



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no  
Renovables.**

**Carrera de Ingeniería Electromecánica**

**Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la  
energía del sol**

**Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Electromecánico.**

**AUTOR:**

Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza.

**DIRECTOR:**

Ing. Edgar Rafael Rivas Celi Mgs.

Loja - Ecuador

2022

## Certificación

Loja, 17 de marzo de 2023

Ing. Edgar Rafael Rivas Celi Mgs.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del Sol**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del señor estudiante **Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza**, con cédula de identidad Nro. **1104681489**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Edgar Rafael Rivas Celi, Msc

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación del Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1104681489

**Fecha:** 21 de noviembre del 2023

**Correo electrónico personal:** jatandazoc@unl.edu.ec

**Correo electrónico institucional:** jatandazoc@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0994895140

**Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo, **Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del sol**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, suscribo, a los veintiún días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.



**Firma:**

**Autor:** Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza.

**C.I:** 1104681489

**Dirección:** Catacocha, calle 25 de junio y Manuel Vivanco.

**Teléfono:** 0994895140

**Correo electrónico personal:** jatandazoc@unl.edu.ec

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Edgar Rafael Rivas Celi, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a mi hija Paula Nicole, mi esposa quien, con su amor, paciencia, y apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria, me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

Mis padres Paul y Carmen gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

A mi familia, por sus consejos y ayuda brindada en mi carrera universitaria.

Finalmente, a mi familia política porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

***Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza***

## **Agradecimiento**

Al finalizar este trabajo, quiero expresar mi gratitud a Dios por todas sus bendiciones, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

También quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja, directivos y profesores del Área de Energía las Industrias y los recursos Naturales no Renovables, por abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso universitario dentro de su establecimiento educativo.

Agradezco a los todos docentes, que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

Al Ing. Edgar Rivas por guiarme para desarrollar este Trabajo de Titulación, además de compartir su conocimiento con mi persona durante la carrera.

A mis amigos y compañeros por su amistad que me brindaron a lo largo de mi formación profesional.

Gracias a todos por su apoyo y ayuda incondicional.

***Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas.....	xiii
Índice de figuras.....	xiv
Índice de anexos.....	xvi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico.</b> .....	<b>6</b>
4.1. Fluido.....	6
4.1.1. Agua.....	6
4.1.1.1. Densidad.....	6
4.1.1.2. Volumen.....	6
4.1.1.3. Peso específico.....	6
4.1.1.4. Presión.....	6
4.1.1.5. Presión atmosférica.....	7
4.1.1.6. Presión absoluta, relativa, manométrica y de vacío.....	7
4.1.2. Hidrodinámica.....	8
4.1.2.1. Caudal.....	8
4.1.2.2. Ecuación de Bernoulli.....	8
4.1.2.3. Potencia de bombeo.....	8
4.1.2.4. Altura piezométrica.....	9
4.1.2.5. Altura de bombeo.....	9
4.1.2.6. Velocidad de flujo.....	9

4.1.2.7. Número de Reynolds.....	10
4.1.2.8. Flujo laminar y turbulento. ....	10
4.1.3. Pérdidas de energía.....	11
4.1.3.1. Ecuación de Darcy Weisbach.....	11
4.1.3.2. Pérdidas primarias. ....	11
4.1.3.3. Pérdidas secundarias.....	11
4.1.4. Instalaciones de bombeo. ....	12
4.1.4.1. Altura manométrica de instalación.....	12
4.1.4.2. Punto de funcionamiento. ....	12
4.1.4.3. Coeficientes de resistencia para accesorios.....	13
4.1.4.4. Coeficiente K.....	14
4.1.4.5. Bombas hidráulicas.....	15
4.1.4.6. Clasificación de las bombas hidráulicas. ....	15
4.1.4.7. Bomba centrífuga.....	16
4.1.4.8. Normativas para construcciones de agua hidrosanitaria.....	16
4.1.4.9. Calidad del agua, muestreo.....	17
4.2. Energía.....	18
4.2.1. Fuentes de energía.....	19
4.2.2. Energía renovable.....	19
4.2.3. Energía solar.....	19
4.2.4. Radiación solar.....	20
4.2.5. Factores de radiación solar.....	21
4.2.6. Constante solar.....	22
4.2.7. Hora solar pico (HPS).....	22
4.2.8. Energía fotovoltaica.....	23
4.2.9. Sistemas fotovoltaicos.....	23
4.2.10. Sistemas fotovoltaicos autónomos. (SFA).....	24
4.2.11. Panel fotovoltaico.....	24
4.2.12. Efecto fotovoltaico.....	25
4.2.13. Tipos de paneles fotovoltaicos.....	26
4.2.13.1. Panel monocristalino.....	26
4.2.13.2. Panel policristalino.....	26
4.2.13.3. Panel amorfo.....	27
4.2.14. Regulador o controlador de carga.....	27
4.2.14.1. Tipos de reguladores.....	27
4.2.15. Inversor.....	28



4.2.15.1. Tipos de inversores.....	28
4.2.16. Batería.....	28
4.2.16.1. Tipos de baterías.....	29
4.2.17. Regulaciones para sistemas fotovoltaicos en el Ecuador.....	30
4.3. Osmosis Inversa.....	31
4.3.1. Osmosis inversa convencional y osmosis inversa de circuito cerrado (CCD OR)	32
4.3.2. Inversa directa.....	33
4.3.3. Agua de excelente calidad.....	33
4.4. Epanet.....	33
4.5. Método de factores ponderados (Scoring).....	34
<b>5. Metodología.....</b>	<b>35</b>
5.1. Materiales.....	35
5.2. Métodos.....	36
5.2.1.1. Recopilar la información bibliográfica.....	36
5.2.1.2. Describir la ubicación geográfica del lugar de emplazamiento.....	36
5.2.1.3. Levantamiento de las muestras.....	36
5.2.1.4. Caracterizar la calidad de agua en estado actual.....	37
5.2.2. Dimensionar el Sistema Hidráulico.....	38
5.2.2.1. Determinar el requerimiento de agua por usuario.....	38
5.2.2.2. Dimensionar y seleccionar los elementos para el prototipo potabilizador.....	39
5.2.2.3. Determinar tuberías, seleccionar accesorios.....	39
5.2.2.4. Calcular las pérdidas.....	40
5.2.2.4.1. Número de Reynolds ( NR).....	40
5.2.2.4.2. Factor de fricción (f).....	40
5.2.2.4.3. Rugosidad relativa.....	41
5.2.2.4.4. Pérdidas primarias de succión.....	41
5.2.2.4.5. Pérdidas primarias de descarga.....	41
5.2.2.4.6. Factor de resistencia.....	42
5.2.2.4.7. Pérdidas secundarias o de accesorios succión.....	42
5.2.2.4.8. Pérdidas secundarias o de accesorios de descarga.....	42
5.2.2.4.9. Pérdidas totales primarias y secundarias.....	42
5.2.2.4.10. Ecuación de conservación de energía.....	43

5.2.2.4.11. Potencia de la bomba .....	43
5.2.2.4.12. NPHS requerido.....	43
5.2.2.4.13. Seleccionar los componentes para el purificador. ....	44
5.2.2.4.14. Diseñar el prototipo.....	44
5.2.3. Dimensionar el sistema fotovoltaico. ....	44
5.2.3.1. Determinar la demanda energética.....	44
5.2.3.2. Determinar el potencial solar en el lugar.....	45
5.2.3.3. Estimar la inclinación óptima de los paneles. ....	45
5.2.3.4. Estimar las pérdidas. ....	46
5.2.3.4.1. Pérdidas angulares.....	46
5.2.3.4.2. Balance óptimo del sistema. ....	46
5.2.3.4.3. Dimensionar y seleccionar los paneles solares.....	47
5.2.3.4.4. Dimensionar y seleccionar las baterías.....	48
5.2.3.4.5. Dimensionar y seleccionar el regulador .....	49
5.2.3.4.6. Dimensionar y seleccionar el inversor.....	49
5.2.4. Seleccionar el calibre de conductor.....	50
5.2.4.1. Conductor de corriente continua.....	50
5.2.4.2. Conductor de corriente alterna. ....	51
5.2.5. Diagrama unifilar. ....	51
5.2.6. Implementar el prototipo.....	52
5.2.7. Realizar pruebas de funcionamiento. ....	52
5.2.8. Analizar la calidad de agua tratada. ....	52
<b>6. Resultados.....</b>	<b>54</b>
6.1. Generalidades.....	54
6.2. Descripción geográfica del lugar de emplazamiento del proyecto. ....	54
6.3. Análisis del agua en su estado actual. ....	54
6.4. Descripción del prototipo.....	55
6.5. Sistema Hidráulico. ....	55
6.5.1. Requerimiento de agua por usuario. ....	55
6.5.2. Dimensionamiento y selección de elementos para el prototipo potabilizador. ....	56
6.5.3. Selección de tuberías y accesorios. ....	56
6.5.4. Cálculo de pérdidas. ....	57

6.5.4.1. Número de Reynolds ( NR).....	57
6.5.4.2. Factor de fricción (f). .....	58
6.5.4.3. Rugosidad relativa.....	58
6.5.4.4. Pérdidas primarias succión.....	58
6.5.4.5. Pérdidas primarias descarga.....	59
6.5.4.6. Factor de resistencia. ....	59
6.5.4.7. Pérdidas secundarias en la succión. ....	59
6.5.4.8. Pérdidas secundarias en la descarga.....	60
6.5.4.9. Pérdidas totales primarias y secundarias. ....	60
6.5.5. Pérdidas de energía totales en el sistema.....	61
6.5.5.1. Potencia de la bomba.....	61
6.5.5.2. NPHS requerido. ....	63
6.5.6. Selección de componentes para el purificador.....	63
6.5.7. Diseño del prototipo. ....	64
6.6. Sistema fotovoltaico.....	65
6.6.1. Demanda energética.....	65
6.6.2. Potencial solar del lugar de emplazamiento. ....	66
6.6.3. Inclinación óptima de los paneles.....	66
6.6.4. Pérdidas angulares. ....	68
6.6.5. Pérdidas del sistema.....	68
6.6.6. Balance óptimo del sistema. ....	68
6.6.7. Dimensionamiento y selección de paneles solares. ....	69
6.6.7.1. Energía producida por el panel.....	70
6.6.7.2. Número de paneles. ....	70
6.6.8. Dimensionamiento y selección de baterías. ....	71
6.6.8.1. Número de baterías.....	71
6.6.9. Dimensionamiento y selección del regulador. ....	72
6.6.10. Dimensionamiento y selección del inversor.....	73
6.6.11. Simulación del Sistema en el software PVsyst.....	74
6.6.12. Selección del calibre de conductor.....	74
6.6.12.1. Tramo de corriente continua.....	74
6.6.12.2. Tramo de corriente alterna. ....	75
6.7. Diagramas .....	76
6.7.1. Diagrama unifilar de conexión.....	76
6.7.2. Diseño 3D del sistema fotovoltaico y sistema de bombeo.....	77
6.7.3. Diseño y simulación del sistema de bombeo en Epanet®.....	78

6.8. Costos unitarios. ....	79
6.8.1. Implementación del sistema.....	80
6.8.2. Pruebas de funcionamiento.....	85
6.8.3. Analizar la calidad de agua tratada. ....	86
6.8.4. Comparación de los resultados de tratamiento del agua antes y después del tratamiento de potabilización con los límites establecidos por las normas que rigen los estándares del agua para consumo humano. ....	87
<b>7. Discusión.....</b>	<b>88</b>
<b>8. Conclusiones. ....</b>	<b>90</b>
<b>9. Recomendaciones. ....</b>	<b>91</b>
<b>10. Bibliografía. ....</b>	<b>92</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>102</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Materiales y componentes para el sistema fotovoltaico.....	35
<b>Tabla 2.</b> Materiales y componentes para el sistema hidráulico. ....	36
<b>Tabla 3.</b> Indicadores y parámetros para realizar análisis de agua.....	37
<b>Tabla 4.</b> Requisitos específicos que el agua potable debe cumplir .....	53
<b>Tabla 5.</b> Accesorios para el tramo de succión.....	59
<b>Tabla 6.</b> Accesorios para el tramo de descarga. ....	60
<b>Tabla 7.</b> Ficha técnica de la bomba Pedrollo PQm 60 ®.....	62
<b>Tabla 8.</b> Parámetros para la selección del tipo de filtro a emplear. ....	63
<b>Tabla 9.</b> Valores de radiación solar para el lugar de emplazamiento, plano horizontal. ....	66
<b>Tabla 10.</b> Valores de coeficientes de corrección de la radiación solar a 15°.....	67
<b>Tabla 11.</b> Valores de la radiación solar en el lugar de emplazamiento corregida para 15°..	67
<b>Tabla 12.</b> Características técnicas del panel solar seleccionado. ....	70
<b>Tabla 13.</b> Características técnicas de la batería seleccionada.....	71
<b>Tabla 14.</b> Características técnicas de controlador de carga seleccionado. ....	72
<b>Tabla 15.</b> Ficha técnica Inversor ZOHAN TW500-12. ....	73
<b>Tabla 16.</b> Características técnicas del conductor solar elegido para corriente continua.....	75
<b>Tabla 17.</b> Características técnicas del conductor para corriente alterna. ....	76
<b>Tabla 18.</b> Costos unitarios referenciales de materiales y componentes.....	79
<b>Tabla 19.</b> Resultados del análisis de agua luego del tratamiento.....	86
<b>Tabla 20.</b> Resultados del análisis de agua.....	87
<b>Tabla 21.</b> Valores de dotación de agua por habitante. ....	102
<b>Tabla 22.</b> Propiedades del agua. Unidades SI.....	102
<b>Tabla 23.</b> Factores de resistencia para accesorios. ....	102
<b>Tabla 24.</b> Valores de diseño de la rugosidad de tubos.....	103
<b>Tabla 25.</b> Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente. .....	103
<b>Tabla 26.</b> Ficha técnica de la bomba PQ Pedrollo. ....	104
<b>Tabla 27.</b> Geometría de la bomba PQ Pedrollo. ....	105
<b>Tabla 28.</b> Ficha técnica del Purificador HIDROTEK RO.....	106
<b>Tabla 29.</b> Factores de corrección en función del ángulo de inclinación.....	106
<b>Tabla 30.</b> Valores de radiación solar corregidos en función de la inclinación del panel.....	106
<b>Tabla 31.</b> Características técnicas de los conductores AWG. ....	107

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Presión absoluta, manométrica y de vacío .....	7
<b>Figura 2.</b> Diagramas representativos de flujo laminar y flujo turbulento .....	10
<b>Figura 3.</b> Punto de funcionamiento.....	13
<b>Figura 4.</b> Pérdidas en los accesorios.....	14
<b>Figura 5.</b> Codos de tuberías.....	14
<b>Figura 6.</b> Bomba centrífuga.....	16
<b>Figura 7.</b> Fuentes de energías renovables.....	19
<b>Figura 8.</b> Tipos de energía solar: Fotovoltaica y Térmica .....	20
<b>Figura 9.</b> Tipos de radiación solar.....	21
<b>Figura 10.</b> Diagrama de la constante solar.....	22
<b>Figura 11.</b> Diagrama horas de pico solar.....	22
<b>Figura 12.</b> Clasificación de sistemas fotovoltaicos.....	23
<b>Figura 13.</b> Sistema fotovoltaico aislado o autónomo.....	24
<b>Figura 14.</b> Diagrama estructura de un panel solar, materiales.....	24
<b>Figura 15.</b> Descripción gráfica del efecto fotovoltaico.....	25
<b>Figura 16.</b> Diagrama y efecto de luz sobre el panel solar.....	25
<b>Figura 17.</b> Panel solar monocristalino.....	26
<b>Figura 18.</b> Panel solar policristalino.....	26
<b>Figura 19.</b> Tipos de reguladores de carga.....	27
<b>Figura 20.</b> Tipos de inversores.....	28
<b>Figura 21.</b> Batería para sistemas fotovoltaicos.....	29
<b>Figura 22.</b> Relación entre capacidad y ciclos de carga.....	30
<b>Figura 23.</b> Sistema de osmosis inversa.....	31
<b>Figura 24.</b> Mesa de trabajo del software Epanet®.....	34
<b>Figura 25.</b> Fotografía aérea del lugar para el emplazamiento del proyecto.....	54
<b>Figura 26.</b> Tanque de almacenamiento de 1m <sup>3</sup> .....	56
<b>Figura 27.</b> Esquema del sistema de bombeo.....	61
<b>Figura 28.</b> Curvas de funcionamiento de algunas bombas Marca Pedrollo.....	62
<b>Figura 29.</b> Filtro, Ósmosis Inversa.....	64
<b>Figura 30.</b> Carcasa y lámpara de luz UV para esterilizado de agua.....	64
<b>Figura 31.</b> Esquema abreviado del prototipo potabilizador.....	65
<b>Figura 32.</b> Gráfica de la radiación solar media mensual del lugar de emplazamiento.....	68
<b>Figura 33.</b> Paneles fotovoltaicos 110 Wp Policristalino.....	71
<b>Figura 34.</b> Baterías de Gel de 100Ah.....	72
<b>Figura 35.</b> Controlador de carga de 20A.....	73

