arena	Sedimentos suspendidos remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo de costo elevado de terreno	Remoción de 80- 90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro no remueve bacterias ni nitrato

Fuente:(Asencio, 2005)

2.5.4 Métodos de desinfección de agua

2.5.4.1 Desinfección con cloro

Es un proceso químico que mata organismos patógenos, existen dos tipos de desinfección por cloro: la primaria, donde se matan los organismos y la secundaria que mantiene un desinfectante residual para prevenir el crecimiento de más microorganismos en el sistema de distribución de agua. Desde hace años, el cloro en diferentes combinaciones como $(Ca(ClO)_2)$, líquido $(NaClO)$ o como gas (Cl_2) , se ha utilizado como desinfectante en diversos países. (Arellano y Guzmán, 2011)

2.5.4.2 Desinfección con Ozono

Para desinfectar el agua requiere de un periodo de contacto más corto que el cloro para eliminarlos patógenos, es un gas tóxico que se puede obtener haciendo pasar el oxígeno que se encuentra en el aire a través de dos electrodos, es un compuesto inestable que puede ser generado en el mismo lugar donde se encuentra y tiene una baja solubilidad en el agua, por lo que se debe obtener la máxima eficiencia al estar en contacto con el líquido. Una desventaja que presenta es que debe utilizarse un desinfectante secundario, ya que éste no mantiene residuos en el agua, además de que su costo es muy elevado. (Arellano y Guzmán, 2011)

2.5.4.3 Radiación ultravioleta (UV)

Aunque la radiación ultravioleta (o luz ultravioleta o UV) no es popular en el tercer mundo, es el único método físico práctico que puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas (con sistema centralizado de agua). Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente. Esta técnica se consideró para la desinfección del agua de bebida cuando se comprobó que el cuarzo era uno de los pocos materiales casi totalmente transparente a la radiación ultravioleta, lo que permitió la envoltura protectora de los tubos. La luz ultravioleta (UV) presenta un método de desinfección alternativo al uso del cloro y el ozono en muchas aplicaciones de tratamiento tanto de agua potable como de aguas residuales. La UV brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos de desinfección problemáticos. (Solsona y Méndez, 2002)

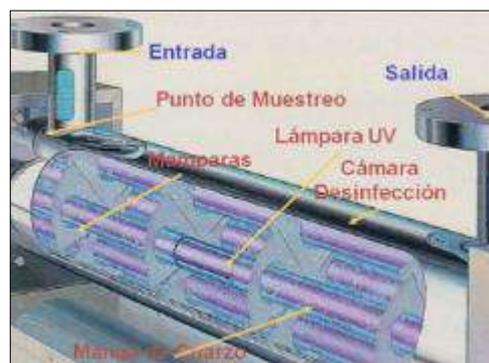


Ilustración 1-2: Diagrama de una lámpara UV

Fuente: (Acosta, Caro y Perico, 2015)

2.5.4.4 *Propiedades de la radiación ultravioleta*

La radiación ultravioleta se caracteriza por longitudes de onda muy cercanas a las de la luz del sol. Los parámetros más importantes de la radiación UV relacionados con la desinfección del agua son

- Longitud de onda: El rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm (nanómetros) y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm. Estos límites se encuentran dentro del rango denominado ultravioleta - C (100-280 nm), que se diferencia del ultravioleta - A (315-400 nm) y del ultravioleta - B (280-315 nm)
- Calidad del agua: La temperatura del agua tiene poca o ninguna influencia en la eficacia de la desinfección con luz ultravioleta, pero afecta el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta, cuando la misma está inmersa en el agua. La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. En el agua para consumo humano, la concentración de los sólidos en suspensión es generalmente inferior a 10 ppm, nivel al que empieza a experimentar problemas con la absorción de la luz ultravioleta.
- Intensidad de la radiación: A menor distancia del agua respecto al punto de emisión de los rayos, mayor será la intensidad de estos y por tanto la desinfección será más eficiente. Con respecto a esta condición, existe una regla general que dice que no debe haber más de 75 mm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de esta sea alcanzada por los rayos adecuadamente. (Solsona y Méndez, 2002)

2.5.4.5 *Elementos de un sistema de desinfección ultravioleta*

El mecanismo que usa la lámpara ultravioleta es sencillo: dentro de la lámpara, que es un tubo hecho de cuarzo o sílice, un arco eléctrico golpea una mezcla de vapor de mercurio y argón que hay en el interior. Cuando la corriente eléctrica golpea la mezcla, el argón no participa, ya que su función es solo ayudar a arrancar la lámpara, extender la vida del electrodo y reducir las pérdidas, pero las moléculas del mercurio se excitan y cuando los electrones de las órbitas externas descienden a órbitas de menor nivel energético, emiten la energía sobrante en forma de radiación ultravioleta.

- 1 cámara de exposición de material anticorrosivo, este alberga el sistema.
- Lámparas ultravioletas.
- Entre los limpiadores tenemos: Limpiadores mecánicos, ultrasónicos u otros instrumentos de auto limpieza.
- Censores conectados a sistemas de alarma para el monitoreo de la intensidad de la luz ultravioleta.
- Interruptor de velocidad en caso de que se presenten velocidades de flujo altas o bajas, intensidades altas o bajas o temperaturas anormales en los componentes del sistema.

- Monitores de lámpara apagada.
- Balastos eléctricos.

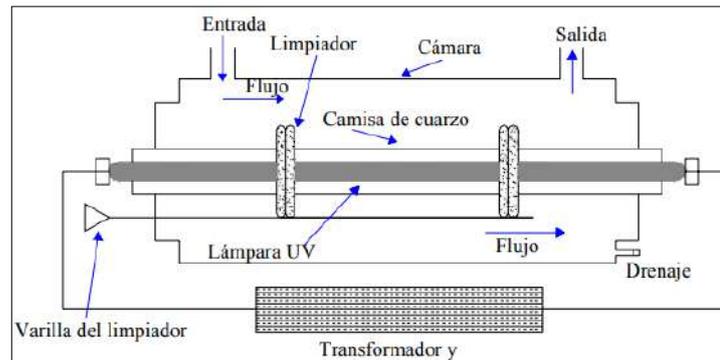


Ilustración 2-2: Equipo de radiación UV con lámpara sumergida

Fuente:(Solsona y Méndez, 2022)

Es muy importante que en la cámara de contacto del equipo de desinfección el microorganismo reciba la dosis biocida de radiación, para lograr esto se debe determinar el adecuado espacio entre las lámparas y las superficies reflectoras del interior de la cámara con una agitación moderada del agua cuando pasa por la cámara. (Solsona y Méndez, 2022)

El equipo ultravioleta con lámparas sumergidas puede tener una de las dos configuraciones básicas de flujo del agua: paralelo o perpendicular a la longitud de las lámparas. Para que el agua quede totalmente expuesta a la dosis biocida se debe tener en cuenta que cuando el flujo es perpendicular las propias lámparas y camisas pueden producir la turbulencia necesaria, pero cuando el flujo es paralelo a la longitud de las lámparas, es imprescindible emplear mezcladores estáticos (pantallas) para llegar a obtener la turbulencia que se necesita.(Solsona y Méndez, 2022)

2.6 Tipos de generación de energía.

El aumento de la demanda de energía y además de eso la preocupación por el cambio climático ponen en evidencia la necesidad de mejorar o buscar de alguna manera la independencia energética no solo en las plantas de tratamiento de agua sino en todas las estructuras que se diseñan y se construyen a lo largo del tiempo, de esta manera se pone sobre la mesa la utilización de energías renovables o autosustentables como posible alivio para la demanda de energía.

Se denomina energía renovable aquellas fuentes de energía que se producen de forma continua y son inagotables, como lo son la energía solar, la energía eólica, energía hidráulica. El uso de estas energías se limita a la posición geográfica de donde se pretendan utilizar porque dependen de factores climáticos que varían a lo largo del planeta.

2.6.1 Energía solar

Esta energía es inagotable y renovable, también conocida como energía fotovoltaica, es producida por los rayos solares para generar electricidad o calor, cuya obtención se da por medio de paneles y espejos. (Acciona, 2020)

La luz solar se convierte en electricidad por medio de las células solares fotovoltaicas, cuyo efecto se lo llama fotoeléctrico, debido a que absorben fotones y liberan electrones, produciendo así una corriente eléctrica. (Acciona, 2020)

Los colectores solares térmicos usan paneles o espejos para absorber y concentrar el calor solar, transferirlo a un fluido y conducirlo por tuberías para su aprovechamiento en edificios o también para la producción de electricidad (solar termoeléctrica). (Acciona, 2020)

La energía solar es empleada en el campo principalmente en el bombeo del agua y para el uso residencial. Muy pocas veces se utiliza en el riego de cultivos debido a la gran cantidad que se necesitaría para esta actividad. Pero existen bombas solares económicas y factibles para el riego de cultivos que requieran poca cantidad de agua y que la elevación del bombeo es mínima, por ejemplo, el sistema de riego por goteo, el cual es uno de los tipos de riego con mayor ahorro de agua. Las bombas solares tienen el mismo funcionamiento que un panel solar, convierten la radiación solar en electricidad con la ayuda de fotoceldas de silicio, conocidas como células fotovoltaicas, estas células se encuentran encerradas en un marco de vidrio, el cual se conoce como módulo solar. (Enciso y Mecke, 2007)

2.6.1.1 Células fotovoltaicas

En un sistema fotovoltaico el elemento principal es el generador de energía, el cual recibe el nombre de célula solar, tiene la característica de convertir en electricidad los fotones provenientes de los rayos solares, su principio de funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. (Díaz y Carmona, 2010)

La célula solar se comporta como un diodo; es decir la parte expuesta a los rayos solares es el cátodo (N), y la parte situada en la zona de oscuridad es el ánodo (P). Sus terminales de conexión se encuentran sobre cada una de las partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no debe recibir luz), en la zona N su parte metalizada tiene forma de peine, de tal forma que la radiación solar llegue al material semiconductor. (Díaz y Carmona, 2010)

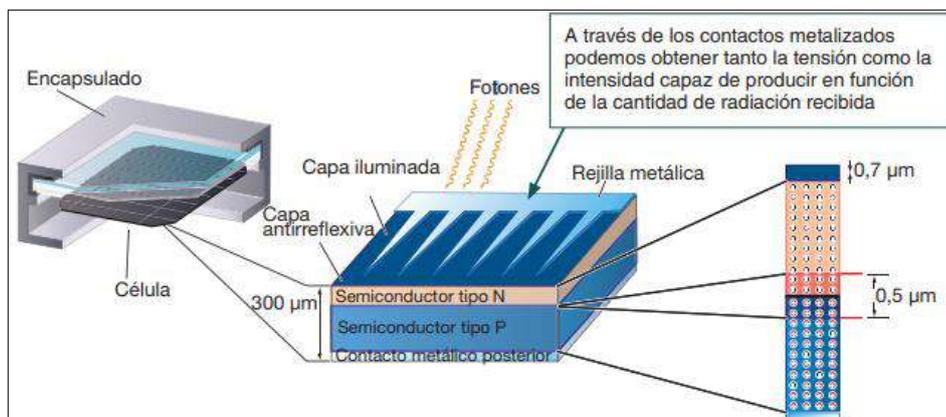


Ilustración 3-2: Estructura de la célula solar

Fuente: (Díaz y Carmona, 2010)

2.6.1.2 Parámetros de una célula fotovoltaica

Corriente de iluminación (IL): es la corriente generada por la célula cuando recibe incidencia de los rayos solares.

Corriente de oscuridad: es la recombinación de los pares electrón-hueco producidos en el interior del semiconductor.

Tensión de circuito abierto (VOC): es la máxima cantidad de tensión obtenida entre los terminales de la célula, esto cuando la célula no tiene carga conectada. Es una característica del material de construcción de la célula.

Corriente de cortocircuito (ISC): es el valor máximo de corriente que puede circular por la celda solar.

Al conectarse una carga los valores de tensión e intensidad tienden a variar. Existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima; tensión e intensidad máximas, que siempre serán menores que VOC e ISC. (Díaz y Carmona, 2010)

En función de estos valores, la potencia máxima que puede entregar la célula solar será:

$$P_m = V_m * I_m \quad (1)$$

Donde:

- P_m , es la potencia entregada. [W]
- V_m , es la tensión máxima. [V]
- I_m , es intensidad máxima. [A]

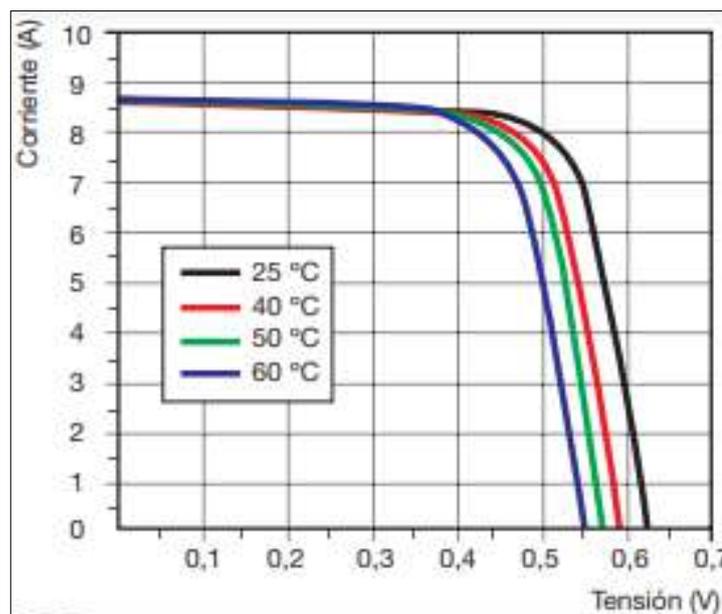


Ilustración 4-2: Curva característica I-V de una célula solar

Fuente: (Díaz y Carmona, 2010)

2.6.1.3 Panel solar

También es conocido como módulo fotovoltaico, el cual está conformado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de marco,

produce en su salida de conexión una tensión continua, es diseñado para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V....), cuyos valores definen a la tensión que va a trabajar el sistema fotovoltaico.(Díaz y Carmona, 2010)

2.6.1.4 Principales parámetros de un panel solar

Para realizar el diseño de la instalación de los paneles solares se debe tomar en cuenta todos los parámetros registrados en los catálogos que nos proporciona el fabricante, tomando mucho más en cuenta los de mayor relevancia desde la perspectiva práctica para elegir un panel solar, teniendo muy en cuenta que los valores que proporciona el fabricante son datos obtenidos en determinadas condiciones como por ejemplo a temperatura ambiente y en condiciones de irradiación solar. Una vez que este instalado el panel tendrá pequeñas desviaciones de los valores teóricos planteados. (Díaz y Carmona, 2010)

2.7 Micro Hidro generación

Los sistemas micro hidroeléctricos aprovechan los recursos hídricos sin deteriorar el medio ambiente. Sus obras civiles son de bajo impacto ambiental pues en la mayoría de los casos no requieren de represas que inundan tierras fértiles o de reserva natural. Por el contrario, promueven la conservación de las cuencas ya que crean conciencia en los usuarios de la importancia del agua y su conservación debido a la íntima relación que existe entre el caudal de agua y la cantidad de energía generada. La micro hidroenergía hace uso de un recurso natural renovable de una forma sostenible. El esquema básico de los aprovechamientos hidroeléctricos comprende una bocatoma sencilla, desarenador rectangular, cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas, y equipo turbogenerador. (“Componentes Del Sistema Cámara de Carga - VSIP.INFO”) Adicionalmente podrá ser necesario instalar una red de baja o media tensión para interconexión eléctrica con el centro de consumo.(Cazorla y Merizalde, 2013)

Tabla 4-2: Escala de generación de energía

Tipo de generación	Escala de energía	Unidades
Micro generación	Menor a 100	W
Minigeneración	Alrededor de 1	kW
Generación	Mayor a 1	MW

Fuente:(OLADE, 1980)

Según (Reyna et al., 2018) los sistemas minihidráulicos pueden utilizarse en todos los casos en los que haga falta un suministro de energía y esté disponible un curso de agua, aunque sea pequeño, con un salto incluso de pocos metros. En esos casos, la introducción de sistemas de utilización de las aguas tiene un impacto reducido ya que no se modifica el uso mayoritario del curso de agua, que puede ser vital para el suministro de zonas aisladas.

2.8 Turbinas

Según (Cazorla y Merizalde, 2013) las turbinas son máquinas rotodinámicas que aprovechan las variaciones de la energía cinética que el fluido experimenta a su paso por la máquina. Una turbina hidráulica es una turbomáquina hidráulica, en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes, o en otros casos una desviación y una aceleración.

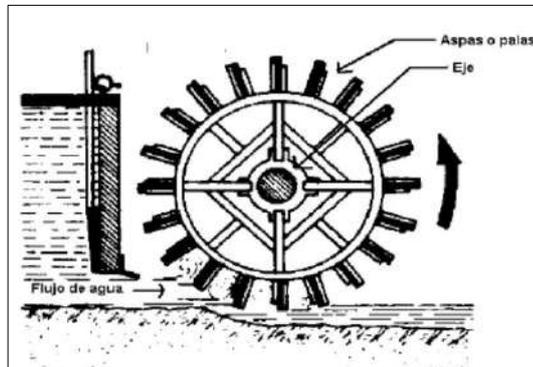


Ilustración 5-2: Rueda Hidráulica. (Primera turbina hidráulica)

Fuente: (Moreno, 2017)

2.8.1 Clasificación de las turbinas hidráulicas

Estas turbinas se clasifican dependiendo de la variación de la presión que afecte al rodete, se clasifican de la siguiente manera.

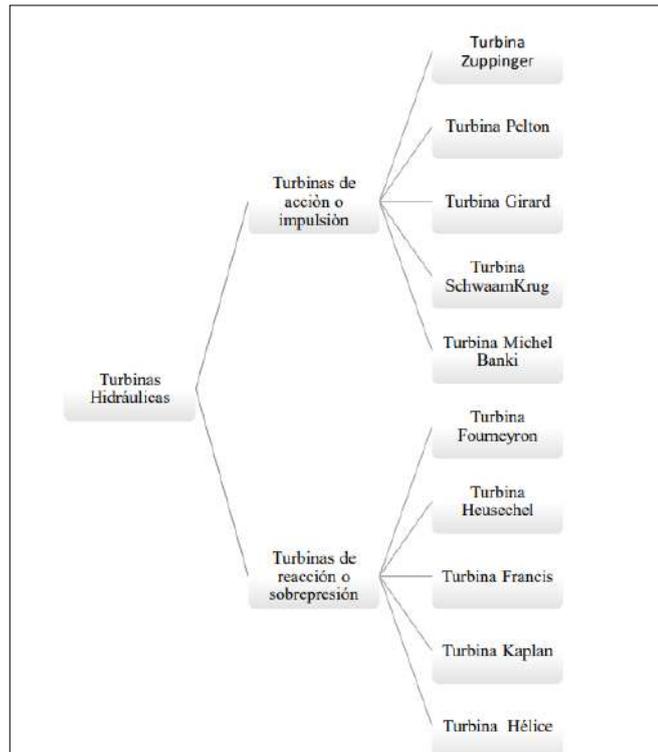


Ilustración 6-2: Clasificación de turbinas hidráulicas por la variación de presión

Fuente: (Bautista, 2019)

2.8.1.1 Turbina Pelton

Estas turbinas trabajan utilizando el agua canalizada desde un depósito ubicado a gran altura y conducida a una boquilla inyectora en donde la energía potencial es aprovechada para mover el rodete y generar energía mecánica. Esta turbina presenta un rodete, el cual es básicamente una rueda en cuya periferia se encuentran los álabes como se muestran en la ilustración 7-2, los mismos que son de forma de cucharas, sobre las mismas incide el choque del chorro proveniente del inyector, en dirección tangencial al rodete. El dimensionamiento de las cucharas y el número de estas está en función del diámetro del chorro que incide sobre estas. Este tipo de turbinas son utilizadas en grandes alturas de caídas mayores a los 40m. (Bautista, 2019)

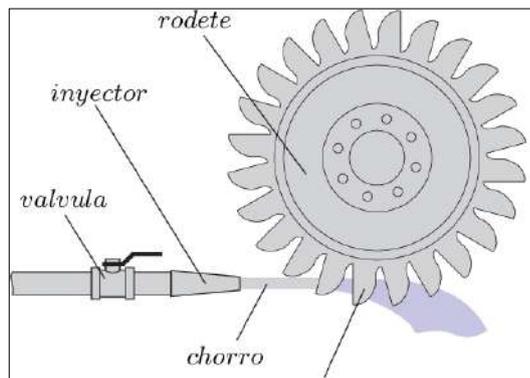


Ilustración 7-2: Turbina Pelton

Fuente: (Bautista, 2019)

2.8.1.2 Turbina Michell Banki

Este tipo de turbina es de acción o impulsión, entre el inyector y el rotor de esta se encuentra un espacio grande, en donde ingresa sin presión el chorro de agua al rodete, como se muestra en la Ilustración 8-2.

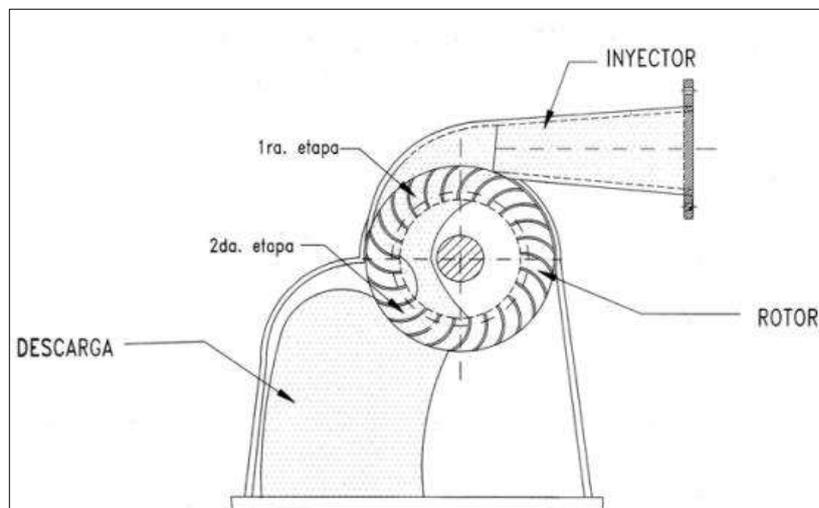


Ilustración 8-2: Turbina Michell Banki

Fuente: (Llano, 2012)

El funcionamiento de la turbina es sencillo. El agua entra a través de una tubería que la canaliza hasta llegar al alabe directriz fija, o distribuidor, regulando la cantidad de fluido que penetra en el

interior, según las revoluciones del eje, habilitando una entrada mayor o menor. El alabe directriz se encarga, además, de direccionar el flujo para que el agua golpee contra los alabes propiciado así el giro del rodete. El rodete consta de dos o más discos paralelos, entre los que se montan, cerca del borde, unas láminas curvadas que son los álabes. La construcción del rodete con secciones de tubería comercial es factible, aunque es difícil garantizar la estabilidad dimensional. (Llano, 2012)

Uno de los aspectos más atractivos derivados de la construcción y el funcionamiento de la maquina es que el follaje, hierbas o lodo que por lo general es lo que se queda atrapado en los alabes durante el ingreso de agua es expulsado después de medio giro del rodete, debido a la fuerza centrífuga ejercida durante el giro. De esta forma el rodete funciona de forma óptima libre de elemento no deseados, esta es una gran ventaja presentada por este tipo de turbina. Los rodamientos de la turbina son de tipo rodillo. Algo importante a tomar en cuenta a la hora de diseñar la carcasa es proporcionar hermeticidad a los rodamientos respecto al paso de agua. Por ello la carcasa incorpora alojamientos y un sistema de prensaestopas para evitar las fugas con mayor eficacia.(Llano, 2012)

2.8.2 Características generales de la turbina Michell-Banki

Son máquinas pertenecientes a las turbinas de acción o impulso, en dichas máquinas llega el agua por la tubería, se conduce hacia el rodete por un inyector de sección transversal rectangular el cual generalmente contiene un regulador de caudal según las necesidades o la demanda.(Moreno, 2017)

- Turbinas de acción
- Ns de 40 a 240
- Eficiencia menor o igual a 85%
- Saltos netos de 1 a 200 m
- No existe peligro de cavitación
- Fácil construcción y diseño sencillo
- Aplicada para micro generación eléctrica
- Rangos elevados para la velocidad de giro
- Potencia máxima de 6 MW
- Regulación de caudal y potencia por un regulador en el inyector
- Son turbinas de flujo cruzado

2.8.2.1 Componentes de la turbina Michell-Banki

Una turbina Michell-Banki está compuesta por 4 elementos principales: rotor o rodete, tobera o inyector, tubería de conducción y alabe director. (Romero, Velásquez y Chica, 2021)

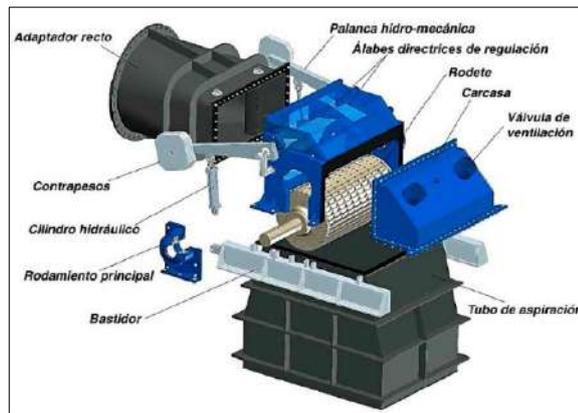


Ilustración 9-2: Componentes de una turbina Michell Banki

Fuente: (Romero, Velásquez y Chica, 2021)

El rodete es la parte encargada de la turbina de transformar la energía cinética del fluido en energía mecánica rotacional. Este rodete cuenta con 2 discos principales paralelos, se encuentran unidos entre sí por medio de una serie de alabes curvados con forma de sector circular, además posee bordes afilados con el fin de reducir la resistencia que presenta al flujo. (Zarate, Aguerre y Aguerre, 1987)

El inyector es el encargado de regular y orientar el agua que ingresa hacia la turbina, su diseño es pensado para que el chorro que sale del mismo impacte contra los alabes del rodete, esto con un ángulo conocido como ángulo de ataque. El inyector cuenta con una pared superior, esta permite guiar al fluido reduciendo las pérdidas por resistencia y aprovechando al máximo la energía de flujo. (Totapally y Aziz, 1994)

La tubería de conducción como su nombre claramente lo explica se encarga de conducir el fluido desde su captación hasta el inyector. (Romero, Velásquez y Chica, 2021)

2.9 Parámetros de diseño

2.9.1 Criterios de selección de turbina

2.9.1.1 Altura de salto.

Uno de los principales criterios de selección de la turbina es la potencia que esta puede suministrar. La misma, es directamente proporcional a dos magnitudes: a la altura neta y al caudal de agua turbinado.

Para saber el salto neto de una central, antes se deberán de conocer las pérdidas de carga, el salto bruto y el salto útil. (Castellano, 2008)

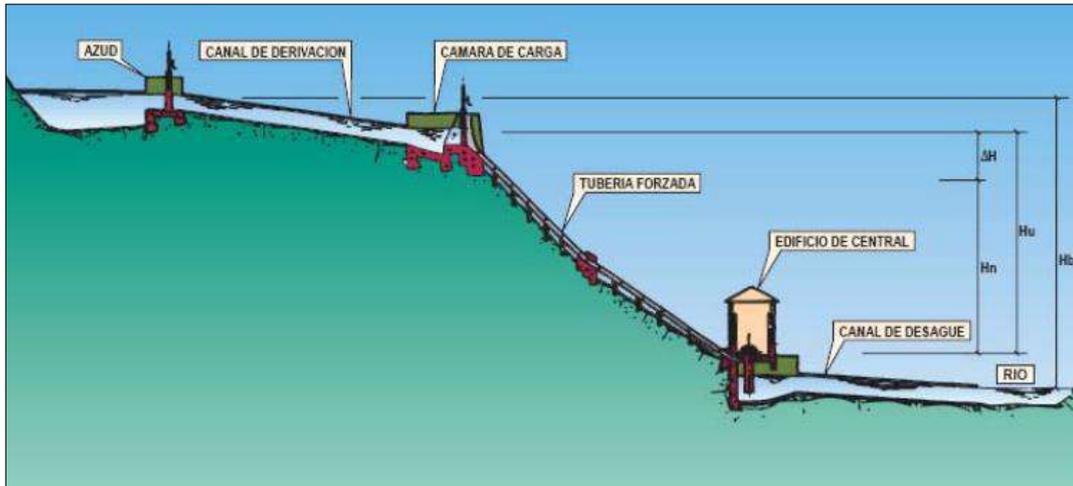


Ilustración 10-2: Esquema de salto de agua

Fuente:(Castellano, 2008)

Salto bruto (H_b): Distancia vertical, medida entre los niveles de la lámina de agua en la toma y en el canal de descarga.

Salto útil (H_u): Distancia vertical, medida entre los niveles de la lámina de agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe de la turbina.

Salto neto (H_n): Conocido el salto útil, y restándole las pérdidas de carga (ΔH) debidas del rozamiento del agua con las paredes de la turbina y a las turbulencias, obtenemos el salto neto.

2.9.1.2 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga que se producen en la tubería de presión se calculan mediante la siguiente ecuación de Darcy:

$$h_f = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (2)$$

Donde:

- h_f , son las pérdidas por fricción. [m]
- f , es el factor de fricción de del material. [m]
- L , es la longitud de la tubería de presión. [m]
- D , es el diámetro de la tubería de presión. [m]
- V , es la velocidad media en la tubería de presión. [m/s]
- g , es la constante de gravedad. $\left[9,81 \frac{m}{s}\right]$

2.9.1.3 Velocidad media

La velocidad media, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Donde:

- V , es la velocidad media en la tubería de presión. $[m/s]$
- Q , es el caudal de diseño. $[m^3/s]$
- A , es el área de la tubería. $[m^2]$

2.9.1.4 Factor de fricción del material

Para hallar el factor de fricción del material, tendremos que hacer uso de la siguiente figura, que fue representada por Moody en el año 1944 y que hoy en día es una de las figuras con mayor utilidad en cálculos de dinámica de fluidos: el diagrama de Moody de pérdida de carga.

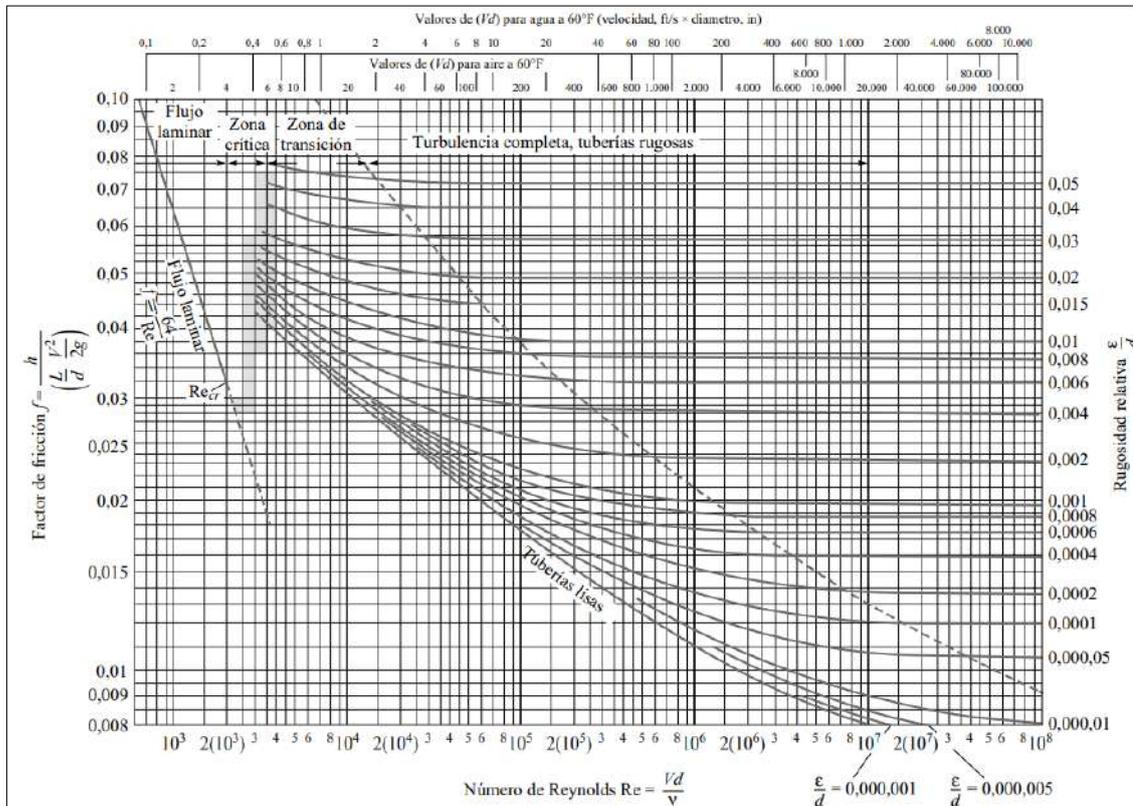


Ilustración 11-2: Diagrama de Moody en conductos de paredes lisas y rugosas

Fuente: (White, 2004)

Para la utilización de la tabla se tienen que definir antes, el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

El número de Reynolds es adimensional y proporciona una indicación de la pérdida de carga, causada por los efectos viscosos, en este caso por la viscosidad del agua. Además, predice el carácter laminar o turbulento del flujo del agua, siendo el flujo laminar cuando es inferior a 2000 y turbulento cuando es mayor de 4000. En el caso de que esté entre los intervalos anteriores se considerará un flujo transicional que no podrá ser modelado. (Castellano, 2008)

2.9.1.5 Número de Reynolds

El número de Reynolds se calcula con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D * V}{\nu} \quad (4)$$

Donde:

- R_e , es el número de Reynolds.
- D , es el diámetro de la tubería de presión. [m]
- V , es la velocidad media en la tubería de presión. [m/s]
- ν , es la viscosidad cinemática del fluido. [m^2/s]

2.9.1.6 Rugosidad relativa

La rugosidad relativa también es adimensional, y es la relación entre el valor típico de rugosidad del material y el diámetro de la tubería de presión.

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{K}{D} \quad (5)$$

Donde:

- K , es la rugosidad típica del material. [mm]
- D , es el diámetro de la tubería de presión. [mm]

2.9.1.7 Velocidades específicas

El rango de aplicación de las turbinas está definido por el número específico de revoluciones de caudal Nq y el número específico de revoluciones de potencia Ns , los cuales se obtienen con las fórmulas:

$$Nq = N \frac{(Q)^{1/2}}{(H)^{3/4}} \quad (6)$$

$$Ns = N \frac{(P)^{1/2}}{(H)^{5/4}} \quad (7)$$

Donde:

- Nq : Numero de Brauer
- Ns : Numero de Cramer
- P : potencia al freno de la turbina en C.V
- Q : Caudal máximo que fluye por la turbina. [m^3/s]
- H : Salto neto de la central. [m]
- N : es la velocidad de giro de la turbina. [rpm]

El rango de aplicación de las turbinas hidráulicas dependiendo de su número de revoluciones se puede apreciar en la tabla 5-2, se debe tener en cuenta que los datos indicados en dicha tabla pueden variar de acuerdo con experiencias particulares:

Tabla 5-2: Parámetros de selección de turbina

Tipo de turbina	Nq	Ns
Turbina Pelton de 1 tobera	hasta 9	hasta 10
Turbina Pelton de 2 toberas	4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 toberas o más	5-22	17-73
Turbina Michell-Banki	18-60	60-200
Turbina Francis Lenta	18-38	69-125
Turbina Francis Normal	38-68	125-225
Turbina Francis Rápida	68-135	225-450
Turbina Axial	105-300	350-1000

Fuente: (OLADE, 1980)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

2.10 Equipos

2.10.1 Caudalímetro

El caudalímetro por ultrasonido es un equipo que permite realizar mediciones de control y determinar de forma rápida el caudal presente en una tubería, es un sistema de medición portátil y de fácil instalación. Su metodología de trabajo es por tiempo de tránsito. Y su principio de medición es muy sencillo. En una medición diagonal se necesitará menos tiempo para obtener los datos que en una medición contracorriente.