<b>Figura 36.</b> Inversor de 500W 12V/120V.....	73
<b>Figura 37.</b> Resultados de la simulación .....	74
<b>Figura 38.</b> Diagrama unifilar de conexión del sistema de bombeo.....	77
<b>Figura 39.</b> Diagrama unifilar de conexión del sistema fotovoltaico.....	77
<b>Figura 40.</b> Diseño 3D del sistema de bombeo y sistema hidráulico, vista isométrica.....	78
<b>Figura 41.</b> Diseño 3D del sistema potabilizador.....	78
<b>Figura 42.</b> Diseño del sistema de bombeo Epanet®.....	79
<b>Figura 43.</b> Instalación de conductor en los paneles solares.....	80
<b>Figura 44.</b> Montaje y aseguramiento de paneles solares en la cubierta de la vivienda .....	80
<b>Figura 45.</b> Paneles completamente instalados. ....	81
<b>Figura 46.</b> Prueba de funcionamiento y medición de voltaje en los paneles. ....	81
<b>Figura 47.</b> Instalación del controlador de carga, inversor de corriente y tanque de presión.....	82
<b>Figura 48.</b> Montaje del equipo para el sistema potabilizador .....	82
<b>Figura 49.</b> Instalación de filtros para el sistema potabilizador .....	83
<b>Figura 50.</b> Instalaciones de filtros el sistema potabilizador, colocación de contenedores. ..	83
<b>Figura 51.</b> Instalaciones de Osmosis Inversa en el sistema potabilizador. ....	83
<b>Figura 52.</b> Sistema potabilizador armado. ....	84
<b>Figura 53.</b> Sistema potabilizador armado, controlador de carga e inversor de corriente.....	84
<b>Figura 54.</b> Bomba Pedrollo de ½ hp 110 V .....	84
<b>Figura 55.</b> Tanques de almacenamiento completamente instalados .....	85
<b>Figura 56.</b> Funcionamiento de sistema potabilizador, suministro de agua. ....	85
<b>Figura 57.</b> Consumo del agua potabilizada mediante el sistema implementado.....	86
<b>Figura 58.</b> Tres tipos de envases para tomar muestras y realizar el análisis del agua.....	107
<b>Figura 59.</b> Contenedores para transportar los recipientes de las muestras de agua. ....	107
<b>Figura 60.</b> Tipos de osmosis inversa .....	112
<b>Figura 61.</b> Modelado 3D.....	112
<b>Figura 62.</b> Resultados obtenidos de la simulación en EPANET.....	113

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Tablas de propiedades y dotación de agua.....	102
<b>Anexo 2.</b> Especificaciones técnicas de la bomba.....	104
<b>Anexo 3.</b> Tablas de radiación solar y factores de corrección.....	106
<b>Anexo 4.</b> Muestras de agua para realizar análisis, físico, químico y microbiológico. ....	107
<b>Anexo 5.</b> Resultados de los análisis de agua antes de ser tratada.....	108
<b>Anexo 6.</b> Resultados de los análisis de agua luego de ser tratada.....	110
<b>Anexo 7.</b> Tipos de osmosis inversa.....	112
<b>Anexo 8.</b> Modelado 3D del sistema completo.....	112
<b>Anexo 9.</b> Simulación en EPANET 2.0 .....	113
<b>Anexo 10.</b> Cálculo del sistema fotovoltaico .....	114
<b>Anexo 11.</b> Planos del sistema potabilizador y diagramas del sistema fotovoltaico .....	115
<b>Anexo 12.</b> Informe de simulación .....	116
<b>Anexo 13.</b> Certificado de traducción del resumen .....	117



## **1. Título**

**Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del sol**

## 2. Resumen

En la presente investigación que tiene por objetivo principal el diseñar y construir un prototipo potabilizador de agua usando la energía solar fotovoltaica, se lo implementó en la parroquia Guachanamá, sector Zapotepamba del cantón Paltas.

Para ello se determinó un consumo de 259 litros de agua al día por persona, de acuerdo a la norma de NEC-Agua Hidrosanitaria y con la norma INEN 1991, además, se implementó un sistema hidráulico conformado por una bomba de 373 W, un tanque de almacenamiento de 1 metro cúbico y otro de 260 litros. El sistema empleado para la potabilización de agua está dado por un proceso de Osmosis Inversa de 6 etapas y por la purificación de una lámpara de luz ultravioleta de 6W.

La demanda eléctrica esta abastecida por un sistema fotovoltaico conformado por cuatro paneles de 110 Wp, dos baterías de 100 Ah, un controlador de carga de 20 A y un inversor de corriente de 500 W; para esto se tomó en cuenta la disponibilidad de radiación solar según la base de datos del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) expuestos en la página web Potencial Solar de la Región Sur del Ecuador.

Finalmente, para la validación de los resultados se realizó un análisis (físico, químico y bacteriológico) del agua, antes y después del proceso de purificación, comprobando que los resultados son aceptables ya que se encuentran dentro de los valores estandarizados para el consumo humano según la norma INEN 2011 (INEN, 2011) debido a que el nivel de pH disminuyó en un 18%, la turbidez mejoró a un valor de 1,01 acercado al valor ideal que la OMS recomienda y se eliminó en 100% los coliformes totales; otorgándole al agua tratada por este prototipo la calidad agua potable.

**Palabras clave:** potabilizador, agua, fotovoltaica, osmosis, panel solar.

➤ **Abstract.**

The main objective of this research is to design and build a water purification prototype using photovoltaic solar energy, which was implemented in the parish of Guachanamá, Zapotepamba sector of the canton of Paltas.

For this purpose, a consumption of 259 liters of water per day per person was determined, according to the NEC-Hydrosanitary Water standard and the INEN 1991 standard. In addition, a hydraulic system was implemented consisting of a 373 W pump, a storage tank of 1 cubic meter and another of 260 liters. The system used for water purification consists of a 6-stage reverse osmosis process and purification with a 6W ultraviolet light lamp.

The electricity demand is supplied by a photovoltaic system consisting of four 110 Wp panels, two 100 Ah batteries, a 20 A charge controller and a 500 W current inverter; for this, the availability of solar radiation was taken into account according to the database of the National Renewable Energy Laboratory (NREL) exposed in the web page Solar Potential of the Southern Region of Ecuador.

Finally, for the validation of the results, an analysis (physical, chemical and bacteriological) of the water before and after the purification process was performed, verifying that the results are acceptable since they are within the standardized values for human consumption according to the INEN 2011 standard (INEN, 2011) due to the pH level decreased by 18%, turbidity improved to a value of 1.01 close to the ideal value recommended by the OMS, the total coliforms were eliminated by 100%; giving the water treated by this prototype the quality of drinking water.

**Key words:** *water purifier, water, photovoltaic, osmosis, solar panel.*

### 3. Introducción

El agua se considera como uno de los elementos indispensables para la vida, su presencia permite el desarrollo y la evolución de las especies. Según la Organización Mundial de la Salud (2022) gran parte de enfermedades generadas en la población están ligadas al consumo de agua de mala calidad. En todo el mundo el agua para consumo humano requiere un tratamiento adecuado. El agua en su estado natural contiene impurezas, microorganismos y elementos dañinos.

En el Ecuador, el Ministerio de Salud Pública hace hincapié en el acceso al agua segura para prevenir enfermedades, mediante diversos programas regionales en cada sector (Ministerio de Salud Pública, 2022); específicamente en la parte rural de la provincia de Loja el consumo de agua no tratada es algo usual, el lugar considerado para implementar el prototipo potabilizador es la parroquia Guachanamá ubicado en el cantón Paltas, lugar que cuenta con una red de distribución de agua, escasamente tratada y con un servicio intermitente. El lugar posee un clima cálido-seco, de topografía plana con mínima vegetación, estas y otras características más favorecen la disponibilidad de energía solar.

El presente proyecto se enfoca en mejorar la calidad de agua a través del sistema de tratamiento de agua para consumo humano, el mismo que se conforma por dos subsistemas: Un subsistema hidráulico para bombear y almacenar el agua en un lugar desde donde se pueda suministrar a la vivienda mediante gravedad, para luego ser filtrada a través de un equipo de Osmosis Inversa. El otro subsistema se trata de una instalación fotovoltaica para generar la energía requerida por los equipos (bombas del prototipo).

El contenido del presente trabajo está distribuido en apartados, los cuales se describen a continuación: en la cuarta sección, donde se detalla la revisión bibliográfica que describe las generalidades y fundamentos teóricos, en la quinta sección se expone la metodología aplicada, la sexta sección contiene la descripción de los resultados obtenidos, finalmente las secciones séptima, octava, novena, décima y décima primera sección contienen respectivamente: la discusión, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos. Los objetivos propuestos para el presente proyecto son:

➤ **Objetivo general**

- Diseñar y construir un prototipo potabilizador de agua usando la energía solar fotovoltaica.

➤ **Objetivos específicos**

- Diseñar la red de distribución del sistema potabilizador.
- Construir el prototipo potabilizador de agua.
- Validar el funcionamiento del prototipo potabilizador de agua.

## 4. Marco teórico.

### ➤ Fluido.

Se describe como una sustancia o medio continuo el cual es fácilmente deformable en el tiempo ante la mínima interacción con otro cuerpo, también se puede definir sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene (Ordorica, 2014).

#### 4.1.1. Agua.

Es un elemento fundamental y un factor indispensable para que se desarrollen los procesos biológicos que la hacen posible el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta. Es decir, que "el agua es un bien de primera necesidad para los seres vivos y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales" (Paredes, 2021).

##### 4.1.1.1. Densidad.

Se denomina así a la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, elemento cuerpo, etc. Las unidades más comúnmente empleadas son: los  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{g/cm}^3$  para los sólidos, y  $\text{kg/l}$  o  $\text{g/ml}$  para gases y líquidos (GreenFacts, 2021), la densidad del agua alcanza un valor de  $1000 \text{ Kg/m}^3$ .

##### 4.1.1.2. Volumen.

Es una magnitud escalar conceptualizada como el espacio que se ocupa por un cuerpo. Es una magnitud física extensiva, las unidades de medida de volumen más comunes son el metro cúbico, litro, galón (ELC, 2021).

##### 4.1.1.3. Peso específico.

El la razón existente entre fuerza unitaria que ejerce la gravedad sobre una masa entre el volumen de dicha masa, las magnitudes son proporcionales entre sí, están vinculadas por el factor aceleración de la gravedad (Luna, 2011).

##### 4.1.1.4. Presión

Se interpreta como una fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área, se denomina presión únicamente cuando se trata de gases o líquidos, en el caso de presión en los sólidos es el esfuerzo normal, las unidades del Sistema Internacional son los newtons por metro cuadrado ( $\text{N/m}^2$ ) (Termod, 2012).

#### 4.1.1.5. Presión atmosférica.

Es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre, la presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud, la presión media normal a 0°C y al nivel del mar es de Presión 760 Torr = 1,01396 bar (Cengel Y. A., 2009).

#### 4.1.1.6. Presión absoluta, relativa, manométrica y de vacío.

La presión real en un determinado punto, se llama presión absoluta, esta presión se mide en referencia al vacío absoluto, generalmente los dispositivos medidores de presión se calibran respecto a la presión cero en la atmósfera, indicando la presión manométrica o también denominada diferencia entre las presiones absoluta y atmosférica local (Erazo., 2020).

La presión menor a la presión atmosférica se conoce como presiones de vacío y se mide mediante medidores de vacío que indican la diferencia entre las presiones atmosféricas y absoluta, como describe la Figura 1 (Cengel & Boles, 2009).

$$P_{\text{man}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$P_{\text{vacío}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}} \quad \text{Ecuación 2}$$

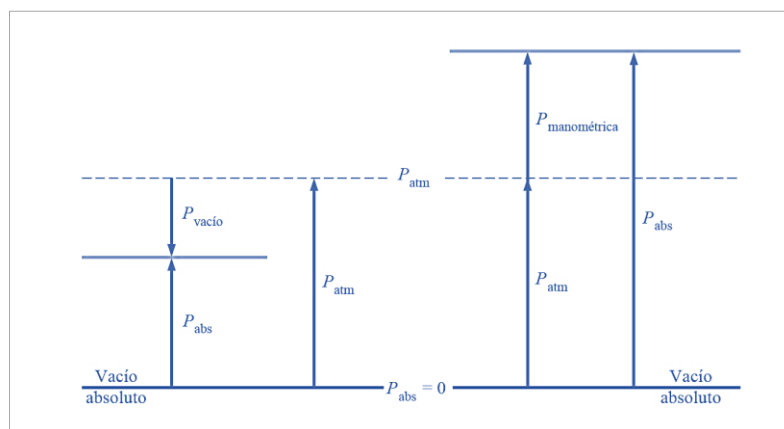
Donde:

$P_{\text{man}}$  = Presión manométrica, [Pa].

$P_{\text{atm}}$  = Presión atmosférica, presión ambiente, presión barométrica [Pa] o [P].

$P_{\text{abs}}$  = Presión absoluta, [Pa].

$P_{\text{vacío}}$  = Presión de vacío no tiene presión es cero.



**Figura 1.** Presión absoluta, manométrica y de vacío  
**Fuente:** (Cengel & Boles, 2009).

## 4.1.2. Hidrodinámica.

### 4.1.2.1. Caudal.

Se denomina así a la cantidad de volumen de un fluido que atraviesa por una sección perpendicular a la corriente en cada unidad de tiempo, las unidades empleadas son varias, en el Sistema Internacional ( $m^3/s, l/s$ ) (Mott R. , 2006).

$$Q = \frac{V}{t} = A_s * A \cdot v_f \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Q = Caudal

A = Área de la sección por donde pasa el fluido

v = Velocidad del flujo

V = Volumen desplazado

t = Tiempo

### 4.1.2.2. Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli toma en cuenta tres tipos de energía, como es la energía potencial, la energía cinética y la energía de flujo. Por lo tanto, la ecuación queda representada de la siguiente manera (Mott R. , 2006).

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$P_1$  = Presión

$z_1$  = Elevación

v = Velocidad

g = Aceleración de la gravedad local

### 4.1.2.3. Potencia de bombeo.

La potencia de la bomba se la define como la rapidez a la que se transfiere energía, en el sistema internacional (SI), la unidad de potencia es el (Watt) que equivale a ( $1 \frac{J}{s}$ ) (Mott R. , 2006).



$$P_{\text{bombeo}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} * g * h_{\text{bombeo}} * Q_{\text{bombeo}}$$

Ecuación 5

Donde:

$h_{\text{bombeo}}$  = Altura de bombeo.

$Q_{\text{bombeo}}$  = Caudal de bombeo.

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  = Densidad del agua.

#### 4.1.2.4. Altura piezométrica.

Es la altura con respecto a un sistema de referencia, es una suma entre la energía geométrica y la energía de presión. Donde la presión real por encima del fluido (P), se convierte a una profundidad equivalente del fluido  $H_p$ , que crearía la misma presión (Mott, Mecánica de Fluidos, 2006).

$$H_p = z + \frac{P}{\gamma}$$

Ecuación 6

Donde:

P = Presión.

z = Altura geodésica.

$\gamma$  = Peso específico.

#### 4.1.2.5. Altura de bombeo.

Se denomina a la altura real y en línea vertical de la altura máxima de agua que la bomba puede impulsar desde el punto de salida. Se considera la suma de la altura geodésica y las pérdidas de energía en la tubería y accesorios (Mott R. L., Mecánica de Fluidos, 2006).

$$H_b = z + \sum h_{L_{\text{succión\_descarga}}}$$

Ecuación 7

Donde:

z = Altura geodésica.

$h_{L_{\text{succión\_descarga}}}$  = Pérdidas de energía entre los puntos de succión y descarga.

#### 4.1.2.6. Velocidad de flujo.

Es la rapidez con la que se desplaza un fluido de un punto a otro por una tubería o conducto, y la unidad de medida en el sistema internacional es  $\left(\frac{m}{s}\right)$ .

$$v = \frac{\text{distancia recorrida}}{\text{tiempo}}$$

Ecuación 8

#### 4.1.2.7. Número de Reynolds.

El número de Reynolds es un parámetro adimensional, es el cociente de una fuerza de inercia por una fuerza de viscosidad y mide el flujo relativo de esta última. También un número de Reynolds grande implica un flujo de viscosidad dinámica pequeña y viceversa (Mataix, Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. , 1982). La Tabla 22 del Anexo describe la viscosidad dinámica del agua a diferentes temperaturas.

$$N_R = \frac{V * \rho * D}{n}$$

Ecuación 9

Donde:

V = Velocidad promedio de flujo

$\rho$  = Densidad del fluido

D = Diámetro de la tubería

n = Viscosidad dinámica.

De acuerdo Mott R. L., (2006), el Número de Reynolds es una cantidad adimensional, este valor permite determinar si el fluido es laminar o turbulento dentro de la tubería, los rangos establecidos son:

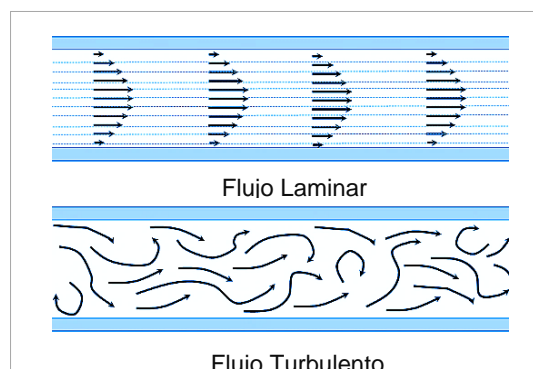
Si  $N_R$  para el flujo es  $< 2000$ , el flujo es laminar.

Si  $N_R$  para el flujo es  $> 4000$ , el flujo es turbulento.

Si  $2000 < N_R < 4000$ , el flujo está en región crítica.

#### 4.1.2.8. Flujo laminar y turbulento.

Estos dos tipos de flujos difieren en la forma en que las partículas del fluido se comportan durante el flujo, véase la Figura 2.



**Figura 2.** Diagramas representativos de flujo laminar y flujo turbulento  
Fuente: (Autor)

Un fluido laminar se identifica por tener una textura lisa regular y ordenado, se puede deducir una relación entre la pérdida de energía y los parámetros medibles del sistema de flujo. En cambio, el flujo turbulento sus partículas son caóticas y corresponden a un desorden total es decir su forma varía constantemente (Mott, 2006).