Ilustración 12-2: Caudalímetro por ultrasonido TDS-100H

Fuente:(ICT, 2012)

Si el caudal es mayor, se necesitará más tiempo para realizar la medición a contracorriente, y menos tiempo si la medición se realiza en dirección del caudal. La diferencia que se puede apreciar entre el tiempo de tránsito en dirección de la corriente, o en contra de esta, depende

directamente de la velocidad de flujo. Es este efecto el utilizado por el caudalímetro para determinar la velocidad del flujo y del caudal. Los transductores electroacústicos reciben y emiten breves impulsos ultrasónicos a través del medio que fluye en la tubería. (Tecnometrica, 2018)

Los transductores se deben colocar de forma longitudinal, desplazándolos en ambos lados del tubo a intervenir. Los sensores no destructivos se colocarán encima del tubo y fijados por una brida. En unos instantes la pantalla mostrara la velocidad del flujo. Este caudalímetro ultrasónico se puede emplear en tuberías de metal, plástico o goma.(Tecnometrica, 2018)

2.10.2 GPS

El sistema de posicionamiento global o GPS es un sistema de navegación basado en el uso de satélites, un receptor y algoritmos sincronizan los datos de localización, velocidad y hora, que pueden darse al realizar viajes aéreos, marítimos y terrestres. (Kyes, 2020)

La técnica utilizada por el GPS para funcionar se conoce como trilateración. Esta técnica permite calcular la ubicación, velocidad y elevación, recopila señales satelitales que permiten en base a información determinar la ubicación exacta. A veces se la confunde con la técnica de triangulación, pero esta técnica se utiliza para medir ángulos no distancias. (Kyes, 2020)



Ilustración 13-2: GPS Montana 680

Fuente:(Garmin Ltd., 2019)

Los satélites que se encuentran orbitando la tierra envían señales que se pueden interpretar con un GPS situado sobre la superficie de la tierra o cerca de ella. Para poder un GPS determinar una ubicación, recopila información de al menos 4 satélites.(Kyes, 2020)

2.10.3 Manómetro

Es un instrumento que sirve para medir la presión de un fluido o de un gas en el interior de un circuito, es muy empleado en las instalaciones de aire comprimido para la información, regulación y control de los compresores, secadores o filtros. (Flexmin, 2022)

Su valor de referencia es la presión atmosférica (valor cero=1Patmosferica), por lo tanto, la presión manométrica es la diferencia entre la presión real y la atmosférica.(Mundo compresor, 2020)

2.10.4 Electroválvula

Este mecanismo es una válvula electromecánica, se lo usa para controlar el flujo de líquidos o gases. Las electroválvulas más conocidas son las servoasistidas y las de acción directa, las primeras son las más empleadas y su funcionamiento consiste en usar la presión de la línea del sistema para abrir y cerrar un puerto principal en el cuerpo de la válvula; las electroválvulas de acción directa abren o cierran directamente el orificio del cuerpo de válvula, estas son utilizadas en sistemas de bajas capacidades de caudal o de baja presión diferencial.

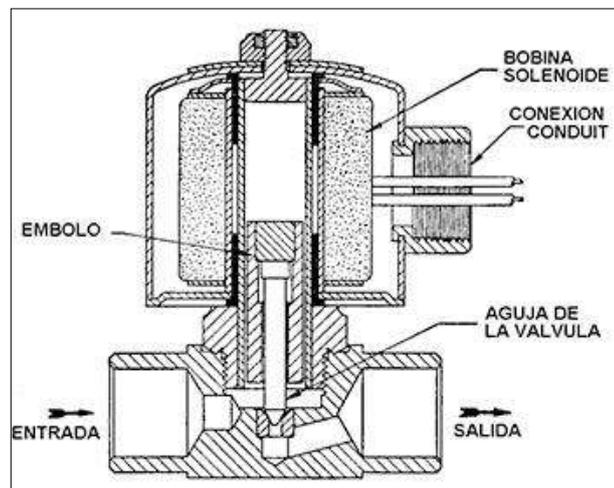


Ilustración 14-2: Componentes de una válvula solenoide

Fuente:(Válvulas Arco, 2020)

Las válvulas solenoides funcionan controlando el flujo de líquido o gas en una posición directa, completamente cerrada o abierta. A menudo se usan para reemplazar válvulas manuales o para control remoto. La operación de una válvula solenoide implica abrir o cerrar un orificio en el cuerpo de la válvula, permitiendo o impidiendo el flujo a través de la válvula. El pistón sube o baja accionando una bobina dentro del manguito tubular para abrir o cerrar el orificio. (Burkert, 2019)

2.11 Elementos finitos (SolidWorks y ANSYS)

Los elementos finitos, consisten en modelos matemáticos, también conocidos como análisis por elementos finitos o CAE, que procesa diseños de elementos a través de la aplicación de ecuaciones diferenciales parciales, el cual es ampliamente para aspectos estructurales de ingeniería

La simulación computacional es una herramienta muy útil para las empresas, les permite realizar análisis y mejores de sus productos o proyectos. Para estos análisis se utiliza softwares que emplean el método de Elementos Finitos, el cual permite obtener respuestas para un sinnúmero de problemas de ingeniería.

2.11.1 Software CAD

Para poder realizar un maquina es importante que el producto pueda ser modelado de manera completa, precisa y exacta. El software CAD nos permite realizar todo esto, pues elimina los modelos obsoletos en papel, que por lo general presentan errores y una mayor cantidad de

tiempo empleado. Los diseñadores industriales utilizan CAD para crear representaciones y dibujos basados en vectores que culminan en modelos 3D que muestran el tamaño, la forma y la textura del producto terminado. (Mastercam, 2021)

Para el modelado de la microturbina, ejes, bujes, carcasas, etc. Se utiliza SolidWorks un software enfocado para el diseño mecánico, que permite el dimensionamiento de todo tipo de elementos mecánicos en 2D y 3D, utilizado principalmente en proyectos ingenieriles debido a que es una herramienta que reduce el tiempo de diseño y acelera el tiempo de producción mediante el proceso de (crear, diseñar, validar y simular procesos).



Ilustración 15-2: Logo SolidWorks

Fuente: (Castañón, 2021)

2.11.2 Software CAE

Es conocida como Computer Aided Engineering (CAE), esta herramienta es de mucha utilidad para las empresas que desean desarrollar y perfeccionar sus productos. permite a los profesionales con ayuda de una computadora realizar: análisis estadístico, análisis dinámico, de fluidos, térmicos, acústicos, electromagnéticos, etc., presenta una gran ayuda para reducir el tiempo en la elaboración de proyectos, aumento de la productividad identificación de fallas y soluciones. (Prototicad3d, 2018)

Para la validación de la geometría se utiliza un método llamado (MEF) método de elementos finitos para validar las dimensiones y el coeficiente de seguridad para evitar futuras fallas con ciertos requerimientos como material a utilizar y las cargas que soporte. Por lo cual se utiliza el ANSYS un software CAE, enfocado para diseño, análisis y simulación de partes por elementos FEA y ejecuta análisis a piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico para resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas, además se aplica la herramienta CFD para la simulación del fluido en este caso el agua. (Prototicad3d, 2018)



Ilustración 16-2: Logo ANSYS

Fuente:(Paredes, 2020)

ANSYS, permiten a los ingenieros y a las empresas mejorar el rendimiento del producto mediante:
Análisis Fluidodinámico

- Generación de Geometría de Álabes de Turbomáquinas
- Generación de Malla de Volúmenes Finitos
- Configuración del Modelo Numérico: Turbulencia, Cavitación

Análisis Estructural

- Interacción Fluido-Estructura
- Rotodinámica (Modal y el Diagrama de Campbell)
- Efectos del Desbalance de Masa
- Cojinetes (Paredes, 2020)

2.12 Métodos de diseño

De indagar en los procesos industriales se produce la ingeniería concurrente, la cual busca mejorar el rendimiento y la eficiencia en la fabricación de objetos, este diseño produce ideas generadoras y multidisciplinarias de manera simultánea en torno a un proyecto.(Flórez, Ovalle y Forero La Rotta, 2014)

El diseño concurrente es una metodología de diseño que conecta de forma simultánea todas las etapas del ciclo de vida de un producto o proyecto, donde el equipo de diseño trabaja de manera sincronizada e integrada para reducir tiempos y costos, en especial en la repetición de procesos, durante el diseño hasta el desarrollo del producto, con especial interés en la etapa inicial en donde se pueden realizar todos los ajustes y cambios del diseño, hasta su terminación y/o reciclaje.

2.12.1 Etapas de diseño

2.12.1.1 Definición del producto

Esta etapa se enfoca en la corrección de los problemas presentados por el producto mediante la compilación de información, para cumplir con esta finalidad se hace uso del despliegue de la función de calidad (QFD), en donde se reconocen las necesidades del usuario (voz del usuario),

las cuales serán interpretadas mediante criterios ingenieriles (voz del ingeniero) para obtener un diseño eficiente.

2.12.1.2 Diseño conceptual del producto

Mediante el diseño se agrupan las actividades que tienen por objeto el funcionamiento del producto conforme a las especificaciones y su definición en las características que permitan su fabricación, luego mediante el análisis modular se seleccionará la alternativa que mejor convenga a la eficacia del producto.

2.12.1.3 Diseño de materialización

Esta etapa permite la respectiva validación de los elementos y componentes del producto mediante los cálculos y simulaciones, también se presentan las alternativas para el modelado y la construcción.

2.12.1.4 Diseño de detalle

En esta etapa se detallan las características geométricas de los elementos del producto mediante la generación de los respectivos planos, para con ellos poder proceder a la construcción del producto.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología de diseño

Para el presente proyecto se siguen las bases del diseño concurrente como se mencionó en el capítulo dos, con esto se puede obtener un producto eficiente que consiga satisfacer las características principales del prototipo. A continuación, se detalla la metodología implementada para el diseño y construcción del prototipo de tratamiento de agua.

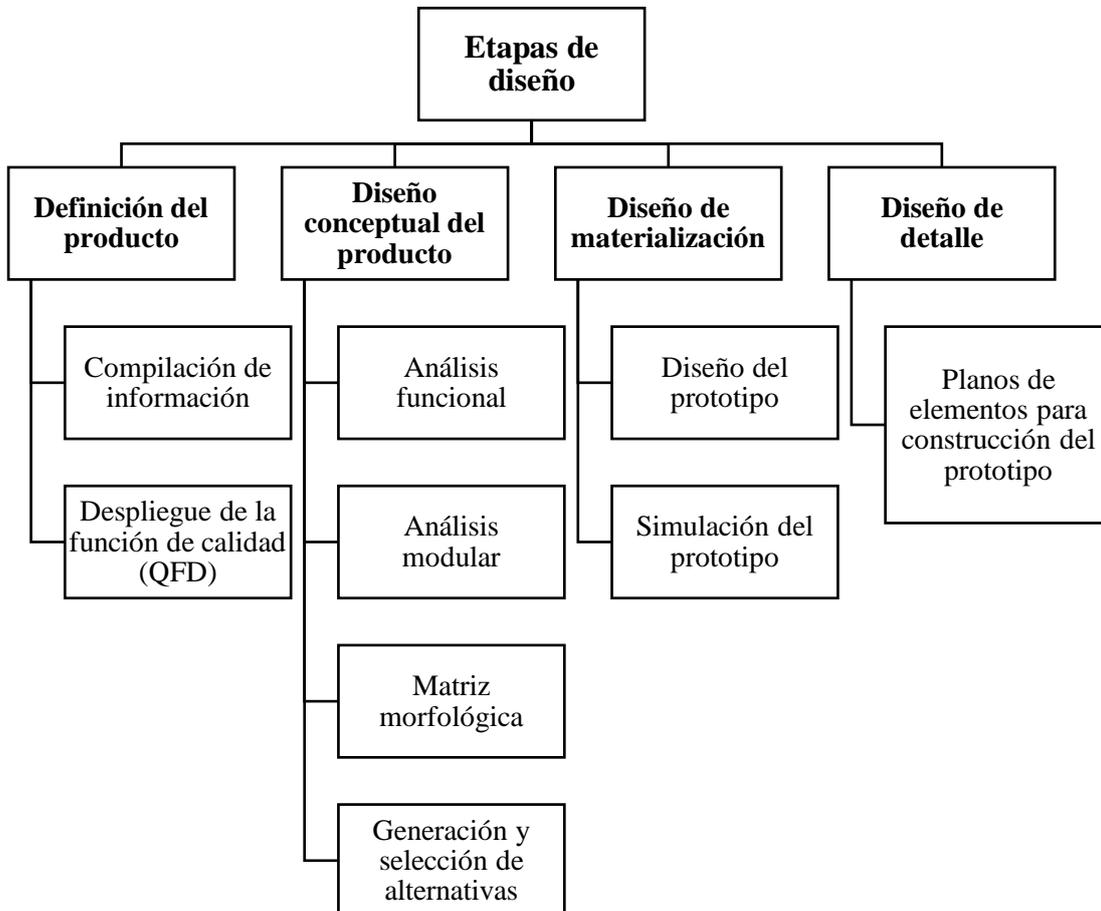


Ilustración 1-3: Metodología de diseño implementada

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.2 Definición del producto

Tomando en consideración la información recopilada en el capítulo dos de este proyecto, en donde se habla de características del tratamiento de agua y de los distintos tipos de generación de energía que servirán para que el presente prototipo sea autosustentable se puede realizar el desarrollo de la casa de la calidad.

3.2.1 Casa de la calidad

La técnica de la casa de la calidad pertenece al procedimiento de despliegue de la función de calidad (QFD). En esta matriz, se separan primero las exigencias del cliente de la aplicación

técnica y se valoran los dos aspectos de influencia de forma independiente, una vez realizado esto se juntan los dos aspectos y se comienza a planificar la aplicación.

3.2.1.1 *Voz del usuario*

Respecto al uso del prototipo autosustentable de tratamiento de agua para consumo humano, se han establecido las siguientes necesidades del cliente:

Necesidades de funcionalidad:

- Auto sustentabilidad.
- Fácil montaje.
- Económico.
- Protección ante condiciones atmosféricas
- Durabilidad.
- Diseño atractivo.

Necesidades de desempeño:

- Autonomía.
- Mejorar calidad del agua.
- Estabilidad del sistema.

Necesidades de seguridad

- Seguro para el operario.
- Manual de usuario.

Necesidades de usabilidad

- Almacenamiento de energía.
- Fácil funcionamiento.
- Fácil mantenimiento.

De acuerdo con las necesidades y requisitos del usuario queda determinada de la siguiente manera:

Tabla 1-3: Voz de usuario. Necesidades y requisitos del usuario

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE		
VOZ DEL USUARIO		Prioridad
USABILIDAD	Fácil funcionamiento	O
	Almacenamiento de energía	E
	Fácil mantenimiento	E
FUNCIONALIDAD	Energía autosustentable	B
	Fácil montaje	B
	Económico	E
	Protección ante condiciones atmosféricas	E
	Durabilidad	O
	Diseño atractivo	E
DESEMPEÑO	Autonomía	B
	Mejor calidad del agua	B
	Estabilidad del sistema	B
SEGURIDAD	Seguro para el operario	O
	Manual de usuario	B

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Por lo tanto, las ponderaciones de la prioridad quedan determinadas de la siguiente manera:

Tabla 2-3: Ponderaciones para la prioridad

B	Básico
O	Unidimensional
E	Estimulante

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.2.1.2 Voz del ingeniero

Después de obtener los requerimientos del cliente u operador del prototipo se procede a traducirlos de forma técnica, los cuales son:

- Volumen desplegado (dimensiones del prototipo)
- Tipo de turbina
- Costo del producto
- Tiempo entre mantenimiento
- Caudal máximo

- Autonomía máxima
- Peso del prototipo
- Capacidad del panel solar
- Capacidad de la batería
- Tiempo de carga de batería
- Modo de adquisición de datos
- Volumen plegado (dimensiones del prototipo)
- Calidad de los materiales
- Purificación del agua

Tabla 3-3: Voz del ingeniero (Necesidades y requisitos técnicos)

VOZ DEL INGENIERO													
Volumen desplegado (dimensiones)	Tipo de turbina	Costo del producto	Tiempo entre mantenimiento	Caudal máximo	Autonomía máxima	Peso del prototipo	Capacidad del panel solar	Capacidad de la batería	Tiempo de carga de batería	Modo de adquisición de datos	Volumen plegado (dimensiones)	Calidad de los materiales	Purificación del agua

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.2.1.3 Correlaciones

La siguiente tabla ayuda a identificar los valores del factor de incidencia, cuando no exista relación se debe dejar el espacio en blanco.

Tabla 4-3: Valores de relación del factor de incidencia

Factor de incidencia		
■	Fuerte	9
○	Medio	3
-	Bajo	1

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la siguiente tabla ayuda se muestra la relación del factor de incidencia de los requerimientos del usuario con la voz del ingeniero.

Tabla 5-3: Correlaciones

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE			VOZ DEL INGENIERO														
			Volumen desplegado (dimensiones)	Tipo de turbina	Costo del producto	Tiempo entre mantenimiento	Caudal máximo	Autonomía máxima	Peso del prototipo	Capacidad del panel solar	Capacidad de la batería	Tiempo de carga de batería	Modo de adquisición de datos	Volumen plegado (dimensiones)	Calidad de los materiales	Purificación del agua	
VOZ DEL USUARIO		Prioridad															
USABILIDAD	Fácil funcionamiento	O	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>							
	Almacenamiento de energía	E	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Fácil mantenimiento	E		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
FUNCIONALIDAD	Energía autosustentable	B	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
	Fácil montaje	B	-	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
	Económico	E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		-	-	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	
	Protección ante condiciones atmosféricas	E		-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-					-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Durabilidad	O	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Diseño atractivo	E	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										<input type="checkbox"/>		
DESEMPEÑO	Autonomía	B	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			-			
	Mejor calidad del agua	B	<input type="checkbox"/>		-	<input type="checkbox"/>		-	-					-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Estabilidad del sistema	B	-	-	<input type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>		
SEGURIDAD	Seguro para el operario	O		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				-		<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Manual de usuario	B			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.2.1.4 Especificaciones técnicas

Son aquellas características evaluadas por el equipo de diseño para la correcta selección de las características de diseño.

Tabla 6-3: Especificaciones del producto

Especificación del producto	Evaluación técnica	
	Competencia A	Competencia B
Valores objetivos		
130 x 60 x 107 cm	108 x 43 x 114 cm	111 x 42 x 112 cm
Combinada	Pelton	Michell - Banki
\$500	\$480	\$550
1 año	9 meses	6 meses
0.76 l/s	0.38 l/s	0.063 l/s
24 h	12 h	8 h
13 kg	12.5kg	13.5 kg
300 W	250 W	180 W
200Wh	280Wh	184 Wh
5 horas	8 horas	12 horas
PIC	STM32	ARDUINO
70 x 58 x 43 cm	108 x 49 x 43 cm	114 X 42 x3 6
Alta	Media	Baja
99%	90%	85%

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.2.1.5 Compromisos técnicos

En el techo de la casa de la calidad están contenidos los distintos compromisos entra las características técnicas del producto que debe tener y para ser competitiva en el mercado.

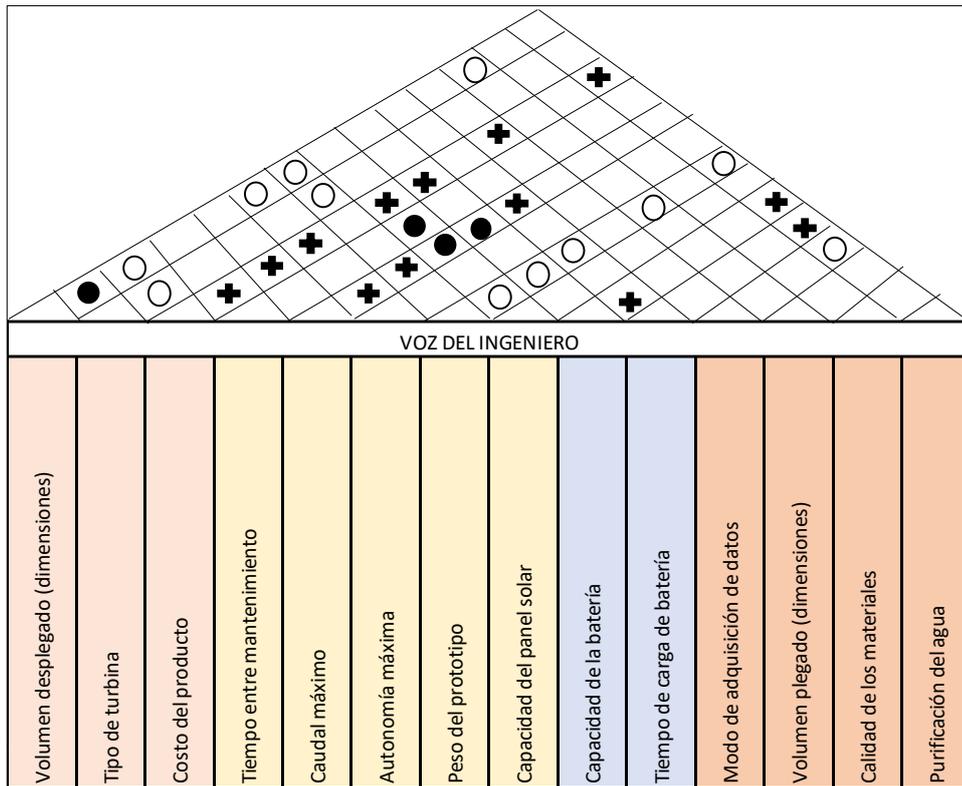


Ilustración 2-3: Compromisos técnicos

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la siguiente tabla se establece los niveles de correlación para la voz del ingeniero:

Tabla 7-3: Niveles de correlación

Correlación	
●	Muy Positiva
○	Positiva
+	Negativa
*	Muy Negativa

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023.

3.2.1.6 Prioridades técnicas

Son aquellas especificaciones que nos ayuda a determinar el grado de incidencia que tiene cada una de las características ya que se analiza con la sumatoria de las correlaciones con las ponderaciones, de esta manera se determina el porcentaje de incidencia y como ingenieros se puede saber cuáles son las características técnicas más importantes, para que en la fase de diseño las más altas serán las que más se cumplan.

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE			VOZ DEL INGENIERO													A	B	C	D	E	F	G	H	I	
VOZ DEL USUARIO		Prioridad	Volumen desplegado (dimensiones)	Tipo de turbina	Costo del producto	Tiempo entre mantenimiento	Caudal máximo	Autonomía máxima	Peso del prototipo	Capacidad del panel solar	Capacidad de la batería	Tiempo de carga de batería	Modo de adquisición de datos	Volumen desplegado (dimensiones)	Calidad de los materiales	Purificación del agua	Datos requeridos	Competencia A	Competencia B	Objeto	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	% Ponderación
USABILIDAD	Fácil funcionamiento	O	■	■				■	■								3	5	4	4	1,33	1,5	4	8,00	9,1%
	Almacenamiento de energía	E	■	-	■			■	■					○	■		5	3	3	5	1,00	1,2	4	4,80	5,4%
	Fácil mantenimiento	E		■	○					■	■	■					3	2	4	4	1,33	1,2	5	8,00	9,1%
FUNCIONALIDAD	Energía autosustentable	B	■	■	○	○	○	■	■	■	-	○	-	■		○	3	5	4	4	1,33	1,5	5	10,00	11,3%
	Fácil montaje	B	-	○	■	-	-	■		○				○			4	4	4	5	1,25	1	4	5,00	5,7%
	Económico	E	○	○	○				○	○		-	-	○	■	-	4	3	4	4	1,00	1,2	4	4,80	5,4%
	Protección ante condiciones atmosféricas	E			○	○	-				-	-	■		■		4	4	4	4	1,00	1	3	3,00	3,4%
	Durabilidad	O	○	○	■	○	○	■	-	○	○	○	○	-	○	○	3	5	4	5	1,67	1,5	5	12,50	14,2%
	Diseño atractivo	E	-	■	■									○			4	4	4	5	1,25	1,5	4	7,50	8,5%
	Autonomía	B	-	○	○	■	-	■	○	■	■			-			5	4	3	5	1,00	1,2	4	4,80	5,4%
DESEMPEÑO	Mejor calidad del agua	B	○		-	○		-					-	■	■	3	4	4	4	1,33	1	3	4,00	4,5%	
	Estabilidad del sistema	B	-	-	○	-	■	○	○	■	■			-	■		4	4	3	5	1,25	1,5	4	7,50	8,5%
	Seguro para el operario	O		○	○				-		○			■	■	○	3	4	3	4	1,33	1,2	3	4,80	5,4%
SEGURIDAD	Manual de usuario	B		○			○	○	○	○					■		4	5	3	4	1,00	1,2	3	3,60	4,1%
																	88,30							100%	

Propia empresa	3	3	4	5	5	4	4	5	4	4	4	5	5	5
Competencia B	4	4	3	3	3	4	3	3	3	5	4	1	1	4
Competencia A	5	5	5	4	4	4	5	4	5	3	4	1	5	4
Incidencia	293,9	409,5	411,7	144,2	147,8	371,2	234,6	422,4	258,4	147,3	83,3	296,3	297,6	155,1
Incidencia %	8,0%	11,1%	11,2%	3,9%	4,0%	10,1%	6,4%	11,5%	7,0%	4,0%	2,3%	8,1%	8,1%	4,2%

Factor de incidencia	
Fuerte	9 ■
Medio	3 ○
Bajo	1 -

Especificación del producto	Evaluación técnica	
	Competencia A	Competencia B
Valores objetivos		
130 x 60 x 107 cm	108 x 43 x 114 cm	111 x 42 x 112 cm
Combineda	Pelton	Michell - Banki
\$500	\$480	\$550
1 año	9 meses	6 meses
0.76 l/s	0.38 l/s	0.063 l/s
24 h	12 h	8 h
13 kg	12.5kg	13.5 kg
300 W	250 W	180 W
200Wh	280Wh	184 Wh
5 horas	8 horas	12 horas
PIC	STM 32	ARDUINO
70 x 58 x 43 cm	108 x 49 x 45 cm	114 x 42 x 36
Alta	Media	Baja
99%	90%	85%

Ilustración 3-3: Resultados de la casa de la calidad

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

El resultado de las prioridades técnicas del prototipo autosustentable de tratamiento de agua según el análisis de la casa de calidad para nuestro diseño se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 8-3: Prioridades técnicas

Prioridades técnicas	% Incidencia
Capacidad del panel solar	11,5
Tipo de turbina	11,2
Costo del producto	11,2
Autonomía máxima	10,1
Calidad de los materiales	8,1

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.3 Diseño conceptual

3.3.1 Análisis funcional modular

3.3.1.1 Nivel 0

La principal función del prototipo es mejorar la calidad del agua mediante una cámara de rayos ultravioleta que funcionará mediante de energía solar, limitada por su autonomía máxima. En el nivel cero se va a realizar un análisis de los flujos de entrada con los flujos de salida.

A continuación, se realiza una representación esquemática de las funciones generales que cumplirá el prototipo:

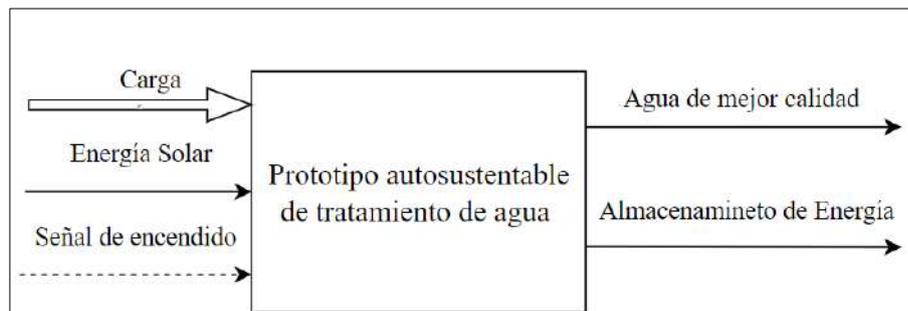


Ilustración 4-3: Función primaria del prototipo

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Elementos de entrada:

- Carga: Esta es el caudal de agua.
- Energía solar: Este tipo de energía es la que alimentará al sistema de desinfección de luz ultravioleta, además de que se almacena en un banco de baterías para su funcionamiento durante las 24 horas.
- Señal de encendido: Sirve para dar la orden que el sistema de desinfección de luz ultravioleta entre en funcionamiento.

Elementos de salida:

- Mejorar la calidad del agua, eliminar virus, bacterias y microorganismos.
- Almacenar la energía.

3.3.1.2 Nivel 1

En el nivel 1 se encuentran las funciones que realiza el prototipo de tratamiento de agua para consumo humano. En primer lugar, se tienen los paneles fotovoltaicos que captan la energía solar y esta se convierte en corriente continua que ingresa al inversor y se transforma en corriente alterna la cual se puede almacenar en una batería para que el prototipo pueda funcionar 24 horas seguidas, además esta corriente alterna será la que da energía a la lámpara UV de desinfección de agua potable.

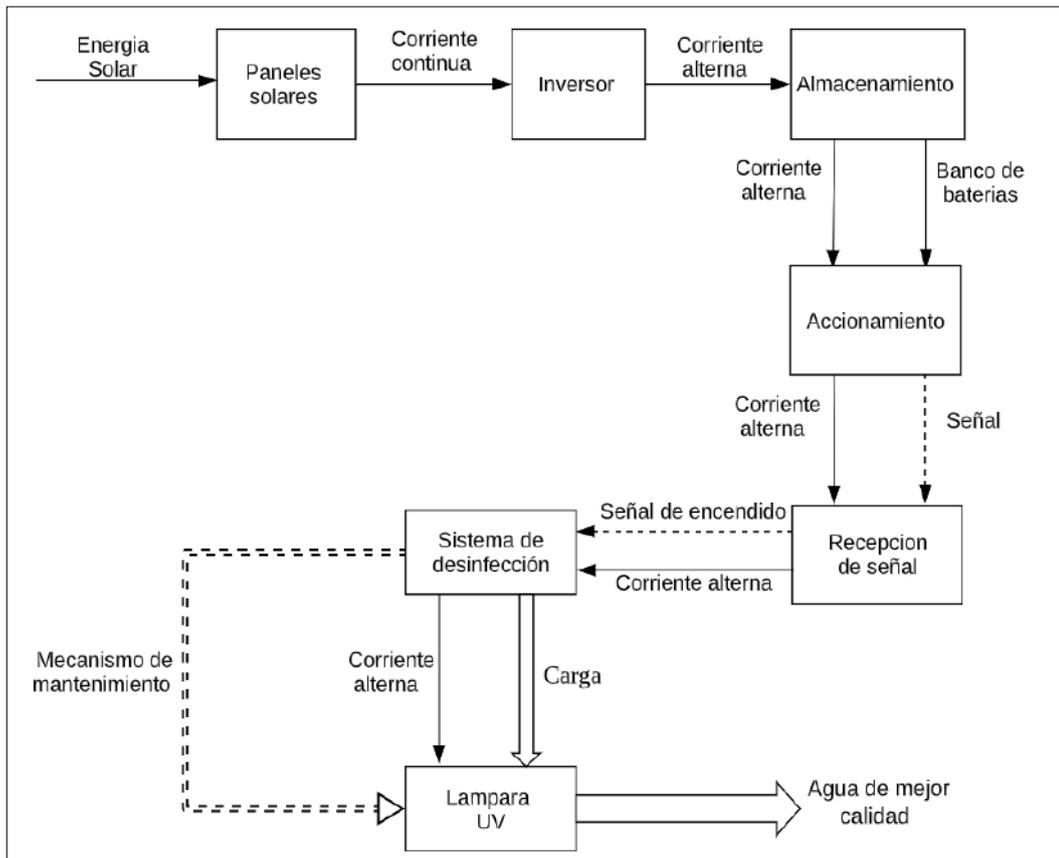


Ilustración 5-3: Nivel de la estructura modular

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.3.1.3 Nivel 2

En el nivel 2 se encuentra el mecanismo de mantenimiento del sistema de desinfección el cual consta de dos etapas: la primera es la etapa de filtración para evitar daños en los alabes de la turbina.

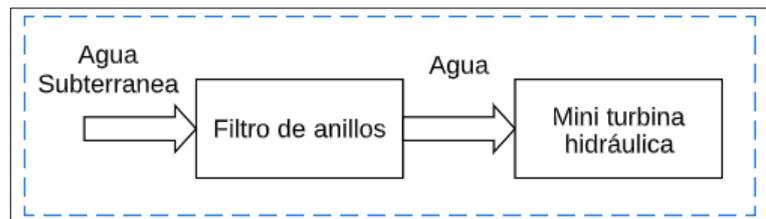


Ilustración 6-3: Nivel de la estructura modular (mecanismo de filtración)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

La segunda etapa se trata una microturbina que transforma la energía mecánica generada por el caudal del agua y se transforma en energía eléctrica mediante un generador eléctrico y su función principal es controlar el paso del caudal mediante una electroválvula controlada por un puente H que se acciona con pulsadores ubicados en el tablero de control y este mecanismo servirá cuando se necesite dar mantenimiento a la lámpara de desinfección UV.

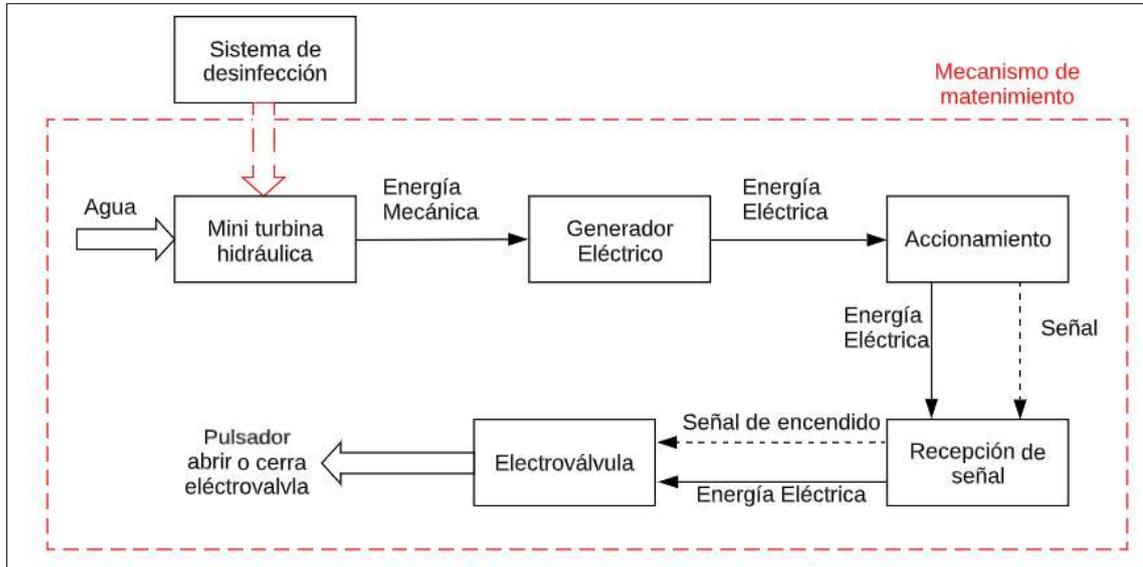
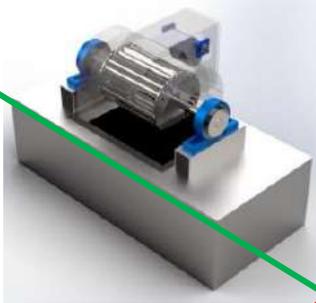
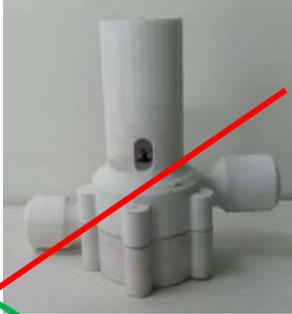
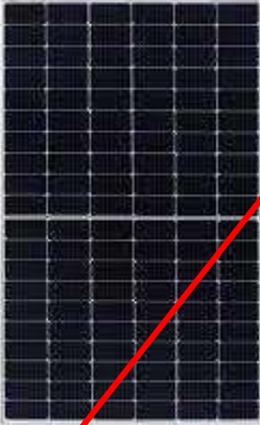
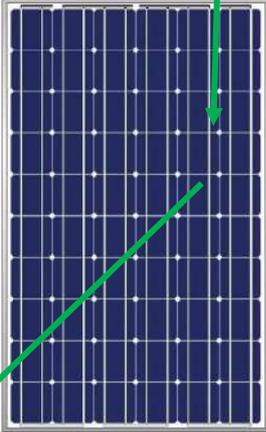


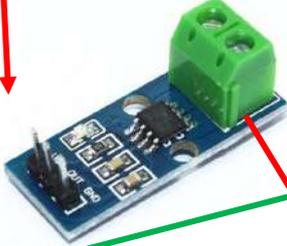
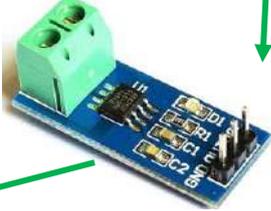
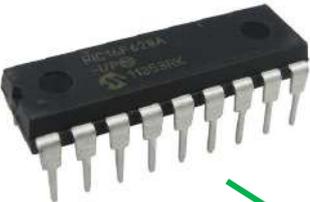
Ilustración 7-3: Nivel de la estructura modular (mecanismo de mantenimiento)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.4 Matriz morfológica

	1	2	3
Tubería	<p>PVC</p> 	<p>Acero Inoxidable</p> 	<p>Cobre</p> 
Manómetro	<p>Manómetro digital</p> 	<p>Manómetro analógico</p> 	<p>Manómetro diferencial</p> 
Filtros	<p>Filtro de carbón activado</p> 	<p>Filtro de sedimentos</p> 	<p>Filtro Cerámico</p> 
Turbinas de micro hidro generación	<p>Pelton</p> 	<p>Michell-Banki</p> 	<p>Hibrida Pelton y Michell-Banki</p> 

Válvulas	<p>Electroválvula solenoide</p> 	<p>Electroválvula de control directo</p> 	<p>Electroválvula neumática</p> 
Paneles Solares	<p>Flexibles</p> 	<p>Monocristalinos</p> 	<p>Policristalinos</p> 
Controlador	<p>PWM</p> 	<p>MPPT</p> 	
Inversor de onda	<p>Onda modificada</p> 	<p>Onda sinusoidal pura</p> 	<p>Onda cuadrada</p> 

Batería	AGM 	GEL 	Plomo- acido 
Sensor de Corriente	SCT013 AC 	ACS712 30A 	ACS712T-5A 
Micro Controladores	PIC 	STM 32 	ARDUINO MEGA 2560 
Pantalla	HDMI 	OLED 	LCD 
Cámara UV	PHILIPS 	TROJAN 	PURIKOR 

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.4.1 Evaluación de alternativas

Lo correspondiente a la matriz morfológica conlleva a una combinación de ideas que principalmente busca descomponer un concepto en elementos esenciales o estructuras básicas.