#### **4.1.3. Pérdidas de energía.**

Estos valores están relacionados directamente con los elementos, accesorios que integran el sistema de bombeo, se relacionan de forma directa y proporcional, a mayor cantidad de accesorios y longitud y rugosidad de las paredes de tuberías, las pérdidas también aumentarán (Mott, 2006).

##### **4.1.3.1. Ecuación de Darcy Weisbach.**

En la ecuación general de la energía las pérdidas se enuncian como la energía que se disipa debido al roce y fricción del fluido cuando fluye. Cuando el flujo fluye a través de tuberías, las pérdidas por fricción son directamente proporcional a la velocidad y a la longitud del conducto, e inversamente proporcional a su diámetro (Mott, 2006).

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$h_L$  = Pérdidas de energía debido a la fricción

$f$  = Factor de fricción

$L$  = Longitud de la corriente del flujo

$D$  = Diámetro de la tubería

$V$  = Velocidad promedio del flujo

##### **4.1.3.2. Pérdidas primarias.**

Este tipo de pérdidas de energía son aquellas que se producen a lo largo de toda la tubería por donde recorrerá el fluido. Las pérdidas de energía se traducen en forma de calor, este calor es generado por la fricción del fluido con las paredes de la tubería a través de las cuales se disipa, esto sucede puesto que el fluido no se crea no se destruye (Mataix, Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, 1982).

##### **4.1.3.3. Pérdidas secundarias.**

Estas pérdidas se generan por la interacción entre el fluido y los accesorios que integran el sistema de bombeo, algunos de estos accesorios pueden ser: codos, uniones, válvulas,

cortadoras, entre otros, para poder cuantificar las pérdidas causadas por cada accesorio se representa en metros de longitud o altura (Mott, 2006).

$$h_L = K \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

K = "Coeficiente de resistencia"

V = Velocidad promedio del flujo en la tubería.

g = Gravedad.

#### **4.1.4. Instalaciones de bombeo.**

Estos sistemas poseen particularidades especiales y una complejidad considerable, requieren un adecuado dimensionamiento, instalación y mantenimiento permanente. Por lo general este tipo de instalaciones se integran por elementos eléctricos, electromecánicos y hasta electrónicos, estos componentes permiten el control del sistema. Un sistema de bombeo requiere la selección adecuada de los componentes, de esta manera se puede realizar una correcta instalación, el sistema se conforma por un conjunto de equipos, tuberías y accesorios que toman el fluido de forma directa o indirecta desde la fuente de abastecimiento denominado punto de succión y la impulsan hasta otro punto llamado punto de descarga, ya sea para almacenar o simplemente distribuirla para su uso (Mott, 2006).

##### **4.1.4.1. Altura manométrica de instalación.**

Es la suma de la carga de succión más la carga de impulsión del líquido, o presión diferencial que debe vencer la bomba para llevar el fluido del punto A hasta el punto B, a una cierta altura (Mott, 2006).

##### **4.1.4.2. Punto de funcionamiento.**

Se denomina como punto de trabajo de una bomba, específicamente depende de la capacidad motriz que presenta y de la carga a vencer. La Figura 3 muestra el punto formado por la intersección de la curva de la bomba conocida como  $H_m$  y la curva de la instalación denominada  $H_r$  (Mataix, 1982).

$$H_m = f(Q) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$H_m = AQ^2 + BQ + C$$

$$H_r = f(Q)$$

Ecuación 13

$$H_r = z + hf_{\text{succión\_descarga}}$$

Donde:

Q = Caudal.

z = Altura geodésica

$hf_{\text{succión\_descarga}}$  = Pérdidas hidráulicas entre la succión y descarga

El punto de funcionamiento u operación de la instalación corresponderá al caudal que en el que convergen altura motriz o de bombeo a la curva de la instalación, véase la Figura 3.

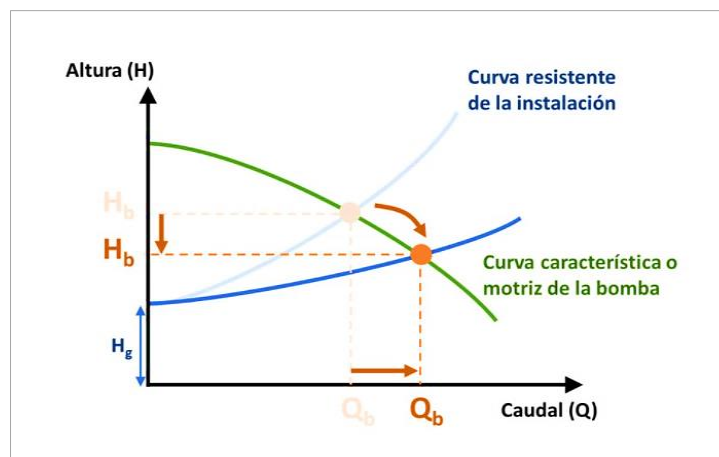
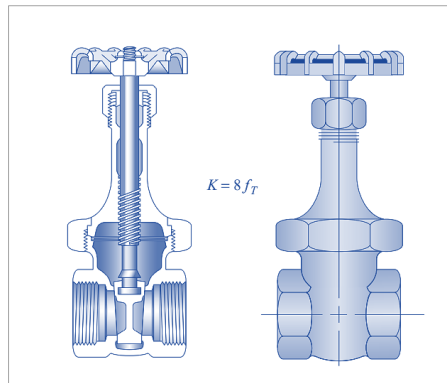


Figura 3. Punto de funcionamiento.  
Fuente: (Adaptación del autor)

#### 4.1.4.3. Coeficientes de resistencia para accesorios.

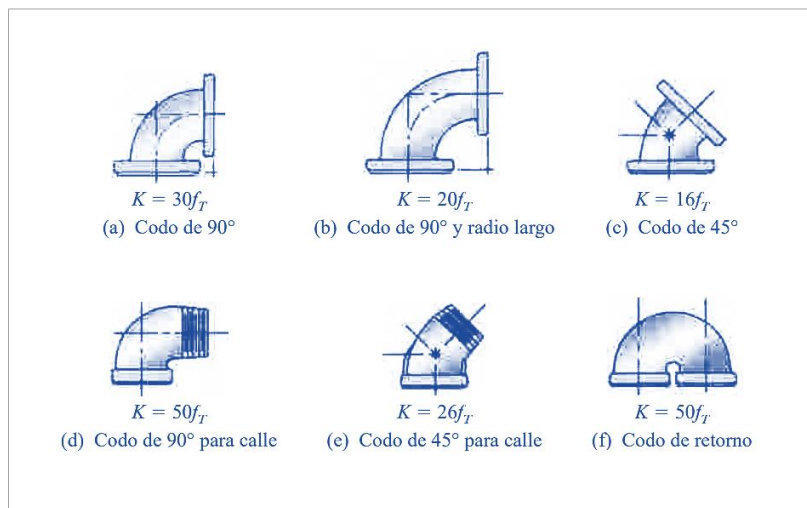
Las pérdidas generadas por accesorios se denominan menores ya que son bastante reducidas en contraste con las pérdidas producidas en la tubería, algunos de estos accesorios son: codos, uniones, universales, neoplos, medidores, válvulas y otros elementos de control que intervienen en la conexión para el funcionamiento de todo el sistema de bombeo (Mott, 2006).

**Válvulas.** Estos elementos se usan para controlar la cantidad de fluido o caudal; las más comunes son las de globo, ángulo, compuerta, mariposa, la Figura 4 detalla una válvula con su respectivo coeficiente (k) de resistencia (Mott, 2006).



**Figura 4.** Pérdidas en los accesorios.  
**Fuente:** (Mott R. L., 2006).

**Acoplamientos.** Estos elementos pueden cambiar la trayectoria del flujo, o también tienen la propiedad de cambiar el tamaño de flujo, incluye codos de varios diseños, té, reductores, boquillas y orificios que se indican en la presente Figura 5.



**Figura 5.** Codos de tuberías.  
**Fuente:** (Mott R. L., 2006).

#### 4.1.4.4. Coeficiente K.

Mott (2006) describe que las pérdidas de energía se producen cuando el fluido circula por una válvula o acoplamiento, en el caso de no contar con un coeficiente de resistencia se calcula mediante:

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right) f_t \tag{Ecuación 14}$$

Donde:

- $L_e$  = Longitud equivalente.
- $D$  = Diámetro interior de la tubería.
- $f_t$  = Factor de fricción en la tubería.

El valor para  $f_t$  cambia de acuerdo al tamaño de la tubería y la válvula, esto induce que el valor del coeficiente de resistencia (K) también cambie. En Tabla 23 del Anexo 1 se encuentran algunos valores de  $\left(\frac{L_e}{D}\right)$ , esta relación se denomina longitud equivalente y representa el accesorio (Mott, 2006).

#### **4.1.4.5. Bombas hidráulicas.**

Se denomina así a una máquina generadora que transforma la energía, en el caso energía mecánica transformada a energía hidráulica en un fluido incompresible que se pone en movimiento. El fluido puede estar en estado líquido, también puede ser una mezcla de líquidos y/o sólidos como el hormigón al prepararse. Una bomba permite aumentar la energía del fluido generando un gradiente de presión entre dos puntos, se puede aumentar la velocidad o altura (Río, 2008).

El principio general de una bomba es incrementar la presión de un líquido generando un gradiente de presión entre dos puntos, esto induce al fluido a desplazarse de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud (Río, 2008).

#### **4.1.4.6. Clasificación de las bombas hidráulicas.**

**Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas**, el principio de funcionamiento de esta bomba está fundamentado en la hidrostática, de tal manera que el incremento de presión se produce por el empuje generado por las paredes de las cámaras que varían su volumen, en este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas (Mott R. L., 2006).

**Bombas de émbolo alternativo.** En este tipo de bombas puede haber uno o varios compartimentos fijos con volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana, el movimiento del fluido en estas bombas es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Las bombas que se clasifican dentro de este tipo son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial (Mott R. L., 2006).

**Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas.** En estas bombas una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada de baja presión hasta la zona de salida de alta presión.

Algunas bombas clasificadas dentro de este tipo son: la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica (Mott R. L., 2006).

**Bombas rotodinámicas.** El principio de funcionamiento en estas bombas, está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica (Mott R. L., 2006).

Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

- Bomba de émbolo
- Bomba de pistón
- Bomba de paletas
- Bomba de lóbulos
- Bomba de engranajes
- Bomba de tornillo
- Bomba peristáltica
- Bomba centrífuga
- Bomba de ariete

#### **4.1.4.7. Bomba centrífuga.**

Este tipo de bomba emplea un elemento denominado rodete, para transformar la energía mecánica a energía cinética y potencial. El fluido ingresa por el centro del rodete, este rodete está conformado por álabes los cuales conducen el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es capturado por la carcasa de la bomba, para luego llevarse a las tubuladuras de salida. Véase la Figura 6 (Pedrollo.S.p.A, 2021).



**Figura 6.** Bomba centrífuga.  
Fuente: (Pedrollo.S.p.A, 2021)

#### **4.1.4.8. Normativas para construcciones de agua hidrosanitaria.**

Para el diseño y construcción de sistema de agua hidrosanitaria es necesario tomar en cuenta los parámetros establecidos en la norma (NEC, 2011) en la cual establece las siguientes consideraciones previo al diseño y construcción de un sistema de agua.



Es técnicamente necesario y socialmente conveniente que el diseño y ejecución de instalaciones hidrosanitarias en edificios sean referidos a una norma nacional que garantice su funcionalidad, con las características físicas y topológicas apropiadas, para su operación y mantenimiento.

Toda nueva instalación hidrosanitaria al interior de edificaciones, bien sea por construcción nueva, por rehabilitación o por ampliación de instalaciones previamente existentes, deberán referirse a esta norma técnica.

Si en algún momento se considera que existen casos, procedimientos y tópicos que no son contemplados o amparados por esta norma técnica, deberán ser fijados, justificados y demostrados por el consultor proyectista en la memoria técnico-ejecutiva correspondiente, seguidamente analizados y aprobados por su fiscalizador (NEC, 2011).

Establecer los parámetros mínimos que deben incluirse en todo diseño y construcción de instalaciones hidrosanitarias interiores, para garantizar bajo condiciones normales de utilización, su funcionamiento suficiente en cantidad y calidad, en todo espacio y tiempo dentro del predio, casa o edificación. En seguida se describe algunas normas adicionales que establecen más consideraciones y requisitos a cumplir:

Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN 2507, Rendimiento térmico de colectores solares.

Requisitos y métodos de ensayo. NTE INEN 2955, Tubería plástica. Tubos de polipropileno (PP) para unión por rosca en sistemas de conducción de agua fría y caliente a presión.

Requisitos NTE INEN 2956, Tubería plástica. Accesorios de polipropileno (PP) para unión por rosca en sistemas de conducción de agua fría y caliente a presión (NEC, 2011).

Requisitos NTE INEN-ISO 15874-2, Sistemas de canalización en materiales plásticos para instalaciones de agua caliente y fría. Polipropileno (PP). Parte 2: Tubos. (ISO 15874-2:2013, IDT).

#### **4.1.4.9. Calidad del agua, muestreo**

La NTE INEN 2176:2013 es una normativa ecuatoriana que establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización. Específicamente las muestras puntuales son muestras individuales, recogidas de forma manual o automática, representará la calidad del agua solamente en el tiempo y en el lugar en que fue tomada (NTE INEN 2176, 2013).

Es importante prevenir la contaminación de las muestras para realizar controles apropiados, debido a que las principales fuentes de contaminación incluyen residuos de otras muestras en los contenedores, frascos, espátulas y otros equipos de muestreo, se debe evitar tocar la muestra directamente con los dedos, manos o guantes. De la misma forma se debe realizar una adecuada limpieza y almacenamiento de los contenedores.

Los recipientes de vidrio son recomendados para la determinación de compuestos químicos orgánicos y de especies biológicas, y los recipientes plásticos para la determinación de radionúclidos; el material del cual están hechos los recipientes debe ser inerte química y biológicamente. Por otro lado, Las personas que realizan el muestreo deben: reducir el tiempo de contacto entre la muestra y la persona, usar materiales que no permitan la contaminación en la muestra y ser de diseño simple para facilitar la limpieza, ser de superficies lisas y que eviten la modificación del flujo como los recodos y con pocas tapas y válvulas como sea posible (NTE INEN 2176, 2013).

Finalmente, las muestras deben tener rotulado los siguientes datos: localización, detalles del punto de muestreo, fecha de recolección, hora de recolección, nombre del recolector y datos recogidos en el campo.

#### ➤ **Energía.**

La conceptualización general de energía dentro de la física se define como la capacidad de un sistema para realizar un trabajo. Si se habla de energía eléctrica se denomina así al flujo de cargas eléctricas o a su acumulación, puede convertirse en otros tipos o formas de energía como: energía mecánica, energía térmica, energía lumínica (Jarabo, 1988).

De acuerdo a lo descrito por Cengel & Boles, (2009) el término energía, abarca distintos conceptos en base a que se va a realizar, por ejemplo, en termodinámica la energía se considera como la capacidad para efectuar cambios, al utilizar el término calor, esta es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura, donde la ciencia que trata este tema es transferencia de calor.

Cengel (2011) menciona que la importancia del concepto de energía surge del principio de conservación de energía donde la misma es una cantidad de energía que se puede convertir de una forma a otra, pero no puede crearse ni destruirse (Y. a. Cengel, 2011).

En el caso de un vehículo con motor de combustión interna, la energía química almacenada en el combustible se convierte parcialmente en energía mecánica y en energía térmica (Young & Freedman, 2013).

#### 4.1.5. Fuentes de energía

De acuerdo a lo escrito por (Recio, 2021) se definen como los recursos naturales existentes de los cuales el hombre puede hacer uso u obtener energía utilizable para realizar actividades. Se puede decir que casi todas las fuentes de energía o depósitos de estas son recargadas por el sol, estas fuentes se organizan en dos tipos: renovables (recursos ilimitados) y no renovables (recursos limitados).

#### 4.1.6. Energía renovable

La Figura 7 ilustra algunos tipos de fuentes de energía renovables, son fuentes de energía ilimitada en el planeta, la velocidad de consumo es menor que la de su regeneración (Sebastián, 2021).

Algunas de estas fuentes de energía son:

- Energía mareomotriz (mareas).
- Energía hidráulica (embalses).
- Energía eólica (viento).
- Energía solar (sol).
- Energía de la biomasa (vegetación).

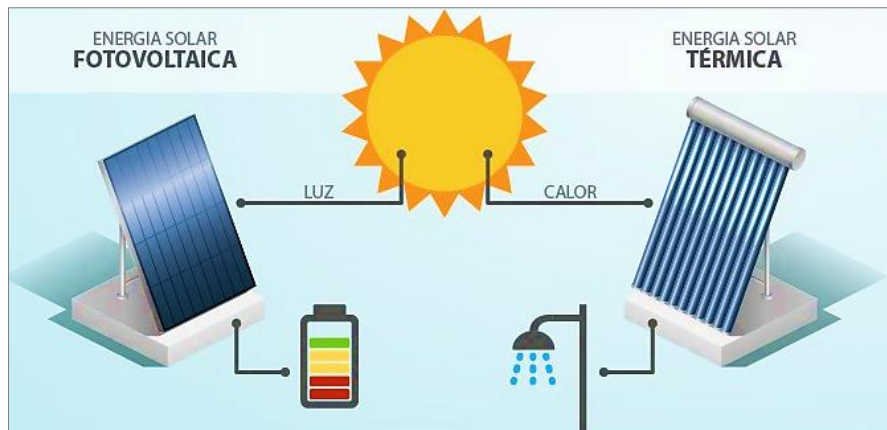


**Figura 7.** Fuentes de energías renovables.  
**Fuente:** (Sebastián, 2021)

#### 4.1.7. Energía solar

Anualmente la radiación solar entrega a nuestro planeta una cantidad de energía superior en miles de veces a la cantidad de energía que se consume.

La energía solar se podría identificar como una fuente energética ilimitada a escala de tiempo de la especie humana, adicionalmente es importante destacar el nulo impacto ambiental y la disponibilidad sin costo con la que llega hasta el planeta. El factor limitante que incide en su uso es el reducido desarrollo tecnológico para construir herramientas que permitan aprovechar al máximo esta energía (Mogrovejo León & Sarmiento Vintimilla , 2011), véase la Figura 8.



**Figura 8.** Tipos de energía solar: Fotovoltaica y Térmica  
**Fuente:** (Schallenberg, 2008)

De acuerdo a lo expuesto por Vaca (2018) y Rivas (2015), al estar nuestro país geográficamente localizado sobre la línea ecuatorial cuenta con varias ventajas para el aprovechamiento de la energía solar, una de ellas es la perpendicularidad con la que llegan los rayos del sol a la superficie esto facilita la implementación de sistemas ya que no se requiere elementos seguidores de sol, sin embargo, la generación y utilización de la energía solar dentro de matriz energética nacional es reducida. En el año 2016, la participación de la energía solar fotovoltaica fue apenas de 35.8 GWh, lo que representa solo el 0.15 % de la energía eléctrica consumida en el país.

La Organización Latinoamericana de Energía OLADE (1995), el sol emite continuamente radiación a todo el espacio. La Tierra recibe aproximadamente  $1,7 \times 10^{14}$  Kw. La energía solar que absorbe la tierra en un año equivale aproximadamente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de energía no renovable en el mundo y se aproxima a 10 mil veces por encima del consumo actual (Sánchez & Castaño, 2011).

#### 4.1.8. Radiación solar

**Radiación directa:** Es la radiación que llega directamente del Sol hacia la Tierra sin haber chocado con nada en el trayecto es decir sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras y es el tipo de radiación que predomina en un día soleado (Schallenberg, 2008).

**Radiación difusa:** Es aquella radiación que llega a la superficie terrestre después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera como: polvo, nubes, etc., obligando a cambiar de dirección, esta radiación es predominante en un día nublado.

**Radiación reflejada o albedo:** Es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante (Schallenberg, 2008).

**La radiación global:** Es la suma de la radiación directa y la radiación difusa, la Figura 9 muestra los tipos de radiación solar.



**Figura 9.** Tipos de radiación solar.  
Fuente: (Galarza, 2017)

El sol tiene un comportamiento semejante al de un cuerpo negro que emite energía mediante la ley de Planck con una temperatura de unos 6000 grados Kelvin. Esta radiación se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta, no siempre toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, ya que las ondas ultravioletas, más pequeñas, son absorbidas por los gases de la atmósfera específicamente por el ozono, los términos las importantes de la radiación son Irradiancia e Irradianción (Galarza, 2017).

La radiación solar que llega a la superficie de la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra.

$$\text{Irradiancia} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Superficie}} = \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad \text{Ecuación 15}$$

La energía incidente en una superficie por unidad de tiempo se define como la irradiación

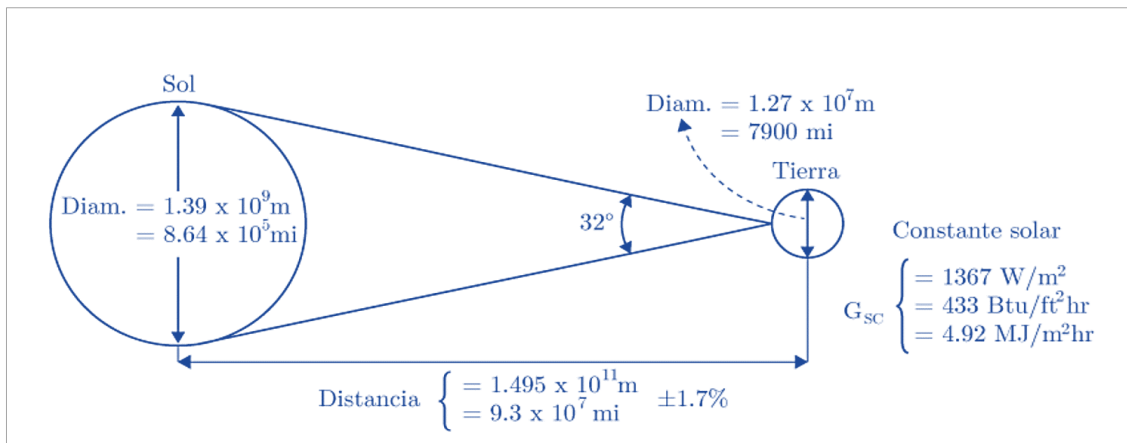
$$\text{Irradianción} = \frac{\text{Potencia} * \text{Tiempo}}{\text{Superficie}} = \frac{\text{kW} * \text{h}}{\text{m}^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

#### 4.1.9. Factores de radiación solar

La energía que llega a la tierra y proviene del sol no es uniforme, existen algunos factores que inciden en ello, estos factores son: la hora del día, la latitud del lugar, la orientación de la superficie receptora y las condiciones climatológicas del mismo lugar (Romero Márquez & Solano Jiménez, 2020). La mayoría de estos factores son calculables, pero las condiciones climatológicas sólo se pueden aproximar con métodos estadísticos.

#### 4.1.10. Constante solar.

Se denomina así a la energía que proviene del Sol, por unidad de tiempo, la cual es receptada en una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, a una unidad astronómica ( $1495 \times 10^{11}\text{m}$ ) fuera de la atmósfera. El Centro de Radiación Mundial (WRC) por sus siglas en inglés de World Radiation Center, ha adoptado el valor de  $1367 \text{ W/m}^2$  (Vanegas, 2015).

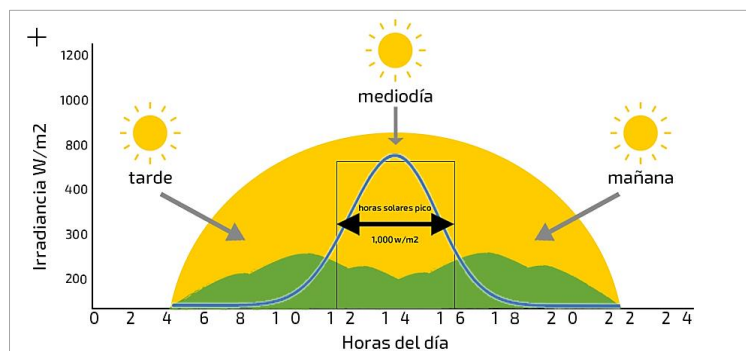


**Figura 10.** Diagrama de la constante solar.  
**Fuente:** (Romero Marquez, 2020)

Matemáticamente se la denomina como la cantidad de energía solar que atraviesa en un minuto una superficie perpendicular a los rayos incidentes con área de  $1 \text{ cm}^2$ , que se encuentra a la distancia media existente entre la tierra y el sol. En la Figura 10 se muestra el espectro solar en el tope de la atmósfera obtenidos con los datos del Centro Mundial de Radiación Solar (WRC), la integral de la curva del espectro mostrada representa el valor de la constante solar, que es  $1367 \text{ W/m}^2$  (Vanegas, 2015).

#### 4.1.11. Hora solar pico (HPS)

Se pueden definir como las horas de irradiación diarias proporcionada por el sol cuyo valor puede estar entre 3 y 7 horas diarias, dependiendo del mes y el lugar de la instalación, véase la Figura 11 (AutoSolar, 2020).



**Figura 11.** Diagrama horas de pico solar.  
**Fuente:** (AutoSolar, 2020)

#### 4.1.12. Energía fotovoltaica.

Es el tipo de energía generada a partir de la radiación solar receptada a través de un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica (Hernandez, 2017).

#### 4.1.13. Sistemas fotovoltaicos

Se caracteriza por ser mecanismos integrados por varios componentes, cada uno de ellos cumple una función para obtener energía eléctrica a partir de la radiación solar. Estos sistemas se componen de uno o varios módulos fotovoltaicos que pueden ser conectados para formar un arreglo, así mismo estos arreglos pueden ser conectados entre sí, pueden estar conectados en paralelo o serie o combinados, de esta manera se logra obtener más corriente o más potencia (Salamanca, 2017).

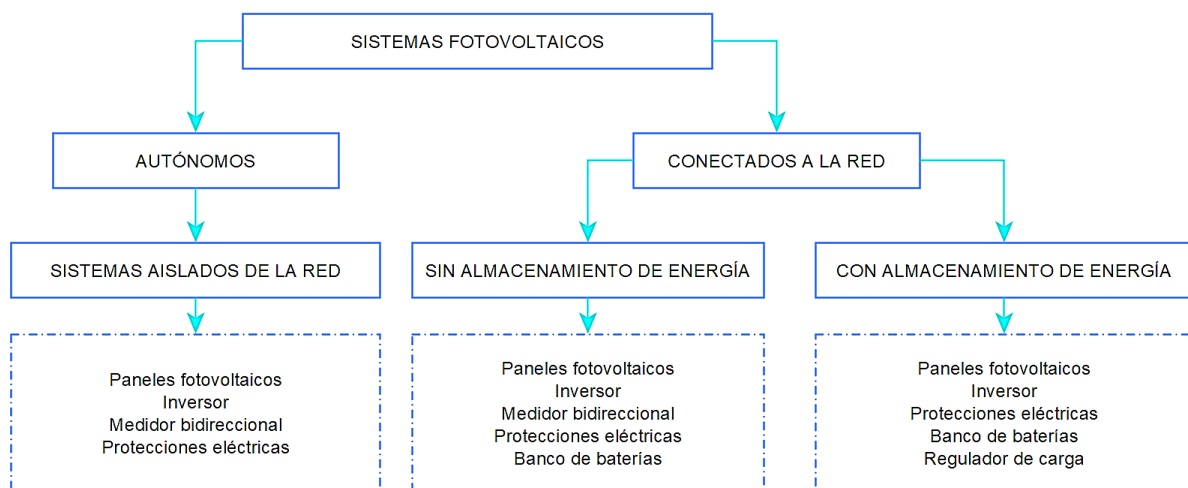


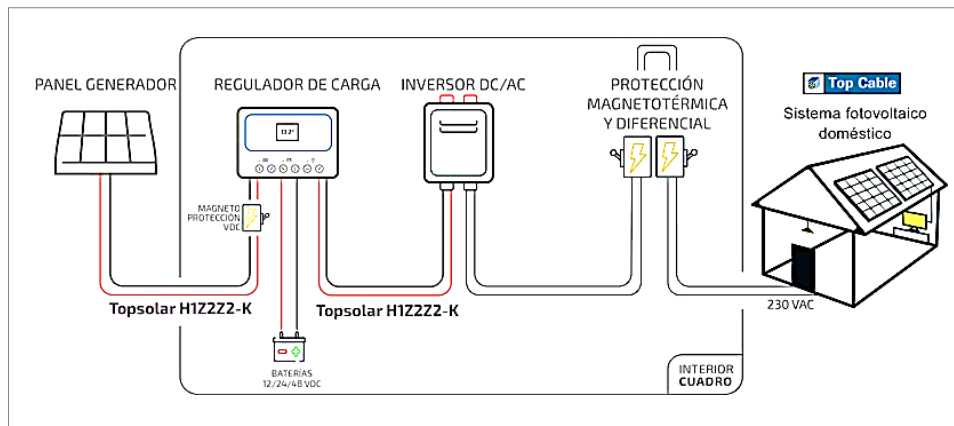
Figura 12. Clasificación de sistemas fotovoltaicos.

Fuente: (Autor)

De acuerdo a la publicación de Salamanca (2017), actualmente una alternativa eficaz y amigable con el ambiente para obtener energía eléctrica son los sistemas fotovoltaicos, en la práctica son muy efectivos y sencillos de implementar, especialmente en lugares que proporcionan radiación solar buena, su mantenimiento es de bajo costo. Los sistemas fotovoltaicos se estructuran mediante un conjunto de equipos eléctricos, mecánicos y electrónicos. Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos, el en siguiente diagrama se detalla los diferentes tipos (Salamanca, 2017).

#### 4.1.14. Sistemas fotovoltaicos autónomos. (SFA)

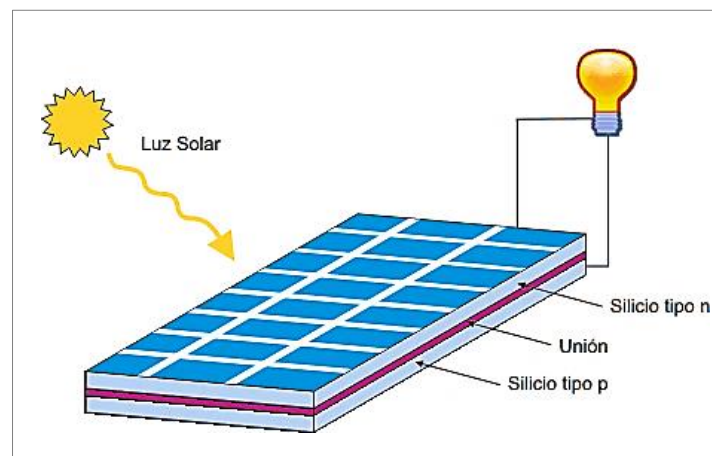
Un (SFA) produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, se requiere utilizar un banco de acumulación energético, de esta manera se abastecerá la demanda en períodos en los que la generación es menor al consumo. La particularidad de estos sistemas es que no dependen de una red energética pudiéndose implementar en cualquier parte siempre y cuando las condiciones de potencial solar y las condiciones climatológicas sean factibles (Salamanca, 2017).



**Figura 13.** Sistema fotovoltaico aislado o autónomo  
**Fuente:** (Autor)

#### 4.1.15. Panel fotovoltaico

Los paneles solares se conforman por células fotovoltaicas, a la vez esta célula fotovoltaica se forma de un material dividido en dos regiones, una que podríamos considerar cargada positivamente (P) la cual contiene a los huecos y otra negativa (N) con exceso de electrones. La Figura 14 detalla la unión de ambos materiales (P, N), al ser expuestos a la radiación solar, produce una circulación de electrones y al conectar una carga se establece una corriente continua (Salamanca, 2017).



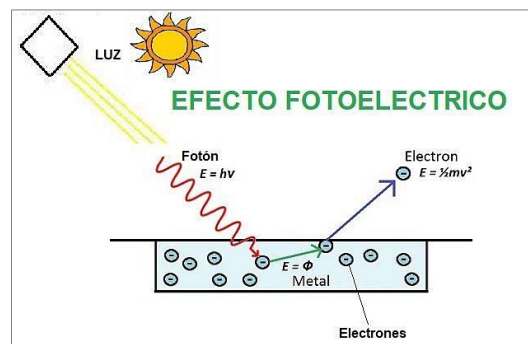
**Figura 14.** Diagrama estructura de un panel solar, materiales.  
**Fuente:** (Cientificos.com, 2021)



#### 4.1.16. Efecto fotovoltaico.

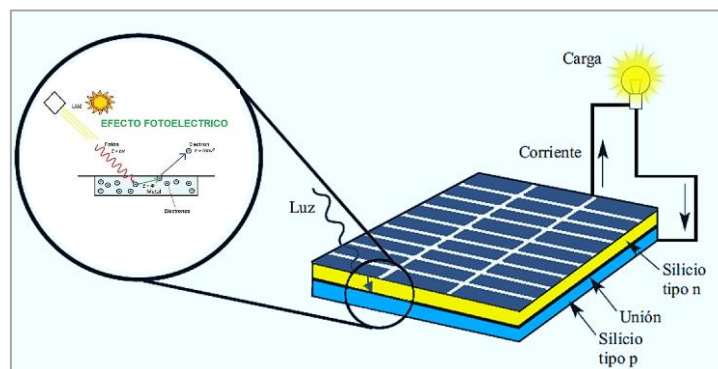
La energía del sol se transforma en energía eléctrica mediante el uso de material que absorbe los fotones y acto seguido emite electrones, es necesario contar con una fuente capaz de estimular a dichos electrones, esta fuente de energía es la radiación solar. En el momento en el que un fotón choca contra un electrón que está en la última órbita de un átomo de silicio empieza el efecto fotovoltaico, véase la Figura 15 (Areatecnología, 2021).

El choque producido induce al electrón a que obtenga energía del fotón y pueda excitarse. Si la energía que el electrón obtiene del fotón es más alta que la que tiene la fuerza de atracción del núcleo del átomo de silicio, estaremos ante una salida del electrón de la órbita (Areatecnología, 2021).



**Figura 15.** Descripción gráfica del efecto fotoeléctrico.  
**Fuente:** (Areatecnología, 2021)

La luz del sol está compuesta de fotones. Estos fotones contienen diferentes cantidades de energía correspondientes a varias longitudes de onda de luz. Cuando los fotones golpean una célula fotovoltaica, pueden ser absorbidos, reflejados o pasar a través de estas células. La absorción de los fotones en la célula solar da lugar a la generación de un par de agujeros de electrones. Esta generación de pares de agujeros de electrones da como resultado la generación de un voltaje, que puede conducir la corriente en un circuito externo. La Figura 16 muestra el efecto de la luz en una celda fotovoltaica de silicio (Areatecnología, 2021).