En todas las etapas del proceso de diseño, después de cada selección de alternativas, se debe realizar una evaluación de estas, que sirvan para una correcta toma de decisiones. En este análisis se debe realizar una correcta comparación con respecto a todos los criterios más importantes.

Análisis de alternativas:

- Alternativa 1 (Rojo)
- Alternativa 2 (Azul)
- Alternativa 3 (Verde)

De acuerdo con las alternativas planteadas se realiza la evaluación tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Precio
- Almacenamiento
- Peso
- Autonomía

Evaluación del peso específico de cada criterio

Precio > Almacenamiento = Peso > Autonomía

Tabla 9-3: Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Precio	Almacenamiento	Peso	Autonomía	Sumatoria	Ponderación
Precio		1	1	1	4	0,4
Almacenamiento	0		0,5	1	2,5	0,25
Peso	0	0,5		1	2,5	0,25
Autonomía	0	0	0		1	0,1
					10	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Evaluación del peso específico del criterio Precio

Solución 1>Solución 2>Solución 3

Tabla 10-3: Evaluación del peso específico del criterio precio

Precio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Sumatoria	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,5
Solución 2	0		1	2	0,333
Solución 3	0	0		1	0,167
				6	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Evaluación del peso específico del criterio Almacenamiento

Solución 3 > Solución 1>Solución 2

Tabla 11-3: Evaluación del peso específico del criterio almacenamiento

Almacenamiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Sumatoria	Ponderación
Solución 1		1	0	2	0,333
Solución 2	0		0	1	0,167
Solución 3	1	1		3	0,5
				6	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Evaluación del peso específico del criterio Peso

Solución 2> Solución 1>Solución 3

Tabla 12-3: Evaluación del peso específico del criterio peso

Peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Sumatoria	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0,333
Solución 2	1		1	3	0,5
Solución 3	0	0		1	0,167
				6	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Evaluación del peso específico del criterio Autonomía

Solución 2>Solución 1=Solución 3

Tabla 13-3: Evaluación del peso específico del criterio autonomía

Autonomía	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Sumatoria	Ponderación
Solución 1		0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1		1	3	0,5
Solución 3	0	0		1	0,167
				5,5	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Luego de evaluar cada uno de los criterios de los pesos específicos y obtenido las respectivas ponderaciones se realiza la tabla de conclusiones, obteniendo que la solución 1 es la mejor ponderada.

Tabla 14-3: Resultados de las soluciones

Conclusión	Precio	Almacenamiento	Peso	Autonomía	Sumatoria	Prioridad
Solución 1	0,200	0,08325	0,08325	0,025	0,392	1
Solución 2	0,133	0,04175	0,125	0,05	0,350	2
Solución 3	0,067	0,125	0,04175	0,0167	0,250	3

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.4.1.1 Criterios de evaluación

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes son:

- Bajo costo: Esta es la principal característica que considera gran parte de los potenciales usuarios al momento de realizar la instalación de este tipo de prototipo.
- Desmontable: según las características del lugar, este es un aspecto muy importante para evitar el robo de los equipos, ya que hoy por hoy el índice delincuencial es muy elevado.
- Bajo peso: ya que el prototipo es desmontable y al momento de guardarlo el peso será un factor muy importante.
- Autonomía moderada: ya que el producto necesita estar funcionando 24 horas al día es necesario tener un banco de baterías para evitar cualquier imprevisto.

3.4.2 Solución 1 (Alternativa 1)

En primer lugar, se describe la solución 1 que está representada por las líneas de color rojo, cuyo modelo es desmontable debido a las condiciones del lugar, lo cual reduce de forma considerable las dimensiones de plegado, facilitando enormemente su traslado, además utilizan fuentes autosustentables de energía tanto para el mecanismo de mantenimiento como para el sistema de desinfección de agua, la tubería es de PVC por donde transitara el agua, el mecanismo de mantenimiento será alimentado por una micro turbina híbrida entre Pelton y Michell-Banki, para evitar que la turbina y su alabes sufran desgastes debido a solidos en suspensión se instala un filtro de anillos que evitara el paso de solidos como piedras o arena, los paneles solares monocristalinos permitirán el almacenamiento de energía en una batería de gel para lograr que el prototipo tenga una autonomía de 24 horas, la corriente continua de la batería ingresará a un inversor de onda sinusoidal pura para convertirla en corriente alterna que permitirá el funcionamiento del sistema de desinfección de agua. Lo interesante de este tipo de desinfección de agua es que no utiliza ninguna clase de química adicional como el cloro ni genera daños colaterales, además de eliminar el 99,99 de bacterias y microorganismos que afectan al ser humano. El sistema de mantenimiento funcionará con una microturbina que genera energía eléctrica suficiente para accionar una electroválvula que cerrará el paso del flujo de agua y permitirá dar mantenimiento a la lámpara UV de desinfección de agua.

3.5 Condiciones ambientales

En primer lugar, el proyecto está ubicado en la parroquia Catequilla del cantón Chambo, El punto A se encuentra en la bocatoma ubicada cerca de la iglesia de Catequilla



Ilustración 8-3: Punto A (Bocatoma)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

El punto B se encuentra en la intersección de la vía Catequilla y Mercedes Moncayo en donde se instalará el prototipo de tratamiento de agua.



Ilustración 9-3: Punto B (intersección vía Catequilla y Mercedes Moncayo)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.5.1 *Altura*

Mediante el uso de un GPS Montana 680 se identifica la altura del punto A y B, para lo cual se registran los datos en el dispositivo tanto del punto A (Bocatoma) como del punto B (intersección vía Catequilla y Mercedes Moncayo), luego se conecta el GPS a un computador y se transfieren los datos a un software especializado obteniendo la altura del punto máximo y mínimo.



Ilustración 10-3: Toma de datos en el punto B mediante GPS

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Tabla 15-3: Propiedades de altura del punto máximo y mínimo

2022-10-27 11:21:02							
Resumen		Hora		Velocidad		Altura	
Puntos:	47	Tiempo transcurrido:	0:12:24	Media:	3.8 km/h	Mínimo:	2832 m
Distancia:	776 m	Tiempo en movimiento:	0:11:13	Promedio movimiento:	4.2 km/h	Máximo:	2892 m
Área:	14785 metros cuadrados	Tiempo detenido:	0:00:04	Mínimo:	2.0 km/h	Pendiente:	-6.9 %
				Máximo:	3.6 km/h	Ascenso:	0 m
						Descenso:	52 m
Índice	Altura	Distancia del tramo	Tiempo del tramo	Velocidad del tramo	Trayecto del tramo	Hora	Posición
1	2890 m	15 m	0:00:17	3.2 km/h	273.2° verdadero	27/10/2022 11:09:02	S1° 43....
2	2890 m	18 m	0:00:17	3.8 km/h	249.0° verdadero	27/10/2022 11:09:19	S1° 43....
3	2890 m	4 m	0:00:04	4.0 km/h	228.5° verdadero	27/10/2022 11:09:36	S1° 43....
4	2890 m	1 m	0:00:01	4.4 km/h	242.4° verdadero	27/10/2022 11:09:40	S1° 43....
5	2890 m	1 m	0:00:01	5 km/h	241.3° verdadero	27/10/2022 11:09:41	S1° 43....
6	2890 m	21 m	0:00:17	4.5 km/h	256.6° verdadero	27/10/2022 11:09:42	S1° 43....
7	2890 m	24 m	0:00:21	4.2 km/h	273.4° verdadero	27/10/2022 11:09:59	S1° 43....
8	2890 m	21 m	0:00:18	4.3 km/h	272.7° verdadero	27/10/2022 11:10:20	S1° 43....
9	2890 m	25 m	0:00:20	4.5 km/h	262.6° verdadero	27/10/2022 11:10:38	S1° 43....
10	2889 m	21 m	0:00:16	5 km/h	251.6° verdadero	27/10/2022 11:10:58	S1° 43....
11	2889 m	20 m	0:00:17	4.3 km/h	245.4° verdadero	27/10/2022 11:11:14	S1° 43....
12	2888 m	9 m	0:00:08	3.9 km/h	244.2° verdadero	27/10/2022 11:11:31	S1° 43....
13	2887 m	1 m	0:00:01	4.3 km/h	256.1° verdadero	27/10/2022 11:11:39	S1° 43....
14	2887 m	7 m	0:00:07	3.8 km/h	241.7° verdadero	27/10/2022 11:11:40	S1° 43....
15	2885 m	1 m	0:00:01	4.5 km/h	251.1° verdadero	27/10/2022 11:11:47	S1° 43....
16	2885 m	12 m	0:00:12	3.7 km/h	241.7° verdadero	27/10/2022 11:11:48	S1° 43....
17	2883 m	1 m	0:00:01	5 km/h	264.5° verdadero	27/10/2022 11:12:00	S1° 43....
18	2882 m	1 m	0:00:01	5 km/h	280.7° verdadero	27/10/2022 11:12:01	S1° 43....
19	2882 m	1 m	0:00:01	4.4 km/h	297.7° verdadero	27/10/2022 11:12:02	S1° 43....
20	2882 m	1 m	0:00:01	4.1 km/h	302.5° verdadero	27/10/2022 11:12:03	S1° 43....
21	2882 m	25 m	0:00:22	4.1 km/h	304.3° verdadero	27/10/2022 11:12:04	S1° 43....
22	2881 m	24 m	0:00:22	4.0 km/h	298.1° verdadero	27/10/2022 11:12:26	S1° 43....
23	2880 m	29 m	0:00:25	4.2 km/h	300.5° verdadero	27/10/2022 11:12:48	S1° 43....
24	2878 m	20 m	0:00:17	4.2 km/h	304.9° verdadero	27/10/2022 11:13:13	S1° 43....
25	2876 m	19 m	0:00:17	4.1 km/h	308.0° verdadero	27/10/2022 11:13:30	S1° 43....
26	2875 m	19 m	0:00:16	4.2 km/h	311.4° verdadero	27/10/2022 11:13:47	S1° 43....
27	2874 m	21 m	0:00:18	4.2 km/h	314.6° verdadero	27/10/2022 11:14:03	S1° 43....
28	2873 m	25 m	0:00:21	4.3 km/h	307.6° verdadero	27/10/2022 11:14:21	S1° 43....
29	2872 m	24 m	0:00:21	4.2 km/h	287.7° verdadero	27/10/2022 11:14:42	S1° 43....

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la siguiente tabla se presenta la altura y la diferencia de alturas entre el punto A y B:

Tabla 16-3: Altura de los puntos

Puntos	Altura (m)
A	2892
B	2832
Diferencia A-B	52

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.6 Selección de componentes

3.6.1 Selección del material para la tubería

La tubería es una parte importante del prototipo ya que en esta se transportará el agua, por lo que se deben precisar algunas propiedades como: durabilidad, resistencia a la corrosión, presión, temperatura de operación y un costo moderado.

Se investigan los materiales típicos para tubería de agua dentro los cuales se tienen el PVC, cobre y acero inoxidable debido a su fácil instalación, fácil transportación, fácil de adquisición y existencia en el mercado local.

Mediante un software especializado en la selección de materiales se ingresan las propiedades establecidas en el anterior párrafo, por ejemplo, la del precio, que debe estar en un rango de 1 a 10 (USD/kg), además que el material sea reciclable para reducir la contaminación ambiental.

Tabla 17-3: Propiedades generales del material de la tubería

	Minimum	Maximum	
Densidad	1000	9000	kg/m ³
Precio	1	10	USD/kg
Fecha de primer uso ("-" significa AC)			

	Minimum	Maximum	
Contenido en energía, producción primaria			MJ/kg
Huella de CO2, producción primaria			kg/kg
Reciclaje	<input checked="" type="checkbox"/>		

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se debe tomar en cuenta que para este tipo de tuberías se escogen materiales que no desprendan partículas al agua debido que esta es para consumo humano, además el material no debe cambiar el pH, color ni sabor del agua.

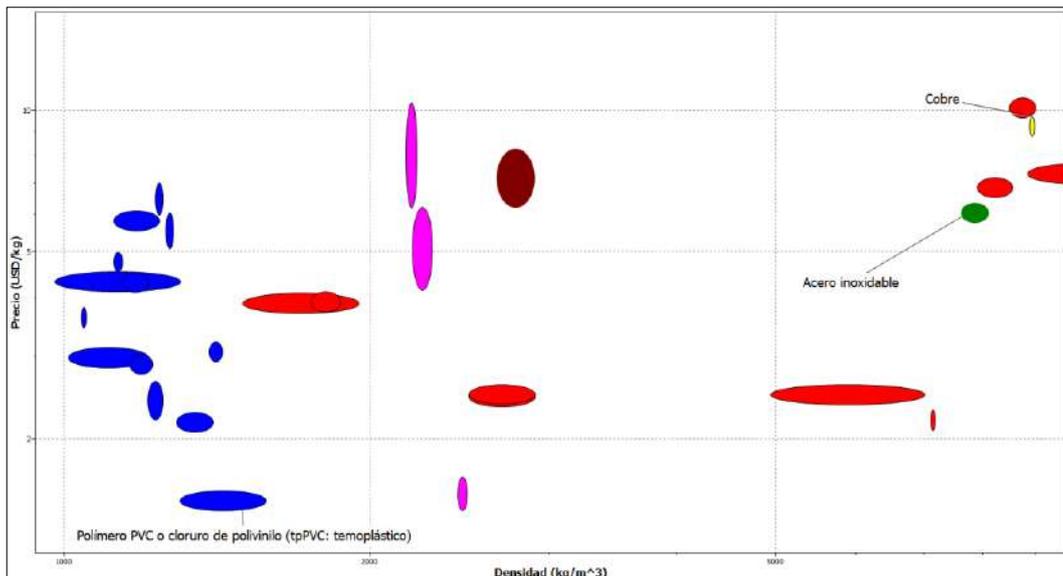


Ilustración 11-3: Densidad vs precio

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se obtiene que el material de la tubería adecuada para la instalación del prototipo es el PVC debido que es un material de fácil instalación, de gran resistencia mecánica como a la corrosión además es fabricado de materiales reciclables.

3.6.2 Selección del manómetro

Un manómetro es un instrumento de medición que se utiliza para medir la presión de un fluido (como líquidos y gases) en un sistema cerrado. Los manómetros tienen una escala graduada que muestra la lectura de la presión, que puede ser en unidades como PSI (libras por pulgada cuadrada).

Para la correcta selección de un manómetro el usuario debe estar correctamente informado de las características del fluido en este caso agua, además se debe tomar en cuenta cual tipo de manómetro es el mejor de acuerdo con la relación calidad precio, para este prototipo existen tres opciones un manómetro digital, manómetro analógico, manómetro diferencial, es por lo cual se selecciona un manómetro analógico ya que se puede adquirir de manera fácil.



Ilustración 12-3: Manómetro analógico

Fuente:(Productos Metalúrgicos S.A, 2020)

En la siguiente tabla se presenta las características técnicas del manómetro analógico, que se usa principalmente en tuberías de agua:

Tabla 18-3: Especificaciones técnicas del manómetro analógico

Marca	Paolo
Tipo	Analógico
Presión máxima	200 psi
Presión mínima	0 psi
Salida a la tubería de agua	1"

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.6.3 Selección de filtro

Debido que el agua viene de una fuente subterránea se instala un filtro de anillos o de disco los mismos que sirven para retener residuos sólidos como arena o piedras, el filtro se instalara antes de la microturbina para que ningún residuo ingrese a su interior con el fin de evitar daños y desgaste en los álabes y carcasa de la microturbina, además que el mantenimiento de este filtro es muy rápido ya que solo se necesita retirar y limpiar el espiral de anillos que permite largos ciclos de filtración de sólidos.



Ilustración 13-3: Filtro de anillos

Fuente:(Comercial de Riegos, 2020)

Es importante mencionar las características del filtro de anillos, en la tabla 19-3 se pueden observar sus datos técnicos.

Tabla 19-3: Características técnicas del filtro de anillos

Tipo	Filtro de anillos
Caudal máximo	320 GPM
Presión máxima	120 psi
Entrada a la tubería de agua	1 plg
Salida a la tubería de agua	1 plg

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Para limpiar el filtro es suficiente seguir los siguientes pasos:

- Desenroscar la tapa del filtro
- Sacar el cilindro de anillos
- Quitar la tapa de seguridad de los anillos
- Separar los discos o anillos
- Limpiar el cilindro

3.6.4 Selección de electroválvula

La electroválvula permitirá interrumpir o continuar el flujo de fluido que pasa a través de la tubería mediante su facilidad para responder a los pulsos eléctricos de los pulsadores del puente H que será alimentado por la microturbina, de esta manera será posible controlar el flujo de agua que llega hacia el dispositivo de desinfección de agua, de tal manera que permita que se lleve a cabo el mantenimiento de este cuando sea necesario.

Para esta aplicación se ha optado utilizar una electroválvula de bola de dos hilos y dos vías, la misma que permite controlar el paso del flujo de agua mediante la activación de su motor interno, el cual hace girar el eje central de la llave de paso de bola, pasando de un estado totalmente abierto a uno totalmente cerrado, y viceversa, a continuación, se presentan las especificaciones de dicha electroválvula:

Tabla 20-3: Especificaciones de la electroválvula de bola

Material de la válvula	Acero inoxidable 304 (CF8)
Fuente de alimentación	12 V CC
Diámetro de vías	3/4 plg
Medio adecuado	Agua, gas, aceite
Presión máxima de trabajo	145 psi
Corriente de trabajo	0.2 – 0.4 A
Tiempo de funcionamiento	5-15 s

Fuente: (HSH-Flo, 2022)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023



Ilustración 14-3: Electroválvula de bola

Fuente: (HSH-Flo, 2022)

3.6.5 Selección del dispositivo de desinfección

Para el proceso de desinfección del agua se seleccionó una lámpara ultravioleta ya que estas presentan un método de desinfección alternativo a los tradicionales, los cuales a menudo se realizan con cloro u ozono. La luz ultravioleta brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos de desinfección que puedan generar problemas.

Considerando que el caudal mínimo de agua medido en la tubería es de 0.648 l/s alcanzando un máximo de 0.751 l/s como se puede observar en la tabla 35-3, se realizó la búsqueda de un dispositivo de luz ultravioleta que cumpla con este parámetro. El equipo que cumple con esta especificación es de la marca PHILIPS, el cual está diseñado para desinfectar agua con un caudal de 12 GPM (0.7571 l/s) y una presión de 124 psi, este dispositivo consume 55 Watts.



Ilustración 15-3: Lámpara UV

Fuente: (Piensa Ingeniería, 2023)

Es importante conocer las características de la cámara de desinfección ultravioleta, en la siguiente tabla se pueden observar sus datos técnicos:

Tabla 21-3: Características técnicas de lámpara UV

Marca	Philips
Consumo	55 W
Capacidad	12 GPM
Voltaje de alimentación (Vac)	110-120 V
Material de la cámara	Acero inoxidable 304
Material del bulbo	Cuarzo
Longitud de onda	910 Mm
Conexiones de entrada y de salida	3/4 plg
Presión máxima	124 psi

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Hay que tomar en cuenta que el mantenimiento adecuado del dispositivo de desinfección ultravioleta debe hacerse limpiando el bulbo cada 6 meses y cambiándolo cada año.

3.7 Diseño sistema fotovoltaico

A través del diseño del sistema fotovoltaico se pretende aprovechar los recursos naturales de la zona y proporcionar energía al sistema de tratamiento de agua para consumo humano. En la ilustración 16-3, se presenta un esquema del sistema fotovoltaico en donde se diseñará y seleccionará cada uno de los elementos a partir de la demanda del sistema de tratamiento de agua para consumo humano.

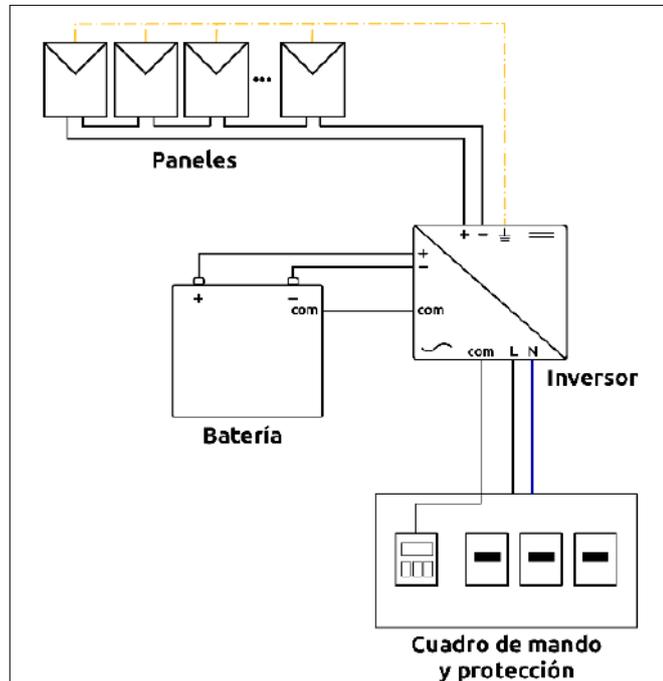


Ilustración 16-3: Diagrama sistema fotovoltaico

Fuente: (HelioEsfera, 2020)

3.7.1 Selección de la batería

Debido a que es indispensable el funcionamiento del dispositivo de desinfección ultravioleta durante las 24 horas del día es necesario el uso de una batería que permita su funcionamiento también durante la noche. Considerando 65 Watts necesarios de potencia (55W para la lámpara UV y 10W para los controladores) y 12 V de voltaje necesarios para el funcionamiento de los controladores, se despeja el valor de la intensidad de corriente de la ecuación número 1.

$$I = \frac{P}{V}$$
$$I = \frac{65W}{12V}$$
$$I = 5.41 A$$

Se obtiene una corriente de 5,41 amperios, este valor será el amperaje necesario para la aplicación. La capacidad de la batería es igual a la multiplicación del amperaje necesario para la aplicación por el tiempo de funcionamiento, en este caso se toma en cuenta 12 horas de duración de la noche.

$$C = x * t \quad (8)$$

Donde:

- C , es la capacidad de la batería o acumulador. [Ah]
- x , es la corriente consumida. [A]
- t , es tiempo en. [h]

$$C = 5.41 A * 12h$$

$$C = 64.92 Ah \approx 65 Ah$$

Se obtiene una capacidad necesaria de $65 Ah$, sin embargo, es recomendable usar baterías que proporcionen una capacidad 40% mayor a la necesaria y considerando que las baterías de gel que se encuentran en el mercado son de $60 Ah$ y $100 Ah$, se seleccionó una batería de $100 Ah$ con lo cual se garantizará el funcionamiento del dispositivo tanto en el día como en las noches, además este tipo de baterías soportan más ciclos de carga y descarga y no requieren mantenimiento.

Por lo tanto, se realizó la selección de una batería de gel de la marca Omega tipo NPG 100-12.



Ilustración 17-3: Batería de gel

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Es importante mencionar las características de la batería, en la tabla 22-3 se pueden observar sus datos técnicos.

Tabla 22-3: Características técnicas de la batería

Marca	Omega
Modelo	NPG 100-12
Tipo de servicio	Acumulador
Capacidad	100 Ah
Voltaje	12 V
Composición de la batería	Gel
Dimensiones	18x19x16.5 cm

Fuente: (Master Battery, 2019)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.7.2 Selección del panel

Para seleccionar el panel solar, se consideró que se debe proporcionar la suficiente potencia para lograr que el equipo de desinfección ultravioleta funcione al mismo tiempo que la batería se cargue para garantizar su continuo funcionamiento en la noche; además se tomaron en cuenta los días nublados en los que la potencia generada disminuye, por lo tanto, considerando los paneles que se encuentra en stock (50, 150, 200,300) W, se realiza una tabla de ponderación para determinar el tiempo que tomará a los paneles de distinta potencia cargar la batería de gel seleccionada anteriormente y seleccionar el adecuado a la necesidad.

3.7.2.1 Criterios de selección del panel

Tomando como ejemplo un panel de 300W se muestran los criterios tomados en consideración para el cálculo del número de horas en el que la batería se cargará completamente, primero se calcula la corriente, despejándola de la ecuación número 1:

$$I = \frac{300 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$
$$I = 25 \text{ A}$$

Mediante la ecuación 9 se obtiene el tiempo de carga completa de la batería:

$$t = \frac{C}{I} \quad (9)$$

Donde:

- C , es la capacidad de la batería o acumulador. [Ah]
- I , es la corriente consumida. [A]
- t , es tiempo en. [h]

$$t = \frac{C}{I}$$
$$t = \frac{100 \text{ Ah}}{25 \text{ A}}$$
$$t = 4 \text{ h}$$

3.7.2.2 Eficiencia de los paneles monocristalinos y policristalinos

Los paneles solares monocristalinos, que consisten en celdas de silicio individuales, son más eficientes que los paneles solares policristalinos, lo que significa que produce más energía con la misma cantidad de luz solar.

Se escogió paneles monocristalinos debido a la mayor eficiencia y vida útil.

Tabla 23-3: Eficiencia de los paneles monocristalinos y policristalinos

Panel	Eficiencia laboratorio	Eficiencia condiciones ambientales
Policristalino	19%	(13-15) %
Monocristalino	24%	(17-20) %

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.7.2.3 Tabla de ponderaciones de los paneles solares

Luego de realizar el cálculo de la intensidad de corriente y tiempo de carga de la batería por completo para cada uno de los modelos de paneles propuestos, se obtiene que el panel de 300 W es el que se demora menos tiempo en cargar completamente la batería.

Tabla 24-3: Ponderación de los paneles solares

Panel	Intensidad (A)	Capacidad de la batería (Ah)	Tiempo de carga (h)
50 W	4.167	100	24
150 W	8.333	100	12
200 W	16.667	100	6
300 W	25	100	4

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Debido que el prototipo está diseñado para que sea desmontable, el panel de 300 W resulta pesado y dificulta el transporte de este, por lo tanto, se seleccionan dos paneles de 150 W de potencia cada uno, los mismos que serán conectados en serie.

3.7.3 Conexión en serie de Paneles solares

Este tipo de conexión mantiene la intensidad, mientras que el voltaje de cada uno de los paneles es sumado para obtener un voltaje total. (Morales y Gómez, 2022)

Con la ecuación 10 se puede obtener el voltaje total de los paneles conectados en serie.

$$V_T = V_1 + V_2 \quad (10)$$

Donde:

- V_T , es el voltaje total del circuito. [v]
- V_1 , es el voltaje del panel 1. [v]
- V_2 , es el voltaje del panel 2. [v]

Con la ecuación 11 se puede obtener la potencia total de los paneles conectados en serie.

$$P_T = P_1 + P_2 \quad (11)$$

Donde:

- P_T , es la potencia total del circuito. [v]
- P_1 , es la potencia del panel 1. [v]
- P_2 , es la potencia del panel 2. [v]

A continuación, tenemos como ejemplo un esquema de paneles solares de 120 W conectados en serie:

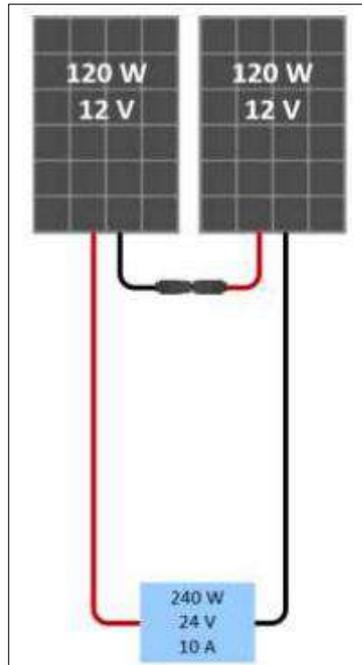


Ilustración 18-3: Esquema de dos paneles conectados en serie

Fuente: (Morales y Gómez, 2022, p. 17)

3.7.3.1 Cálculo de los paneles solares en serie

Se cuenta con dos paneles con una potencia de 150 W y un voltaje de 22 V cada uno.

Mediante el uso de la ecuación 10 se obtiene el siguiente dato de voltaje total:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 22 \text{ V} + 22 \text{ V} = 44 \text{ V}$$

Mediante el uso de la ecuación 11, obtenemos el siguiente dato de potencia:

$$P_T = P_1 + P_2$$

$$P_T = 150 \text{ W} + 150 \text{ W} = 300 \text{ W}$$

Por consiguiente, se seleccionan dos paneles de 150 W de la marca IKAO a continuación se presenta una tabla con las características técnicas de dicho panel:

Tabla 25-3: Especificaciones técnicas del panel IKAO de 150 W

Marca	IKAO
Modelo	150
Potencia máxima (Pmax)	150 W
Intensidad a máxima potencia (Imp)	8.3 A
Voltaje a máxima potencia (Vmp)	18 V
Voltaje en circuito abierto (Voc)	22 V
Intensidad a máxima potencia (Isc)	9 A
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Tipo	Monocristalino

Irradiancia	1000 W/M ²
Temperatura	25 °C
Masa de aire	1,5 AM

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.7.4 Cálculo y selección del controlador de carga

Según (Villegas y Alcívar, 2020, p. 47), un controlador o regulador de carga es un dispositivo utilizado para controlar o regular el voltaje de un sistema de batería o paquete de batería. Este elemento protege las baterías de los paneles fotovoltaicos de la sobrecarga y evita la descarga excesiva de las baterías.

3.7.4.1 Controladores MPPT

Los controladores MPPT son elementos electrónicos modernos que cuentan con reductores de voltaje asegurando un beneficio para el arreglo fotovoltaico. Estos controladores tienen la función de aprovechar el exceso de voltaje mostrada en la curva de voltaje y corriente del módulo para convertirlo en corriente con la particularidad de que el voltaje y corriente serán diferentes de la salida. (Villegas y Alcívar, 2020, p. 49)

En resumen, este tipo controladores sirven para elevar el voltaje del panel solar y aprovechar al máximo su corriente. Además, que emplea o usa toda la energía que los paneles solares pueden proporcionar y monitorean constantemente el voltaje de la batería.



Ilustración 19-3: Controlador solar MPPT 130 D

Fuente: (Wuhan hanfei science and technology co.ltd, 2020)

Para calcular la potencia máxima admisible por el controlador MPPT 130D se puede hacer uso de la ecuación 1, los datos de voltaje del sistema y corriente de carga son obtenidos de la tabla de especificaciones técnicas del controlador:

$$P = V * I$$

$$P = 24V * 30 A$$

$$P_{controlador} = 720 W$$

Se obtiene una potencia máxima admisible de 720 W y debido a que esta potencia es mayor a la potencia de los paneles conectados en serie, por lo tanto, el controlador MPPT 130 D sirve para el prototipo.

$$P_{controlador} \geq P_{paneles \text{ en serie}}$$

Luego, de la misma ecuación 1, se calcula la intensidad máxima de los paneles en serie y esta debe ser menor a la intensidad máxima que soporta el controlador.

$$I_{paneles \text{ en serie}} = \frac{P_T}{V_T}$$

$$I_{paneles \text{ en serie}} = \frac{300 \text{ W}}{44 \text{ V}}$$

$$I_{paneles \text{ en serie}} = 6.81 \text{ A}$$

Se obtiene una intensidad de corriente de 30 A detallada en la tabla 25-3 de especificaciones técnicas controlador MPPT 130D y debido a que esta intensidad es mayor a la intensidad de los paneles conectados en serie, el controlador MPPT 130 D sirve para el prototipo.

$$I_{controlador} \geq I_{paneles \text{ en serie}}$$

Por consiguiente, se selecciona un controlador MPPT 130D, a continuación, se presenta una tabla con sus características técnicas:

Tabla 26-3: Especificaciones técnicas del controlador MPPT 130 D

Controlador	MPPT 130D
Voltaje del sistema	12/24 V
Rango del voltaje de batería	9-32 V
Voltaje máximo	100 V
Corriente de carga	30 A
Tipo de batería	Gel
Autoconsumo	≤ 40 mA
Tensión de carga de absorción	14.2 V
Tensión de carga de flotación	13.8 V
Humedad	0-90%, sin condensación
Temperatura de trabajo	-20 a 70°C
Dimensiones	195x160x60 mm
Peso	835 g

Fuente: (Wuhan hanfei science and technology co.ltd, 2020)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.7.5 Selección del inversor

Según (Viera, 2021, p. 22), un inversor solar o inversor fotovoltaico convierte la salida de corriente continua variable de un panel solar fotovoltaico (PV) en corriente alterna de frecuencia de utilidad pública que puede ser sustentada en una red eléctrica comercial o utilizada por una red eléctrica

local fuera de la red. Es un aparato crítico en un sistema fotovoltaico, permitiendo el uso de aparatos comerciales ordinarios.

El funcionamiento de un inversor conectado a una batería es similar en todos los tipos de inversores, independientemente de la forma de onda de salida. Los inversores de onda sinusoidal pura conectados a una batería funcionan de la siguiente manera:

- **La energía se almacena en la batería:** La batería almacena energía en forma de corriente continua (DC).
- **La energía se acondiciona:** El inversor realiza una serie de procesos de control y acondicionamiento para preparar la energía DC almacenada en la batería para la conversión a AC. Esto puede incluir la regulación de la tensión y la corriente, la eliminación de las interferencias eléctricas y la optimización de la energía generada.
- **La energía se convierte en corriente alterna (AC):** El inversor convierte la energía DC almacenada en la batería en corriente alterna (AC) con una forma de onda sinusoidal pura que se puede utilizar para alimentar dispositivos eléctricos.
- **Monitoreo y control:** El inversor también monitorea el nivel de carga de la batería y ajusta la cantidad de energía que se convierte y envía a los dispositivos eléctricos para maximizar la duración de la batería.

3.7.5.1 Inversor de onda sinusoidal pura

Se selecciona un inversor de onda sinusoidal pura debido a que genera una corriente muy similar a la de consumo doméstico, debido que la lampara de desinfección UV trabaja con corriente alterna con un voltaje de 110 voltios, el inversor esta correctamente seleccionado.



Ilustración 20-3: Inversor sinusoidal de onda pura

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Algunas de las ventajas del inversor de onda sinusoidal pura son:

- Partes o componentes eléctricos operan de forma silenciosa
- Convierte corriente continua en corriente alterna.
- No produce sobrecalentamiento en los equipos.
- Funcionamiento óptimo.
- Bajo ruido.

Por consiguiente, se selecciona un inversor de onda sinusoidal pura a continuación se presenta una tabla con sus características técnicas:

Tabla 27-3: Especificaciones técnicas del inversor de onda

Tipo	Inverso de onda sinusoidal pura
Convierte	DC a AC
Potencia de pico	1000 W
Potencia nominal	500 W
Voltaje de salida	110/220 V (AC)
Voltaje de entrada	12/24 V (DC)
Frecuencia de salida	50-60 Hz
Dimensiones	195x100x60 mm
Peso	1 kg

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.7.6 Cálculo de divisor de voltaje

Un divisor de tensión o voltaje es uno de los circuitos fundamentales en la electrónica debido que es un circuito simple que convierte un voltaje grande, en este caso el voltaje que generan los paneles solares conectados en serie, en un voltaje más pequeño que será utilizado por el Arduino. Con solo dos resistencias en serie, puede generar un voltaje de salida igual a una fracción del voltaje de entrada.