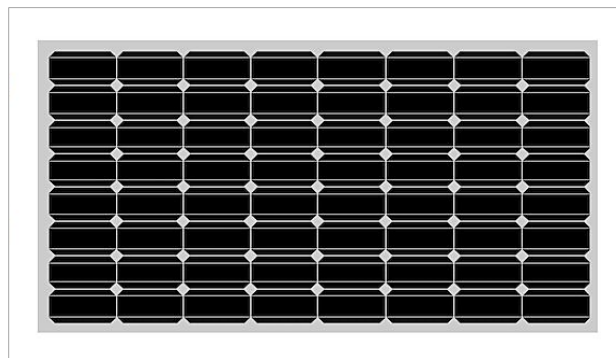
**Figura 16.** Diagrama y efecto de luz sobre el panel solar.  
**Fuente:** (Areatecnología, 2021) Adaptación de autor.

#### 4.1.17. Tipos de paneles fotovoltaicos

Las células se construyen mediante la cristalización de materiales semiconductores como el silicio, los paneles se clasifican en tres tipos:

##### 4.1.17.1. Panel monocristalino

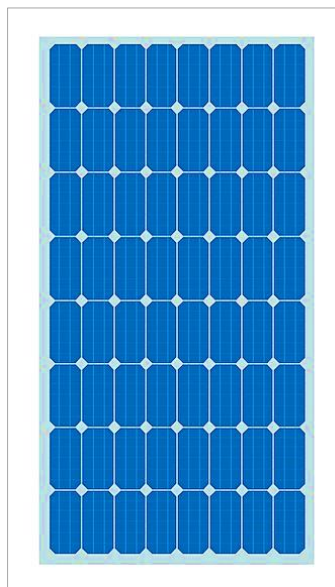
Se trata de una estructura completamente cristalina y ordenada, se constituye por un solo cristal, se identifica por su monocromía azulada oscura y metálica, cuya red cristalina es idéntica en todo el cristal y caracterizada por la solidificación de los átomos de silicio en tres direcciones especiales perpendiculares entre sí y sin imperfecciones (Quinche, 2012).



**Figura 17.** Panel solar monocristalino.  
**Fuente:** (Quinche, 2012)

##### 4.1.17.2. Panel policristalino.

Los paneles policristalinos se caracterizan por estar formados de células compuestas de diferentes cristales, posee una estructura ordenada distribuida en regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución del rendimiento, este tipo de panel se identifica fácilmente por su matiz en distintos de color azul y grises metálicos (Quinche, 2012).



**Figura 18.** Panel solar policristalino.  
**Fuente:** (Quinche, 2012)

#### 4.1.17.3. Panel amorfo.

Tienen un alto grado de desorden y un gran número de defectos estructurales en su combinación química, en la cual no hay red cristalina alguna y el material es depositado sobre finas capas que se unen entre sí. La potencia que se obtiene es inferior a las células que utilizan silicio monocristalino o policristalino.

Las más utilizadas en instalaciones fotovoltaicas son las de silicio monocristalino por ofrecer un mejor rendimiento en la tabla 2 se indican el rendimiento (Quinche, 2012).

#### 4.1.18. Regulador o controlador de carga.

Este equipo se instala entre los paneles y la batería, tiene la función de controlar la tensión e intensidad con la que se cargan las baterías. Para controlar la carga y la descarga de una batería o acumulador dentro de una instalación solar (Quinche, 2012).

##### 4.1.18.1. Tipos de reguladores.

**Reguladores PWM.** (Pulse-Width Modulation), es decir, modulación por ancho de pulsos. Estos reguladores son empleados comúnmente en los sistemas fotovoltaicos aislados con voltajes de 12V y 24V, su vida útil es bastante larga, están fabricados con componentes sencillos, haciéndolos equipos ideales para sistemas medianos y pequeños (Selectra, 2022).

**Reguladores MPPT.** (Maximum Power Tracking), se traduce a un seguidor punto de máxima potencia, se caracterizan generalmente por emplear toda la potencia de las placas solares, esto lo hacen de forma independiente respecto a la diferencia de voltaje que ocurran entre el panel y la batería, por ello obtiene su nombre de maximizador, ya que siempre permanece la tensión en su punto óptimo (Selectra, 2022).



**Figura 19.** Tipos de reguladores de carga.  
Fuente: (Fernandez, 2022)

#### 4.1.19. Inversor.

Un inversor solar es un convertidor que convierte la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, la cual es la requerida para uso o para inyectar a la red. Este elemento se encarga de recibir la corriente entrante de paneles cuando hay suficiente producción. Esta energía se destina a recargar la batería y alimentar los consumos que tengamos en las horas de sol (sotysolar, 2022).

##### 4.1.19.1. Tipos de inversores.

Para la implementación de autoconsumo solar residencial, se emplean tres tipos de inversores solares: inversores string o en cadena, microinversores y optimizadores de potencia.

En la industria solar, a los microinversores y a los optimizadores de potencia se les identifica como dispositivos de potencia a nivel de módulo (MLPEs) (Module Level Power Electronics) (sotysolar, 2022).



**Figura 20.** Tipos de inversores.  
**Fuente:** (ecofener, 2021)

#### 4.1.20. Batería.

En un sistema fotovoltaico autónomo las baterías constituyen una parte fundamental, gracias a estos elementos se puede almacenar la energía generada por los paneles y posteriormente usarla, incluso cuando no haya radiación solar. Existen de varios tipos, las más empleadas actualmente son de GEL y de Litio. Las baterías de GEL ofrecen el doble de ciclos de vida útil que las baterías normales selladas. Adicionalmente como son diseñadas para ciclos profundos de descarga, posee placas más gruesas lo cual permite extender significativamente la vida útil (Proviento.S.A, 2022).



**Figura 21.** Batería para sistemas fotovoltaicos.  
**Fuente:** (Proviento.S.A, 2022)

#### 4.1.20.1. Tipos de baterías.

Según lo expuesto por AutoSolar, (2020), las baterías se pueden diferenciar en función de la tecnología con la que se fabrican:

**Baterías de plomo ácido abierto.** Poseen seis compartimentos separados pero conectados en serie que están sumergidos en ácido sulfúrico. Las placas que forman el cuerpo contienen los electrodos polarizados positiva y negativamente que se alternan dentro de la batería.

**Baterías AGM.** Absorption Glass Mat, es una tecnología que permite a las placas de plomo absorber más rápido y mejor el ácido. La característica favorable de esta batería es que no requieren de mantenimiento gracias a su diseño sellado, el transporte es sencillo. Soportan un gran número de ciclos de forma que su uso es recomendable en instalaciones exigentes, aunque también están recomendadas para caravanas puesto que pueden utilizarse como batería de arranque (AutoSolar, 2020).

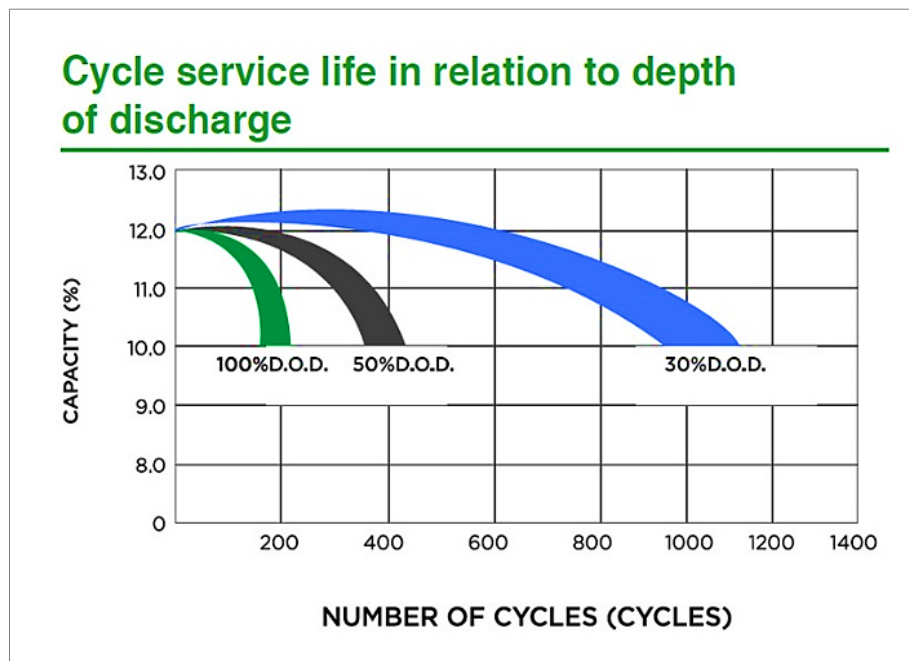
**Baterías de gel.** Contienen el electrolito gelificado y al estar selladas no desprenden gases nocivos, son recomendables para lugares con baja ventilación. Puede tener ciclos de descarga profundos con hasta 800 ciclos de vida de ahí que sea una batería de gran durabilidad. Por otro lado, al ser una batería completamente sellada no requiere de mantenimiento pues no se producen evaporaciones y su cuidado se vuelve mucho más sencillo (AutoSolar, 2020).

**Baterías estacionarias.** Se caracterizan porque se mantienen cargadas constantemente. Contienen un regulador que alimenta el consumo y que recarga la batería cuando se produce una descarga. De este modo la batería se descarga con muy poca frecuencia (AutoSolar, 2020).

**Baterías de litio.** Se cargan más rápido que otros tipos, proporcionan mayor densidad energética y vida útil más larga. No tienen efecto memoria por lo que podrían descargarse al

100% sin causar daños. Proporcionan mayor autonomía, son menos pesadas y no requiere mantenimiento ni emite gases por lo que pueden instalarse en un lugar sin ventilación (AutoSolar, 2020).

A continuación, se muestra la gráfica de relación entre capacidad y ciclos de carga en función de la profundidad de descarga.



**Figura 22.** Relación entre capacidad y ciclos de carga.  
**Fuente:** (Proviendo.S.A, 2022)

#### 4.1.21. Regulaciones para sistemas fotovoltaicos en el Ecuador.

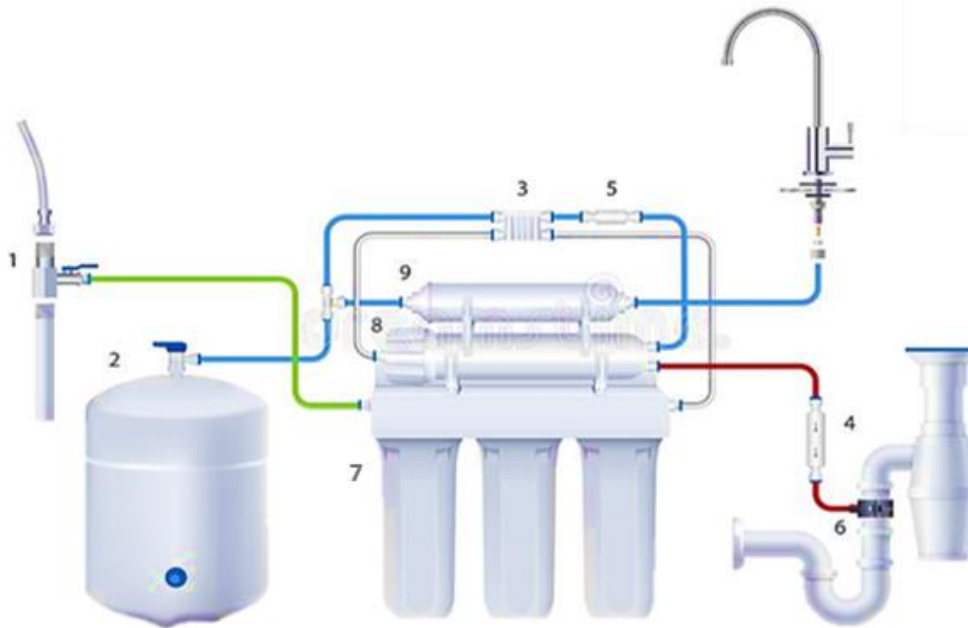
Para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador es importante considerar la resolución Nro. ARCONEL-042/18 “Características generales para consumidores que tengan interés en instalar  $\mu$ SFV” Sesión de Directorio de 22 de octubre de 2018 (ARCONEL, 2018).

Para la instalación de un  $\mu$ SFV que se acoja a la presente regulación, el consumidor deberá considerar para el desarrollo del futuro proyecto lo siguiente (ARCONEL, 2018):

- El proyecto puede conectarse con las redes de bajo o medio voltaje de la empresa de distribución, según el siguiente esquema.
- El interesado debe ser propietario del inmueble donde se va a instalar el  $\mu$ SFV.
- El diseño del  $\mu$ SFV tiene como objetivo reducir el consumo de energía de la red.
- La instalación del  $\mu$ SFV está condicionado a la emisión de factibilidad de conexión de la empresa distribuidora.
- La capacidad nominal instalada del  $\mu$ SFV no podrá ser mayor a 100 kW

## ➤ Osmosis Inversa

Es un proceso mediante el cual se purifica una muestra de agua eliminando las partículas en suspensión. La tecnología ósmosis inversa es un tipo de tratamiento físico-químico que copia a la naturaleza para eliminar impurezas del agua, haciéndola pasar a través de unas membranas semipermeables (dreamstime, 2022). Por lo general, un sistema de osmosis inversa tiene los componentes evidenciados en la Figura 23, los cuales son:



**Figura 23.** Sistema de osmosis inversa  
**Fuente:** (dreamstime, 2022)

1. *Válvula de entrada:* Se coloca entre el suministro principal de agua y el sistema general de ósmosis inversa. Su función es permitir que el agua ingrese al sistema de manera controlada en cuanto a presión y flujo.
2. *Tanque de presión:* Contiene el agua de la última etapa de purificación a una presión mayor, para tener un mayor control de flujo de la misma.
3. *Válvula de apagado automático:* Se lo utiliza como dispositivo de seguridad y cierra rápidamente el flujo de agua en caso de ser requerido.
4. *Válvula de prevención de reflujos:* Diseñada para evitar que el agua regrese al tanque de suministro y mantener el sistema en óptimas condiciones.
5. *Válvula Check:* Permite al fluido fluir en una dirección, pero cierra automáticamente para prevenir flujo en la dirección opuesta.
6. *Drenador:* Mediante este elemento se envían las impurezas del proceso de filtrado.
7. *Bloque de filtro previo:* Elimina los contaminantes grandes del agua, como la arena, para asegurar que no bloqueen la membrana; está compuesto por un medio filtrante electrostático avanzado, en donde los más comunes son los clasificados por el NIOSH

como N95, que brindan protección respiratoria contra polvos y neblinas a base de líquidos no aceitosos.

8. *Membrana R O*: Es una membrana semipermeable que filtra las partículas más pequeñas que hacen que el agua sea insegura para beber; actúa como barrera para todas las sales, moléculas inorgánicas y moléculas orgánicas con un peso molecular mayor a 100, aproximadamente.
9. *Filtro de carbón poste en línea*: Es un filtro diseñado para eliminar cloro, productos químicos, malos sabores y olores del agua; además ayuda mineralizar el osmotizada, dejándola con baja mineralización.

Hay razones de peso para el uso de los diferentes tipos de osmosis inversa. El principal argumento es que el agua que se consume es de máxima calidad y estupendo sabor. El circuito pasa por una serie de filtros y una membrana semipermeable que elimina las impurezas y residuos. Todo se trata del equilibrio que se origina cuando dos líquidos que poseen diferente concentración salina son apartados por la mencionada membrana, gracias a lo que se implanta la presión osmótica (Sanimamp, 2022).

Una vez que esto ocurre, el agua pura presente en el sector con menos concentración, transita hacia el área de mayor concentración, hasta que se produce un total equilibrio. Cuando hablamos de tipos de osmosis inversa, tenemos que referirnos a las categorías estándar, compacta y directa (Sanimamp, 2022).

#### **4.1.22. Osmosis inversa convencional y osmosis inversa de circuito cerrado (CCD OR)**

La osmosis inversa de circuito cerrado (CCD RO, por sus siglas en inglés) presenta una gran mejora con respecto a la osmosis convencional. Dado que la osmosis convencional opera en un régimen constante y el CCD RO en un régimen variable cíclico, permitiendo de esta manera alternar el arreglo de las membranas de la osmosis y mejorar el rendimiento de la membrana (Vázquez, 2017).

Las membranas se pueden desgastar por incrustación o ensuciamiento; en donde, para el caso de la osmosis inversa tradicional se producirá este desgaste por la disposición de las membranas, arregladas de manera secuencial. El ensuciamiento sucede al inicio del arreglo y la incrustación sucede al final del arreglo; por lo cual, al llegar al límite de este tipo de desgaste se debe realizar el reemplazo inmediato para garantizar la estabilidad operativa (Vázquez, 2017).

Por otro lado, en los sistemas de CCD RO no existe un principio ni un final en el arreglo, provocando que el sistema se desgaste de igual forma a lo largo del sistema,



incrementando la vida útil de la membrana y el porcentaje de recuperación del sistema (Vázquez, 2017).

#### **4.1.23. Inversa directa**

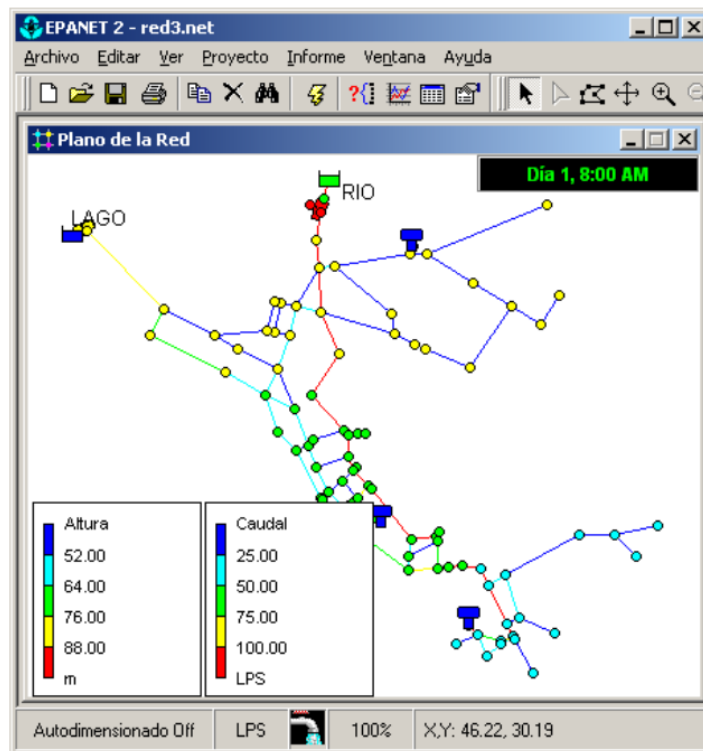
El método de ósmosis directa aprovecha la diferencia de presión osmótica que existe entre una solución concentrada, conocido como agente osmótico y un sin número de soluciones acuosas, como las aguas residuales. Este proceso conlleva el flujo de agua desde la solución menos concentrada (baja presión osmótica) hasta la solución más concentrada (agente osmótico), las cuales, pasan a través de unas membranas semipermeables, que rechazan moléculas e iones contaminantes. Estos equipos presentan dos membranas osmóticas de mayor tamaño que regulan la presión por una bomba. Son pequeñas y permiten su instalación prácticamente en cualquier lugar. No obstante, su precio resulta más elevado que otras alternativas. Las membranas para ósmosis directa suelen triplicar el volumen de filtrado diario, haciendo su mantenimiento mucho más costoso (Herrera et al., 2016).

#### **4.1.24. Agua de excelente calidad**

El agua potable es el agua libre de parásitos y bacterias, esto se logra mediante un proceso físico-químico de desinfección como la osmosis inversa. No tiene color ni olor. Todos los seres humanos debemos consumir agua segura, que garantice la desinfección o eliminación de microorganismos transmisores de enfermedades que están presentes en la misma. La osmosis inversa puede ofrecernos agua segura y no exclusivamente para el consumo directo. Resulta beneficiosa también para el riego y procesos industriales, pues elimina un 99% de la presencia de contaminantes. Además, al no producir residuos químicos perjudiciales, constituye un procedimiento muy respetuoso con el medio ambiente (Organización Mundial de Salud, 2022).

##### **➤ Epanet.**

EPANET es un programa de ordenador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable. Aunque en general puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión. La versión original del programa fue desarrollada en inglés por la EPA y ha sido traducida al español por varias instituciones. En España y Latinoamérica una de las de mayor difusión es la desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia (Epanet.es, 2022).



**Figura 24.** Mesa de trabajo del software Epanet®  
**Fuente:** (Epanet.es, 2022)

➤ **Método de factores ponderados (Scoring)**

Se basa en la elaboración de una matriz que incluye las alternativas, criterios de evaluación, requerimientos y parámetros que se van a analizar para buscar la mejor alternativa de diseño (Guaycha Maza, 202d. C.), los pasos a seguir son:

- Determinar una relación de los factores relevantes.
- Asignar un peso a cada factor que refleje su importancia relativa de 1-5.
- Fijar una escala a cada factor. Ejemplo 1-10 o 1-100.
- Hacer que se evalúe para cada factor.
- Escoger la mejor alternativa.

## 5. Metodología

### ➤ Materiales.

En el desarrollo del presente proyecto se empleó los siguientes recursos y materiales:

- Recursos humanos:
  - Tutor de proyecto de tesis.
- Recursos bibliográficos:
  - Libros de mecánica de fluidos.
  - Libros de energías renovables.
  - Norma NEC- de construcciones.
  - Catálogos de elementos para sistemas hidráulicos.
  - Catálogos de bombas.
  - Catálogos de componentes para sistemas fotovoltaicos.
- Recursos de oficina:
  - Equipos computacionales.
  - Softwares:
    - AutoCAD.®
    - SolidWorks.®
    - Paquete Office.®
    - Epanet.®
    - CAdE SIMU.®
    - PVSyst.®
- Máquinas, equipos, accesorios y complementos:

**Tabla 1.** Materiales y componentes para el sistema fotovoltaico.

SISTEMA FOTOVOLTAICO			
ITEM	DESCRIPCIÓN-MÁQUINA – EQUIPO - ACCESORIO	CANTIDAD	UNIDAD
1	Panel solar / 110Wp / 12V CC / Policristalino	4	unidad
2	Inversor / 12 Vcc a 127 Vca / 500W	1	unidad
3	Regulador / PWM /20 A / 12V/24V	1	unidad
4	Baterías / 100Ah / 12V / GEL	2	unidad
5	Conductor SOLAR 16mm <sup>2</sup> IEC 60364 AÉREO	5	metro
6	Conductor AWG #12	45	metro
7	Breaker 20 AMPERIOS	1	unidad
8	Caja eléctrica metálica 300*400 mm	1	unidad

**Fuente:** (Autor)

**Tabla 2.** Materiales y componentes para el sistema hidráulico.

SISTEMA HIDRÁULICO			
ITEM	DESCRIPCIÓN-MÁQUINA – EQUIPO - ACCESORIO	CANTIDAD	UNIDAD
1	Bomba Periférica/ 372,85 W/ 120 -220V/ 60Hz/ H.asp=8m	1	unidad
2	Ósmosis Inversa/ 1,89 l/min / 28W / Temp Agua 4° a 45°	1	unidad
3	Lámpara de luz UV/ 6W	1	unidad
4	Cisterna de agua/ 1m <sup>3</sup> 1000*1170*1200 mm	2	unidad
5	Cisterna de agua/ / 0,260 m <sup>3</sup>	1	unidad
6	Tubo PVC / Ø 25,4mm	44,20	metro
7	Tubo PVC / Ø 6 mm	4	metro
8	Codo PVC/ Ø 25,4mm/90°	2	unidad
9	Unión PVC/ Ø 25,4mm	9	unidad
10	Universal / Ø 25,4mm	3	unidad
11	Válvula de compuerta abierta / Ø 25,4mm	1	unidad
12	Acople de tanque / Ø 25,4mm	2	unidad
13	Válvula de pie / Ø 25,4mm	1	unidad
14	Neplo / Ø 25,4mm	4	unidad
15	Te de paso directo / Ø 25,4mm	1	unidad
16	Válvula check / Ø 25,4mm	1	unidad
17	Flotador / Ø 25,4mm	1	unidad

Fuente: (Autor)

### ➤ Métodos.

La metodología propuesta para desarrollar el presente proyecto es la siguiente:

#### 5.1.1.1. Recopilar la información bibliográfica.

Analizar los parámetros de funcionamiento de sistemas hidráulicos, sistemas de potabilización de agua, sistemas fotovoltaicos. Se requiere emplear bibliografía de diseño hidráulico, mecánica de fluidos, diseño eléctrico, sistemas fotovoltaicos, e investigaciones referentes a sistemas purificadores de agua, los principales autores son: Robert L. Mott (2009), Bayod (2009), Normativa NEC 11-08.

#### 5.1.1.2. Describir la ubicación geográfica del lugar de emplazamiento.

Obtener la locación geográfica del lugar donde se pretende realizar el emplazamiento del proyecto.

#### 5.1.1.3. Levantamiento de las muestras.

De acuerdo a lo especificado en la NTE INEN 2176:2013, para el levantamiento de las muestras se realizaron los siguientes pasos:

1. Preparar los recipientes adecuadamente, para ello se lava 3 tipos de recipientes diferentes.
2. Los recipientes se secan adecuadamente y se almacenan en un contenedor, que permita mantener la temperatura constante de los mismos, de la misma forma el contenedor de almacenamiento debe conservar la humedad y no debe permitir el ingreso de ventilación.
3. Preparar las etiquetas con la información correspondiente.
4. En el lugar de emplazamiento se debe tomar las muestras del agua en los puntos de interés, para ello se debe tener en cuenta que las condiciones ambientales sean las mismas y que el procedimiento se realice en el mismo tiempo.
5. Para el análisis bacteriológico no llenar completamente el recipiente de vidrio. Para el análisis físico-químico se debe enjuagar varias veces el recipiente con el agua, llenar el recipiente y tomar las muestras de agua.
6. Ubicar las etiquetas correspondientes y ubicar los envases de vidrio en el lugar correspondiente; sellarlo herméticamente y transportar las muestras al laboratorio.

#### 5.1.1.4. Caracterizar la calidad de agua en estado actual.

A partir de la acometida de agua proporcionada en el lugar de emplazamiento, tomar muestras de agua y realizar análisis del estado actual, para ello se puede hacer mediante análisis físico, químico y bacteriológico. Realizar la toma de 5 muestras en días y horas diferentes, la norma INEN 1108 recomienda los diferentes indicadores y parámetros a través de los cuales se puede realizar un adecuado análisis de la calidad de agua, ver la Tabla 3.

**Tabla 3.** Indicadores y parámetros para realizar análisis de agua.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	ANÁLISIS DE METALES
Color	Aeróbicos mesófilos	Cadmio
Turbiedad	Coliformes totales	Cobre
pH	Coliformes fecales	Plomo
Calcio	Hongos-Levaduras	Cromo
Cloruro		Mercurio
Cloro libre residual		Cianuro
Dureza total		
Hierro total		
Magnesio		
Manganeso		
Nitrato		
Nitrito		
Sólidos totales disueltos		
Sulfatos		

Fuente: (INEN, 2011)

Los resultados obtenidos del análisis de agua se contrastan con la normativa de calidad de agua vigente. Seguidamente se procede a establecer y proponer: la metodología, mecanismo o equipo adecuado de potabilización en función de: el tipo de impurezas que contiene, el grado de contaminación bacteriológica y la cantidad de agua a purificar. Se puede aplicar el método de los factores ponderados (Scoring) donde se evalúen varios indicadores incluidos el costo.

## 5.1.2. Dimensionar el Sistema Hidráulico

### 5.1.2.1. Determinar el requerimiento de agua por usuario.

Calcular la cantidad de agua necesaria para cubrir la demanda del domicilio, considerar el número habitantes, aplicar la normativa INEN donde establece la cantidad recomendada para una persona durante un día.

Para determinar la dotación de agua por habitante es necesario hacer, al menos, “una investigación cualitativa de los hábitos de consumo, usos del agua y una aproximación del costo de los servicios y disponibilidades hídricas en las fuentes”.

La norma (NEC, 2011), propone la expresión matemática que permite calcular la dotación de agua para un usuario:

$$Q_{\text{med}} = q * \frac{N}{1\ 000 * 86\ 400} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$Q_{\text{med}}$  = Caudal medio ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$q$  = Dotación tomada de **Tabla 21** en (l/hab/día)

$N$  = Número de habitantes.

La cantidad de demanda máxima correspondiente al consumo diario mayor, calcular por la fórmula:

$$Q_{\text{maxconsumodía}} = K_{\text{maxdía}} * Q_{\text{med}} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$Q_{\text{maxconsumodía}}$  = Caudal máximo por día ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$K_{\text{maxdía}}$  = Coeficiente de variación del consumo máximo diario.

El coeficiente de variación del consumo máximo diario se debe determinar en función de estudios en sistemas existentes, se recomienda aplicar por analogía al proyecto en estudio. En caso contrario se recomienda emplear los valores:  $K_{\text{maxdía}} = (1,3 \text{ a } 1,5)$ .

El coeficiente de variación del consumo máximo horario se ha de calcular de acuerdo a estudios en sistemas existentes y luego aplicar analógicamente al proyecto de estudio. En caso contrario se recomienda emplear los siguientes valores:

$$K_{\text{maxhor}} = (2 \text{ a } 2,3) * Q_{\text{med}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$K_{\text{maxhor}}$  = Coeficiente de variación del consumo máximo horario

#### **5.1.2.2. Dimensionar y seleccionar los elementos para el prototipo potabilizador.**

Determinar la capacidad de almacenamiento de los tanques en función del caudal a proporcionarse determinado anteriormente mediante la norma, aplicar la siguiente ecuación:

$$V_{\text{potab}} = Q_{\text{maxconsumodía}} * 86400 \text{ s} \quad \text{Ecuación 20}$$

#### **5.1.2.3. Determinar tuberías, seleccionar accesorios.**

Corresponde determinar el tipo de tubería en función de la aplicación que se le dará, para el presente proyecto al tratarse de agua para consumo humano, se recomienda emplear tubería plástica de policloruro de vinilo (PVC).

Proponer un volumen de reserva para almacenarlo puesto que en el sector donde se va a implementar el proyecto el servicio de agua no es constante, con ello determinar el caudal de bombeo.

$$Q_b = \frac{V_r}{t_b} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

$V_r$  = Volumen de reserva propuesto.

$t_b$  = Tiempo de bombeo

Seleccionar accesorios del mismo material de la tubería, los accesorios de operatividad y control como válvulas, filtros, elementos de unión u otros se determinarán en función del esquema del prototipo.

Para calcular el diámetro de la tubería se debe considerar, el caudal y la velocidad permisible en la tubería de succión, Mott R. L., (2006) describe que la velocidad de la tubería de descargar será hasta tres veces menor a la máxima velocidad de la tubería de succión, para este proyecto se emplea un valor de 1m/s para la tubería de descarga.

$$D_{tt} = \sqrt{\frac{4 * Q_b}{\pi * v_d}} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

$D_{tt}$  = Diámetro teórico interno de la tubería

$Q_b$  = Caudal a bombear

$v_d$  = Velocidad del fluido en el punto de descarga

Con el diámetro teórico determinar seleccionar un diámetro de tubería estándar.

#### 5.1.2.4. Calcular las pérdidas.

##### 5.1.2.4.1. Número de Reynolds ( $N_R$ ).

Calcular el número de Reynolds y determinar si el flujo es laminar o flujo turbulento, emplear la viscosidad del agua en función de la temperatura ANEXO 1 aplicar la siguiente expresión:

$$N_R = \frac{v * D * \rho}{\eta} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

$D$  = Diámetro de la tubería

$\eta$  = Viscosidad dinámica del agua a 25 °C

$\rho$  = Densidad del agua.

$v$  = velocidad del fluido

##### 5.1.2.4.2. Factor de fricción ( $f$ ).

Emplear la ecuación desarrollada por P. K. Swamee y A. K., para ello es necesario definir el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa.



$$f = \frac{0,25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Ecuación 24

#### 5.1.2.4.3. Rugosidad relativa.

Determinar la rugosidad relativa, aplicar la siguiente expresión:

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

Ecuación 25

Donde:

D = Diámetro del tubo

$\varepsilon$  = Rugosidad absoluta del material.

Calcular las pérdidas primarias y secundarias en el tramo de succión y tramo de descarga, aplicar la ecuación propuesta por Darcy Weisbach.

#### 5.1.2.4.4. Pérdidas primarias de succión.

Calcular las pérdidas de energía en el tramo de tubería entre el punto de succión y la entrada de la bomba, aplicando la siguiente ecuación:

$$hrp_s = f \frac{L_s * v_s^2}{D_s * 2 * g}$$

Ecuación 26

Donde:

f = Factor de fricción.

$L_s$  = Longitud de la tubería

$v_s$  = Velocidad del fluido.

$D_s$  = Diámetro de la tubería en el tramo de succión.

$hrp_s$  = Pérdidas primarias en el tramo de succión.

#### 5.1.2.4.5. Pérdidas primarias de descarga.

$$hrp_d = f \frac{L_d * v_d^2}{D_d * 2 * g}$$

Ecuación 27

Donde:

f = Factor de fricción.

$L_d$  = Longitud de la tubería.

$v_d$  = Velocidad del fluido.

$D_d$  = Diámetro de la tubería en el tramo de descarga.

$hpr_d$  = Pérdidas primarias en el tramo de descarga.

#### 5.1.2.4.6. Factor de resistencia.

Determinar el coeficiente de resistencia ( $k$ ) para los accesorios, emplear los valores expuestos en la Tabla 23, Anexo 1.

#### 5.1.2.4.7. Pérdidas secundarias o de accesorios succión.

Determinar las pérdidas secundarias en el tramo de succión mediante:

$$hrs_s = \left( \sum k_{\text{accsucción}} \right) * \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

$k_{\text{accsucción}}$  = Coeficiente de resistencia en los accesorios del tramo de succión

#### 5.1.2.4.8. Pérdidas secundarias o de accesorios de descarga.

Determinar las pérdidas secundarias en el tramo de descarga mediante:

$$hrs_d = \left( \sum k_{\text{accdescarga}} \right) * \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

$k_{\text{accdescarga}}$  = Coeficiente de resistencia en los accesorios del tramo de succión

#### 5.1.2.4.9. Pérdidas totales primarias y secundarias.

$$h_{s-d} = hrp_s + hrp_d + hrs_s + hrs_d \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$hrp_s$  = Pérdidas primarias en el tramo de succión.

$hrp_d$  = Pérdidas primarias en el tramo de descarga

$hrs_s$  = Pérdidas secundarias en el tramo de succión.

$hrs_d$  = Pérdidas secundarias en el tramo de descarga.

#### 5.1.2.4.10. Ecuación de conservación de energía.

Emplear la ecuación de la conservación de la energía propuesta por Bernoulli, para encontrar la potencia hidráulica.

$$\frac{p_s}{\rho * g} + z_s + \frac{v_s^2}{2 * g} + h_L - h_{1-2} = \frac{p_d}{\rho * g} + z_d + \frac{v_d^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

$z_s$  = Punto de succión.