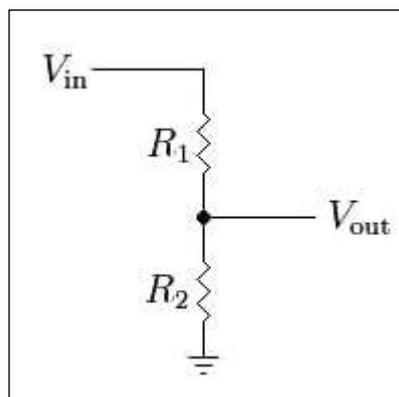


Ilustración 21-3: Diagrama divisor de corriente

Fuente: (Geek Factory, 2014)

Con la ecuación 12 se obtiene el voltaje de salida que deberá ingresar al microcontrolador:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (12)$$

Donde:

- V_{out} , es el voltaje de salida esperado. [v]
- V_{in} , es el voltaje del panel solar. [v]
- R_1, R_2 , son las resistencias para bajar el voltaje. [$k\Omega$]

El voltaje que ingresa del panel son 44 voltios, pero en este caso se utiliza 50 voltios para los cálculos para evitar daños en el Arduino, además de usar dos resistencias en serie de 10 y 100 $k\Omega$

$$V_{out} = 50v \left(\frac{10k\Omega}{100k\Omega + 10k\Omega} \right)$$

$$V_{out} = 4.54 v$$

Como el Arduino trabaja con un voltaje máximo de 5 voltios, el voltaje obtenido en el divisor de corriente debe ser menor a 5 para que el Arduino pueda trabajar sin que se quemé.

$$V_{out} = 4.54 v < 5v$$

3.7.7 Selección sensor de corriente

Según (Musuña y Veintimilla, 2018, p. 19), el sensor ACS712 30A, es un sensor de corriente por efecto hall, que sirve para medir la corriente en AC o DC, su principio de funcionamiento es transformar un campo magnético surgido del paso de la corriente por un alambre de cobre interno en el sensor, convirtiendo dicho campo magnético en un voltaje variable, es el sensor que mide hasta 30 amperios dependiendo del amperaje censado la variación del voltaje en su pin de salida analógica es de 0 a 5 voltios.



Ilustración 22-3: Sensor de corriente ACS712 – 30A

Fuente: (Unit Electronics, 2019)

Una ventaja de este tipo de controlador es la facilidad para conectar ya que está equipado con un bloque de terminales para conectar la línea que se requiere medir y 3 pines adicionales, dos para alimentación y uno para salida analógica.

A continuación, se presenta una tabla con las características técnicas del sensor de corriente seleccionado para el prototipo:

Tabla 28-3: Especificaciones técnicas del sensor de corriente

Modelo	ACS712 30A
Rango	$\pm 30A$
Sensibilidad	66 mV/A
Voltaje de operación (VCC)	4.5 – 5.5 V
Dimensiones	31x13x11.8 mm

Salida análoga	100 mV/A
Indicador	LED

Fuente: (Unit Electronics, 2019)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.7.8 Reductor de voltaje LM 2596

El módulo LM2596 es un convertidor de voltaje de alta eficiencia que se utiliza para convertir una fuente de alimentación de voltaje más alto a un voltaje más bajo, utiliza un convertidor DC-DC de tipo step-Down que regula la tensión de salida mediante la modulación del ancho de pulso (PWM) y el uso de un inductor. Esto permite ajustar la tensión de salida mediante el ajuste de un potenciómetro integrado en el módulo. (TECmicro, 2022)

A continuación, se presenta una tabla con las características técnicas del reductor de voltaje seleccionado para el prototipo:

Tabla 29-3: Características técnicas del reductor de voltaje LM2596

Modelo	LM2596
Voltaje de entrada	4.5 - 40 V
Voltaje de salida	1.2 - 37 V
Potencia de salida	25 W
Dimensiones	43x21x13 mm
Corriente de salida máxima	3 A
Indicador	LED

Fuente: (TECmicro, 2022)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Este módulo permitirá que el voltaje que ingresa al microcontrolador desde la batería se reduzca y mantenga constante en 5V, esto se hace con la finalidad de evitar daños en el Arduino.

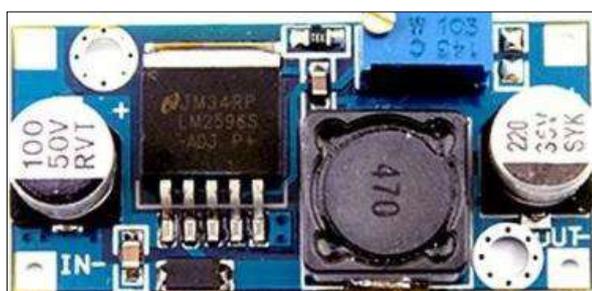


Ilustración 23-3: Reductor de voltaje LM2596

Fuente: (TECmicro, 2022)

3.7.9 Selección de microcontrolador

Para la elaboración del prototipo se empleó un Arduino mega 2560, debido a que cuentan con una mayor cantidad de pines que facilitarán la conexión a la pantalla led, a las borneras de la batería, inversor, generador y los paneles solares, además que admite un voltaje entre 7 y 12 voltios lo que significa que se puede alimentar con una gran variedad de fuentes de alimentación.

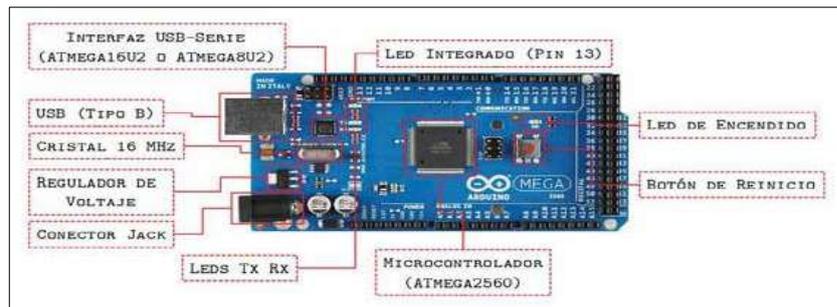


Ilustración 24-3: Arduino Mega 2560

Fuente:(Guerra, 2020)

3.7.9.1 *Arduino mega 2560*

Es un microcontrolador que está diseñado para proyectos más complejos. Con 54 pines de E / S digitales, 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio; contiene soporte para microcontrolador, simplemente conectándolo a una computadora con un cable USB o con un adaptador de CA a CC o batería para comenzar. 2 una de las características de mayor relevancia es que Arduino mega 2560 tiene una memoria EEPROM que es un modelo de 4kb, lo que permite el manejo de mayor cantidad de variables y funciones.(Moreira y Casquete, 2017, p. 18)

A continuación, se presenta una tabla con las características técnicas del microcontrolador seleccionado para el prototipo.

Tabla 30-3: Especificaciones técnicas del microcontrolador

Tipo	Arduino mega 2560
Microcontrolador	AT mega 2560
Voltaje de trabajo	5 V
Voltaje de entrada	7-12 V
Voltaje limite	6-20 V
Pines digitales	54 (15 salida a PWM)
Pines entrada analógica	16
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	20 mA
Corriente DC entregada en el Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB (8KB usados por el bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Dimensiones	102x53 mm
Peso	37 g

Fuente: (Store Arduino, 2021)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.7.10 Selección de la pantalla de visualización de datos

Es necesario el uso de una pantalla que permita visualizar los datos obtenidos en el panel, generador e inversor por lo cual la elección final es una pantalla LCD de 20x4, es decir se tiene 4 líneas y 20 caracteres, lo que permite mostrar la fecha y hora en la primera fila, el voltaje e intensidad de corriente en el panel solar, generador e inversor en las siguientes filas además esta pantalla trabajara con un voltaje de 5 voltios.



Ilustración 25-3: Pantalla LCD 20x4 I2C

Fuente:(CVR ELECTRONICA, 2022)

A continuación, se presenta una tabla con las características técnicas de la pantalla LCD seleccionada para el prototipo.

Tabla 31-3: Especificaciones técnicas de la pantalla LCD

Tipo	LCD 24X20
Comunicación	I2C
Iluminación	Azul
Caracteres	Blanco
Voltaje de alimentación	5 V
Dimensiones	98x60x24 mm

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Además, estas pantallas LCD cuentan con un módulo I2C que facilitan mucho el cableado ya que permiten el uso del protocolo de comunicación I2C, por ejemplo, conectar un LCD con un Arduino Mega es más sencillo si lo hacemos por este medio ya que la conexión con la placa es más sencilla.

3.7.11 Selección del puente H

Un puente H es un circuito electrónico que se utiliza para controlar la dirección y la velocidad de un motor eléctrico, permitiendo el control bidireccional del motor mediante la inversión de la polaridad y la modulación de ancho de pulso.

Para controlar el movimiento del motor en una dirección determinada, se activan dos de los interruptores electrónicos en una esquina del puente, mientras que los otros dos interruptores en la esquina opuesta se desactivan. Para cambiar la dirección del motor, se desactivan los interruptores activos y se activan los que estaban inactivos.

Se selecciona un puente H TB6612 que es un circuito integrado que se utiliza para controlar motores de corriente continua (DC) de baja potencia. Es uno de los puentes H más populares, debido a su bajo costo, fácil disponibilidad y tamaño compacto.

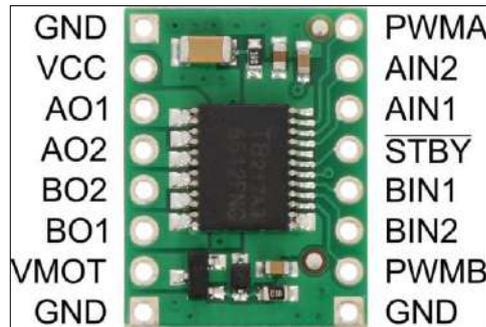


Ilustración 26-3: Puente H TB6612

Fuente: (Electrostore, 2022)

Las características técnicas de este puente H se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 32-3: Características técnicas del puente H TB6612

Tensión de motor recomendada (VMOT)	4,5 V a 13,5 V
Tensión lógica (VCC):	2,7 V a 5,5 V
Corriente de salida máxima:	3 A por canal
Frecuencia pwm máxima:	100 kHz

Fuente: (Electrostore, 2022)

3.7.12 Placa de circuitos

La función principal de la placa de circuitos es mostrar la información del voltaje, amperaje de los paneles solares, del generador y del inversor, fecha y hora mediante una pantalla LCD, además de guardar la información en una memoria microSD para luego traspasar la información a EXCEL para poder realizar las gráficas correspondientes e identificar el comportamiento del voltaje, amperaje y potencia generada y demandada.



Ilustración 27-3: Placa de circuitos

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

A continuación, se muestra una tabla con los elementos que componen la placa de circuitos consta de los siguientes elementos:

Tabla 33-3: Elementos en la placa de circuitos

Cantidad	Elemento
6	Borneras
1	Pantalla LCD
1	Arduino Mega 2560
1	Módulo de reloj RTC
1	Modulo memoria microSD
3	Sensores de corriente ACS712 30A
1	Reductor de voltaje LM 2596
1	Puente H TB 6612
3	Diodos led
1	Interruptor on/off

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Las borneras permiten conectar los cables de una forma ordenada y optimizar el espacio, además son del fácil montaje y mantenimiento.

3.7.13 *Tablero de control*

El gabinete eléctrico es donde se colocan todos los equipos para el sistema fotovoltaico dicho gabinete sirve para el transporte y seguridad de los equipos y componentes eléctricos.

Además, permite el control de la electroválvula mediante dos pulsadores ubicados en la parte lateral derecha del mismo.



Ilustración 28-3: Tablero de control

Fuente: (INSELEC CÍA. LTDA, 2020)

A continuación, se muestra una tabla con los elementos que componen el tablero de control y consta de los siguientes elementos:

Tabla 34-3: Elementos del tablero de control

Cantidad	Elemento
1	Controlador MMPT
1	Placa de circuitos
1	Inversor
1	Tomacorriente
2	Pulsadores
3	Indicadores luminosos
1	Interruptor
1	Arduino Mega 2560
1	Batería solar
1	Braker 3 A
1	Braker 25 A

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.8 Diseño de la microturbina

3.8.1 Determinación del caudal

Para la determinación del caudal se hizo uso de un caudalímetro ultrasónico, el mismo que fue configurado para determinar datos de flujo en la tubería de 1 pulgada, para esto, se colocaron parámetros como el diámetro externo e interno de la tubería, tipo de transductores a utilizar, material de la tubería, entre otros.

Tabla 35-3: Parámetros ingresados en el caudalímetro ultrasónico

Diámetro interno (plg)	1
Diámetro externo (plg)	1.315
Material de tubería	PVC
Revestimiento del material	Sin revestimiento
Tipo de líquido	Agua
Tipo de transductor adaptado de caudalímetro	S1
Método de montaje de transductores	Método V

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con los parámetros anteriormente mencionados ingresados en el caudalímetro se colocaron los transductores en la tubería separados por la distancia recomendada por este, con lo cual se obtuvieron los datos de caudal.

Tabla 36-3: Datos de caudal obtenidos

Caudal máximo (l/s)	0.751
Caudal mínimo (l/s)	0.648
Caudal promedio (l/s)	0.684

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Para el diseño de la microturbina se tomará en cuenta el valor mínimo de caudal obtenido (0.648 l/s) debido a que no se cuenta con un caudal constante, por lo que es aconsejable realizar los cálculos de los parámetros de la microturbina con este dato para asegurar su funcionamiento, ya que, si funciona con un caudal mínimo, también funcionará con un caudal más elevado.

3.8.2 Cálculo del salto neto aprovechable

Para el cálculo del salto neto aprovechable se determinó el salto bruto entre la toma de agua y el punto en donde se realizará la instalación de la turbina mediante la ayuda de un GPS, donde se obtuvo que $H_b = 52 m$, una vez conocido este valor se procedió a calcular las pérdidas por longitud de tubería considerando las reducciones en la misma, mientras que las pérdidas por accesorios serán despreciadas debido a que estas generalmente son pequeñas y no fue posible la obtención de datos de la cantidad de accesorios presentes en la tubería ya que mayor parte de esta se encuentra bajo tierra y no se cuenta con planos de la misma.

Para calcular las pérdidas por longitud de tubería se determinaron tres tramos de tubería con distintos diámetros, cuyos datos de longitud fueron obtenidos mediante la ayuda del GPS.

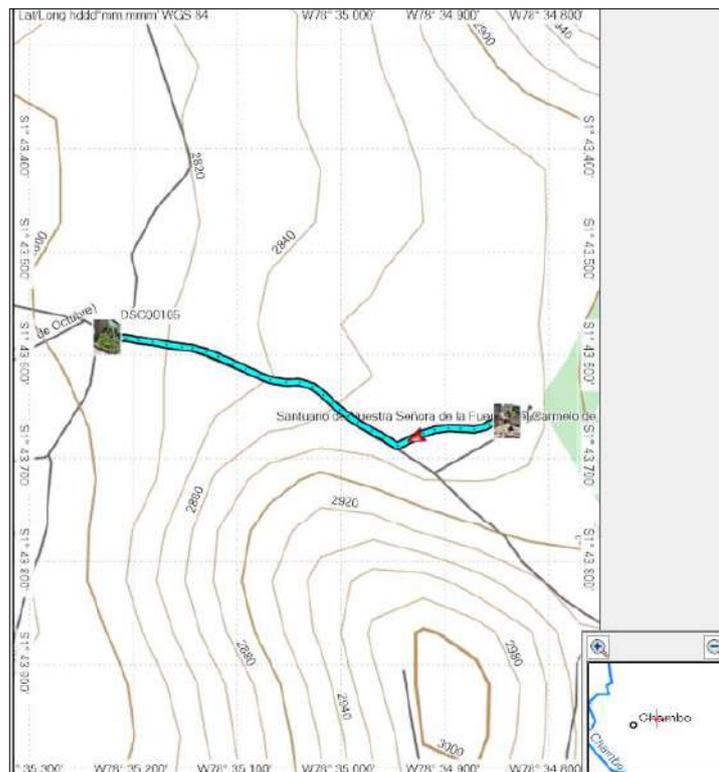


Ilustración 29-3: Tramo recorrido entre el punto A y B

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

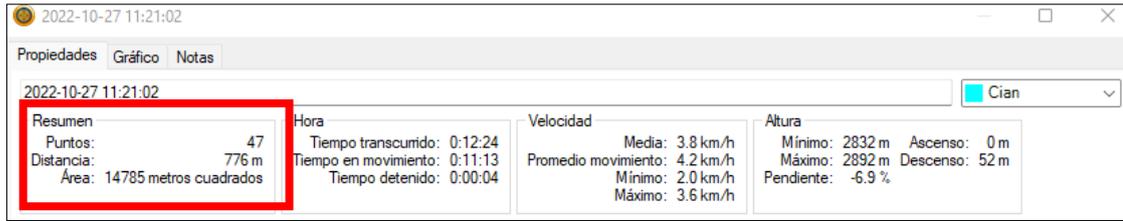


Ilustración 30-3: Datos de longitud y altura obtenidos del dispositivo GPS

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Tabla 37-3: Datos de tramos de tubería

Tramo	Diámetro interno de tubería (plg)	Diámetro interno de tubería (m)	Longitud de tramo (m)
1	2	0.0508	330.36
2	1.5	0.0381	367.28
3	1	0.0254	79
Total			776.64

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Una vez conocido el caudal mínimo se procede a calcular la velocidad media en la tubería mediante la ecuación 3:

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

$$V = \frac{0.000648 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} (0.0508 \text{ m})^2}$$

$$V = 0.3197 \text{ m/s}$$

Con esta velocidad media se calcula el número de Reynolds mediante la ecuación 4 considerando una viscosidad cinemática del agua a temperatura ambiente (20 grados) de $1.02E-6 \text{ m}^2/\text{s}$.

$$R_e = \frac{D \cdot V}{\nu}$$

$$R_e = \frac{(0.0508 \text{ m}) \left(0.3197 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{1.02 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$R_e = 15922.31$$

Luego se requiere obtener el factor de fricción de tubería, el cual se encuentra con la ayuda del diagrama de Moody de pérdida de carga, para esto se debe conocer además del número de Reynolds, la rugosidad relativa, la misma que se encuentra con la ecuación 5, en donde la rugosidad típica del PVC es $k = 1.5 \times 10^{-6}$.

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{K}{D}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} = 2.95 \times 10^{-5}$$

Con estos datos obtenemos el factor de fricción de tubería en el diagrama de Moody.

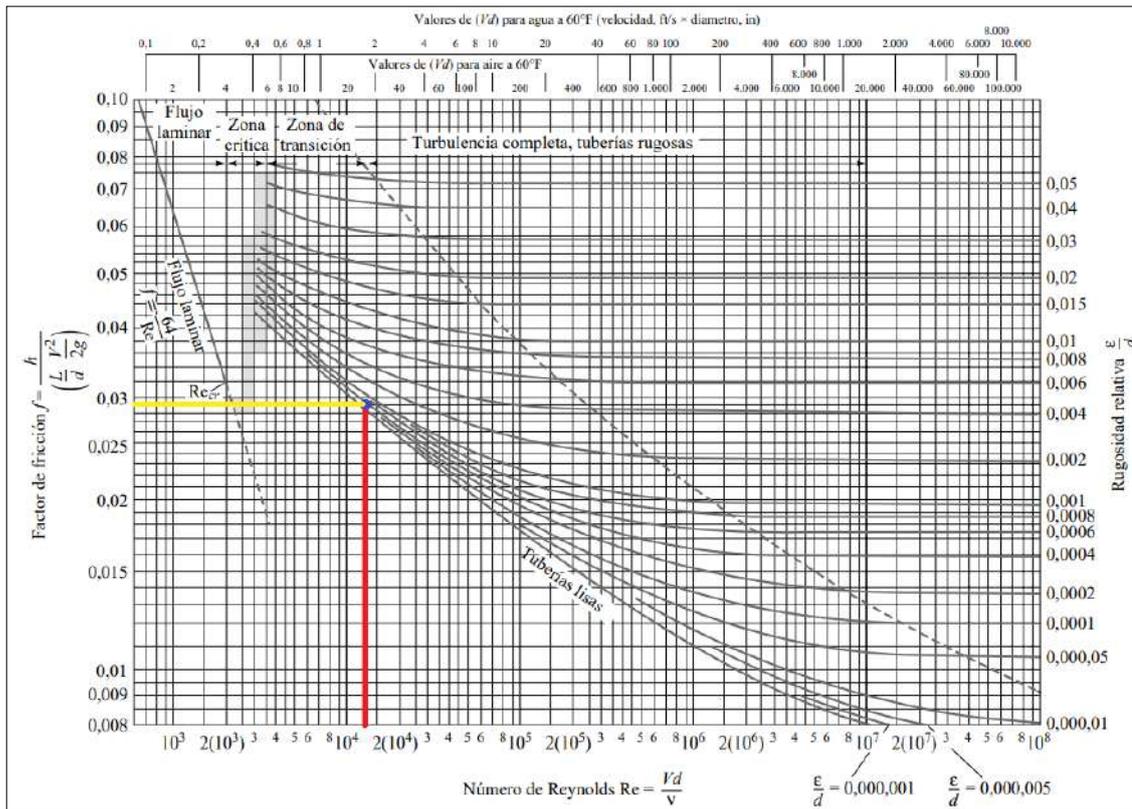


Ilustración 31-3: Cálculo del factor de fricción de tubería mediante el diagrama de Moody

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Lo cual proporciona un valor aproximado de 0.029, sin embargo, este factor se calcula de mejor manera mediante la ecuación 13, generalmente conocida como ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{K}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad (13)$$

Donde:

- f , es el factor de fricción de del material. $[m]$
- K/D , es la rugosidad relativa.
- Re , es el número de Reynolds.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2.95 \times 10^{-5}}{3.7} + \frac{2.51}{(15922.31)\sqrt{f}} \right]$$

Una vez despejado f se obtiene: $f = 0.0275$ m, por lo tanto, este será el valor considerado para el cálculo de pérdidas por longitud de tubería.

Con todos los datos calculados podemos obtener las perdidas por longitud de tubería, usando la ecuación 2.

$$h_f = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$h_f = 0.0275 \text{ m} \left(\frac{330.36 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}}\right) \frac{\left(0.3197 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$h_f = 0.93 \text{ m}$$

El valor de pérdidas por longitud de tubería para el tramo de 2 pulgadas es de 0.93m, se realiza el mismo proceso para los demás tramos con lo cual se obtienen los valores presentados en la siguiente tabla:

Tabla 38-3: Datos de pérdidas por longitud de tubería calculados

Tramo	Velocidad media (m/s)	Número de Reynolds	Rugosidad Relativa	Factor de fricción (m)	Perdida por longitud de tubería (m)
1	0.3197	15922.31	2.95E-5	0.0275	0.93
2	0.5684	21231.41	3.94E-5	0.0256	4.07
3	1.28	31874.51	5.91E-5	0.0233	6.06

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con estos datos calculados se observa que las pérdidas por longitud de tubería totales se calculan con la ecuación 14:

$$h_{f_{total}} = h_{f_1} + h_{f_2} + h_{f_3} \quad (14)$$

$$h_{f_{total}} = (0.93 + 4.07 + 6.06)\text{m}$$

$$h_{f_{total}} = 11.06 \text{ m}$$

La altura de salto neta necesaria para el diseño de la turbina se obtiene del concepto mencionado en el capítulo anterior, por lo tanto, este valor se calcula mediante la ecuación 15:

$$H_n = H_b - (h_{f_{total}} + h_{acc}) \quad (15)$$

$$H_n = (52) \text{ m} - (11.06 + 0) \text{ m}$$

$$\therefore H_n = 40.94 \text{ m}$$

Para calcular la presión a la entrada de la turbina se realiza un balance de energía entre el punto 2 (entrada de agua a la turbina) y el punto 1 (entrada de agua a la tubería de 2 pulgadas), como se puede observar en la ecuación 16, Además se considera la presión en el punto más alto como presión atmosférica ya que en este punto se cuenta con una tapa que es abierta de vez en cuando para realizar algún tipo de mantenimiento o simplemente para ajustar la llave de paso del agua.

$$\frac{P_2}{\delta_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_1}{\delta_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + (h_{f_{total}} + h_{acc}) \quad (16)$$

Donde:

- P_1, P_2 , presión. [Pa]
- Z_1, Z_2 , altura. [m]
- δ , densidad del agua. [1000 kg/m³]
- g , gravedad. [m/s²]
- $h_{f_{total}}$, pérdidas por longitud de tubería totales. [m]
- h_{acc} , pérdidas por accesorios. [m]
- v_1 , velocidad a la entrada de la tubería de 2 pulgadas. [m/s]
- v_2 , velocidad en la tubería de 1 pulgada. [m/s]

Reemplazando los datos conocidos en la ecuación 16 obtenemos:

$$\frac{P_2}{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)} + \frac{(1.28 \text{ m/s})^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)} = \frac{101325 \text{ Pa}}{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)} + \frac{(0.3197 \text{ m/s})^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)} + 52 \text{ m} + (11.06 \text{ m})$$

$$P_2 = 718549.8 \text{ Pa} = 104.22 \text{ psi}$$

La presión medida mediante el manómetro variaba entre 80 y 100 psi en condiciones normales, sin embargo, el dato de presión calculado será considerado para el análisis posterior, ya que se debe considerar la presión máxima.

3.8.3 Selección y velocidad de giro de la turbina

La selección del tipo de turbina para esta aplicación se realizará siguiendo los criterios de selección descritos en el capítulo anterior. Mediante la ecuación 6 se calcula el número específico de revoluciones de caudal, en donde intervienen los datos de caudal y altura neta obtenidos anteriormente.

$$Nq = N \frac{(Q)^{1/2}}{(H)^{3/4}} \quad (6)$$

Sin embargo, para usar esta ecuación se necesita definir la velocidad de rotación de la turbina N, estas revoluciones por minuto se relacionan con el diámetro del rodete, por lo tanto, para las turbinas de tipo Pelton, la velocidad de giro se determina mediante la ecuación 17.

$$N = \frac{84.84 Ku'H^{1/2}}{Dp} \quad (17)$$

Donde:

- N , es el número de revoluciones óptimo de la turbina. [RPM]
- H , es el salto neto aprovechable. [m]
- Dp , es el diámetro de paso del rodete. [m]
- Ku' , es un coeficiente de velocidad de rotación

3.8.3.1 Determinación del coeficiente de velocidad de rotación

El coeficiente de velocidad de rotación Ku' se puede estimar utilizando la ecuación 18.

$$Ku' = 0.49 - 0.0072 \frac{Nq}{i^{1/2}} \quad (18)$$

Donde:

- i , es el número de toberas en la turbina, el cual en este caso estará definido por 1.

Para disminuir el número de variables desconocidas, en primer lugar, se considerará un valor de 44 mm para el diámetro de rodete, el cual posteriormente será recalculado mediante el uso de la ecuación 19.

Se calcula el número específico de revoluciones Nq mediante un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas usando las ecuaciones 6, 17 y 18, de donde se obtienen los valores presentados en la siguiente tabla:

Tabla 39-3: Parámetros de la turbina

Parámetro		valor	unidad
Tipo de turbina	-	Pelton	-
Caudal mínimo	Q	0.000648	m^3/s
Salto neto aprovechable	Hn	40.94	m
Número de toberas	i	1	-
Número específico de revoluciones	Nq	8.329	-
Número de revoluciones óptimo	N	5305.4	rpm
Coefficiente de velocidad de rotación	Ku'	0.43	-

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se obtuvo un valor de velocidad específica Nq de 8.329 lo cual indica que la turbina está dentro del rango de aplicación para turbinas Pelton de una tobera como se indica en la **tabla 5-2** citada en el capítulo anterior, y considerando que se utilizaron ecuaciones para turbinas de tipo Pelton se puede decir que la selección del tipo de turbina es correcta.

3.8.4 Dimensionamiento del Rodete

El diseño de la microturbina está basado en el estudio realizado por (Ramírez, 2018), el cual indica que utilizó un diseño de turbina Pelton modificando su rodete por el de una turbina Michell-Banki argumentando que los álabes de la turbina Pelton, en forma de cuchara dificultan su mecanizado, además considera que para micro generación no es recomendable que el rodete sea complejo, pesado, ni difícil de mecanizar.

Se empieza calculando el diámetro exterior mediante la ecuación 19, dicha ecuación se obtuvo del documento titulado: “Diseño del control de una micro central hidroeléctrica con turbina Michell Banki 213kw” (Proaño, 2019).

$$D_e = 40.62 \frac{K_c \sqrt{H}}{N} \quad (19)$$

Donde

- D_e , es el diámetro exterior. [m]
- K_c , es el coeficiente de velocidad del inyector y varía entre 0,96 y 0,98.

Por lo tanto, considerando un coeficiente K_c de 0.97 calculamos el diámetro externo del rodete:

$$D_e = 40.62 \frac{(0.97)\sqrt{40.94}}{5305.4}$$

$$D_e = 0.0475m \approx 48mm$$

Tanto para turbinas de tipo Pelton como Michell-Banki, la velocidad de agua es la misma a la salida del inyector y al ingreso de agua al rodete. Este chorro que ingresa al rodete se orienta con un ángulo promedio que se denominará α_1 , el mismo que posee valores prácticos alrededor de los 16 grados.(Ramírez, 2018)

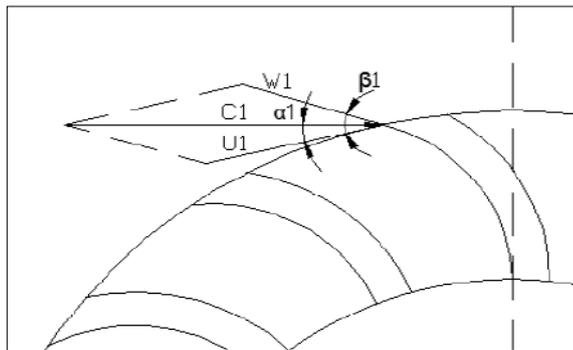


Ilustración 32-3: Perfil de velocidades de un rodete Michell-Banki

Fuente: (Ramírez, 2018)

El ángulo β_1 servirá para calcular el radio de curvatura de los álabes del rodete y este a su vez se encuentra en función del ángulo α_1 por medio de la ecuación 20:

$$\beta_1 = \arcsen \frac{\text{sen } \alpha_1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1}} \quad (20)$$

De donde al variar el valor de α_1 con valores aproximados a 16 grados se obtienen los valores de la siguiente tabla:

Tabla 40-3: Variación de β_1 respecto a α_1

α_1	β_1
16	29.83
16.01	29.99
16.102	30
16.2	30.15
16.4	30.48
16.8	31.12
17	31.44

Fuente: (Ramírez, 2018)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

La geometría de los álabes de una turbina Michell-Banki se determina mediante los ángulos representados en la tabla 39-3 por lo tanto se puede calcular el Diámetro interior del rodete mediante la relación dada por la ecuación 21 obtenida del manual (OLADE, 1980):

$$\frac{D_i}{D_e} = \sqrt{\frac{(2K_u * (\cos^2 \alpha_1) - 1 + \sqrt{1 - 4(\cos^2 \alpha_1)(1 - K_u)K_u})}{2K_u^2 (\cos^2 \alpha_1)}} \quad (21)$$

Tomando en cuenta el diámetro exterior anteriormente considerando de 48 mm y el coeficiente de velocidad tangencial recomendado para turbinas de acción K_u de 0.5 (OLADE, 1980), se obtiene el siguiente valor para el diámetro interno del rodete:

$$\frac{D_i}{0.048m} = \sqrt{\frac{(2 * 0.5 \cos^2(16.102^\circ) - 1) + \sqrt{1 - 4 \cos^2(16.102^\circ)(1 - 0.5) * 0.5}}{2(0.5)^2 \cos^2(16.102^\circ)}}$$

$$\frac{D_i}{0.048m} = 0.659$$

$$D_i = 0.0316 \text{ m}$$

Con estos datos calculados se puede conocer el radio de curvatura de los álabes del rodete mediante la ecuación 22:

$$r = \frac{D_e}{4 \cos^2 \beta_1} \left| 1 - \left| \frac{D_i}{D_e} \right|^2 \right| \quad (22)$$

$$r = \frac{0.048m}{4 \cos^2 30} \left| 1 - \left| \frac{0.0316}{0.048} \right|^2 \right|$$

$$r = 0.00907 \text{ m}$$

El ángulo de curvatura de los alabes se calcula mediante la ecuación 23:

$$\varphi = 2 \text{ arc tg } \left| \frac{\cos^2 \beta_1}{\left| \frac{D_i}{D_e} \right| + \text{sen}^2 \beta_1} \right| \quad (23)$$

$$\varphi = 2 \text{ arc tg } \left| \frac{\cos^2 30}{\left| \frac{0.0316}{0.048} \right| + \text{sen}^2 30} \right|$$

$$\varphi = 79.09^\circ$$

Se puede calcular el diámetro máximo del eje del rodete mediante la relación que se describe en la ecuación 24:

$$d_{max} = 0.325 D_e \quad (24)$$

$$d_{m\acute{a}x} = 0.325 (0.048m)$$

$$d_{m\acute{a}x} = 0.0156m$$

En cuanto al cálculo del número de álabes del rodete se realiza con la ecuación 25:

$$Z = \frac{\pi D_e}{(1.4 \sim 1.6) d_c} \quad (25)$$

Donde

- d_c es el diámetro de chorro. [m]

El cual será el diámetro por el que el fluido ingresará a la turbina, por lo tanto, se realizará una reducción de sección a 16 mm desde 1 pulgada (25.4 mm) con el fin de que aumente la presión del agua al entrar en la turbina y se incremente la energía de impulso, además se considerará un valor intermedio de 1.5 del rango mostrado en la ecuación, por lo cual se tiene que el número de álabes es:

$$Z = \frac{\pi (0.048m)}{(1.5)(0.016m)}$$
$$Z = 6.28 \approx 7$$

3.9 Modelado preliminar de la microturbina.

3.9.1 Modelado de los álabes.

La siguiente figura muestra los álabes de la microturbina modelados en el software SolidWorks, los mismos que han sido diseñados de acuerdo con los cálculos anteriormente realizados, se observa la configuración del elemento, el cual tiene por objetivo permitir que la energía mecánica producida por el flujo de agua sea transformada en energía eléctrica mediante el acople de este al generador por medio de un eje transversal fijo. Se representan dos vistas del elemento para mejor interpretación, se observan los alabes de la turbina montados sobre un cilindro hueco con un orificio pasante en su parte lateral que servirá para acoplarlo a presión sobre el eje mediante tornillos (2.5 mm de diámetro).

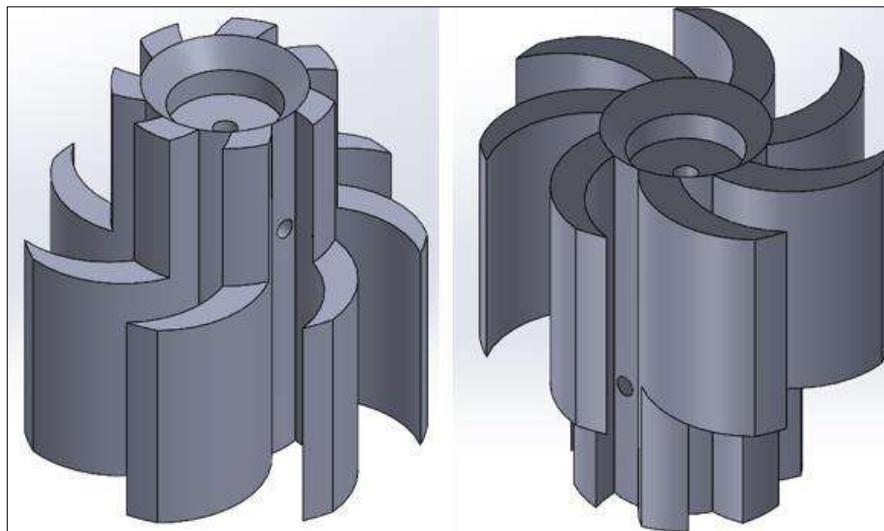


Ilustración 33-3: Modelado 3D de los álabes de la microturbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.9.2 Modelado del eje.

Los álabes de la microturbina serán montados sobre un eje fijo, el cual estará sujeto a la carcasa. Dicho eje será fijado tanto a los alabes como al acople mecánico ejerciendo presión en el mismo mediante tornillos a través de los orificios de los elementos mencionados, lo cual permitirá la transmisión de la potencia generada por el flujo de agua en los alabes hacia el generador de la microturbina.

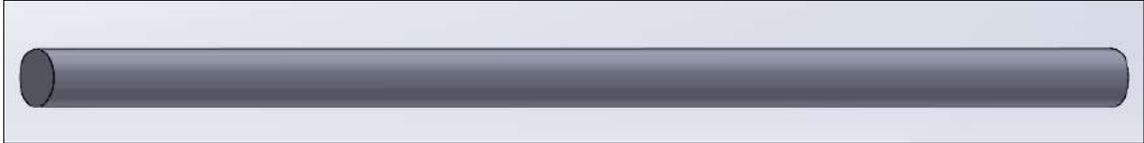


Ilustración 34-3: Modelado 3D del eje fijo

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.9.3 Modelado del retenedor y el acople mecánico.

El retenedor es una pieza fundamental en el funcionamiento de la microturbina, ya que, gracias al mismo, se impedirá que el agua que fluya por la microturbina pueda pasar a la parte superior produciendo fugas de agua y posibles daños en los elementos eléctricos.

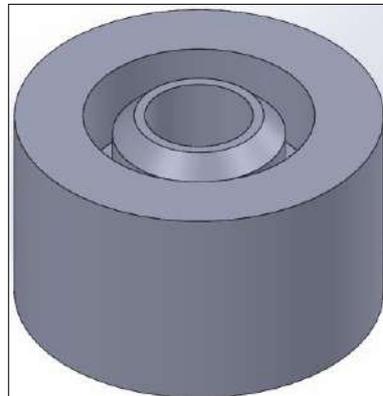


Ilustración 35-3: Modelado 3D del retenedor

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

El acople mecánico es el elemento mediante el cual se permite que la potencia generada por el flujo de agua en los alabes sea transmitida hacia el eje del generador, con lo cual se hace posible la conversión de energía mecánica en energía eléctrica, cuenta con dos orificios por los que pasaran tornillos (2 mm de diámetro) sujetando a presión tanto el eje fijo como el eje del generador.

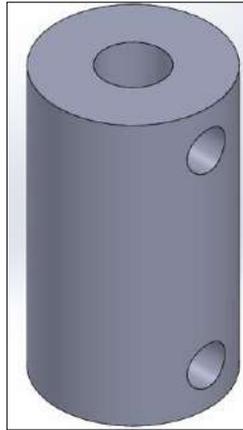


Ilustración 36-3: Modelado 3D del acople mecánico

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.9.4 Modelado de la carcasa de la microturbina.

El diseño de la carcasa está contemplado considerando que a través de ella fluirá agua, generando energía a través del rodete, por lo que debe permitir el paso normal del líquido a través de la tubería, a la vez que no debe permitir el paso de líquido hacia los elementos eléctricos de la microturbina.

3.9.4.1 Modelado de la parte inferior de la carcasa de la microturbina.

La parte inferior de la carcasa está diseñada de forma que se acople fácilmente mediante tornillos (4 mm de diámetro) a la carcasa superior de la microturbina, creando una pequeña cámara interna que contendrá a los elementos encargados de generar la energía necesitada.

Se puede observar un cilindro con una perforación incompleta en la mitad de la parte inferior interna de la carcasa, la misma que servirá para sujetar al buje por el cual pasará el eje fijo, además se puede observar la salida del agua que será conectada a la tubería.

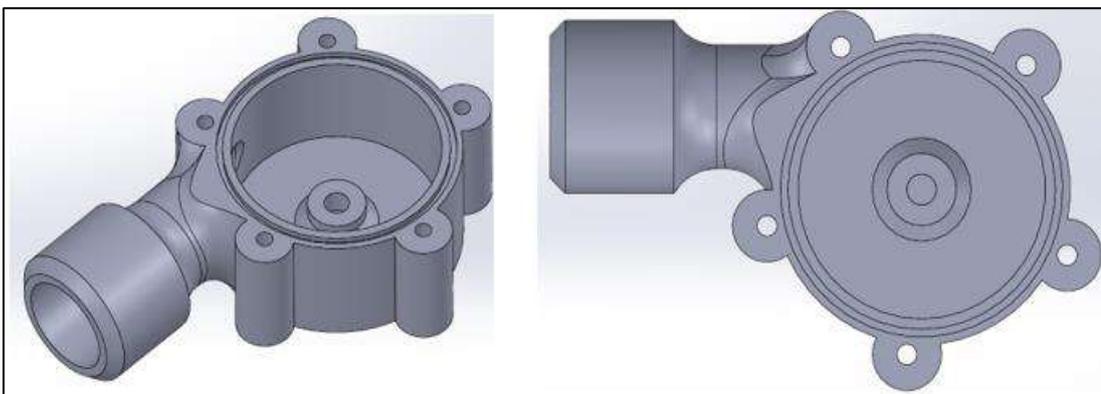


Ilustración 37-3: Modelado 3D de la carcasa inferior de la microturbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.9.4.2 Modelado de la parte superior de la carcasa de la microturbina.

La carcasa superior está diseñada de modo que se complemente con la parte inferior de la misma, en la parte inferior cuenta con el cilindro hueco en donde estará ubicado el buje por el que pasará el eje, en la parte superior de esta carcasa se encuentra un agujero por el que pasará el eje fijo a

través del retenedor, el cual evitará que ingrese agua a la parte superior, luego se aprecia un espacio en el cual estará ubicado el acople mecánico que transmitirá la potencia del eje fijo al eje del generador, seguidamente se aprecia el espacio en el que se ubicará el generador, además se puede apreciar la entrada del fluido que de igual manera será conectada a la tubería.

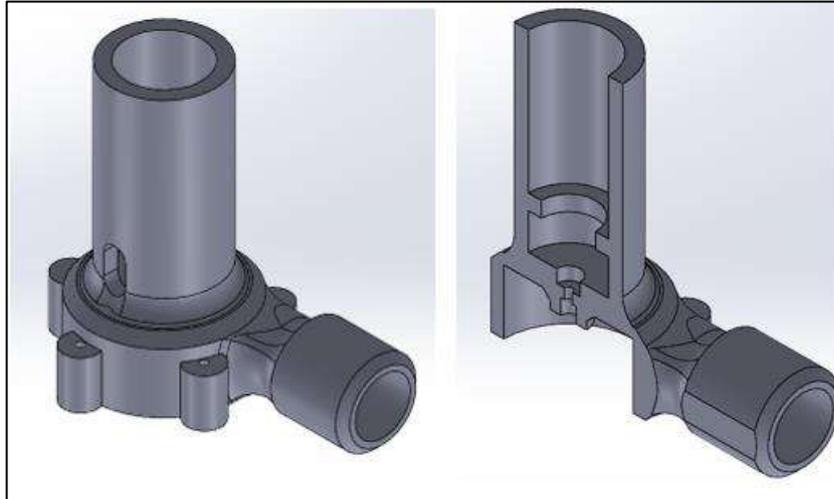


Ilustración 38-3: Modelado 3D de la carcasa superior de la microturbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

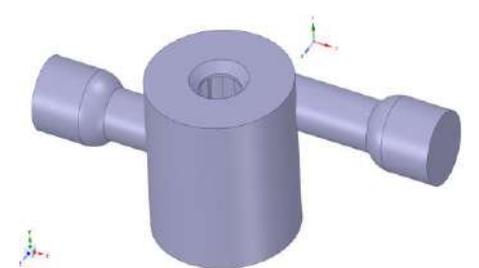
3.10 Validación de la geometría.

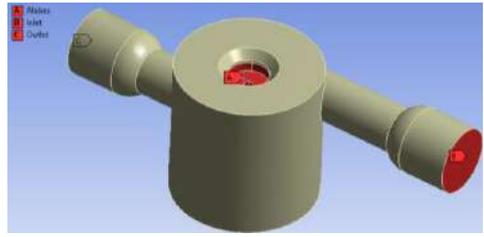
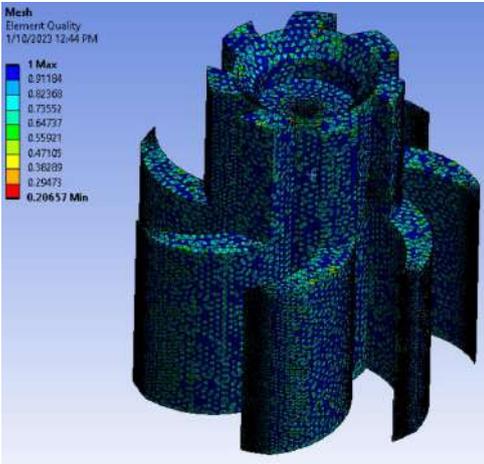
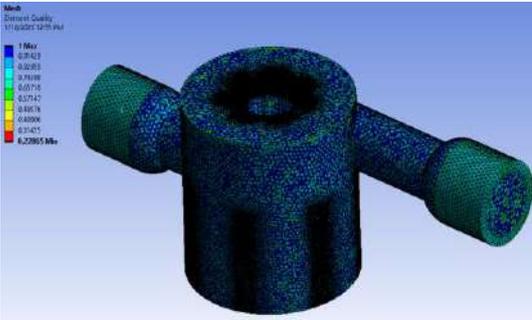
3.10.1 Análisis CFD.

CFD significa "Dinámica de Fluidos Computacional" y se refiere a una técnica numérica utilizada para resolver ecuaciones matemáticas que describen el movimiento de fluidos y gases en diferentes entornos. Las ecuaciones matemáticas que describen el flujo del fluido se discretizan y se resuelven en cada uno de estos elementos finitos. Se pueden aplicar diferentes condiciones de contorno para simular el comportamiento del fluido en diferentes situaciones.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se realiza el análisis CFD y MEF mediante el programa ANSYS, primeramente, se debe definir el volumen de control del sistema, para lo cual, se usa la herramienta SpaceClaim, con la misma que se define el volumen por el que pasará el fluido dentro del modelado anteriormente realizado. Las condiciones de mallado realizadas se muestran a continuación:

Tabla 41-3: Parámetros de malla del volumen de control (CFD)

	Volumen de Control	Volume/Volume	
GEOMETRÍA	Material	Fluido	

CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA	Entrada	Inlet		
	Salida	Outlet		
	Álabes	Alabes		
CONTROL DE MALLA	Álabes			
	Tipo de Malla	Body Sizing		
	Tamaño	1 mm		
	Material	Solid		
	Volume/Volume			
	Tipo de Malla	Body Sizing		
	Tamaño	1,25 mm		
	Tipo de Malla	Inflation		
	Transition Ratio	0,5 mm		
	Maximum Layers	4		
Growth Rate	1 mm			
DETALLE DE MALLADO	Sizing		Statistics	
	Relevance Center	Coarse	Mesh Metric	Skewness
	Smoothing	High	Average Skewness	0,21246
	Transition	Slow	Nodes	139285
	Span angle center	Fine	Elements	686910

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

El mallado que se realizó contiene en su composición dos cuerpos, el volumen de control se describe como "Volume" y los alabes de la turbina descritos como "Álabes", la razón por la que se analizan los dos cuerpos se debe a la interpretación de fuerzas resultantes, ya que al realizar un análisis tomando en cuenta solo el volumen de control, no se apreciarían correctamente las fuerzas ejercidas sobre los álabes de la microturbina, por lo tanto es necesario considerar este sólido para poder observar el perfil de presiones sobre los elementos requeridos.

El mallado corresponde a la configuración ‘‘Body Sizing’’, este método se refiere a un mallado complejo que permite obtener mucha precisión en análisis con fluidos ya que el tamaño de los cuerpos geométricos que controlan el nivel de refinamiento de malla es reducido de gran manera, con lo cual se descarta la necesidad de descomponer el cuerpo en subregiones considerablemente más complejas.

En la tabla 40-3 se muestra un valor promedio del tamaño de los elementos finitos (‘‘Average Skewness’’) de 0.21246, lo cual para una métrica de malla (‘‘Mesh metric’’) de tipo ‘‘Skewness’’ se recomienda que sea menor a 25%, por lo que se considera que el resultado final es aceptable.

Una vez realizado el mallado se deben definir los valores de las variables físicas tanto en la entrada (‘‘Inlet’’) como en la salida (‘‘Outlet’’), para este caso la velocidad y presión máximas respectivamente calculadas en la sección 3.8.2 para las condiciones más críticas como se observa a continuación:

Tabla 42-3: Condiciones de trabajo para simulación

CONDICIONES DE TRABAJO			
GENERAL	Malla	Check	
	Tipo	Pressure-Based	
	Tiempo	Steady	
	Gravedad	9,81	
MODELO	Turbulence	Viscous-Realizable k-epsilon, Standard wall	
MATERIAL	Tipo	Agua	
CELL ZONE CONDITIONS	Volume/Volume	Water/Liquid	
	Alabes	Solid	
BOUNDARY CONDITIONS	Inlet	Velocidad	1,48 m/s
	Outlet	Presión Relativa	718549,8 Pa
METODO DE SOLUCIÓN	Scheme	Simple	
	Pressure	Second Order	
	Turbulence kinetic energy	Second Order Upwind	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con estos parámetros definidos en el menú de Setup, se procede a inicializar las soluciones, con lo cual se mostrarán los resultados de las trayectorias del fluido internamente en la microturbina, así como los contornos de presión en la misma, como se muestra a continuación:

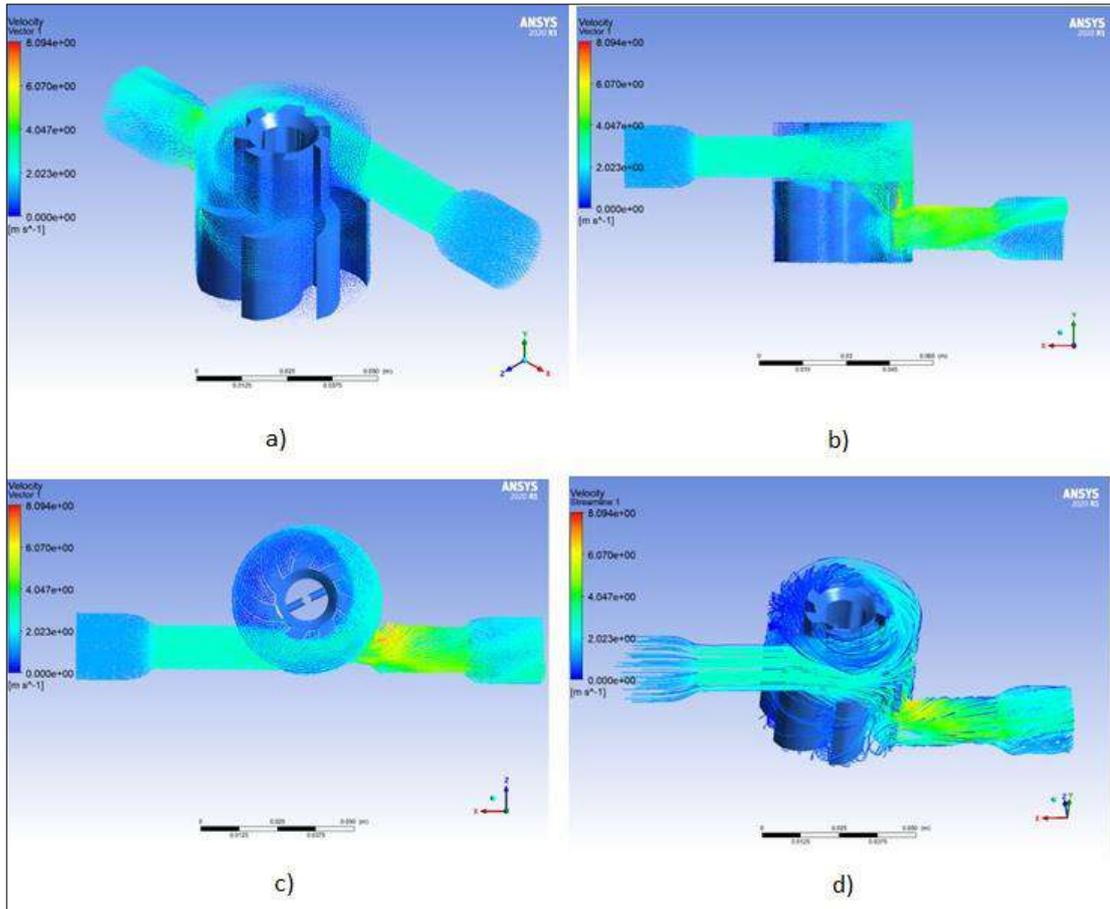


Ilustración 39-3: Velocidad vectorial en la microturbina: a) isométrica, b) posterior, c) superior, d) Líneas de flujo en el control de volumen

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Esta simulación nos muestra los valores de la velocidad y el trayecto del fluido, se puede observar que las velocidades más altas se encuentran a la salida de la microturbina, con lo cual se conoce que esta zona es en la que pueden ocurrir grandes esfuerzos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del contorno de presión en la microturbina:

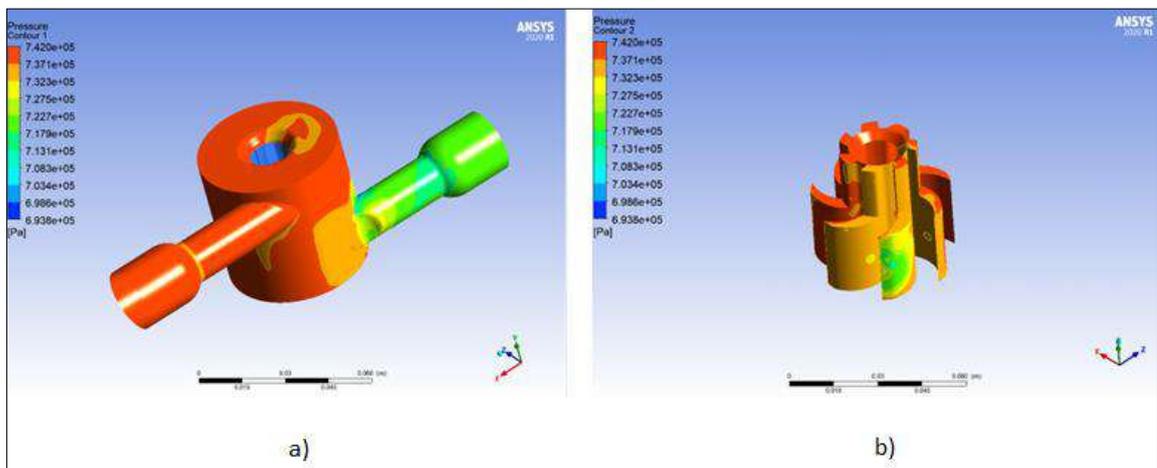


Ilustración 40-3: Perfil de presión: a) Carcasa, b) Álabes

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se puede observar que existe mucha presión sobre la carcasa y álabes de la turbina, sin embargo, se tendrá que analizar el factor de seguridad obtenido mediante la simulación MEF para conocer si el diseño se encuentra dentro de lo aceptable.

También se obtienen los valores de fuerzas en los cuerpos a partir del análisis que servirán para el análisis MEF, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 43-3: Fuerzas resultantes

LOCACIÓN	TIPO	X	Y	Z
Fluid Solid Interface	Pressure Force	-1.9852001	-0.05757255	3.898363
	Viscous Force	-0.18703799	-0.07685338	0.02962661
	Total Force	-2.17223809	-0.13442593	3.92798961
	Pressure Torque	-3.989771	5.7841663	5.7303283
	Viscous Torque	-0.09901779	0.20702494	-0.10741899
	Total Torque	-4.08878879	5.99119124	5.62290931

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

3.10.2 *Análisis MEF*

3.10.2.1 *Análisis MEF en los álabes de la microturbina*

Se debe justificar la configuración del modelado y validar sus dimensiones mediante un análisis MEF, el cual nos servirá para comprobar si los esfuerzos presentes en la turbina serán resistidos por el material seleccionado, esto se verificará comprobando el factor de seguridad del diseño.

El material con el que se propone fabricar la turbina es el “PETG”, el mismo que debe Su aparición a la combinación del PET con glicol, mejorando de esta manera las propiedades del PET con un proceso de glicolizado. Este material posee características ideales para crear piezas resistentes y fáciles de extruir.(filament2print, 2019)

La base de datos de materiales es limitada en el programa, por lo que se procede a introducir las propiedades de este material manualmente.

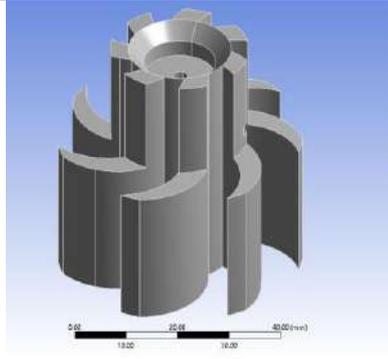
PROPERTY	METRIC	UNITS	ENGLISH	UNITS
General				
Density	1.26e3 - 1.28e3	kg/m ³	0.0455 - 0.0462	lb/in ³
Mechanical				
Yield Strength	4.79e7 - 5.29e7	Pa	6.95 - 7.67	ksi
Tensile Strength	6e7 - 6.6e7	Pa	8.7 - 9.57	ksi
Elongation	1.02 - 1.18	% strain	102 - 118	% strain
Hardness (Vickers)	1.41e8 - 1.56e8	Pa	14.4 - 15.9	HV
Impact Strength (un-notched)	1.9e5 - 2e5	J/m ²	90.4 - 95.2	ft.lbf/in ²
Fracture Toughness	2.11e6 - 2.54e6	Pa/m ^{0.5}	1.92 - 2.31	ksi/in ^{0.5}
Young's Modulus	2.01e9 - 2.11e9	Pa	0.292 - 0.306	10 ⁶ psi

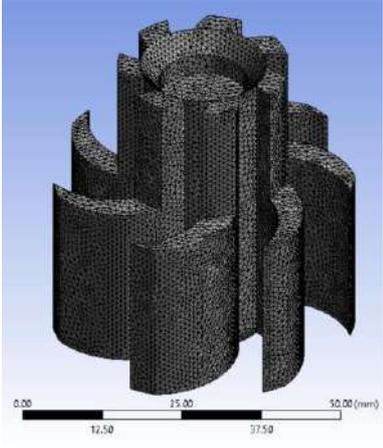
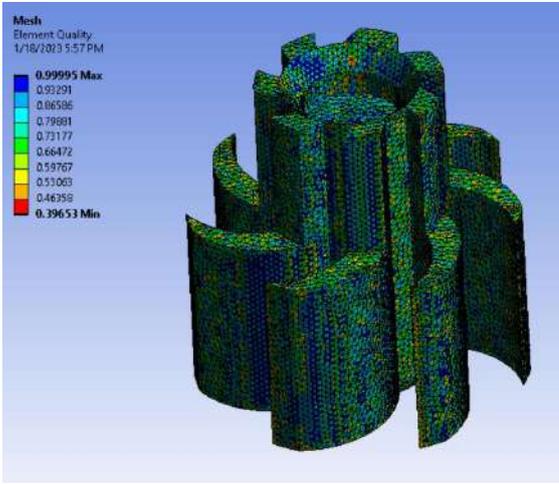
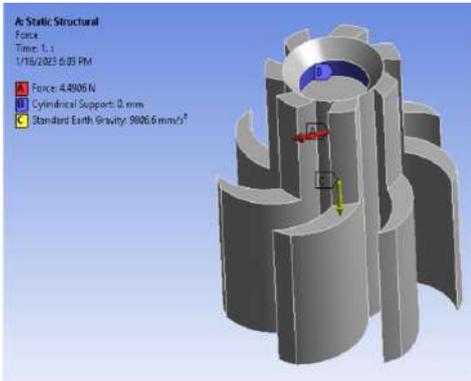
Ilustración 41-3: Propiedades mecánicas del PETG

Fuente: (Dielectric Manufacturing, 2019)

El análisis estructural se realizó mediante la herramienta “Static Structural”, al igual que en el análisis CFD, se debe partir desde el mallado del elemento, con lo que posteriormente se definen las debidas restricciones y se introducen los valores de las fuerzas, las cuales fueron obtenidas de en el análisis anterior como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 44-3: Parámetros de mallado de los álabes de la microturbina para el análisis MEF

GEOMETRÍA	Volumen de Control	Volume/Volumen	
	Material	PETG	
CONTROL DE MALLA	Tipo de Malla	Body Sizing	
	Element size	1 mm	

	Tetrahedrons	Patch Independent		
DETALLE DE MALLADO	Sizing		Statistics	
	Relevance Center	Fine	Mesh Metric	Element Quality
	Smoothing	High	Min	0,39653
	Transition	Slow	Max	0,99995
	Span angle center	Fine	Average	0,87942
				
CARGAS Y RESTRICCIONES	Standard Earth Gravity C	$y = -9,81 \text{ m/s}^2$		
	Cylindrical Support B	Radial: Fixed Axial: Fixed Tangential: Fixed		
	Force A	$x = -2,172238 \text{ N}$ $y = -0,134425 \text{ N}$ $z = 3.9279896 \text{ N}$		

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

A continuación, se observan los resultados del análisis MEF sobre los álabes de la microturbina obtenidos del programa:

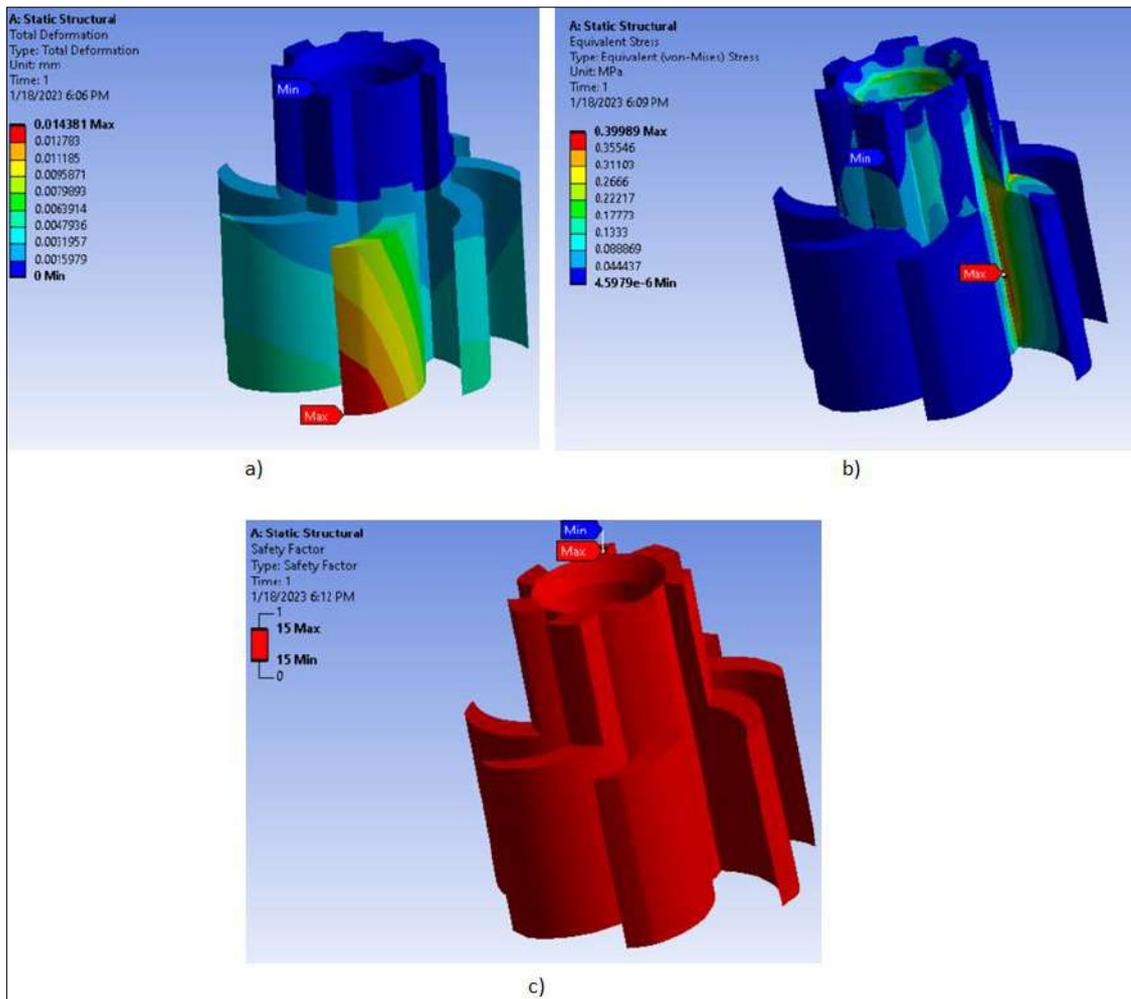


Ilustración 42-3: Resultados en los álabes: a) Deformación total, b) Esfuerzo equivalente (Von-Mises), c) Factor de seguridad

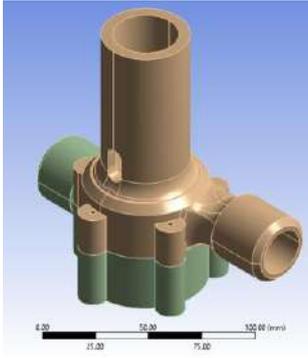
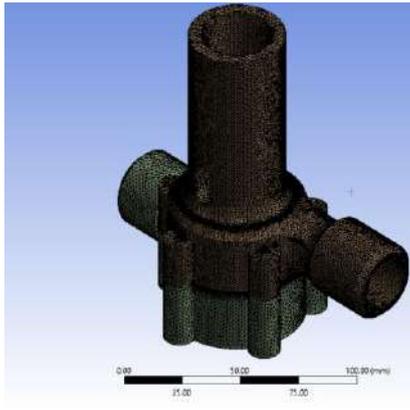
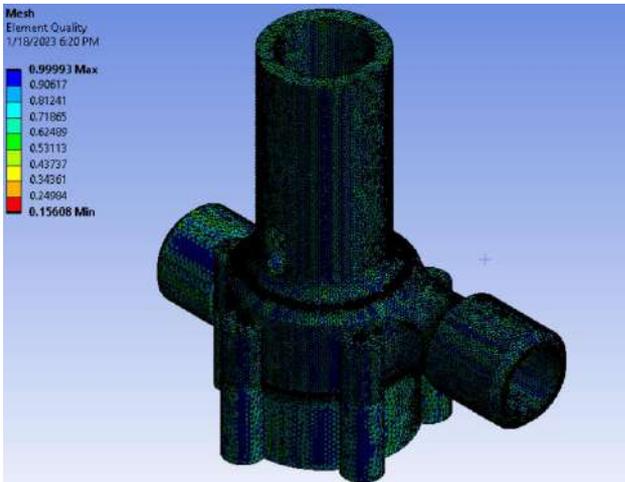
Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

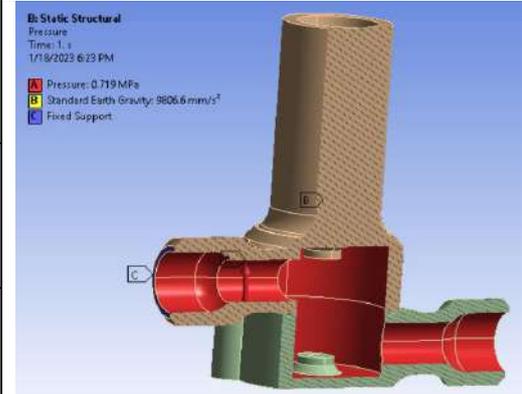
Se puede observar que el factor de seguridad obtenido para los álabes de la microturbina es elevado (mayor a 15), con lo que se puede interpretar que este elemento fabricado de PETG tendrá una larga vida útil, por otro lado, también se puede interpretar este resultado como que el elemento se encuentra sobredimensionado, sin embargo, se deben interpretar también los resultados que se obtendrán del análisis MEF de la carcasa para poder decidir si se debe rediseñar el elemento.

3.10.2.2 Análisis MEF en la carcasa de la microturbina

El análisis MEF realizado en la carcasa de la microturbina, se hizo de manera similar al de los álabes, en este caso se realiza el mallado y se definen los parámetros de presión anteriormente calculados, así como las restricciones necesarias, como se muestra a continuación:

Tabla 45-3: Parámetros de mallado de la carcasa de la microturbina para el análisis MEF

GEOMETRÍA	Carcasa inferior de la Turbina	Carcasa superior de la Turbina		
	Material	PETG		
CONTROL DE MALLA	Tipo de Malla	Body Sizing		
	Element size	2 mm		
	Tetrahedrons	Patch Independent		
DETALLE DE MALLADO	Sizing		Statistics	
	Size Function	Proximity and Curvature	Mesh Metric	Element Quality
	Smoothing	High	Min	0.23608
	Transition	Slow	Max	0.99993
	Span angle center	Fine	Average	0.83142
				

CARGAS Y RESTRICCI ONES	Standard Earth Gravity C	$y = -9,81$ m/s ²	
	Fixed Support B	2 Faces	
	Pressure A	0,719 MPa	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con estos parámetros definidos se realiza la simulación, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

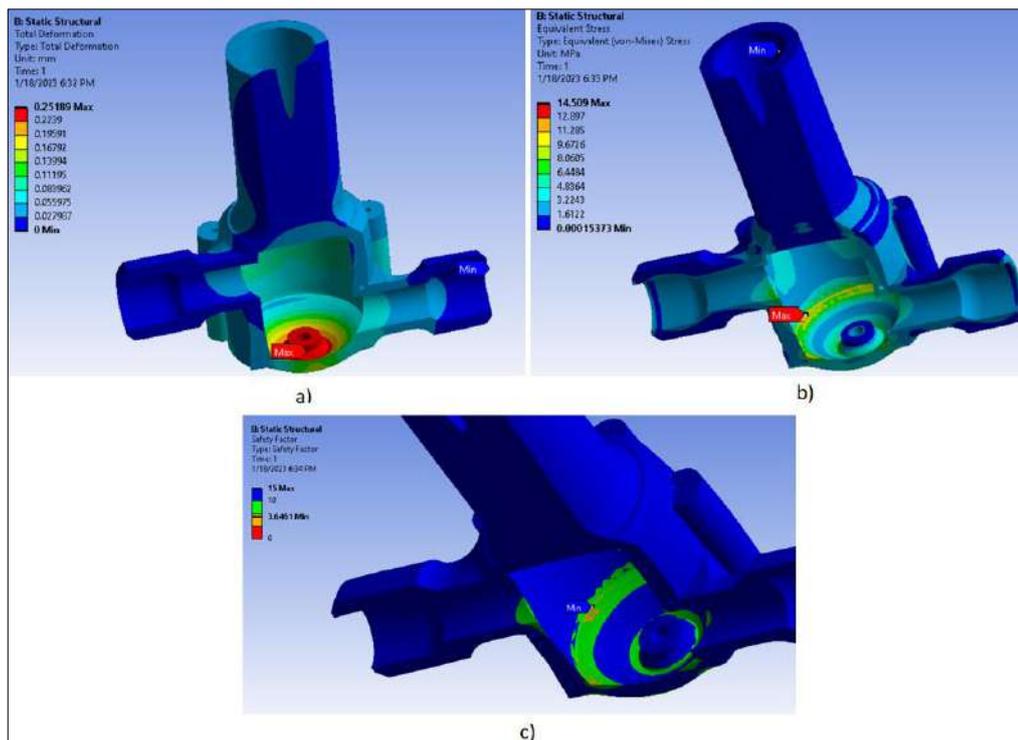


Ilustración 43-3: Resultados en la carcasa: a) Deformación total, b) Esfuerzo equivalente (Von-Mises), c) Factor de seguridad

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se observa que el factor de seguridad obtenido en la carcasa es de 3.65 por lo que se puede decir que este elemento fabricado de PETG, resistirá todos los esfuerzos generados en su interior, por lo que no se presentará falla en el mismo trabajando en las condiciones más críticas, por lo que se puede decir que el diseño es aceptable, además considerando que esta geometría fue diseñada de modo que los álabes puedan caber en su interior para realizar su función sin obstrucciones, se determina que modificarla podría causar que su factor de seguridad se vea afectado de manera negativa, por lo que se opta por esta geometría y material para fabricar la microturbina.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Construcción de la microturbina

Una vez realizado el proceso de diseño CAD con su respectiva validación de resultados comprobando su resistencia con la obtención del factor de seguridad en el capítulo anterior, se procede a la fabricación de los componentes necesarios para ensamblar la microturbina, la siguiente tabla indica los componentes y el método de obtención de estos:

Tabla 1-4: Tipo de fabricación u obtención de componentes de la microturbina

Cantidad	Componente	Fabricación u obtención	Representación
1	Álabes de la microturbina	Impresión 3D	
1	Parte superior de la carcasa de la microturbina	Impresión 3D	
1	Parte inferior de la carcasa de la microturbina	Impresión 3D	
1	Eje fijo	Mecanizado	

1	Retenedor	Compra	
1	Acople	Compra	
1	Generador	Compra	
2	Bujes	Compra	
8	Tornillos	Compra	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.1.1 Impresión 3D de componentes

Los alabes y las dos partes que conforman la carcasa de la microturbina serán extruidos por medio de la impresión 3D, el cual es un proceso es un proceso de fabricación con el que se crean objetos físicos a partir de archivos de modelos 3D previamente realizados. Esta tecnología forma objetos completos agregando capa sobre capa de material. El modelo de impresora con el que se

extruyeron estos componentes es la **Artillery Sidewinder X1** como se puede observar a continuación:



Ilustración 1-4: Impresora 3D Artillery Sidewinder X1

Fuente: (ARTILLERY 3D, 2022)

Con los modelos obtenidos del capítulo anterior se procede a llevar a cabo la extrusión de estos en la impresora. Tomó alrededor de 10 horas en completar la fabricación de los tres elementos principales de la microturbina, a continuación, se observan los componentes mientras son extruidos:

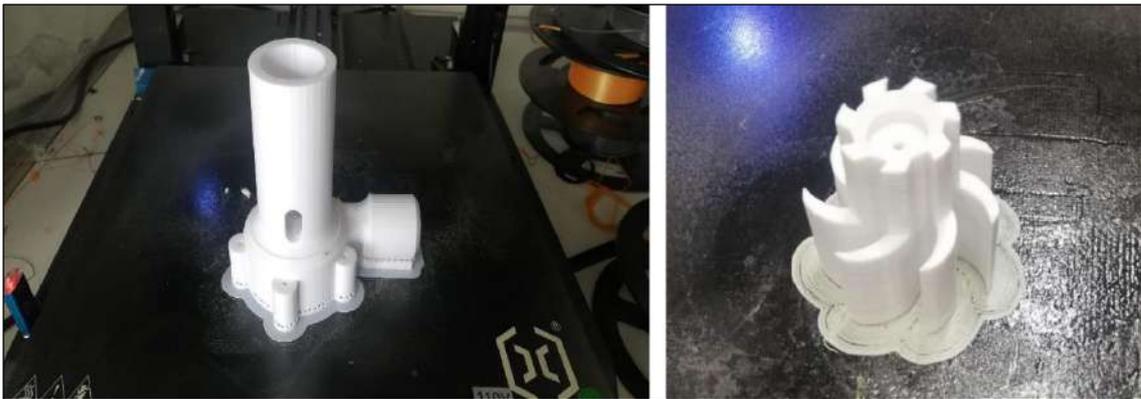


Ilustración 2-4: Componentes de la microturbina siendo extruidos con impresión 3D

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.1.2 Mecanizado del eje fijo

Para la mecanización del eje se tomó en consideración la condición de trabajo a la que será sometido este elemento, la cual consiste en que trabajará dentro del agua, por lo que se requieren propiedades anticorrosivas. Debido a la consideración explicada anteriormente, se ha considerado que el material para el eje fijo será de acero inoxidable, ya que gracias a su alto contenido de cromo permite obtener una alta resistencia a la corrosión, en este caso se ha seleccionado un acero inoxidable AISI 304, el cual consta de las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 2-4: Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304

Límite de fluencia (MPa)	234.7
Resistencia máxima (MPa)	573.6
Dureza (HV)	190

Fuente:(Suárez, Suárez y Contreras, 2001)

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con el material seleccionado, se adquirió una barra de acero inoxidable AISI 304, la misma que contaba con un diámetro de 1/8 de pulgada (3.175 mm) y una longitud de 500 mm. Una vez obtenido este eje, se procede a cortarlo a la longitud diseñada (67 mm) con la ayuda de una esmeriladora, seguidamente se procede a quitar el exceso de material del eje con una lija número 1000 hasta lograr obtener un diámetro de 3 mm.