$z_d$  = Punto de descarga.

$\rho$  = Punto de succión.

$g$  = Gravedad.

$v_s$  = Velocidad en el punto de succión.

$v_d$  = Velocidad en el punto de descarga.

$h_{s-d}$  = Pérdidas entre el punto de succión y descarga.

$$h_L = h_{s-d} + z_d + \frac{v_d^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 32}$$

#### 5.1.2.4.11. Potencia de la bomba

Calcular la potencia de la bomba aplicando la expresión de potencia hidráulica:

$$P_{\text{bomba}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} * g * h_L * Q_b \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

$h_L$  = Pérdidas de energía en el sistema

$Q_b$  = Caudal de bombeo.

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  = Densidad del agua.

#### 5.1.2.4.12. NPHS requerido.

Determinar la carga de succión positiva neta requerida (NPSH) emplear la siguiente ecuación:

$$\text{NPHS}_A = h_{\text{H}_2\text{O}} - h_{rps} - h_{rs} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

$h_{H_2O}$  = Altura del nivel de agua en el tanque de succión.

$h_{pr_d}$  = Pérdidas primarias en el tramo de descarga.

$h_{rp_s}$  = Pérdidas primarias en el tramo de succión.

Para comprobar que la bomba no cavite es necesario cumplir la expresión:

$$NPHS_A = 1,10 * NPHS_r$$

Ecuación 35

Donde:

$NPHS_A$  = Carga de succión positiva neta disponible.

$NPHS_r$  = Carga de succión positiva neta requerida.

#### **5.1.2.4.13. Seleccionar los componentes para el purificador.**

Seleccionar los elementos para el purificador de agua, analizar las características técnicas de cada uno de los componentes y considerar las recomendaciones dadas por el fabricante.

En el caso de haber dispositivos integrados, es necesario realizar un contraste entre: los requerimientos, condiciones y parámetros de operación necesarios para el proyecto con la capacidad, cualidades y parámetros de funcionamiento que proporciona el equipo.

Considerar el nivel de consumo energético, ya que el mecanismo será alimentado por energía fotovoltaica.

#### **5.1.2.4.14. Diseñar el prototipo.**

Para elaborar el esquema del sistema hidráulico emplear el software AutoCAD® versión académica.

### **5.1.3. Dimensionar el sistema fotovoltaico.**

Para dimensionar el sistema fotovoltaico es necesario los pasos descritos a continuación:

#### **5.1.3.1. Determinar la demanda energética.**

Determinar el consumo energético promedio total del sistema de purificación de agua, considerar el mayor consumo de agua posible durante un día y de acuerdo a lo recomendado por la normativa. Esta metodología permite determinar la potencia de toda la carga en W:

$$P_{\text{consmáx}} = \sum (P_{\text{equipo}} * N_{\text{equipos}})$$
 Ecuación 36

Donde:

$P_{\text{cons}}$  = Potencia total

$P_{\text{equipo}}$  = Potencia requerido por cada equipo.

$N_{\text{equipos}}$  = Cantidad de equipos.

Con los valores obtenidos calcular la energía total diaria en [Wh/día] será:

$$E_{\text{diaria}} = P_{\text{cons}} * N_h$$
 Ecuación 37

Donde:

$P_{\text{cons}}$  = Potencia total

$N_h$  = Número de horas de funcionamiento de la carga.

Aplicar un factor de seguridad para calcular la energía máxima diaria recomendado por Bayod Rújula, (2009).

$$E_{\text{máxdia}} = E_{\text{diaria}} * F_s$$
 Ecuación 38

Donde:

$E_{\text{diaria}}$  = Energía diaria

$F_s$  = Factor de seguridad.

### 5.1.3.2. Determinar el potencial solar en el lugar.

Corresponde determinar la disponibilidad de radiación solar en el lugar de emplazamiento, para ello emplear la base de datos proporcionada por: Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), Plataforma de la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA), Atlas Solar, página web Potencial Solar de la Región Sur del Ecuador. Obtener los datos solares empleando las coordenadas del lugar de emplazamiento del proyecto.

### 5.1.3.3. Estimar la inclinación óptima de los paneles.

Delgado & Orellana, (2015), describen que el ángulo de inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos en una latitud de  $|0^\circ$  a  $5^\circ$  se recomienda ubicar a  $15^\circ$  de inclinación, además se ubican según el hemisferio en que se encuentren; es decir, en el hemisferio norte se recomienda ubicar los módulos hacia sur y en el hemisferio sur los módulos se ubican con dirección al norte.

Coronel Villavicencio (2021), argumenta que el ángulo de inclinación adecuado para la disposición de paneles fotovoltaico se puede determinar en función de la latitud:

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3,7 + 0,69 * (|\varphi|) \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

$\beta_{\text{óptimo}}$  = Inclinación óptima.

$\varphi$  = Latitud.

Determinar los valores de radiación solar corregidos, para ello aplicar los factores de corrección descritos Romero Marquez, (2020), emplear los valores establecidos de acuerdo al ángulo beta de instalación de los paneles y aplicar la siguiente expresión:

$$R_{\beta_{\text{instalación}}} = R_{0^\circ} * F_{C\beta_{\text{instalación}}} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

$R_{0^\circ}$  = Radiación solar en el plano horizontal.

$F_{C\beta_{\text{instalación}}}$  = Factor de corrección para el ángulo beta de instalación.

#### 5.1.3.4. Estimar las pérdidas.

##### 5.1.3.4.1. Pérdidas angulares.

Se puede determinar este tipo de pérdidas en función de la inclinación, cuando este aumenta se produce una pérdida angular, para  $\beta \leq 15^\circ$  aplicar la siguiente ecuación:

$$k_{\beta} = 100 * [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi + 10)^2] (\%) \quad \text{Ecuación 41}$$

##### 5.1.3.4.2. Balance óptimo del sistema.

Calcular la energía de consumo máximo diario, tomar en cuenta las pérdidas totales:

$$kT = [1 - (k_C + k_R + k_X + k_T + k_I + k_B + k_{Re})] * \left[ 1 - \frac{k_B * D_{\text{autonomía}}}{P_{\text{descarga}}} \right] \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

$k_R$  = Pérdidas por reflexión.

$k_C$  = Pérdidas por desajuste.

$k_X$  = Pérdidas en circuito corriente continua.

$k_T$  = Pérdidas por temperatura.

$k_I$  = Pérdidas en circuito corriente alterna.

$k_B$  = Pérdidas de la autodescarga diaria de las baterías.

$k_{Re}$  = Pérdidas en el regulador.

$D_{\text{autonomía}}$  = Días de autonomía del banco de baterías.

$P_{\text{descarga}}$  = Profundidad de descarga.

Energía de consumo máximo diario:

$$E_{\text{máxcons}} = \frac{E_{\text{máxdia}}}{k_T} \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

$k_T$  = Rendimiento del sistema.

$E_{\text{máxdia}}$  = Energía máxima diaria

Calcular la energía diaria máxima en Ah aplicar:

$$I_{\text{máxinst}} = \frac{E_{\text{máxcons}}}{V_{\text{sistema}}} \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

$E_{\text{máxcons}}$  = Energía máxima de consumo.

$V_{\text{sistema}}$  = Voltaje del sistema

#### 5.1.3.4.3. Dimensionar y seleccionar los paneles solares

Para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos es necesario contar con la irradiación:

$$HPS = \frac{R}{I} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

HPS = Horas picos solares

R = Irradiación solar.

I = Irradiancia.

Calcular las HPSc reales, aplicar el factor de sombra de 0,97 recomendado (Bayod Rújula, 2009).

$$HPS_c = HPS * f_{sombra} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

HPS = Horas picos solares

$f_{sombra}$  = Factor de sombra

Calcular la energía producida por el panel empleando la siguiente expresión:

$$E_p = W_p * HPS_c * n_{inst} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

$HPS_c$  = Horas picos solares reales

$E_p$  = Energía producida por el panel

$W_p$  = Potencia nominal del panel

$n_{inst.ftv}$  = Rendimiento de la instalación fotovoltaica según (Bayod Rújula, 2009)

Determinar el número de paneles mediante:

$$\text{Panel}_{\#} = \frac{P_{cons\acute{m}ax}}{P_p} \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

$\text{Panel}_{\#}$  = Número de paneles.

$P_{cons\acute{m}ax}$  = Potencia máxima de consumo [W].

$P_p$  = Potencia del panel [W].

#### 5.1.3.4.4. Dimensionar y seleccionar las baterías.

Determinar el número de acumuladores (baterías), determinar la carga total requerida y el número de baterías, de acuerdo a lo recomendado por (Bayod Rújula, 2009) emplear una profundidad de descarga de 60%, y 3 días de autonomía.



$$C_{\text{total}} = \frac{I_{\text{máxinst}} * D_{\text{aut}}}{P_{\text{des}}} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

$C_{\text{total}}$  = Capacidad total del banco.

$D_{\text{aut}}$  = Días de autonomía.

$P_{\text{des}}$  = Profundidad de descarga.

$I_{\text{máxinst}}$  = Energía diaria máxima en Ah.

$$\text{Baterias}_{\#} = \frac{C_{\text{total}}}{C_{\text{batería}}} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

$\text{Baterias}_{\#}$  = Número de baterías.

$C_{\text{batería}}$  = Carga nominal de la batería.

#### 5.1.3.4.5. Dimensionar y seleccionar el regulador

El sistema fotovoltaico requiere seleccionar un controlador o regulador de carga, para ello se debe calcular la corriente del regulador, aplicando la siguiente ecuación:

$$I_r = I_{cc} * \text{Panel}_{\#} * 1,1 \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

$I_r$  = Intensidad eléctrica del regulador.

$I_{cc}$  = Intensidad de cortocircuito de los paneles.

$\text{Panel}_{\#}$  = Número de paneles.

#### 5.1.3.4.6. Dimensionar y seleccionar el inversor

La potencia del inversor a seleccionar debe ser superior a la potencia de la carga a instalar:

$$P_{\text{inv}} = \sum P_{\text{eq}} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

$P_{\text{inv}}$  = Potencia del inversor.

$P_{\text{eq}}$  = Potencia a instalar

#### 5.1.4. Seleccionar el calibre de conductor.

Para sistemas fotovoltaicos, existen conductores especiales, estos se emplean entre los paneles y el inversor, este tipo de conductores se denominan cable solar. Ya que resisten condiciones como: lluvias elevadas y bajas temperaturas, rayos ultravioletas, entre otros.

##### 5.1.4.1. Conductor de corriente continua.

Calcular el flujo de corriente que circula por los conductores, empleando el voltaje a la potencia máxima de los paneles.

$$i_{\text{cond.cc}} = \frac{P_{\text{nom}}}{V_{\text{máxpotencia}}} \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

$V_{\text{máxpotencia}}$  = Voltaje a la máxima potencia de los paneles.

$P_{\text{nom}}$  = Potencia de la carga.

Determinar la caída de tensión, aplicar la siguiente ecuación:

$$\Delta V_{\text{cc}} = \frac{(2 * \rho_{\text{cond}} * l_{\text{cond.cc}} * i_{\text{cond.cc}})}{S_{\text{cond.cc}}} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde:

$S_{\text{cond}}$  = Sección o área transversal del conductor [ $\text{mm}^2$ ]

$\rho_{\text{cond}}$  = Resistividad del conductor (cobre a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  =  $0.01786\ \Omega \cdot \text{mm}^2\ \text{m}$ ).

2 = Representa los conductores negativo y positivo.

$l_{\text{cond}}$  = longitud del tramo del conductor eléctrico hasta el inversor [m]

$i_{\text{cond}}$  = Corriente que circula por el conductor eléctrico [A].

$\Delta V$  = Caída de tensión máxima [V] (3 % tensión nominal del panel).

Calcular el porcentaje de caída de tensión máxima para comprobar que no sea superior al 3 % permitido según la EERSSA.

$$\% \Delta V_{\text{cc}} = \frac{\Delta V_{\text{cc}}}{V_{\text{nom.cc}}} * 100\% \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

$\Delta V_{\text{cc}}$  = Caída de tensión en el tramo de corriente continua. [V]

$V_{\text{nom.cc}}$  = Voltaje nominal en el tramo de corriente continua. [V]

#### 5.1.4.2. Conductor de corriente alterna.

Determinar la corriente que circula por los conductores del tramo de corriente alterna, similar a lo realizado en el tramo de corriente continua emplear el voltaje n6minal y potencia m6xima de la carga:

$$i_{\text{cond.ca}} = \frac{P_{\text{consm6x}}}{V_{\text{m6x}carga}} \quad \text{Ecuaci6n 56}$$

Determinar la ca6da de tensi6n en corriente alterna, aplicar:

$$V_{ca} = \frac{(2 * \rho_{\text{cond}} * l_{\text{cond.ca}} * i_{\text{cond.ca}})}{S_{\text{cond.ca}}} \quad \text{Ecuaci6n 57}$$

Donde:

$S_{\text{cond.ca}}$  = Secci6n o 6rea transversal del conductor [mm<sup>2</sup>]

$\rho_{\text{cond}}$  = Resistividad del conductor (cobre a 20 6C = 0.01786  $\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{ m}$ ).

2 = Representa los conductores negativo y positivo.

$l_{\text{cond.ca}}$  = longitud del tramo del conductor el6ctrico entre el inversor y la carga[m]

$i_{\text{cond.ca}}$  = Corriente que circula por el conductor el6ctrico [A].

$\Delta V_{ca}$  = Ca6da de tensi6n m6xima [V] (3 % de la tensi6n nominal de la carga).

Calcular el porcentaje de ca6da de tensi6n m6xima para comprobar que no sea superior al 3% permitido seg6n EERSSA.

$$\% \Delta V_{ca} = \frac{\Delta V_{ca}}{V_{\text{nom.ca}}} * 100\% \quad \text{Ecuaci6n 58}$$

Donde:

$\Delta V_{ca}$  = Ca6da de tensi6n en el tramo de corriente alterna.

$V_{\text{nom.ca}}$  = Voltaje nominal en el tramo de corriente alterna.

#### 5.1.5. Diagrama unifilar.

Elaborar el esquema de conexi6n para representar la disposici6n de los componentes, utilizar el software CADE SIMU®, realizar un diagrama para cada sistema.

#### **5.1.6. Implementar el prototipo.**

Una vez determinado los componentes y materiales necesarios para implementar el prototipo potabilizador, se debe armar e instalar cada equipo siguiendo las recomendaciones de los fabricantes.

#### **5.1.7. Realizar pruebas de funcionamiento.**

Es necesario realizar pruebas de funcionamiento y verificar cada uno de los equipos y partes del prototipo. En el caso de los componentes del sistema fotovoltaico tomar mediciones de tensión y corriente y luego contrastar con los de las fichas técnicas. Para los elementos del sistema hidráulico verificar la existencia de fugas.

#### **5.1.8. Analizar la calidad de agua tratada.**

Para realizar el análisis del agua tratada, mediante procesos físicos, químicos y microbiológicos; se requiere tomar una muestra por cada análisis, tal y como lo propone la NTE INEN 1 108:2011.

Para ello, se verificará que la calidad del agua luego del proceso del producto implementado cumpla los siguientes requisitos de acuerdo a la normativa:

**Tabla 4.** Requisitos específicos que el agua potable debe cumplir

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
pH	Unidades de pH	6,5-8,0
Coliformes totales	NMP/100ml	2
Coliformes Fecales	NMP/100ml	0
<b>Características físicas</b>		
Turbidez	NTU	5
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Olor	----	No objetable
Sabor	----	No objetable
<b>Inorgánicos</b>		
Antimonio, Sb	mg/l	0.02
Arsénico, As	mg/l	0.01
Bario, Ba	mg/l	0.7
Boro, Bo	mg/l	0.5
Cadmio, Cd	mg/l	0.003
Cianuros, CN	mg/l	0.07
Cloro libre residual*	mg/l	0.3 a 1.5 <sup>(1)</sup>
Cobro, Cu	mg/l	2.0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0.05
Fluoruros	mg/l	1.5
Manganeso, Mn	mg/l	0.4
Mercurio, Hg	mg/l	0.006
Níquel, Ni	mg/l	0.07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitratos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0.2
Plomo, Pb	mg/l	0.01
Radiación total α*	Bq/l	0.1
Radiación total β**	Bq/l	1.0
Selenio, Se	mg/l	0.01
<p>(1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos</p> <p>* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionúclidos: <sup>210</sup>Po, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>239</sup>Pu</p> <p>** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionúclidos: <sup>60</sup>Co, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>129</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>228</sup>Ra</p>		

Fuente: NTE INEN 1 108:2011.

## 6. Resultados.

### ➤ Generalidades.

El prototipo implementado es un mecanismo para la potabilización de agua para consumo humano, su procedimiento consiste retirar las impurezas y eliminar microorganismos del agua para proveerla al consumidor de forma adecuada y en la proporción recomendada por cada persona según lo recomendado en la norma.

### ➤ Descripción geográfica del lugar de emplazamiento del proyecto.

El lugar para el emplazamiento del proyecto se sitúa en el sector Zapotepamba de la parroquia Guachanamá perteneciente al cantón Paltas provincia de Loja. Latitud: -4,046458 Longitud: -79,790933. La Figura 25 describe una toma fotográfica aérea en la que se identifica la vivienda a la cual se va a implementar el prototipo potabilizador de agua.



Figura 25. Fotografía aérea del lugar para el emplazamiento del proyecto.

Fuente: (Google Eart)

### ➤ Análisis del agua en su estado actual.

Previo al desarrollo de la propuesta, de diseñar un sistema potabilizador de agua, se realiza el análisis químico, físico y microbiológico, para ello se toma las muestras en 3 tipos de recipientes tal como se muestra en las figuras del Anexo 4, los resultados del análisis realizado se detallan en el Anexo 5, los cuales fueron proporcionados por la empresa que realizó el análisis.