Ilustración 3-4: Barra de acero inoxidable AISI 304

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.1.3 Selección de motor DC como generador

Es posible usar un motor de corriente continua (DC) para micro generación hidráulica. En este caso, el motor DC actúa como un generador eléctrico, convirtiendo la energía mecánica del agua en energía eléctrica.

En este caso se busca alcanzar 12V (DC) debido a que es el valor con el que funciona la electroválvula seleccionada en el apartado 3.6.4, por lo tanto, se selecciona un motor DC de 12 V, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 3-4: Características técnicas del generador

Voltaje de funcionamiento	DC 6-12 V
Corriente	0.2 A
Velocidad	2000 RPM a 6V, 5000 RPM a 12V

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con este generador se realizarán pruebas de funcionamiento de la microturbina para comprobar si la selección de este elemento es correcta o debe ser seleccionado nuevamente.

4.1.4 *Ensamble de la microturbina*

Primero se fijan los bujes en las ranuras creadas tanto en la parte inferior como superior de la carcasa y se aplica un poco de grasa para facilitar la rotación del eje que será colocado posteriormente.



Ilustración 4-4: Fijación de bujes en la carcasa

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Luego se fija el retenedor en la parte superior de la carcasa para evitar fugas de agua hacia la parte superior de la microturbina.



Ilustración 5-4: Fijación del retenedor en la carcasa superior de la microturbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se fija el eje en el orificio central de los álabes de la turbina y se fija a presión mediante tornillos.

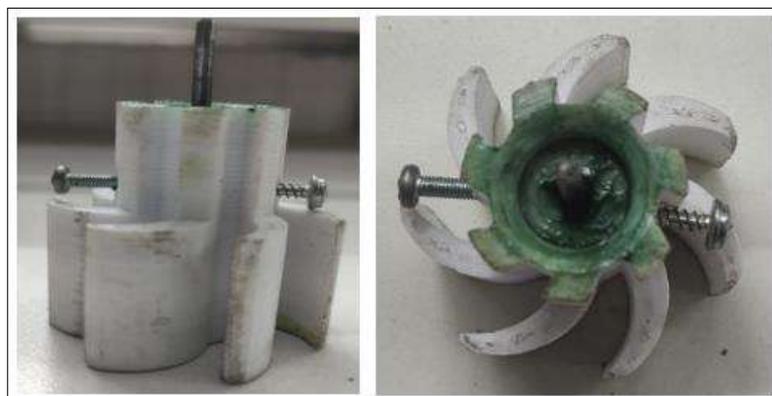


Ilustración 6-4: Fijación del eje en los alabes de la turbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se monta el eje sobre el buje fijado en la carcasa inferior y se coloca la carcasa superior dejando pasar el eje por el orificio creado para este fin.

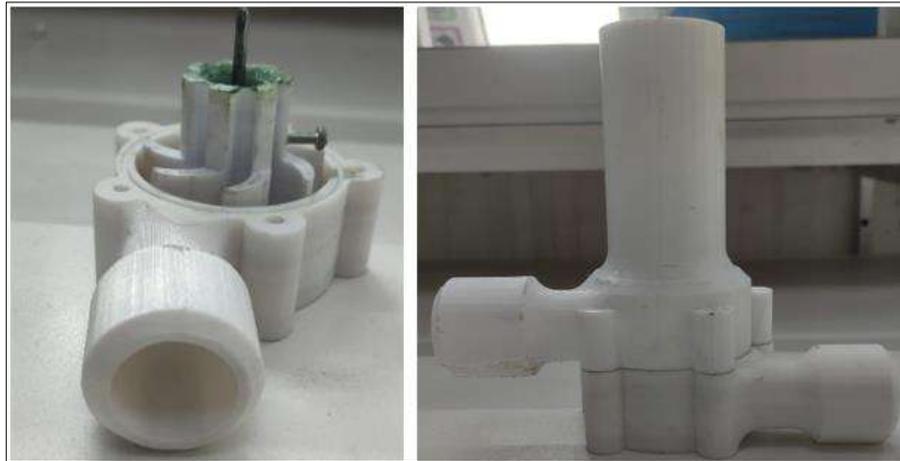


Ilustración 7-4: Montaje de álabes sobre la carcasa

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se coloca el acople y se fija al eje del generador para posteriormente ser fijado al eje fijo, esto se hace mediante la ranura que se ha realizado en la parte lateral de la carcasa superior de la microturbina.



Ilustración 8-4: Fijación del acople al eje del generador

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Una vez fijados los ejes a través del acople se realiza la fijación de las dos partes de la carcasa mediante pernos y por último se sueldan los cables a las terminales positiva y negativa del generador.



Ilustración 9-4: Soldadura de cables a las terminales del generador

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.2 Diagramas de conexiones eléctricas

4.2.1 Conexión de los paneles solares a la batería

La terminal negativa del panel solar se conecta en serie con el sensor ACS712, el cual permitirá al Arduino medir la corriente generada por los paneles solares mediante su conexión con el Pin A4, luego se continúa la conexión hacia la batería.

Por otro lado, en la parte positiva del panel solar se conectará un divisor de voltaje con la ayuda de dos resistencias, este divisor permitirá que ingrese un valor de voltaje menor a 5 voltios hacia el Arduino, evitando así provocar daños en el mismo con un exceso de voltaje, luego mediante la programación del Arduino se realizará una regla de tres que permitirá saber el valor del voltaje real producido por el panel, también se conecta una Led que nos permitirá saber que la conexión se realizó correctamente, indicando mediante la luz emitida, que el voltaje está ingresando hacia el Arduino.

El sensor ACS712 cuenta con tres terminales, la primera es la negativa, la misma que se conecta a la terminal de tierra en el Arduino, la segunda envía la señal al Arduino y la tercera es la positiva que se conectará a la terminal 5v del Arduino.

Cabe destacar que todas las conexiones a tierra que se observan en los distintos diagramas son conectadas a la misma terminal de tierra en el Arduino, al igual que las conexiones 5v.

La conexión anteriormente descrita se puede visualizar a en la ilustración 10-4.

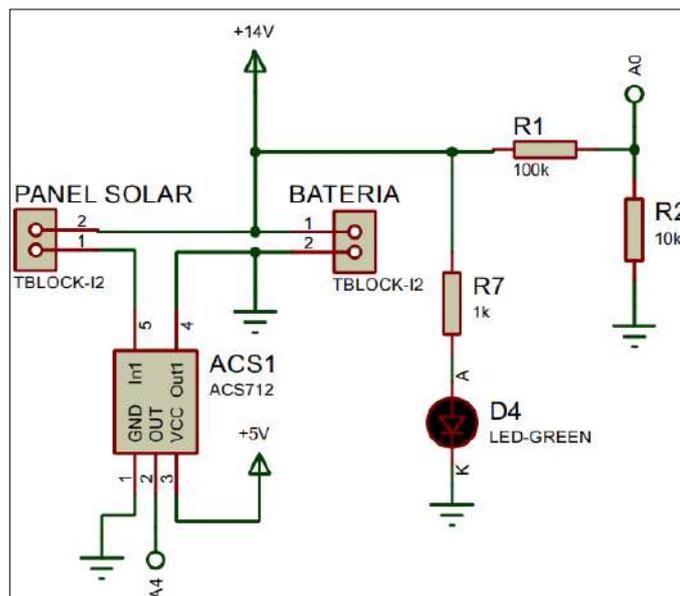


Ilustración 10-4: Diagrama de conexión de los paneles solares

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.2.2 Conexión de la microturbina

La conexión de la microturbina es similar a la conexión de los paneles, es decir, en su parte negativa se conecta un sensor ACS712 que permitirá conocer la corriente obtenida del micro generador a través de su conexión al Arduino mediante el Pin A3, sin embargo, la energía

generada por el micro generador será la fuente de alimentación de la electroválvula, por lo tanto el polo positivo se conectará a un puente H que permitirá el control del motor de la misma, además debido a que el generador variará sus valores de voltaje debido al caudal variable en la tubería, se conecta un capacitor en paralelo con la finalidad de tratar de obtener un valor de voltaje más constante, se cuenta también con un divisor de voltaje para medir el voltaje y a su vez precautelar el funcionamiento del Arduino, y su respectiva LED que indicará si la conexión y el funcionamiento son los adecuados. La conexión descrita se muestra a continuación:

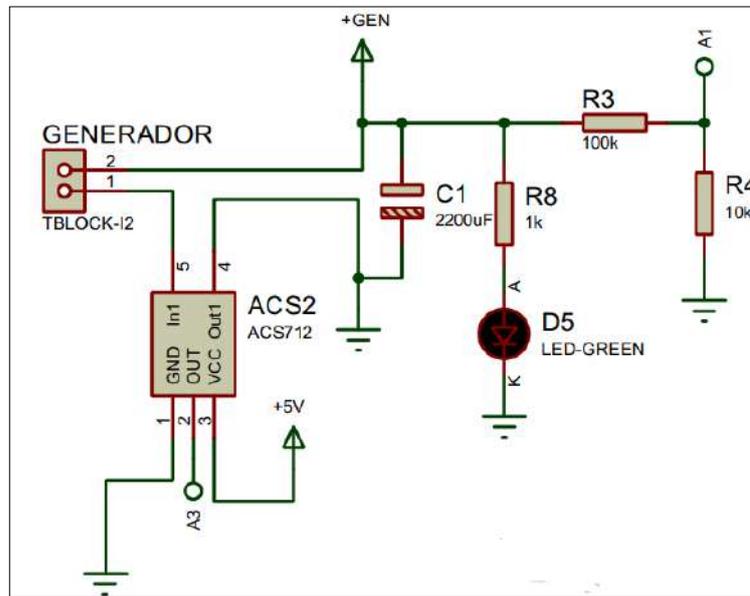


Ilustración 11-4: Diagrama de conexión de la microturbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.2.3 Conexión del reductor de voltaje.

La batería se conecta al reductor de voltaje, convirtiendo el valor de voltaje que ingresa de la misma a 5v, lo que permitirá alimentar al Arduino sin riesgo de daños en el mismo.

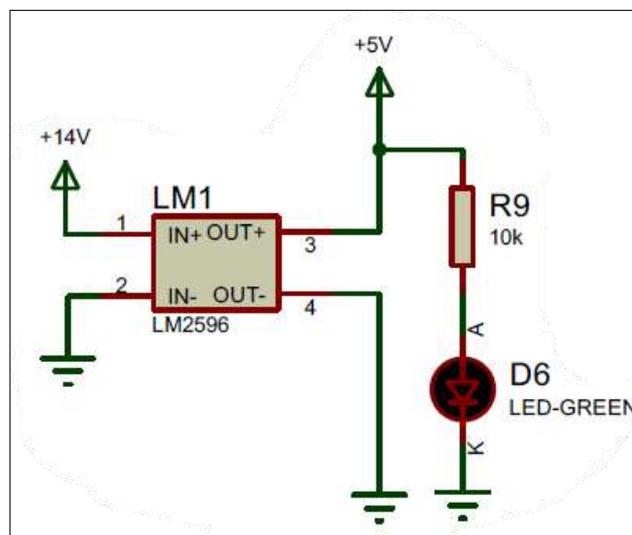


Ilustración 12-4: Diagrama de conexión de la microturbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.2.4 Conexión de la batería al inversor

La batería se conectará directamente al inversor, sin embargo, también se hará uso de un sensor ACS 712 que nos ayudará a medir la corriente que ingresa hacia el inversor, ya que con este valor conocido y con el valor del voltaje que se conoce de la conexión representada en la figura 10-4 será posible conocer la potencia que consume el inversor para la alimentación de la lámpara.

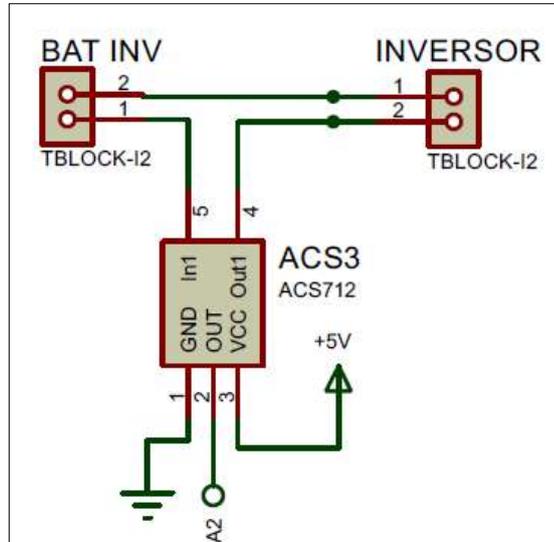


Ilustración 13-4: Diagrama de conexión de la batería al inversor

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.2.5 Conexión de Datalogger (spi)

En el caso del Datalogger los pines se conectarán con los del Arduino de acuerdo con las indicaciones que recomienda el fabricante, este elemento permitirá el almacenamiento de datos tanto de voltaje como de corriente, lo cual permitirá que sean analizados mediante el uso de una computadora.

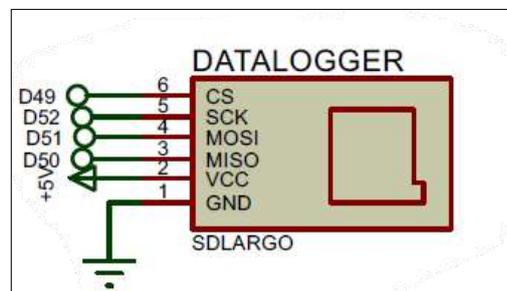


Ilustración 14-4: Diagrama de conexión de Datalogger al Arduino

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.2.6 Conexión pantalla LCD (I2C)

Este componente no es complejo en cuanto a su conexión, simplemente se conecta al Arduino tal como indican sus pines.

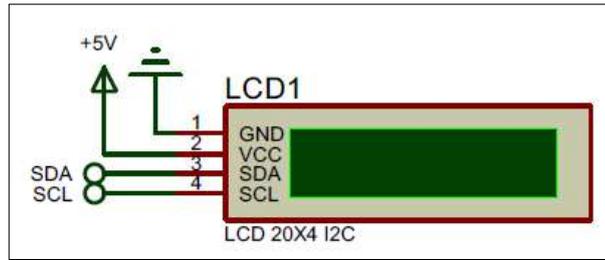


Ilustración 15-4: Diagrama de conexión de la pantalla LCD al Arduino

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.2.7 Diagrama de conexión del Arduino y puente H

El puente H, como se mencionó anteriormente, está alimentado por el generador mediante el pin “VM”, mientras que su parte lógica se alimenta por 5v mediante el pin “VCC”, por otro lado el pin “PWMA” es el encargado de darle velocidad de giro al motor de la electroválvula, los pines “AI1” y “AI2” son los que indicarán el sentido de giro del motor, es decir se encargarán de abrir y cerrar la válvula, el pin “STBY” es el que permite que se prenda o pague el puente H y finalmente en los pines “A01” y “A02” se conectará la bornera en donde a su vez se conectará la electro válvula.

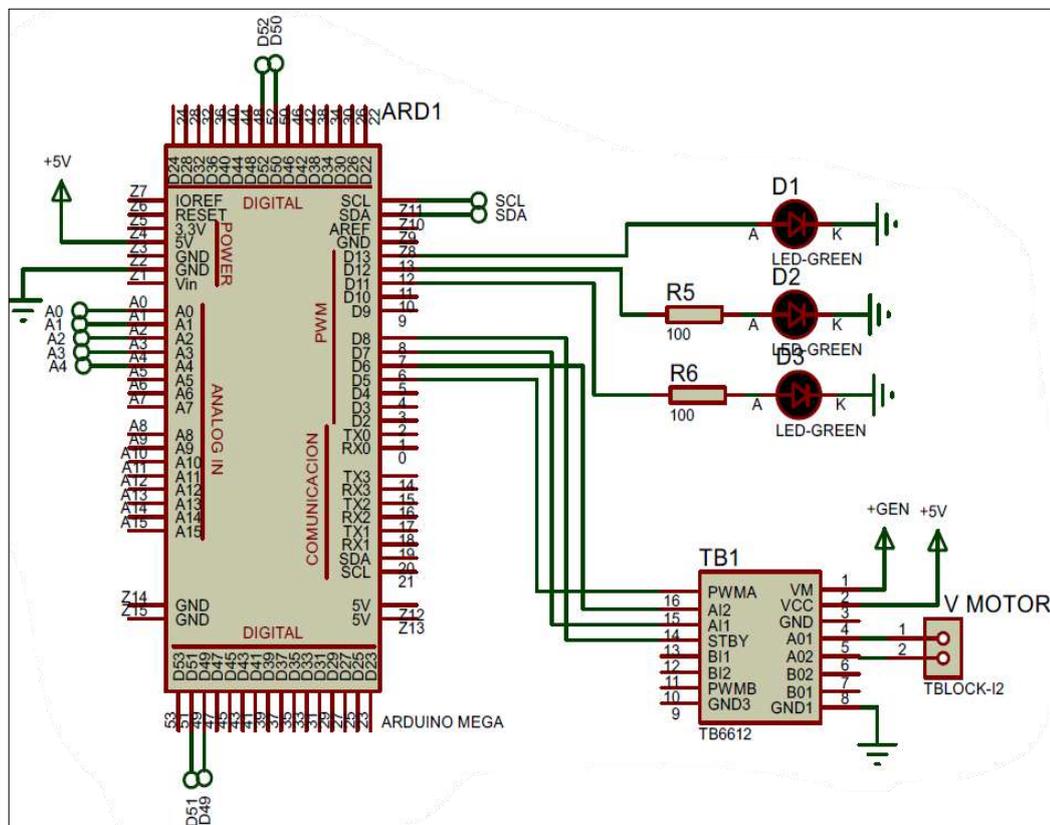


Ilustración 16-4: Diagrama de conexión al Arduino

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.3 Elementos del prototipo autosustentable de tratamiento de agua

En la siguiente tabla se detallan los materiales y equipos que se utilizaron para el prototipo a autosustentable de tratamiento de agua para consumo humano.

Tabla 4-4: Materiales y equipos para el prototipo

Nº	Cantidad	Denominación	Descripción	Representación
1	1	Trípode	Base móvil para sostener los paneles.	
2	2	Paneles solares	Panel solar monocristalino 150 W	
3	1	Tablero de control	Gabinete metálico que permite el control y transporte de los equipos.	

5	1	Filtro	Filtro de sedimentos para evitar el paso de solidos tanto en la turbina como en la cámara de desinfección UV.	
6	1	Generador	Turbina Hibrida Pelton y Michell-Banki.	
7	1	Electroválvula	Electroválvula de bola 3/4 plg.	
8	1	Dispositivo de desinfección	Lampara Ultravioleta Philips 12 GPM y 55 W	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.4 Elementos del sistema fotovoltaico

En la tabla 5-4 se muestran los materiales ocupados para la conexión entre los equipos del sistema fotovoltaico, además de los materiales usados para el tablero de control.

Tabla 5-4: Equipos y materiales tablero de control

Nº	Cantidad	Denominación	Descripción	Representación
1	20 m	Cable eléctrico	Cable solido calibre 10 AWG	
2	10 m	Cable eléctrico	Cable flexible gemelo calibre 8	
3	1	Interruptor	Interruptor de funcionamiento ON/OFF	
4	3	Indicadores	Indicadores luminosos	
5	2	Pulsadores	Pulsadores Abrir / Cerrar electroválvula.	

6	1	Tomacorriente	Tomacorriente tipo B	
7	1	Breaker	Breaker CHNT 3(A)	
8	1	Breaker	Breaker Schneider 25(A)	
9	4	Conectores MC4 Paneles solares	Conectores MC4 macho y hembra	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.5 Implementación del equipo

4.5.1 Colocación de la base de los paneles

Los paneles serán colocados en un trípode que consta de 3 patas base y un agujero donde entrará la base de los paneles, además este resiste el peso de los paneles y permite la movilidad de estos.



Ilustración 17-4: Colocación de la base de los paneles

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.5.2 Colocación de los paneles

Los paneles de 150 W tienen una base soldada que ingresa en el trípode lo que permite colocar los paneles a 15 grados de inclinación para que la instalación reciba la radiación solar de forma más eficiente.



Ilustración 18-4: Ubicación de los paneles solares

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.5.3 *Conexión de los paneles*

Se conecta los dos paneles de 150 W en serie para poder obtener una potencia total de 300W que satisfaga las necesidades del prototipo.



Ilustración 19-4: Conexión de los paneles en serie

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Luego de conectar los paneles en serie, se procede a conectar los paneles con el cable del controlador solar MPPT que está dentro del gabinete metálico, la conexión es mediante conectores macho y hembra.



Ilustración 20-4: Conexión de los conectores macho y hembra de los paneles

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.5.4 Colocación del tablero de control

El panel de control contiene el controlador solar MPPT, el inversor de corriente, la batería de gel de 100 Ah de capacidad, la placa de circuitos encargada de mostrar y guardar los datos de los paneles, del generador e inversor y el puente H para el control de la electroválvula, además constan de dos breakers que evitan daños si existe un corto circuito.



Ilustración 21-4: Tablero de control con los indicadores luminosos

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Además, el tablero de control consta de un interruptor e indicadores luminosos, en la siguiente tabla se explica la función de cada uno.

Tabla 6-4: Indicadores luminosos

Indicador	Componente	Indicación
Indicador Amarillo	Batería 12 V	Batería proporciona energía
Indicador Azul	Panel solar	Generación Solar
Indicador Rojo	AC 110 V	Inversor encendido
Interruptor	Inversor	On/Off

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.5.5 Instalación de baipás en la tubería principal

Es necesario realizar un baipás en la tubería principal, en dicho baipás serán instalados tanto la microturbina como el dispositivo de desinfección ultravioleta, esto se hace con la finalidad de realizar las pruebas de operación necesarias sin interferir con el recorrido del flujo de agua que normalmente se da en la comunidad y así evitar molestias en los habitantes.

Para el baipás mencionado se hará uso de los accesorios mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 7-4: Accesorios para conexión de baipás en la tubería principal de 1 pulgada

Cantidad	Nombre de accesorio	Representación
4	Unión T	
2	Codo de 90°	
1	Unión roscada	
3	Unión universal	
2	Válvula de bola	
1	Válvula antirretorno	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con estos accesorios se realiza un corte en la tubería principal para colocar la unión T que servirá para dividir la tubería en dos partes, en la parte superior del accesorio se coloca una válvula de bola que será abierta una vez que se complete la instalación de componentes en el resto de la tubería, luego se conecta el filtro mediante una unión roscada, seguidamente se conecta otra unión T, donde será instalado el manómetro, luego con la ayuda del codo se conecta el tramo de tubería en donde será instalada la micro turbina con la ayuda de dos uniones universales, a continuación

se hace la reconexión a la tubería principal mediante el segundo codo y la tercera unión T, en este tramo se ubica la válvula antirretorno y además se coloca la cuarta unión T con la finalidad de hacer una reducción de tubería para conectar el dispositivo de desinfección ultravioleta, ya que tanto su entrada como su salida son de 3/4 pulgadas.

Dicho baipás se puede observar en la siguiente ilustración:



Ilustración 22-4: Instalación de baipás en la tubería principal

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Una vez realizado el baipás, se realiza la reducción de tubería a 3/4 pulgadas, para lo cual se utilizaron los accesorios mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 8-4: Accesorios para conexión en la reducción de tubería de 3/4 pulgadas

Cantidad	Nombre de accesorio	Representación
1	Buje de reducción 1" a 3/4"	
4	Codo de 90°	
1	Unión universal	

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Con estos accesorios, se realiza la reducción de sección en la tubería conectando el buje de reducción en la unión T previamente colocada en el baipás, luego, con la ayuda de un codo se

levanta la tubería verticalmente y se realiza la conexión de una unión universal, seguidamente se conecta el segundo codo donde se instalará la electroválvula que permitirá el mantenimiento del dispositivo de desinfección ultravioleta, a continuación se realiza la conexión a la entrada de la cámara de desinfección de agua con la ayuda de un codo, finalmente con otro codo ubicado a la salida de la cámara se coloca un tramo de tubería que se usará para realizar la toma de pruebas de agua.

Dicha conexión se puede apreciar en la siguiente ilustración:



Ilustración 23-4: Conexión de la cámara de desinfección ultravioleta

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.5.6 Recolección de muestras de agua

Luego de que el prototipo está instalado y funcionando, se procede a recoger muestras de agua para el análisis físico y químico de la calidad agua.

Para el análisis físico del agua se necesita un litro de agua para realizar todas las pruebas correspondientes.



Ilustración 24-4: Recolección de muestras para análisis físico de la calidad de agua

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Para el análisis químico del agua se necesita un envase estéril, por lo cual el envase se debe sostener por la parte de abajo evitando manipular la parte interior del envase, luego de llenar el envase cerrar al instante.



Ilustración 25-4: Recolección de muestras para análisis químico de la calidad de agua

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.6 Pruebas de funcionamiento

Para comprobar la funcionalidad del prototipo se realizó pruebas en dos días, en dos extremos un día nublado y un día soleado con dichas condiciones se tomaron las mediciones de voltaje y amperaje que genera el panel solar y que consume el inversor.

El sistema deberá cumplir una potencia mínima de 65W para que la lampara de desinfección UV pueda cumplir su función de mejorar la calidad del agua.



Ilustración 26-4: Prueba de funcionamiento de la lampara de desinfección de 55W

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Se probó al prototipo encendiendo dos focos de 20W y un foco de 15W para cumplir con la potencia mínima requerida para la lampara UV.



Ilustración 27-4: Prueba de funcionamiento de focos que consumen 55W

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.6.1 *Generación de los paneles solares en días nublados*

Como se observa en la tabla del **anexo 2** se tomó las mediciones de voltaje y amperaje en la salida DC del regulador solar, para observar el comportamiento del voltaje, amperaje y potencia que recibe el regulador solar y que trasmite al inversor de voltaje en un día nublado, no se tomó mediciones de voltaje y amperaje en la entrada es decir en los paneles solares debido que este voltaje es muy variable.

En la ilustración 28-4 se puede observar cómo varía el voltaje en un día nublado donde se obtiene que el voltaje máximo es de 13,86 V y el voltaje mínimo de 12,32 V.

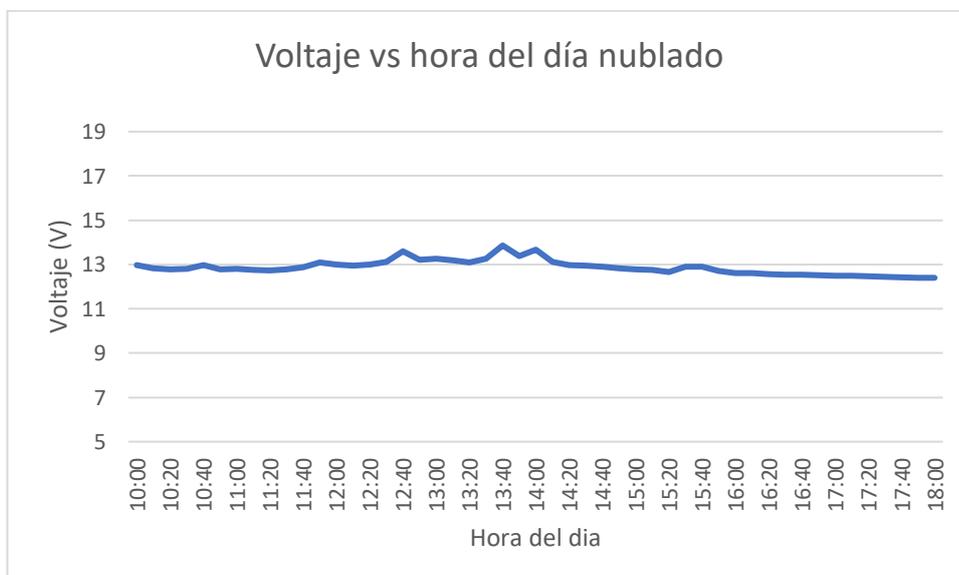


Ilustración 28-4: Voltaje generado en día nublado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 29-4 se puede observar cómo varía el amperaje en un día nublado, los picos se deben a las condiciones ambientales del día por ejemplo a las 12 pm se observa el pico máximo de amperaje de 13,55 A y desde las 16 horas se observa una caída de amperaje debido a que la luz solar empieza a mitigarse obteniendo una intensidad de corriente de 4,81 A.

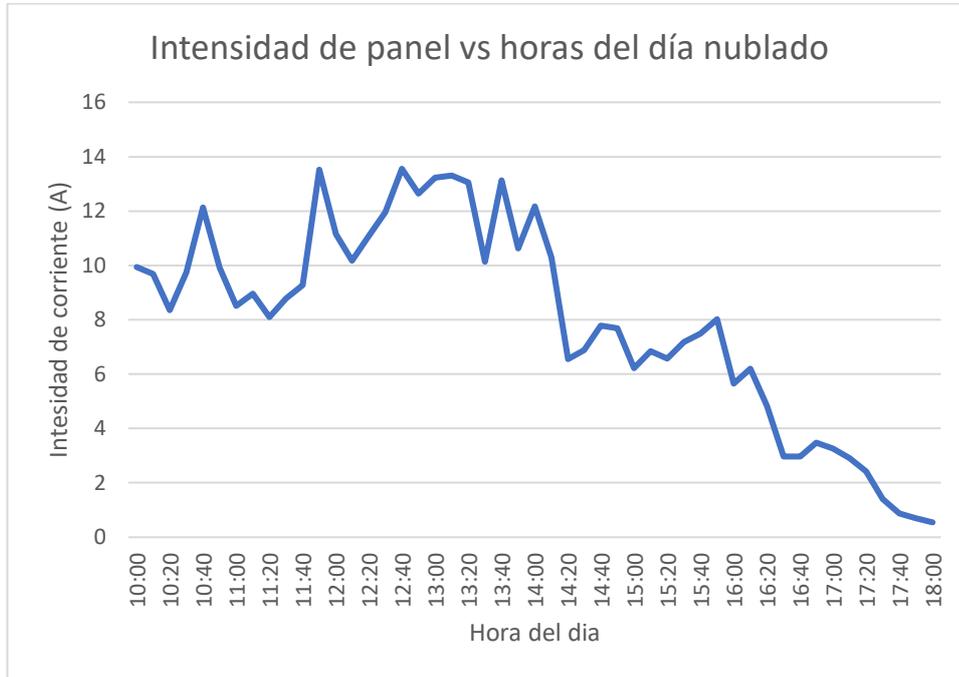


Ilustración 29-4: Amperaje generado en día nublado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 30-4 se observa una comparación entre la intensidad de corriente generada por los paneles solares con la con la intensidad de corriente que consume el inversor en el día nublado.

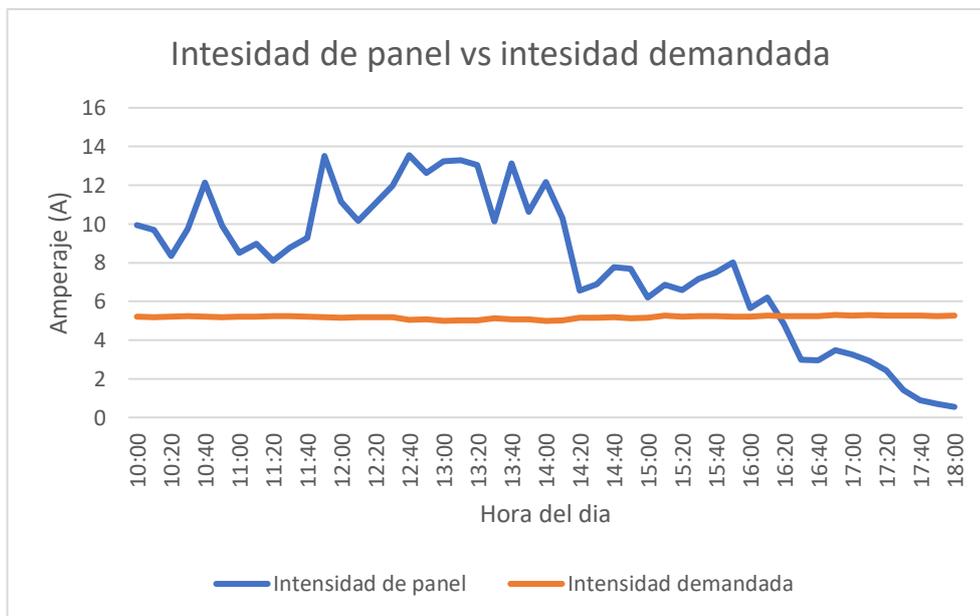


Ilustración 30-4: Comparación de la intensidad generada por los paneles solares con la intensidad demandada en un día nublado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 31-4 se puede observar cómo varía la potencia que generan los paneles en un día nublado, los picos se deben a las condiciones ambientales del día por ejemplo a las 12:40 pm se observa el pico máximo de potencia de 184 W.

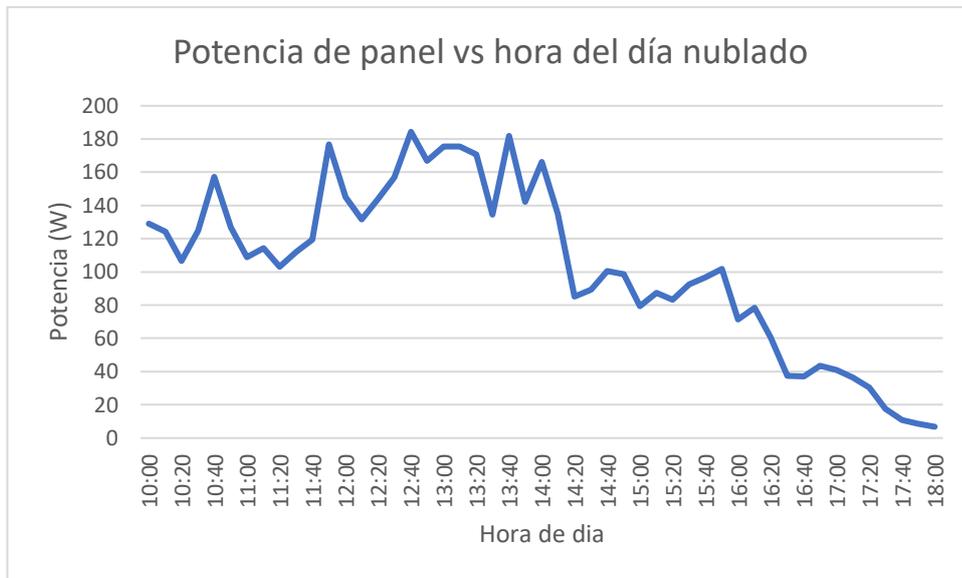


Ilustración 31-4: Potencia generada en día nublado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 32-4 se observa una comparación entre la potencia generada por los paneles solares con la potencia demandada para que funcione el prototipo, se nota que el prototipo funciona con la energía de los paneles hasta las 17 horas a partir desde esta hora el equipo empieza a funcionar con la batería porque la potencia demandada es mayor que la potencia producida.

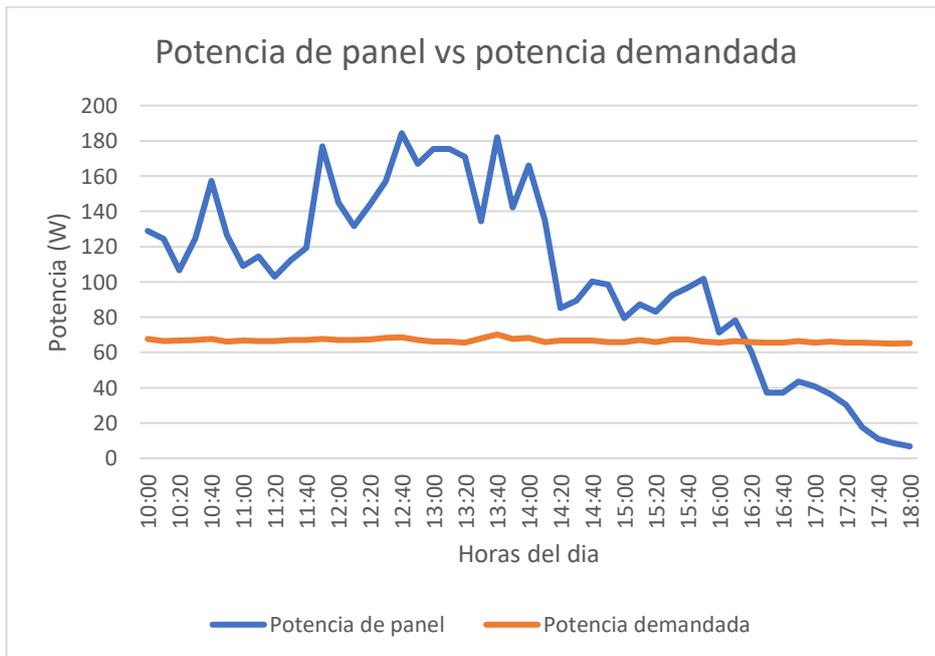


Ilustración 32-4: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia demandada en un día nublado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Los datos se obtienen a través de una memoria USB instalada en la placa base, los datos de voltaje, intensidad tanto como la del panel solar como la del inversor y luego se obtiene la potencia en un día nublado.

4.6.2 Carga de la batería del día nublado

De las características técnicas de la batería seleccionada para el prototipo se tiene los siguientes datos:

$$C = 100 \text{ Ah}$$

$$V = 12 \text{ V}$$

La capacidad de la batería viene dada en Ah, pero para el cálculo del tiempo que necesita la batería se cambia los Ah por Wh como se indica en la ecuación 26.

$$Wh = Ah * V \quad (26)$$

Donde:

- Wh, es la capacidad de la batería o acumulador. [Wh]
- Ah, es la capacidad de la batería o acumulador. [Ah]
- V, es el voltaje de la batería. [V]

$$Wh = Ah * V$$

$$Wh = 100 \text{ Ah} * 12 \text{ V}$$

$$Wh = 1200 \text{ Wh}$$

Luego se obtiene una potencia promedio generada por los paneles.

$$P = 116,21 \text{ W}$$

De la ecuación número 27 se despeja el tiempo de carga de la batería.

$$Wh = P * t \quad (27)$$

Donde:

- Wh, es la capacidad de la batería o acumulador. [Wh]
- P, es la potencia promedio generada. [W]
- t, es el tiempo de carga de la batería. [h]

$$t = \frac{Wh}{P}$$

$$t = \frac{1200 \text{ Wh}}{116,21 \text{ W}}$$

$$t = 10,33 \text{ h}$$

De esta manera se obtiene que el tiempo de carga de la batería en un día nublado es de 10,33 horas, en el capítulo anterior se obtuvo un tiempo de carga de 4 horas esto se debe que se calculó considerando condiciones ideales. Se debe tener en cuenta que las condiciones ambientales varían mucho ya sea por presencia de nubes o ceniza.

4.6.3 Generación de los paneles solares en días soleados

Como se observa en la tabla del **anexo 3** se tomó las mediciones de voltaje y amperaje en la salida DC del regulador solar, para observar el comportamiento del voltaje, amperaje y potencia que recibe el regulador solar y que trasmite al inversor de voltaje en un día soleado, no se tomó mediciones de voltaje y amperaje en la entrada es decir en los paneles solares debido que este voltaje es muy variable.

En la ilustración 33-4 se puede observar cómo varía el voltaje en un día nublado donde se obtiene que el voltaje máximo es de 14,93 V y el voltaje mínimo de 13,15 V.

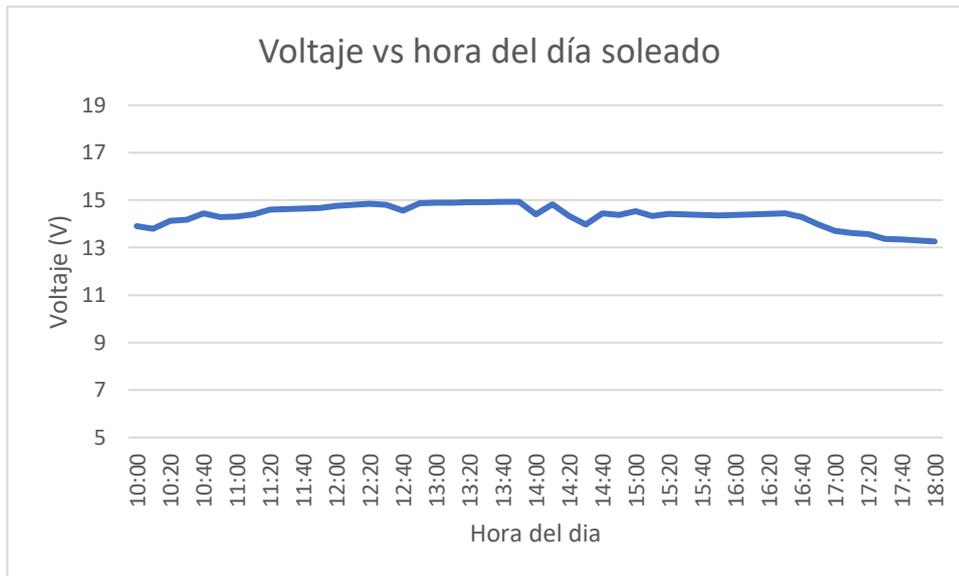


Ilustración 33-4: Voltaje generado en día soleado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 34-4 se puede observar cómo varía el amperaje en un día soleado, los picos se deben a las condiciones ambientales del día por ejemplo a las 11:50 am se observa el pico máximo de amperaje de 20,61 A y desde las 13 horas se observa una caída de amperaje debido que la intensidad del sol iba disminuyendo de forma gradual.



Ilustración 34-4: Amperaje generado en día soleado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 35-4 se observa una comparación entre la intensidad de corriente generada por los paneles solares con la con la intensidad de corriente que consume el inversor en el día soleado, la intensidad del panel es muy variada debido a las condiciones ambientales en cambio la potencia demandada fluctúa en promedio de 5 amperios.

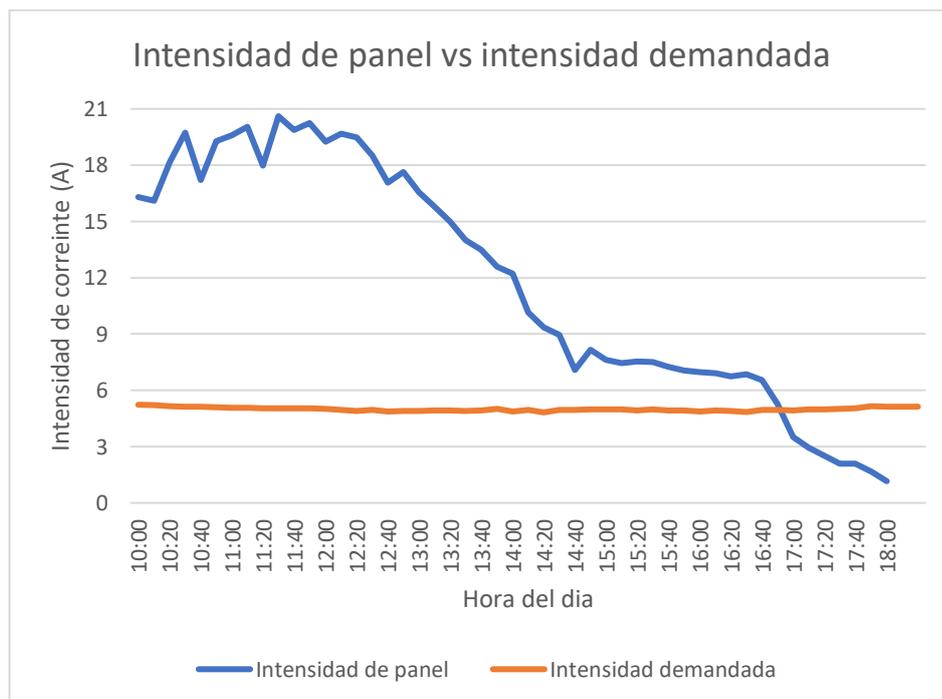


Ilustración 35-4: Comparación de la intensidad generada por los paneles solares con la intensidad demandada en un día soleado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 36-4 se puede observar cómo varía la potencia que generan los paneles en un día soleado, los picos se deben a las condiciones ambientales del día por ejemplo a las 11:30 se observa el pico máximo de potencia de 300 W.

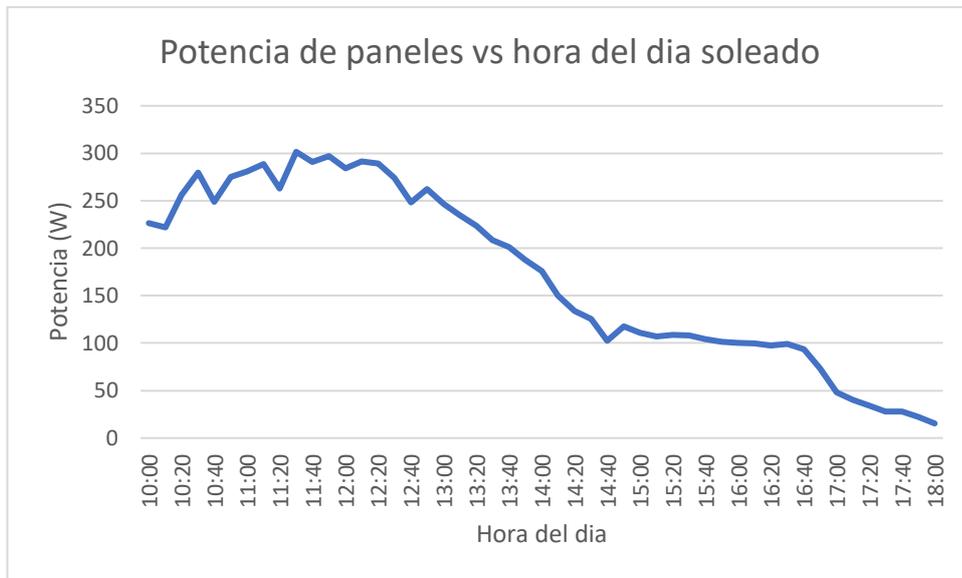


Ilustración 36-4: Potencia generada en día soleado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 37-4 se observa una comparación entre la potencia generada por los paneles solares con la potencia demandada para que funcione el prototipo, se nota que el prototipo funciona con la energía de los paneles hasta las 17 horas a partir desde esta hora el equipo empieza a funcionar con la batería porque la potencia demandada es mayor que la potencia producida.

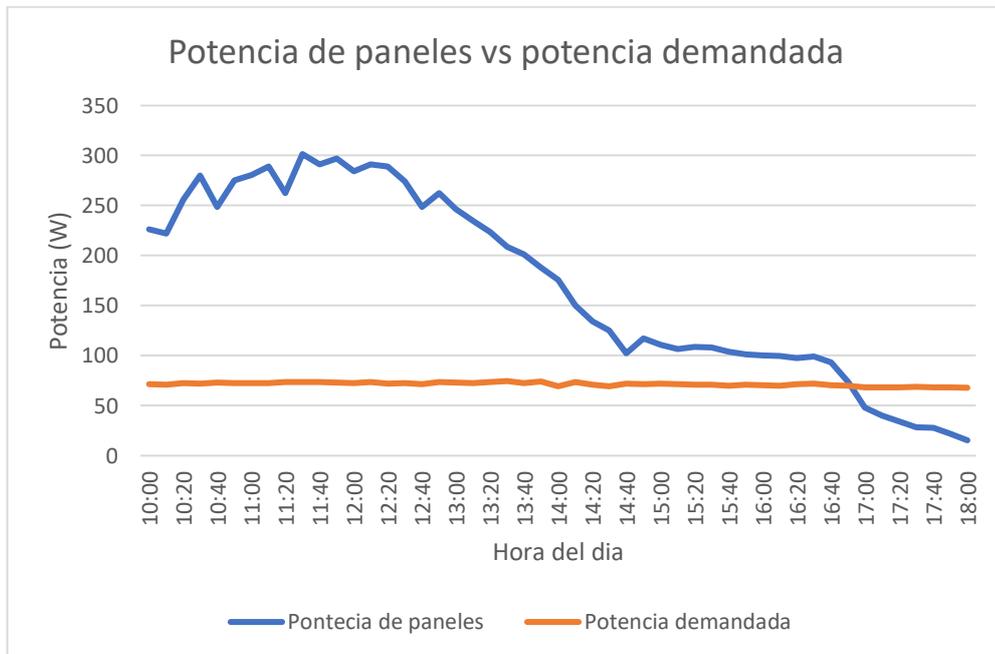


Ilustración 37-4: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia demandada en un día soleado

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Los datos se obtienen a través de una memoria USB instalada en la placa base, los datos de voltaje, intensidad tanto como la del panel solar como la del inversor y luego se obtiene la potencia en un día soleado.

4.6.4 Carga de la batería del día soleado

De las características técnicas de la batería seleccionada para el prototipo se tiene los siguientes datos:

$$C = 100 \text{ Ah}$$

$$V = 12 \text{ V}$$

La capacidad de la batería viene dada en Ah, pero para el cálculo del tiempo que necesita la batería se cambia los Ah por Wh como se indica en la ecuación 26.

$$Wh = Ah * V$$

$$Wh = 100 \text{ Ah} * 12 \text{ V}$$

$$Wh = 1200 \text{ Wh}$$

Luego se obtiene una potencia promedio generada por los paneles en el periodo de 8 horas, mediante ecuación número 27 se despeja el tiempo de carga de la batería.

$$P = 171,77 \text{ W}$$

$$P * t = Wh$$

$$t = \frac{Wh}{P}$$

$$t = \frac{1200 \text{ Wh}}{191,61 \text{ W}}$$

$$t = 6,26 \text{ h}$$

Y se obtiene que el tiempo que se demora en cargar la batería en un día soleado es de 6,26 horas, en el capítulo anterior se obtuvo un tiempo de carga de 4 horas esto se debe que se lo realizo a condiciones ideales y sin el consumo de todos los componentes eléctricos sin contar lo variable de las condiciones ambientales.

4.6.5 Generación de la turbina

Como se observa en la tabla del **anexo 4** se tomó las mediciones de voltaje y amperaje en la microturbina, para observar el comportamiento del voltaje, amperaje que recibe el generador eléctrico y que permitirá el funcionamiento de la electroválvula.

En la ilustración 38-4 se puede observar cómo varía el voltaje porque no se tiene un caudal constante se obtiene que el voltaje máximo es de 12,96 V, el voltaje mínimo de 10,98 V y el voltaje promedio de 11,90 V, con estos datos de voltaje no se observaron fallas en el funcionamiento de la electroválvula al momento de accionarla, por lo tanto, no es indispensable seleccionar un generador nuevamente.

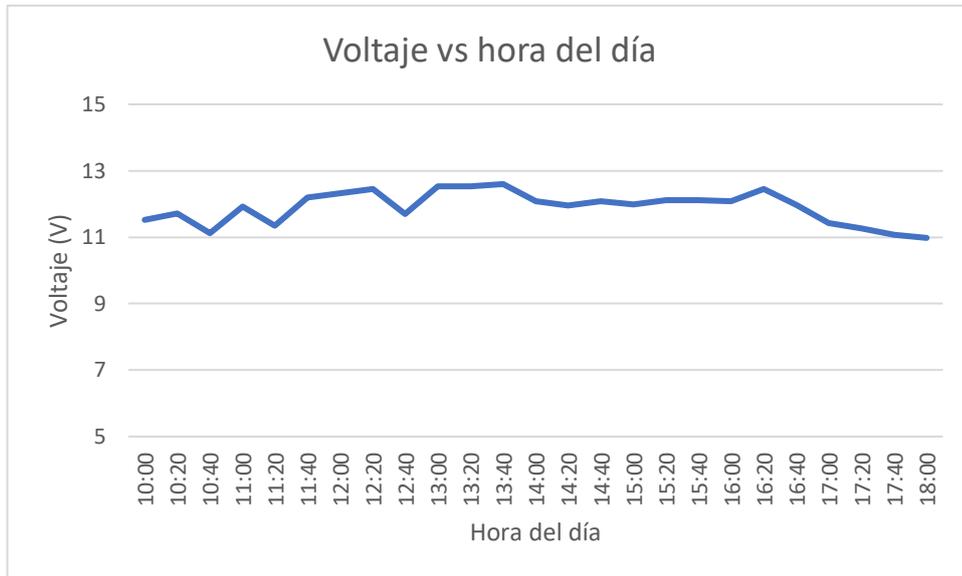


Ilustración 38-4: Voltaje generado por la turbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

En la ilustración 39-4 se puede observar que el amperaje solamente varía cuando se abre y se cierra la electroválvula mediante los pulsadores ubicados en el tablero de control, el primer pico se observa a las 11 horas cuando se abrió la electroválvula para tomar la muestra del agua luego de que haya pasado por la lampara UV y el siguiente se observa a las 11:05 cuando se cierra la electroválvula.

Se aprecia que el valor de corriente solo se presenta al momento de accionar la electroválvula, esto es debido a que es un circuito abierto y solo al momento de presionar los pulsadores es conectada la carga.



Ilustración 39-4: Amperaje generado por la turbina

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Los datos se obtienen a través de una memoria USB instalada en la placa base, los datos de voltaje, intensidad generados en la turbina.

4.7 Resultados de la calidad de agua

4.7.1 Pruebas de calidad de agua antes del prototipo de desinfección

Se realizó un análisis físico químico para determinar la calidad de agua en la comunidad Rumi cruz en el cantón Chambo, para la determinación del color, pH, conductividad, turbiedad, cloruros, dureza, alcalinidad, sólidos totales disueltos, coliformes totales y coliformes fecales y comparar estos resultados referenciales de acuerdo con la norma INEN 1108.

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH, en la siguiente tabla se observan los valores obtenidos para cada una de las pruebas mencionadas anteriormente.

Tabla 9-4: Análisis físico químico de aguas antes del prototipo de desinfección

Determinaciones	Unidades	*Valores Referenciales	Resultados
<i>Color</i>	Und Co/Pt	< 15	1
<i>pH</i>	-	6.5 - 8.5	7,13
<i>Conductividad</i>	μ Siems/cm	< 1 250	276,6
<i>Turbiedad</i>	UNT	5	0,1
<i>Cloruros</i>	mg/L	250	5,7
<i>Dureza</i>	mg/L	300	164,0
<i>Alcalinidad</i>	mg/L	300	180,0
<i>Sólidos Totales Disueltos</i>	mg/L	1000	171,5
<i>Coliformes Totales</i>	UFC/100mL	<1.1	300,0
<i>Coliformes fecales</i>	UFC/100mL	<1.1	Ausencia

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Los puntos representan los coliformes totales presentes en la muestra, en este caso existen 3 puntos lo que equivale a 300 y el valor referencial para el agua de consumo humano según la

norma INEN 1108 es menor que 1,1 *UFC/100mL*, por lo que se procede a elegir un método de desinfección de agua.



Ilustración 40-4: Prueba de calidad del agua antes del tratamiento

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.7.2 Determinación del tratamiento para mejorar la calidad del agua

Se obtuvo como resultado que el agua tiene presencia de coliformes totales mayor que el valor admisible y también existe una cantidad de sólidos totales disueltos por lo cual el agua necesita un proceso de desinfección, en este caso se escogió el método físico de una lámpara de desinfección UV capaz de eliminar hasta el 99,999% de gérmenes o bacterias presentes en el agua, además este tipo de desinfección no existe ningún efecto residual que pueda afectar a los consumidores como cambio de color, sabor o temperatura del agua. (Gray, 2014)

4.7.3 Pruebas de calidad de agua después del prototipo de desinfección

Se realizó un análisis físico químico para determinar la calidad de agua en la comunidad Rumi cruz en el cantón Chambo, luego de la instalación de la lámpara de desinfección UV y el filtro de anillos, para la determinación del color, pH, conductividad, turbiedad, cloruros, dureza, alcalinidad, sólidos totales disueltos, coliformes totales y coliformes fecales y comparar estos resultados referenciales de acuerdo con la norma INEN 1108.

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH, en la siguiente tabla se observan los valores obtenidos para cada una de las pruebas mencionadas anteriormente.

Tabla 10-4: Análisis físico químico de aguas después del prototipo de desinfección

Determinaciones	Unidades	*Valores Referenciales	Resultados
<i>Color</i>	Und Co/Pt	< 15	1
<i>pH</i>	-	6.5 - 8.5	7,01
<i>Conductividad</i>	μ Siems/cm	< 1 250	274,4
<i>Turbiedad</i>	UNT	5	0,1
<i>Cloruros</i>	mg/L	250	4,8
<i>Dureza</i>	mg/L	300	148,0
<i>Alcalinidad</i>	mg/L	300	130,0
<i>Sólidos Totales Disueltos</i>	mg/L	1000	162,5
<i>Coliformes Totales</i>	UFC/100mL	<1.1	Ausencia
<i>Coliformes fecales</i>	UFC/100mL	<1.1	Ausencia

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Luego del tratamiento de desinfección de agua se obtiene una muestra sin la presencia de coliformes totales ni fecales.



Ilustración 41-4: Prueba de calidad de agua luego del tratamiento

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

Según la norma INEN 1108 los valores referenciales son los valores que debe cumplir para que el agua sea apta para el consumo humano y mediante la lampara de desinfección UV se obtiene agua de mejor calidad sin presencia de coliformes.

4.7.4 Comparación de pruebas antes y después del tratamiento.

En la siguiente tabla observamos los resultados de calidad del agua antes y después de implementación del tratamiento de desinfección mediante una lampara UV.

Se observa que los resultados después del tratamiento de desinfección se bajaron los sólidos totales disueltos y se eliminaron por completo los coliformes totales mejorando la calidad del agua de la comunidad y dichos valores entran dentro del rango referencial que debe cumplir el agua para que sea apta para el consumo humano detallados en la norma INEN 1108.

Tabla 11-4: Comparación de análisis físico químico de aguas antes y después del prototipo

Determinaciones	Unidades	*Valores Referenciales	Resultados Antes	Resultados Después
Color	Und Co/Pt	< 15	1	1
pH	-	6.5 - 8.5	7,13	7,01
Conductividad	μSiems/cm	< 1 250	276,6	274,4
Turbiedad	UNT	5	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	250	5,7	4,8
Dureza	mg/L	300	164,0	148,0
Alcalinidad	mg/L	300	180,0	130,0
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	171,5	162,5
Coliformes Totales	UFC/100mL	<1.1	300,0	Ausencia
Coliformes fecales	UFC/100mL	<1.1	Ausencia	Ausencia

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.8 Resultado de análisis de costos de la implementación del prototipo

4.8.1 Costos Baipás

En esta sección se realiza la suma de los costos del baipás, se presenta los resultados de costos para cada uno de los componentes, como se muestra en la Tabla 12-4.

Tabla 12-4: Costos Baipás

Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
6 (m)	Tubería PVC (1")	\$ 1,00 / m	\$ 6,00
6 (m)	Tubería PVC (3/4")	\$ 1,00 / m	\$ 6,00
4	Unión T (1")	\$ 2,50	\$ 10,00
2	Codo de 90° (1")	\$ 2,75	\$ 5,50
4	Codo de 90° (3/4")	\$ 2,05	\$ 8,20
1	Unión roscada (1")	\$ 2,35	\$ 2,35
3	Unión universal	\$ 2,00	\$ 6,00
2	Válvula de bola (1")	\$ 14,75	\$ 29,50

1	Válvula antirretorno (1")	\$ 12,25	\$ 12,25
2	Pega 705 PVC	\$ 9,75	\$ 19,50
		Subtotal 1	\$ 105,30

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.8.2 Costos Sistema fotovoltaico

En esta sección se realiza la suma de los costos del sistema fotovoltaico, se presenta los resultados de costos para cada uno de los componentes, como se muestra en la Tabla 13-4.

Tabla 13-4: Sistema fotovoltaico

Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
2	Panel Solar 150(W)	\$ 150,00	\$ 300,00
1	Batería AGM 100(A)	\$ 280,00	\$ 280,00
1	Controlador MPPT	\$ 180,00	\$ 180,00
1	Inversor Sinusoidal	\$ 250,00	\$ 250,00
1	Reductor de voltaje	\$ 3,50	\$ 3,50
3	Sensor de corriente	\$ 4,00	\$ 12,00
1	Microcontrolador	\$ 35,00	\$ 35,00
1	Pantalla LCD	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Puente H	\$10,50	\$ 10,50
1	Gabinete Metálico	\$ 80,00	\$ 80,00
1	Breaker 3 (A)	\$ 8,50	\$ 8,50
1	Breaker 25 (A)	\$ 15,65	\$ 15,65
1	Tomacorriente	\$ 2,50	\$ 2,50
3	Indicadores Luminosos	\$ 1,80	\$ 5,40
2	Pulsadores	\$ 1,00	\$ 2,00
1	Interruptor	\$ 3,50	\$ 3,50
6	Borneras	\$ 2,40	\$ 14,40
1	Módulo de reloj RTC	\$ 5,45	\$ 5,45
1	Modulo memoria microSD	\$ 2,45	\$ 2,45
10 (m)	Cable eléctrico 8	\$ 0,95 / m	\$ 9,50
20 (m)	Cable eléctrico 10 AWG	\$ 1,85 / m	\$ 37,00
1	Unión MC4	\$ 10,00	\$ 10,00
4	Conectores MC4	\$ 4,50	\$ 18,00
		Subtotal 2	\$ 1295,35

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.8.3 Costos Equipos

En esta sección se realiza la suma de los costos de los equipos utilizados para la implementación del prototipo, se presenta los resultados de costos para cada uno de los componentes, como se muestra en la Tabla 14-4.

Tabla 14-4: Costos Equipos

Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	Manómetro analógico	\$ 25,00	\$ 25,00
1	Filtro de anillos	\$ 40,00	\$ 40,00
1	Lampara de desinfección marca PHILPIS	\$ 350,00	\$ 350,00
1	Electroválvula (3/4")	\$ 89,00	\$ 89,00
1	Trípode	\$ 75,00	\$ 75,00
1	Turbina Híbrida Pelton y Michell-Banki	\$ 65,00	\$ 65,00
		Subtotal 3	\$ 644,00

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.8.4 Costos Manufactura

En base a los procesos de manufactura, se presenta los resultados de costos para cada uno de los componentes, como se muestra en la Tabla 15-4.

Tabla 15-4: Costos Manufactura

Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
2 (horas)	Mecanizado	\$ 3,82 / hora	\$ 7,64
13 (horas)	Impresión 3D	\$ 4,52 / hora	\$ 58,76
14 (horas)	Mano de obra	\$ 5,45 / hora	\$ 76,30
		Subtotal 4	\$ 142,70

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.8.5 Costos directos totales

Tabla 16-4: Costos directos

Descripción	Valor total (\$)
Subtotal 1	\$ 105,30
Subtotal 2	\$ 1295,35
Subtotal 3	\$ 644,00
Subtotal 4	\$ 142,70
Total	\$ 2187,35

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.8.6 Costos indirectos

El análisis de costos indirectos son los que influyen indirectamente para llevar a cabo el proyecto, tanto en el diseño ingenieril y varios gastos inesperados.

Tabla 17-4: Costos indirectos

Descripción	Valor total (\$)
Costos de ingeniería	\$ 900
Otros	\$ 150
Total	\$ 1050

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

4.8.7 Costos totales

En esta sección se realiza la suma de los costos directos e indirectos obteniendo el valor total, como se muestra en la Tabla 18-4.

Tabla 18-4: Costos totales

Tipo de costo	Valor total (\$)
Costos directos	\$ 2187,35
Costos indirectos	\$ 1050
Total	\$ 3237,35

Realizado por: Guerrero, M.; Ruiz, M. 2023

CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema de energía solar que se complementa con un sistema de almacenamiento de energía (batería) que permite el funcionamiento continuo del sistema de desinfección del prototipo, debido a su facilidad de mantenimiento, bajo impacto ambiental y larga vida útil, además se implementó un sistema de micro generación hidráulica aprovechando el caudal de agua presente en la comunidad de Rumicruz que permite el funcionamiento de una electroválvula que facilita el proceso de mantenimiento del sistema de desinfección.
- Mediante el análisis físico químico de la calidad de agua se determinó que la primera muestra analizada presentó 300 UFC/100ml (Unidad formadora de colonias por cada 100 mililitros) este resultado se encuentra fuera del valor referencial de la norma INEN 1108 (Norma técnica ecuatoriana que establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano) , por lo que se utilizó el método físico de desinfección de agua mediante luz ultravioleta ya que no genera subproductos tóxicos y no genera daños al consumidor ni al medioambiente, además que se ha demostrado que puede eliminar el 99,99% de microorganismos presentes en el agua, lo cual lo convierte en un método seguro.
- Se realizó la recolección de datos de funcionamiento del prototipo a través de un módulo Datalogger conectado al microcontrolador Arduino mega 2560, con lo cual se obtuvieron datos de voltaje y amperaje generados con los paneles solares, donde en un día nublado se obtuvo una potencia promedio de 116,21 W logrando un tiempo de carga de batería de 10,33 horas, mientras que en un día soleado se obtuvo una potencia promedio de 191,61 W con un tiempo de carga de 6,26 horas, considerando que la batería fue seleccionada con una capacidad 40% mayor a la necesaria se garantiza la autonomía del prototipo para su funcionamiento ininterrumpido durante todo el día. Además, la microturbina presentó un valor promedio de voltaje de 11,90 V, registrando una intensidad de corriente de 0,2 A al momento de accionar la electroválvula.
- Por medio de la comparación de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos de la calidad del agua antes y después de la implementación del sistema de desinfección, se observa que dicha calidad mejoró y se encuentra dentro de los requisitos que debe cumplir para que sea apta para el consumo humano según la norma INEN 1108, ya que se logró la eliminación de los microorganismos presentes en la primera muestra.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para futuras investigaciones se optimice el diseño de los álabes de la microturbina con la finalidad de reducir su elevado factor de seguridad.
- Se recomienda la impermeabilización de la carcasa de la microturbina mediante métodos no tóxicos para evitar fugas de agua en la misma.
- Realizar el mantenimiento de la cámara de desinfección ultravioleta limpiando el bulbo cada 6 meses y cambiándolo cada año para mantener la calidad del agua constante.
- Verificar que en el lugar donde serán colocados los paneles solares no exista sombra debido que la sombra parcial en un parte de los paneles puede causar daños en los mismos.
- Se recomienda la construcción de obra civil para precautelar la integridad de los equipos y evitar el deterioro de sus elementos expuestos al aire libre.
- Considerando su fácil operación y mantenimiento, se recomienda que este tipo de proyectos sean implementados en comunidades rurales considerando ya que son de gran importancia para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

GLOSARIO

Autosustentable: Se refiere a la capacidad de un sistema, proceso o entidad para mantenerse y funcionar por sí mismo, sin depender de recursos externos de manera continua.

Amperaje: También conocido como corriente eléctrica, es una medida de la cantidad de carga eléctrica que fluye a través de un conductor en un determinado período de tiempo.

Coliformes: Son un grupo de bacterias que se encuentran comúnmente en el medio ambiente, especialmente en el suelo, las plantas y los intestinos de animales de sangre caliente. Se utilizan como indicadores de contaminación fecal en el agua y otros medios, ya que su presencia sugiere la posible presencia de organismos patógenos asociados con heces humanas o animales.

Fotovoltaico: Se refiere a la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante el uso de dispositivos llamados celdas fotovoltaicas.

Microhidrogeneración: Es un sistema de generación de energía eléctrica que aprovecha el flujo de agua en pequeñas escalas para producir electricidad de manera sostenible y renovable.

Microorganismos: Son organismos vivos de tamaño microscópico que incluyen bacterias, virus, hongos, protozoos y algas microscópicas. Son estructuras celulares muy pequeñas que solo pueden ser observadas con el uso de microscopios.

Microturbina: Es un tipo de turbina de pequeño tamaño utilizada para la generación de electricidad en aplicaciones descentralizadas o distribuidas.

Rodete: Se refiere a la parte central y giratoria de la turbina que está expuesta al flujo de agua. El rodete está diseñado de manera específica para convertir la energía hidráulica del agua en energía mecánica, que luego se utiliza para generar electricidad mediante un generador.

Voltaje: Es una medida de la fuerza con la que la corriente eléctrica fluye en un circuito.

BIBLIOGRAFÍA

- ACCIONA.** Energía solar. [en línea], 2020. [consulta: 14 agosto 2022]. Disponible en: https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894.
- ACOSTA, P., CARO, C. y PERICO, N.** Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV. *Revista de Tecnología* [en línea], 2015, vol. 14, no. 2, [consulta: 14 agosto 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041485>.
- ARELLANO, J. y GUZMAN, J.** *Ingeniería Ambiental*. 1. México D.F: Alfaomega. vol. I.
- ARTILLERY 3D.** Artillery sidewinder x1. <https://artillery3d.es/artillery-sidewinder-x1/>.
- ATENCIO, S.** *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en la población de la localidad de san Antonio de rancas, del distrito de simón bolívar, provincia y región pasco* [en línea], 2018. Tesis. Cerro de Pasco: UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN. [consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/428/1/T026_70776177_T.pdf.
- BAUTISTA, L.** *Diseño y construcción de una mini turbina hidráulica de hélices para ser instalada en los canales primarios abiertos y generar energía mecánica* [en línea], 2019. proyecto técnico previo a la obtención del título de ingeniero mecánico. Ambato: Universidad técnica de Ambato. [consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29641/1/Tesis%20I.%20M.%20515%200-Bautista%20Mollocana%20Jos%c3%a9%20Luis.pdf>.
- BOFILL-MAS, S.C.-C.P.A.-G.N.G.L.R.** Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*, vol. 79,
- BURKERT.** Qué es una electroválvula y cómo funciona. *Burkert* [en línea], 2019. [consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.burkert.es/es/Empresa-y-carrera/Actualidades/Prensa/Mediateca/Informes-tecnicos/Informes-tecnicos-temas-adicionales/Que-es-una-electrovalvula-y-como-funciona>.
- CALDERÓN LANDY, G.** *Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta*. Cuenca: Universidad politécnica salesiana sede Cuenca.

- CASTANON, A.** Mejoras en SOLIDWORKS 2022. [en línea], 2021. [consulta: 10 abril 2023].
Disponible en: <https://dmd.com.mx/2021/10/29/mejoras-en-solidworks-2022/>.
- CASTELLANO, J.** *Estudio para el desarrollo de centrales micro hidráulicas. aplicación a zona rural subdesarrollada.* Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- CASTRO, R. y PEREZ, R.** *Saneamiento rural y salud: Guía para acciones a nivel local.* 1. Guatemala: Organización Panamericana de la salud. vol. i.
- CAZORLA, J. y MERIZALDE, A.** *Estudio de prefactibilidad técnica económica de un pico central hidroeléctrica para la hacienda titaycun, parroquia la matriz, comunidad titaycun del cantón chambo* [en línea], 2013. TESIS DE GRADO. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. [consulta: 22 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2700/1/15T00539.pdf>.
- COMERCIAL DE RIEGOS.** FILTRO DISCOS O ANILLOS | FILTRACIÓN. [en línea], 2020. [consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://comercialderiegos.com/product/filtro-discos-o-anillos-filtracion/>.
- CVR ELECTRONICA.** Display LCD 2004 20x4. [en línea], 2022. [consulta: 16 abril 2023].
Disponible en: http://cvrelectronica.com/description/?product_id=353.
- D. POWELL, A.; EBRAHIMI, S.; NOURBAKSHSH, M. y MESHKAHALDINI, A.** Design of pico-hydro turbine generator systems for self-powered electrochemical water disinfection devices. *Renewable energy*, vol. 123, no. 4,
- DÍAZ, T. y CARMONA, G.** *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.GM* [en línea], 2010. 1. S.L.: McGraw-Hill Interamericana de España S.L. [consulta: 14 agosto 2022]. vol. 1. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.
- DIELECTRIC MANUFACTURING.** Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) Material Properties. <https://dielectricmfg.com/knowledge-base/petg/>.
- ELECTROSTORE.** CONTROLADOR DUAL DE MOTORES POLOLU TB6612FNG PUENTE H. <https://grupoelectrostore.com/> [en línea], 2022. [consulta: 24 noviembre 2022]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/controladores-de-motores/controlador-dual-de-motores-pololu-tb6612fng-puente-h/>.
- ENCISO, J. y MECKE, M.** Utilizando energía renovable para bombear agua. Texas:

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Environmental pollution control alternatives: Drinking water treatment for small communities*. 1. Cincinnati: s.n. vol. I.

FILAMENT2PRINT. ¿Qué es el PETG? https://filament2print.com/es/blog/49_petg.html.

FLEXMIN. Manómetros. *Flexmin*, vol. 1,

FLÓREZ, A.; OVALLE, J. y FORERO LA ROTTA, L. Traducción del diseño concurrente al proyecto de arquitectura. *Revista de arquitectura* [en línea], 2014, vol. 16, no. 1, [consulta: 22 julio 2022]. Disponible en: <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/60/896#:~:text=e1%20dise%C3%B1o%20concurrente%20es%20una,durante%20e1%20dise%C3%B1o%20hasta%20el>.

GARCÍA, F. y HUAYNATTE, A. *Evaluación ambiental de la construcción del sistema de tratamiento de agua potable para la conservación de la zona de amortiguamiento de la microcuenca Almendra de Moyobamba* [en línea], 2019. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Moyobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO. [consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3593/ING.%20AMBIENTAL%20Frans%20Anthony%20Garc%C3%ADa%20Pezo%20%26%20Andrella%20Yolanda%20Huaynatte%20Ru%C3%ADz%20%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

GARCÍA, M. et al. El Agua. En: P. LEYVA (ed.), *El medio ambiente en Colombia*. 2. Bogotá: IDEAM, pp. 115-116. vol. I.

GARMIN LTD. Montana® 680. *Montana® 680* [en línea], 2019. [consulta: 10 abril 2023]. Disponible en: <https://www.garmin.com/es-ES/p/523643#overview>.

GEEK FACTORY. Tutorial Arduino con Fotorresistencia LDR. [en línea], 2014. [consulta: 13 abril 2023]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/tutorial-arduino-con-fotoresistencia-ldr/>.

GONZÁLEZ, A.; MARTÍN, A. y FIGUEROA, R. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* [en línea], 2017, [consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: https://pdfapple.com/compress-pdf.html?queue_id=629be31442187354568b4780#google_vignette.

GRAY, N.F. Ultraviolet Disinfection. *Microbiology of Waterborne Diseases: Microbiological Aspects and Risks: Second Edition*, DOI 10.1016/B978-0-12-415846-7.00034-2.

- GUERRA, J.** Arduino Mega 2560 el hermano mayor de Arduino UNO. *Programarfacil.com* [en línea], 2020. [consulta: 11 febrero 2023]. Disponible en: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-mega-2560/>.
- HELIOESFERA.** DIAGRAMA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO. [en línea], 2020. [consulta: 12 abril 2023]. Disponible en: <https://www.helioesfera.com/diagrama-sistema-fotovoltaico/>.
- HSH-FLO.** Válvula de bola eléctrica, dispositivo de 1/2 ". <https://es.aliexpress.com/item/32845921038.html> [en línea], 2022. [consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/32845921038.html>.
- IBAÑEZ, G.** *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO SAN PABLO EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI* [en línea], 2012. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente. Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI. [consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/jspui/bitstream/27000/1577/1/T-UTC-2129.pdf>.
- ICT.** CAUDALÍMETRO POR ULTRASONIDO TDS 100 HS-H. *INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA, S.L.* [en línea], 2012. [consulta: 10 abril 2023]. Disponible en: <http://www.ictsl.net/productos/aparatos/caudalimetroporultrasonidotds100hsh.html>.
- INDUANALISIS.** Agua subterránea y superficial.
- INSELEC CÍA. LTDA.** GABINETE LIVIANO 200x200x150 (Ref.: I-0301).
- KYES, J.** GEOTAB. [en línea], 2020. [consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.geotab.com/es-latam/blog/qu%C3%A9-significa-gps/>.
- LEAL ASECIO, M.T.** Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. *Solar Safe Water*,
- LLANO, E.** *MONTAJE Y EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE PICO-GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA CON UNA TURBINA MICHELL - BANKI.* Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT.
- LÓPEZ-GETA, J.; FORNÉS, J.; RAMOS, G. y VILLARROYA, F.** *Las aguas subterráneas: Un recurso natural del subsuelo.* 4. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. vol. I.

- MASTER BATTERY.** Omega NPG 100-12. *Master Battery* [en línea], 2019. [consulta: 8 enero 2023]. Disponible en: <https://www.masterbattery.es/en/upower.html>.
- MASTERCAM.** Software CAD Vs software CAM. [en línea], 2021. [consulta: 31 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.cadavshmeip.com/blog/articulos-1/cad-vs-cam-cuales-son-las-diferencias-215>.
- MORALES, A. y GÓMEZ, D.** *DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS APLICADOS AL ÁREA RESIDENCIAL EN UN SECTOR COSTERO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS, ECUADOR* [en línea], 2022. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico. Guayaquil: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL. [consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22499/1/UPS-GT003707.pdf>.
- MOREIRA, P. y CASQUETE, F.** *DISEÑO DE VEHÍCULO DE EXPLORACIÓN PARA EL TENDIDO DE CABLES UTP BASADOS EN TECNOLOGÍA ARDUINO Y CONTROLADO POR UN DISPOSITIVO CELULAR O TABLET CON SISTEMAS OPERATIVO* [en línea], 2017. PROYECTO DE TITULACIÓN. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL. [consulta: 11 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/26723/1/B-CINT-PTG-N.245Casquete%20Qui%C3%B1onez%20Francisco%20Xavier.Moreira%20Maridue%C3%B1a%20Pedro%20Ernesto.pdf>.
- MORENO, S.** *DISEÑO POR CFD DE UNA ROTO BOMBA ACCIONADA CON TURBINA MICHELL-BANKI, PARA EL BOMBEO DE AGUA DE RIEGO EN SECTORES VULNERABLES* [en línea], 2017a. TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. [consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26800/1/Tesis%20I.%20M.%20417%20-%20Moreno%20Duarte%20Marlon%20Santiago.pdf>.
- MUNDO COMPRESOR.** Manómetro. *Mundo compresor* [en línea], 2020. [consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/manometro>.
- MUÑOZ CRUZ, A.** *CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Hidalgo: Instituto de ciencias básicas e ingeniería.

- MUSUÑA, C. y VEINTIMILLA, F.** “*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE EFICIENCIA DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.*” [en línea], 2018. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI. [consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5409/1/PI-000766.pdf>.
- OLADE.** *El desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas en Latinoamérica y el Caribe* [en línea], 1980. 2da. Panamá: s.n. [consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0225.pdf>.
- OVANDO, N.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINI-TURBINA HIDRÁULICA TIPO TURGO PARA SER INSTALADA EN CANALES PRINCIPALES DE RIEGO PARA GENERAR ENERGÍA MECÁNICA.* PROYECTO TÉCNICO. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- PAREDES, B.** Tecnologías de Simulación de Turbomáquinas Utilizando Herramientas ANSYS. ESSS [en línea], 2020. [consulta: 1 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.esss.co/es/biblioteca-tecnica/webinar-simulacion-de-turbomaquinas/>.
- PIENSA INGENIERÍA.** Lámpara Ultravioleta UV 12 GPM- 55W – OS. [en línea], 2023. [consulta: 12 abril 2023]. Disponible en: <https://piensaingenieria.com/producto/uv-12-gpm-55w-os/>.
- PROAÑO, R.** *Diseño del control de una micro central hidroeléctrica con turbina michell banki 213kw.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- PRODUCTOS METALÚRGICOS S.A.** MANOMETRO “PAOLO” 0-200 PSI. [en línea], 2020. [consulta: 12 abril 2023]. Disponible en: <https://www.promesa.com.ec/producto/manometro-paolo-0-200-psi>.
- PROTOMICAD3D.** ANSYS Mechanical. [en línea], 2018. [consulta: 1 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.protomicad3d.com/2022/03/ansys-mechanical-software-de-analisis.html>.
- RAMÍREZ, J.** *Análisis, diseño e implementación de un sistema de encendido con micro generación hidráulica de un calefón a gas para evitar el uso de pilas.* Riobamba: ESPOCH.
- REYNA, T.; LÁBAQUE, M.; IRAZUSTA, B.; REYNA, S. y RIHA, C.** MICROTURBINAS HIDRÁULICAS. DISEÑO, ADAPTACIONES PARA ENSEÑANZA DE

- MICROGENERACIÓN. *XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA* [en línea], 2018, [consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Teresa-Reyna-4/publication/328108201_MICROTURBINAS_HIDRAULICAS_DISENO_ADAPTACIONES_PARA_ENSEMANZA_DE_MICROGENERACION_RESUMEN/links/5bb7f4944585159e8d871557/MICROTURBINAS-HIDRAULICAS-DISENO-ADAPTACIONES-PARA-ENSEMANZA-DE-MICROGENERACION-RESUMEN.pdf.
- ROMERO, F.; VELÁSQUEZ, L. y CHICA, E.**, Consideraciones de diseño de una turbina Michell-Banki. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, no. 1,
- SALAMANCA, E.** TRATAMIENTO DE AGUAS PARA EL CONSUMO HUMANO. *Módulo Arquitectura CUC* [en línea], 2014, vol. 17, [consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/1527>.
- SOLSONA, F. y MÉNDEZ, J.** DESINFECCIÓN DE AGUA. En: CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (ed.) [en línea], 2022. Lima: s.n., pp. 77-91. [consulta: 14 agosto 2022]. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SOLSONA%20y%20MENDEZ%202002.%20Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.pdf.
- STORE ARDUINO.** Arduino Mega 2560 Rev3. *Arduino Store* [en línea], 2021. [consulta: 11 febrero 2023]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/static/48f6628a77674412aeb84a6701d4fb93/A000067-datasheet.pdf>.
- SUÁREZ, J.; SUÁREZ, X. y CONTRERAS, R.** COMPORTAMIENTO DE 3 FAMILIAS DE ACEROS INOXIDABLES ANTE SOLICITUDES TRIBOLÓGICAS DE ABRASIÓN Y EROSIÓN. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. 21, no. 2,
- TECMICRO.** MODULO LM2596 - REGULADOR STEP DOWN. *tecmikro.com* [en línea], 2022. [consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <https://tecmikro.com/alimentacion-pilas-baterias/616-lm2596-modulo-regulador-step-down.html>.
- TECNOMETRICA.** Manual de instrucciones de uso Caudalímetro por ultrasonido TDS-100H. [en línea], 2018. [consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.tecnometrica.com.mx/pdf/manual-tds-100H.pdf>.
- TOTAPALLY, H. y AZIZ, N.** Refinement of crossflow turbine design parameters. *Journal of energy engineering*, vol. 120, no. 3,

UNIT ELECTRONICS. Sensor de Corrientes ACS712 30A. *Unit Electronics* [en línea], 2019. [consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-corriente-ac712-30a/>.

VÁLVULAS ARCO. Electroválvulas: Qué es y para qué sirve. [en línea], 2020. [consulta: 10 abril 2023]. Disponible en: <https://blog.valvulasarco.com/electrovalvulas-que-es-y-para-que-sirve>.

VIERA, J. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS UBICADA EN LAS RIVERAS DEL RÍO PAYAMINO DE LA CIUDAD DEL COCA PARA LA EMPRESA ORELLANA TURISMO EP* [en línea], 2021. PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. [consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33707/1/Tesis%20I.%20M.%20655%20-%20Viera%20%20Andi%20Jonathan%20%20Andr%C3%A9s.pdf>.

VILLEGAS, E. y ALCIVAR, L. *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA SIMÓN BOLÍVAR EN LA COMUNIDAD MASA 2, GOLFO DE GUAYAQUIL* [en línea], 2020. PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE: INGENIERO ELÉCTRICO. Guayaquil: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL. [consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19525/1/UPS-GT003047.pdf>.

WHITE, F. *MECANICA DE FLUIDOS*. 5. Madrid: McGraw Hill. vol. 1.

WUHAN HANFEI SCIENCE AND TECHNOLOGY CO.LTD. MPPT130D Solar Charge Controller MPPT Charge Controller 30A 12V/24V for solar energy system. *MPPT130D Solar Charge Controller* [en línea], 2020. [consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <http://www.hanfsolar.com/product/MPPT130D-Solar-Charge-Controller-MPPT-Charge-Controller-30A-12V24V-for-solar-energy-system-13.html>.

ZARATE, F.; AGUERRE, C. y AGUERRE, R. *Turbina mitchell-banki: Criterios de diseño, selección y utilización*. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata.

ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LAMPARA ULTRAVIOLETA 55.



LÁMPARA ULTRAVIOLETA 55W



ACCESORIO ÚNICO
EN EL MERCADO
▶ Indicador de vida útil ▶

www.watprosa.com

Características

Aplicaciones de agua potable y de alta pureza

Acero inoxidable 304, electropulido y pasivado por dentro y por fuera, el acero inoxidable 316 es opcional.

Los cabezales dobles se pueden quitar y girar para mayor versatilidad durante la instalación

Tapa de retención para cambiar la lámpara sin esfuerzo

La manga de cuarzo fundido asegura una salida óptima de la lámpara a la temperatura normal del agua potable

Indicador de funcionamiento de lámpara y sistema de alarma en el balasto.

- Capacidad: 12 GPM / 2725 LPH
- Conexión BSP : 3/4"
- Lámpara UV x 1
- Funda de Cuarzo x 1
- Indicador de fallo de la lámpara UV
- Consumo: 55W
- Dimensiones L x A x P (mm): 900 x 190 x 160
- Cámara: Acero Inoxidable SS304
- Horómetro
- Voltaje de alimentación:
110 ~ 120 VAC 50/60/HZ
- Indicador de vida útil
- Longitud de onda 910 Mm



WATPRO S.A.
EQUIPOS PARA TRATAMIENTO Y PURIFICACIÓN DE AGUA

CONTÁCTANOS

02 601 74 14 / 099 819 71 57 • Italia N32-139 y Mariana de Jesús
www.watprosa.com

ANEXO B: DATOS OBTENIDOS DE VOLTAJE, INTENSIDAD, POTENCIA EN UN DÍA NUBLADO.

Hora	Panel solar			Inversor		
	Vc (V)	Ic (A)	Pc (w)	Vc (V)	Ic (A)	Pc (w)
10:00	12,98	9,932	128,917	12,98	5,217	67,712
10:10	12,83	9,687	124,280	12,83	5,188	66,561
10:20	12,78	8,352	106,735	12,78	5,217	66,668
10:30	12,81	9,739	124,750	12,81	5,228	66,968
10:40	12,97	12,134	157,372	12,97	5,213	67,615
10:50	12,77	9,918	126,649	12,77	5,187	66,237
11:00	12,8	8,510	108,928	12,8	5,212	66,718
11:10	12,76	8,965	114,398	12,76	5,217	66,569
11:20	12,73	8,094	103,042	12,73	5,230	66,578
11:30	12,78	8,781	112,217	12,78	5,243	67,007
11:40	12,87	9,279	119,415	12,87	5,219	67,163
11:50	13,09	13,514	176,893	13,09	5,182	67,830
12:00	12,99	11,162	144,995	12,99	5,168	67,136
12:10	12,95	10,172	131,731	12,95	5,178	67,051
12:20	13	11,073	143,947	13	5,180	67,336
12:30	13,12	11,964	156,962	13,12	5,196	68,175
12:40	13,6	13,555	184,345	13,6	5,039	68,534
12:50	13,21	12,643	167,011	13,21	5,072	66,997
13:00	13,26	13,228	175,401	13,26	4,995	66,238
13:10	13,19	13,303	175,463	13,2	5,014	66,182
13:20	13,09	13,044	170,744	13,09	5,012	65,601
13:30	13,27	10,135	134,489	13,27	5,114	67,864
13:40	13,86	13,129	181,966	13,86	5,066	70,214
13:50	13,38	10,622	142,116	13,38	5,067	67,795
14:00	13,66	12,165	166,169	13,66	5,003	68,337
14:10	13,12	10,286	134,949	13,12	5,027	65,956
14:20	12,98	6,555	85,086	12,98	5,142	66,748
14:30	12,96	6,891	89,310	12,96	5,163	66,909
14:40	12,91	7,775	100,380	12,91	5,180	66,869
14:50	12,83	7,679	98,518	12,83	5,141	65,958
15:00	12,77	6,211	79,316	12,77	5,159	65,874
15:10	12,76	6,853	87,445	12,76	5,269	67,230
15:20	12,65	5,577	70,554	12,65	5,219	66,017
15:30	12,9	7,176	92,570	12,9	5,225	67,400
15:40	12,91	7,497	96,780	12,91	5,228	67,497
15:50	12,7	8,022	101,881	12,7	5,219	66,276
16:00	12,61	4,650	58,632	12,61	5,208	65,670
16:10	12,62	6,202	78,265	12,62	5,257	66,339
16:20	12,56	4,819	60,530	12,56	5,250	65,944
16:30	12,53	2,974	37,259	12,53	5,232	65,552
16:40	12,54	2,968	37,217	12,54	5,241	65,728
16:50	12,52	3,478	43,550	12,52	5,299	66,346
17:00	12,5	3,268	40,844	12,5	5,253	65,656
17:10	12,5	2,915	36,435	12,5	5,298	66,222
17:20	12,47	2,429	30,286	12,47	5,262	65,619
17:30	12,44	1,406	17,486	12,44	5,262	65,459
17:40	12,41	0,883	10,952	12,41	5,254	65,207
17:50	12,4	0,697	8,640	12,4	5,245	65,036
18:00	12,4	0,547	6,785	12,4	5,269	65,333
		Promedio	116,216			

ANEXO C: DATOS OBTENIDOS DE VOLTAJE, INTENSIDAD, POTENCIA EN UN DÍA SOLEADO.

Hora	Panel Solar			Inversor		
	Vc (V)	Ic (A)	Pc (w)	Vc (V)	Ic (A)	Pc (w)
10:00	13,9	16,291	226,448	13,9	5,159	71,707
10:10	13,79	16,104	222,075	13,79	5,139	70,860
10:20	14,12	18,137	256,097	14,12	5,128	72,413
10:30	14,17	19,746	279,807	14,17	5,094	72,186
10:40	14,44	17,224	248,714	14,44	5,066	73,159
10:50	14,28	19,278	275,285	14,28	5,081	72,553
11:00	14,31	19,604	280,535	14,31	5,051	72,280
11:10	14,4	20,061	288,876	14,4	5,043	72,616
11:20	14,6	17,986	262,600	14,6	5,043	73,622
11:30	14,63	20,611	301,535	14,63	5,032	73,616
11:40	14,64	19,883	291,088	14,64	5,024	73,555
11:50	14,67	20,248	297,040	14,67	4,969	72,894
12:00	14,75	19,258	284,053	14,75	4,912	72,449
12:10	14,8	19,690	291,406	14,8	4,967	73,505
12:20	14,84	19,483	289,120	14,84	4,865	72,191
12:30	14,81	18,517	274,234	14,81	4,902	72,593
12:40	14,56	17,068	248,503	14,56	4,901	71,356
12:50	14,87	17,644	262,371	14,87	4,940	73,458
13:00	14,89	16,571	246,740	14,89	4,920	73,259
13:10	14,89	15,787	235,071	14,89	4,886	72,753
13:20	14,91	14,996	223,584	14,91	4,922	73,390
13:30	14,91	13,999	208,723	14,91	5,001	74,561
13:40	14,93	13,480	201,263	14,93	4,871	72,728
13:50	14,93	12,578	187,790	14,93	4,962	74,077
14:00	14,39	12,207	175,662	14,39	4,824	69,417
14:10	14,82	10,143	150,324	14,82	4,966	73,594
14:20	14,33	9,356	134,071	14,33	4,946	70,870
14:30	13,98	8,969	125,389	13,98	4,975	69,556
14:40	14,44	7,095	102,446	14,44	4,994	72,111
14:50	14,38	8,168	117,456	14,38	4,971	71,480
15:00	14,54	7,635	111,007	14,54	4,938	71,791
15:10	14,34	7,447	106,796	14,34	4,972	71,302
15:20	14,42	7,545	108,796	14,42	4,917	70,898
15:30	14,4	7,501	108,017	14,4	4,934	71,050
15:40	14,37	7,242	104,068	14,37	4,860	69,833
15:50	14,36	7,055	101,307	14,36	4,942	70,965
16:00	14,38	6,963	100,121	14,38	4,914	70,657
16:10	14,39	6,922	99,604	14,39	4,857	69,885
16:20	14,43	6,756	97,490	14,43	4,946	71,367
16:30	14,45	6,846	98,918	14,45	4,966	71,758
16:40	14,28	6,551	93,550	14,28	4,931	70,422
16:50	13,97	5,262	73,509	13,97	4,985	69,635
17:00	13,7	3,497	47,913	13,7	4,982	68,252
17:10	13,61	2,943	40,049	13,61	5,007	68,151
17:20	13,56	2,514	34,094	13,56	5,032	68,231
17:30	13,37	2,105	28,146	13,37	5,160	68,985
17:40	13,34	2,080	27,747	13,34	5,125	68,365
17:50	13,3	1,672	22,232	13,3	5,134	68,282
18:00	13,26	1,157	15,337	13,26	5,120	67,886
		Promedio	191,614			

ANEXO D: DATOS OBTENIDOS DE VOLTAJE, INTENSIDAD, POTENCIA DE LA TURBINA.

Hora	Microturbina (Generador)		
	Vc (V)	Ic (A)	Pc (w)
10:00	11,53	0	0
10:20	11,72	0	0
10:40	11,13	0	0
11:00	11,93	0,24	2,8632
11:01	11,91	0	0
11:02	11,95	0	0
11:03	11,94	0	0
11:04	11,93	0	0
11:05	11,95	0,24	2,868
11:20	11,34	0	0
11:40	12,19	0	0
12:00	12,32	0	0
12:20	12,45	0	0
12:40	11,7	0	0
13:00	12,53	0	0
13:20	12,53	0	0
13:40	12,6	0	0
14:00	12,08	0	0
14:20	11,96	0	0
14:40	12,08	0	0
15:00	11,99	0	0
15:20	12,11	0	0
15:40	12,11	0	0
16:00	12,08	0	0
16:20	12,45	0	0
16:40	11,97	0	0
17:00	11,42	0	0
17:20	11,27	0	0
17:40	11,07	0	0
18:00	10,98	0	0

Realizado por: Ruiz, M.; Guerrero, M. 2023

ANEXO E: INFORME TÉCNICO DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO.



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Trabajo de Integración Curricular "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOSUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO."

Fecha de entrega de resultados: 20 de enero del 2023

Tipo de muestra: Agua para uso doméstico. Toma domiciliaria 1

Localidad: Comunidad Rumicruz Barrio Catequilla. Cantón Chambo

Determinaciones	Unidades	*Valores Referenciales	Resultados
Color	Und Co/Pt	< 15	1
pH	-	6.5 - 8.5	7.13
Conductividad	μ Siems/cm	< 1 250	276.6
Turbiedad	UNT	5	0.1
Cloruros	mg/L	250	5.7
Dureza	mg/L	300	164.0
Alcalinidad	mg/L	300	180.0
Sólidos Totales			
Disueltos	mg/L	1000	171.5
Coliformes Totales	UFC/100mL	<1.1	300.0
Coliformes fecales	UFC/100mL	<1.1	Ausencia

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico según la norma INEN 1108

Observaciones: Agua que requiere proceso de desinfección

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXO F: INFORME TÉCNICO DE LA CALIDAD DEL AGUA LUEGO DEL TRATAMIENTO.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Trabajo de Integración Curricular "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOSUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO."

Fecha de entrega de resultados: 27 de febrero del 2023

Tipo de muestra: Agua para uso doméstico. Toma domiciliaria tratada (Luz UV)

Localidad: Comunidad Rumicruz Barrio Catquilla. Cantón Chambo

Determinaciones	Unidades	*Valores Referenciales	Resultados
Color	Und Co/Pt	< 15	1
pH	-	6.5 - 8.5	7.01
Conductividad	μ Siems/cm	< 1 250	274.4
Turbiedad	UNT	5	0.1
Cloruros	mg/L	250	4.8
Dureza	mg/L	300	148.0
Alcalinidad	mg/L	300	130.0
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	162.5
Coliformes Totales	UFC/100mL	<1.1	Ausencia
Coliformes fecales	UFC/100mL	<1.1	Ausencia

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico según la norma INEN 1108

Observaciones: Valores encontrados dentro de norma. Se eliminó la presencia de bacterias en el agua mediante desinfección con luz ultravioleta

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXO G: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO.

Introducción

Este prototipo busca mejorar la calidad del agua que consume eliminando microorganismos que pueden generar enfermedades con la finalidad de que se sienta seguro al momento de consumirla, es importante que el prototipo funcione durante todo el día ya que de esta manera se mantiene constante dicha calidad del agua. Cabe destacar que el prototipo ha sido diseñado de manera que pueda ser “portable” ya que se ha procurado que sus dimensiones faciliten su movilidad.

Especificaciones técnicas

Gabinete metálico

El gabinete metálico es un elemento muy importante, ya que dentro de el mismo se encuentran los componentes eléctricos que harán posible el funcionamiento del prototipo, este gabinete cuenta con unas dimensiones de 400x300x200 mm, los componentes internos del gabinete se pueden apreciar en la siguiente tabla:



Cantidad	Elemento
1	Controlador MMPT
1	Placa de circuitos
1	Inversor
1	Tomacorriente
2	Pulsadores
3	Indicadores luminosos
1	Interruptor
1	Arduino Mega 2560
1	Batería solar
1	Braker 3 A
1	Braker 25 A

Fuentes de energía

Paneles solares

Los dos paneles solares son las fuentes de energía principal con las que funcionará el prototipo, dichos paneles se encuentran conectados en serie y se recomienda que se coloquen con una inclinación aproximada de 15 grados, además que se debe evitar colocarlos en zonas donde se produzcan sombras.



Microturbina

La microturbina es la fuente de energía que permitirá el funcionamiento de la electroválvula que facilitará el mantenimiento del dispositivo de desinfección de agua, gracias a ella se podrá interrumpir el flujo de agua que pasará por dicho dispositivo con la ayuda de los pulsadores ubicados en la parte lateral derecha del gabinete metálico.



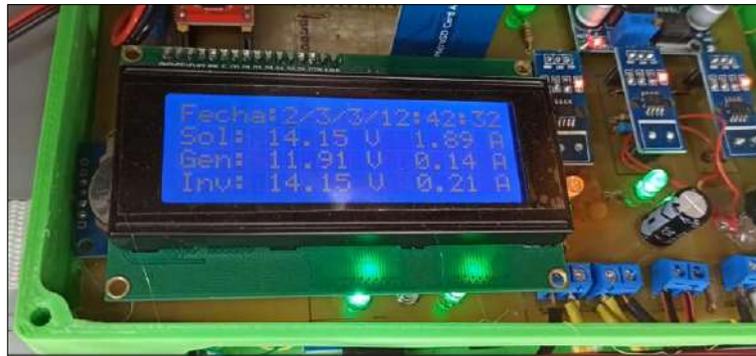
Funcionamiento

Una vez que las conexiones estén realizadas, los pasos a seguir para el funcionamiento del prototipo son los siguientes:

1. Ubicar los “breakers” tanto de la batería como del inversor dentro del gabinete metálico y activarlos, esto se hace para salvaguardar los componentes del prototipo.



2. Encender la placa de circuitos accionando el interruptor que se encuentra en su parte lateral de manera que se puedan apreciar los datos de generación en la pantalla LCD incorporada en la misma.



3. Se ubica el interruptor del inversor que se encuentra en la parte externa del gabinete metálico y se lo coloca en la posición de encendido, una vez hecho este paso, se podrá apreciar que el indicador rojo se ha encendido.



4. Se conecta la lampara de desinfección ultravioleta en el tomacorriente ubicado en la parte lateral del gabinete metálico y se verifica que el indicador LED de color verde de la lampara se encuentre encendido, lo cual significa que el prototipo de tratamiento de agua se encuentra funcionando correctamente.



ANEXO H: MANUAL DE MANTENIMIENTO.

Mantenimiento filtro de sedimentos.

1. Se debe cerrar la válvula de bola, para evitar el plazo flujo al filtro de sedimentos.



2. Desenroscar el filtro de la conexión principal.
3. Desenroscar la tapa del filtro y libera el exceso de agua
4. Abrir el filtro
5. Sacar el cilindro de anillos



6. Quitar la tapa de seguridad de los anillos

7. Separar los discos o anillos
8. Limpiar el cilindro, enjuaga bajo chorro de agua
9. Ensambla nuevamente el filtro



Mantenimiento de la lampara UV

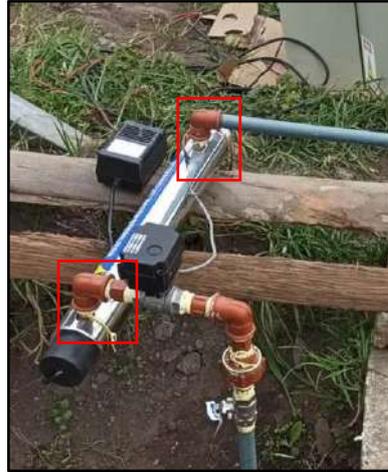
1. Pulsar el botón de cierre de la electroválvula.



2. Apagar el equipo, moviendo el interruptor a off, para evitar daños en el sistema fotovoltaico como en la lampara de desinfección UV.



3. Luego de que el equipo esta apagado se procede a desconectar el cable de energía de la lámpara de desinfección del tomacorriente.
4. Aflojar los codos de las conexiones de la lampara de desinfección UV para poder maniobrar con mayor facilidad el equipo.



5. Posteriormente, se recomienda ponerse guantes de látex para proceder a desenroscar la parte inferior metálica para poder extraer el bulbo de la lampara de desinfección.



6. Luego de aflojar las partes laterales de la lampara de desinfección, se procede a sacar los empaques del bulbo.



7. Desconecte la lampara de los conectores del tubo y luego proceda a separar el bulbo de los conectores.
8. Extraiga la manga de cuarzo de la cámara del reactor.
9. Para limpiar, use un paño empapado en CLR, vinagre o algún otro ácido suave.
10. Enjuagar con agua.

11. Se recomienda limpiar la manga de cuarzo cada mes y realizar el cambio del cuarzo cada año para mantener las condiciones óptimas en el dispositivo de desinfección.
12. Inserte una nueva manga de cuarzo totalmente dentro de la cámara del reactor. Tenga cuidado de no forzar la manga de cuarzo ya que se puede romper. Luego instale las partes laterales sobre la manga de cuarzo.
13. Atornille la tuerca de la manga de cuarzo en el sentido de las agujas del reloj y ajuste manualmente.
14. Abra la válvula de entrada y verifique si existen pérdidas. Repare las pérdidas según sea necesario.
15. Vuelva a suministrar electricidad al sistema.
16. Verifique que el indicador LED esté verde. Inmediatamente después del reemplazo de la lámpara UV, y/o la manga de cuarzo.



ANEXO I: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define I2C_ADDR 0x27
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <TimeLib.h>
#include <DS1307RTC.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
float Sensibilidad=0.066; //sensibilidad en V/A para nuestro sensor
float offset=0.100; // Equivale a la amplitud del ruido
float Icsolar,Vcsolar,Icgen,Vcgen,Icinv;
String Tiempo="";
int minuto,segundo;
String DataString;
```

```

int muestras=100;
int pwm=5;
int stby=8;
int dir1=6;
int dir2=7;
int led=13;
int p1,p2;
int ledsd=12;
int ledt=11;
int rec;
const int chipSelect = 49;
int periodo = 100; // tiempo que esta el LED en alto y bajo
unsigned long tiempoAnterior = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  lcd.begin (20,4);
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.home ();
  pinMode(led,OUTPUT);
  pinMode(ledsd,OUTPUT);
  pinMode(ledt,OUTPUT);
  pinMode(dir1,OUTPUT);
  pinMode(dir2,OUTPUT);
  pinMode(stby,OUTPUT);
  pinMode(pwm,OUTPUT);
  pinMode(9,INPUT_PULLUP);
  pinMode(14,INPUT_PULLUP);
  pinMode(15,INPUT_PULLUP);
  if (!SD.begin(chipSelect))
  {
    lcd.print("ERROR INSERTE SD");
    while (1);
  }
}
void loop()

```

```

{
  p1=digitalRead(14);
  p2=digitalRead(15);
  if(p1==LOW)
  {
    analogWrite(pwm,200);
    digitalWrite(stby,HIGH);
    digitalWrite(dir1,LOW);
    digitalWrite(dir2,HIGH);
  }
  if(p2==LOW)
  {
    analogWrite(pwm,200);
    digitalWrite(stby,HIGH);
    digitalWrite(dir1,HIGH);
    digitalWrite(dir2,LOW);
  }
  if(p1==HIGH && p2==HIGH){
    analogWrite(pwm,0);
    digitalWrite(stby,LOW);
    digitalWrite(dir1,LOW);
    digitalWrite(dir2,LOW);
  }
  digitalWrite(led,HIGH);
  tiempo();
  reloj();
  rec=digitalRead(9);
  if(rec==LOW){ digitalWrite(ledsd,HIGH);}else{ digitalWrite(ledsd,LOW);}
  if(segundo==1 && rec==0 ){ Serial.println("Guardando"); guardarsd();}
  Icsolar=get_corriente(A4);
  Vcsolar=get_voltaje(A0);
  Icgen=get_corriente(A3);
  Vcgen=get_voltaje(A1)-2;
  Icinv=get_corriente(A2);
  pantallalcd();

  Serial.print("Isolar: ");

```

```

Serial.print(Icsolar,3);
Serial.print(" VSolar: ");
Serial.print(Vcsolar,3);
Serial.print(" Igen: ");
Serial.print(Icgen,3);
Serial.print(" Vgen: ");
Serial.println(Vcgen,3);
delay(100);
}
void tiempo()
{
if(millis()-tiempoAnterior>=periodo){ //si ha transcurrido el periodo programado
digitalWrite(ledt,!digitalRead(ledt)); //actualiza el estado del led
tiempoAnterior=millis(); //guarda el tiempo actual como referencia
}
}
void pantallalcd()
{
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Fecha:");
lcd.print(Tiempo);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Sol: ");
lcd.print(Vcsolar);
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("V");
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print(Icsolar);
lcd.setCursor(19, 1);
lcd.print("A");

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Gen: ");
lcd.print(Vcgen);
lcd.setCursor(11, 2);
lcd.print("V");

```

```

lcd.setCursor(14, 2);
lcd.print(Icgen);
lcd.setCursor(19, 2);
lcd.print("A");

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Inv: ");
lcd.print(Vcsolar);
lcd.setCursor(11, 3);
lcd.print("V");
lcd.setCursor(14, 3);
lcd.print(Icinv);
lcd.setCursor(19, 3);
lcd.print("A");
}
void guardarsd()
{
  File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
digitalWrite(ledsd,LOW);
delay(100);

// if the file is available, write to it:
if (dataFile) {
  dataFile.print("Fecha:");
  dataFile.print(Tiempo);
  dataFile.print(",Vc Solar:");
  dataFile.print(Vcsolar);
  dataFile.print(",Ic Solar:");
  dataFile.print(Icsolar);
  dataFile.print(",Vc Gen:");
  dataFile.print(Vcgen);
  dataFile.print(",Ic Gen:");
  dataFile.print(Icgen);
  dataFile.print(",Vc Inv:");
  dataFile.print(Vcsolar);
  dataFile.print(",Ic Inv:");
  dataFile.println(Icinv);
}
}

```

```

dataFile.close();
// print to the serial port too:
}
// if the file isn't open, pop up an error:
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}
}
float get_corriente(int puerto)
{
    float voltajeSensor;
    float corriente=0;
    for(int i=0;i<muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = analogRead(puerto) * (5.0 / 1023.0);///lectura del sensor
        corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5)/Sensibilidad;
    }
    corriente=corriente/muestras;
    if(corriente<0.1){corriente=0;}
    return(corriente);
}
float get_voltaje(int puerto)
{
    float voltajeSensor=0;
    for(int i=0;i<muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = voltajeSensor+(analogRead(puerto) * (28.5 / 1023.0));///lectura del sensor
    }
    voltajeSensor=voltajeSensor/muestras;

    return(voltajeSensor);
}
void reloj()
{
    tmElements_t tm;
    if (RTC.read(tm)) {
        minuto=tm.Minute;

```

```

segundo=tm.Second;
Tiempo=tm.Day;
Tiempo+="/";
Tiempo+=tm.Month;
Tiempo+="/";
Tiempo+=tm.Month;
Tiempo+="/";
Tiempo+=tm.Hour;
Tiempo+=":";
Tiempo+=tm.Minute;
Tiempo+=":";
Tiempo+=tm.Second;
DataString=Tiempo;

} else {
if (RTC.chipPresent()) {
    Serial.println("The DS1307 is stopped. Please run the SetTime");
    Serial.println("example to initialize the time and begin running.");
    Serial.println();
} else {
    Serial.println("DS1307 read error! Please check the circuitry.");
    Serial.println();
}
delay(9000);
}
void print2digits(int number) {
if (number >= 0 && number < 10) {
    Serial.write('0');
}
Serial.print(number);}

```