➤ **Descripción del prototipo.**

El prototipo consta de dos sistemas:

El sistema hidráulico, es el encargado de recibir y almacenar el agua desde una red general de distribución en el sector, mediante un primer proceso de bombeo se traslada hasta el punto más elevado del predio para ser almacenada, luego se impulsa con una bomba secundaria a través del equipo purificador, después atraviesa por un conducto de luz ultravioleta (UV) y finalmente se vuelve a almacenar para ser suministrada para el consumo.

El sistema fotovoltaico es el encargado de generar la suficiente energía eléctrica para alimentar las bombas y la lámpara de luz (UV).

➤ **Sistema Hidráulico.**

**6.1.1. Requerimiento de agua por usuario.**

Se calcula la cantidad de agua necesaria aplicando la normativa (NEC, 2011) y la normativa (CPE.INEN, 1992), en estas normas se establece la cantidad de agua purificada recomendada para una persona durante un día.

$$Q_{med} = q * \frac{N}{1\ 000 * 86\ 400}$$

$q = 185$  (l/hab/día) de **Tabla 21**

$N = 1$  hab

$$Q_{med} = 185 \frac{l}{hab * día} * 1\ hab * \frac{m^3}{1\ 000\ l} * \frac{día}{86\ 400\ s}$$

$$Q_{med} = 2,141 * 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Utilizando la Ecuación 19 se determina la cantidad de demanda máxima corresponde al consumo diario.

$$Q_{maxconsumodía} = K_{maxdía} * Q_{med}$$

$$K_{maxdía} = 1,4 \text{ (CPE.INEN, 1992)}$$

$$Q_{maxconsumodía} = 1,4 * 2,141 * 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{maxconsumodía} = 2,998 * 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

### 6.1.2. Dimensionamiento y selección de elementos para el prototipo potabilizador.

Se determina el tamaño de los tanques de almacenamiento, se considera el caudal máximo de consumo diario usando la Ecuación 20.

$$V_{\text{potab}} = Q_{\text{maxconsumodía}} * 86400 \text{ s}$$

$$V_{\text{potab}} = 2,998 * 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86400 \text{ s}$$

$$V_{\text{potab}} = 0,259 \text{ m}^3$$

### 6.1.3. Selección de tuberías y accesorios.

El tipo de tubería y accesorios se selecciona en función de la aplicación del prototipo, en este caso es para agua hidrosanitaria se emplea tubo policloruro de vinilo PVC, algunos accesorios también de PVC y otros de Bronce, para el desarrollo de cálculos y dimensionamiento se propone tener un volumen de reserva equivalente a 1 metro cúbico.

$$V_r = 1 \text{ m}^3$$



**Figura 26.** Tanque de almacenamiento de 1m<sup>3</sup>.  
**Fuente:** (Ferryexpress & copy, 2022)

Con el volumen se propone un tiempo de llenado mediante bombeo y se calcula el caudal de bombeo, se emplea la Ecuación 21.

$$t_b = 0,5 \text{ h} = 1800 \text{ s}$$

$$Q_b = \frac{V_r}{t_b}$$

$$Q_b = \frac{1 \text{ m}^3}{1800 \text{ s}}$$



$$Q_b = 5,556 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se calcula el diámetro (diámetro teórico) de la tubería tomando en cuenta el caudal de bombeo y la velocidad del fluido permisible en la tubería de succión, Mott R. L., (2006) enuncia que la velocidad de la tubería de descarga será hasta tres veces mayor a la máxima velocidad de la tubería de succión.

Para este proyecto se emplea un valor de  $v_{pr} = 2 \text{ m/s}$  de acuerdo a lo enunciado por Mott R. L., (2006) para la tubería de descarga, se aplica la Ecuación 22.

$$D_{tt} = \sqrt{\frac{4 * Q_b}{\pi * v_{pr}}}$$

$$D_{tt} = \sqrt{\frac{4 * (5,556 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi * 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$D_{tt} = 0,0188 \text{ m} \cong 0,0254 \text{ m}$$

Con el diámetro teórico obtenido se determina el diámetro real o diámetro requerido y su vez la velocidad del fluido.

$$D = 0,0254 \text{ m} = 25,4 \text{ mm}$$

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

$$V_d = \frac{4 * (5,556 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi * (0,0254 \text{ m})^2}$$

$$V_d = 1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### 6.1.4. Cálculo de pérdidas.

##### 6.1.4.1. Número de Reynolds ( $N_R$ ).

Se calcula el número de Reynolds y se identifica el tipo de flujo, la viscosidad dinámica se selecciona para una temperatura media del agua a 20°, se utiliza la Ecuación 23.

$$N_R = \frac{v_d * D * \rho}{\eta}$$

$\eta$  = Viscosidad dinámica del agua a 20 °C Tabla 22, Anexo 1.

$$N_R = \frac{1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0254 \text{ m} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{1,02 \times 10^{-3} \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$N_R = 27300$$

El  $N_R = 27300 > 4000$  Flujo turbulento Mott R. L., (2006)

#### 6.1.4.2. Factor de fricción (f).

Este factor se calcula con la Ecuación 24 desarrollada por P. K. Swamee y A. K., se emplea el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa del material del tubo ( $\varepsilon$ ) para PVC se toma de la Tabla 24, Anexo 1. Tablas de propiedades y dotación de agua.

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

#### 6.1.4.3. Rugosidad relativa.

La rugosidad para el tubo se determina de con la Ecuación 25.

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

$$\varepsilon = 7,0 \times 10^{-6} \text{ tabla Anexo 1}$$

$$\frac{0,0254 \text{ m}}{7,0 \times 10^{-6} \text{ m}} = 3,629 * 10^3$$

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 \left( \frac{0,0254 \text{ m}}{7,0 \times 10^{-6} \text{ m}} \right)} + \frac{5,74}{(27300)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,025$$

Aplicando la ecuación propuesta por Darcy, se calcula las pérdidas primarias y secundarias de los tramos de succión y descarga, respectivamente.

#### 6.1.4.4. Pérdidas primarias succión.

Se determina las pérdidas de energía en el tramo de succión se usa la Ecuación 26.

$$hrp_s = f \frac{L_s * v_s^2}{D_s * 2 * g}$$

$$f = 0,025$$

$$L_s = 1,2 \text{ m}$$

$$v_s = 1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_s = 0,0254 \text{ m}$$

$$\text{hrp}_s = 0,025 * \frac{1,2 \text{ m} * \left(1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,0254 \text{ m} * 2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\text{hrp}_s = 0,072 \text{ m}$$

#### 6.1.4.5. Pérdidas primarias descarga.

Se calcula las pérdidas de energía en el tramo entre la salida de la bomba y el punto de descarga, se emplea la Ecuación 27.

$$\text{hrp}_d = f * \frac{L_d * v_d^2}{D_d * 2 * g}$$

$$f = 0,025$$

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

$$v_d = 1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_d = 0,0254 \text{ m}$$

$$\text{hrp}_d = 0,025 * \frac{15 \text{ m} * \left(1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,0254 \text{ m} * 2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\text{hrp}_d = 0,904 \text{ m}$$

#### 6.1.4.6. Factor de resistencia.

Se determina el coeficiente de resistencia (k) para cada uno de los accesorios tomando los valores de la Tabla 23, Anexo 1. Tablas de propiedades y dotación de agua. y se calcula las pérdidas primarias y secundarias en los tramos de succión y descarga, respectivamente.

#### 6.1.4.7. Pérdidas secundarias en la succión.

Del libro de Mecánica de Fluidos de Robert. L Mott, (2006), se obtiene los valores de coeficiente de resistencia (k), la Tabla 5.

**Tabla 5.** Accesorios para el tramo de succión.

Cantidad	Accesorios	k
1	Unión o junta	0,40
1	Universal	0,40
1	Válvula de compuerta abierta	0,20
1	Válvula de pie	1,75
1	Acople de tanque	0,40

Fuente: (Autor)

Las pérdidas secundarias en el tramo de succión son:

$$h_{rs} = \left( \sum k_{\text{accsucción}} \right) * \frac{v_s^2}{2 * g}$$

$$h_{rs} = (1,75 + 0,40 + 0,40 + 0,20 + 0,40) * \frac{\left(1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{rs} = 0,193 \text{ m}$$

#### 6.1.4.8. Pérdidas secundarias en la descarga.

La Tabla 6 describe los coeficientes (k) para el tramo de descarga, se toman de Robert. L Mott, (2006).

**Tabla 6.** Accesorios para el tramo de descarga.

Cantidad	Accesorios	K	K total
8	Unión o junta	0,40	3,2
2	Universal	0,40	0,80
1	Acople de tanque	0,40	0,40
4	Neplo	0,44	1,76
1	Te de paso directo	0,80	0,80
1	Válvula check	2,75	2,75
2	Codos 90	0,90	1,80

Fuente: (Autor)

Las pérdidas secundarias en el tramo de descarga se calculan mediante la Ecuación 29.

$$h_{rd} = (3,2 + 0,80 + 0,40 + 1,76 + 0,80 + 2,75 + 1,80) * \frac{\left(1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{rd} = 0,705 \text{ m}$$

#### 6.1.4.9. Pérdidas totales primarias y secundarias.

Las pérdidas totales del sistema se obtienen aplicando la Ecuación 30, esta expresión agrupa las pérdidas obtenidas anteriormente.

$$h_{s-d} = h_{rp_s} + h_{rp_d} + h_{rs} + h_{rd}$$

$$h_{s-d} = 0,072 \text{ m} + 0,904 \text{ m} + 0,193 \text{ m} + 0,705 \text{ m}$$

$$h_{s-d} = 1,874 \text{ m}$$

### 6.1.5. Pérdidas de energía totales en el sistema.

De la expresión de la conservación de la energía Ecuación 31, se obtiene la expresión con la cual se obtiene las pérdidas totales de energía del sistema (columna de agua). La Figura 27 muestra un esquema abreviado de la instalación de bombeo.

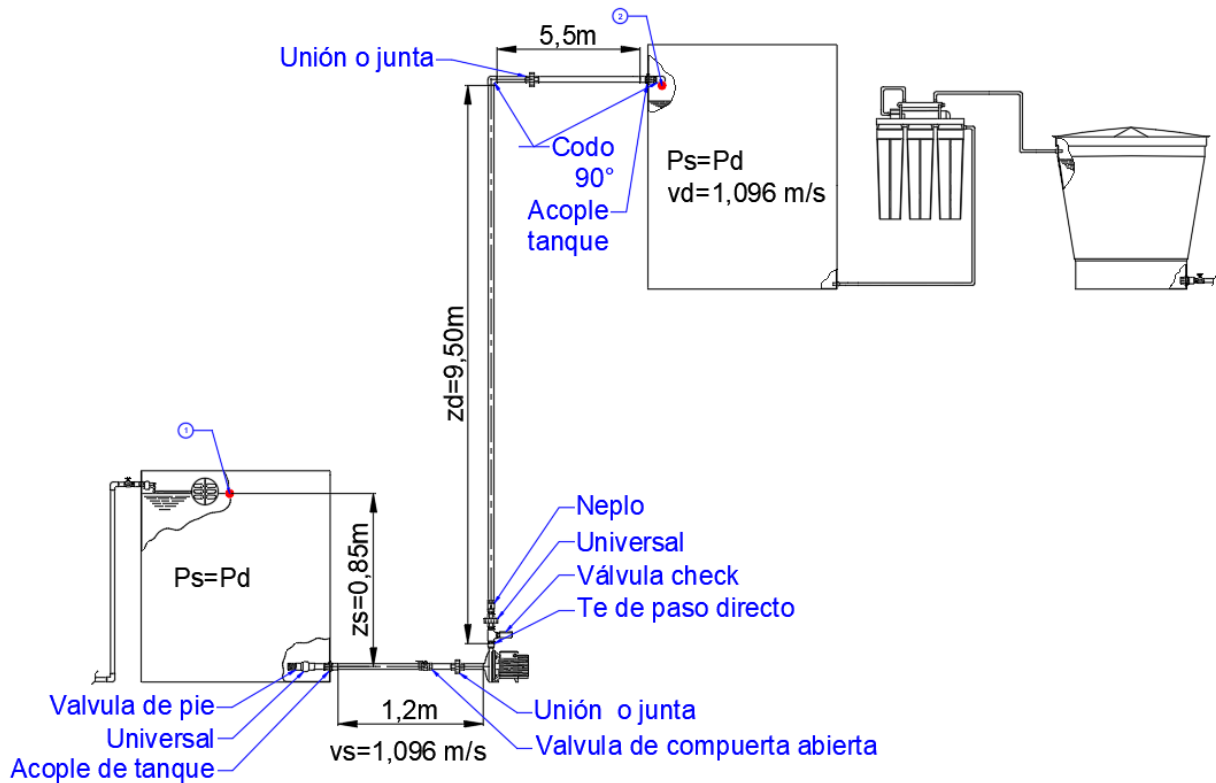


Figura 27. Esquema del sistema de bombeo.

Fuente: (Autor)

$$\frac{p_s}{\rho * g} + z_s + \frac{v_s^2}{2 * g} + h_L - h_{s-s} = \frac{p_d}{\rho * g} + z_d + \frac{v_d^2}{2 * g}$$

$$h_L = h_{s-d} + z_d - z_s + \frac{v_d^2}{2 * g}$$

$$h_L = 1,874 \text{ m} + 9,50 \text{ m} - 0,85 \text{ m} + \frac{\left(1,096 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 10,59 \text{ m}$$

#### 6.1.5.1. Potencia de la bomba

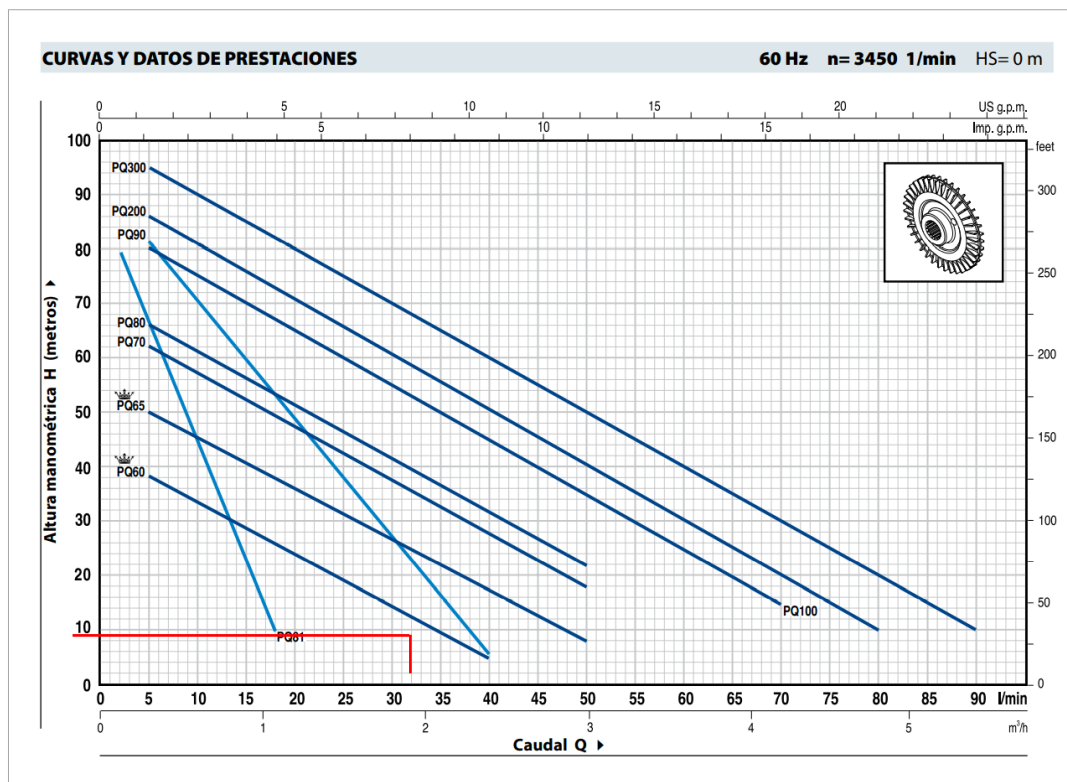
La potencia de la bomba se obtiene mediante la Ecuación 33 y posteriormente se selecciona una bomba que posea una potencia igual o superior a la potencia calculada.

$$P_{\text{bomba}} = \rho * g * h_L * Q_b$$

$$P_{\text{bomba}} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 10,59 \text{ m} * 5,556 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P_{\text{bomba}} = 57,69 \text{ W}$$

La Figura 28 muestra las curvas de funcionamiento de las bombas centrífugas Pedrollo, en donde se seleccionó la bomba con una potencia mayor a la calculada, y que pueda proporcionar el caudal necesario, también se considera el nivel de voltaje de trabajo disponible en la red; además, la bomba seleccionada es la disponible para esta investigación y por alcance del proyecto se optó por trabajar con la bomba disponible.



**Figura 28.** Curvas de funcionamiento de algunas bombas Marca Pedrollo.  
Fuente: ((Pedrollo.S.p.A, 2021))

La Tabla 7, describe los valores de caudal y altura manométrica representados en la figura expuesta anteriormente.

**Tabla 7.** Ficha técnica de la bomba Pedrollo PQm 60 ®.

MODELO		POTENCIA		Q	$\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$									
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	
					$\frac{\text{l}}{\text{min}}$									
					0	5	10	15	20	25	30	35	40	
PQm 60®	PQ 60®	0,37	0,5	H	40	38	33,5	29	24	19,5	15	10	5	

Fuente: (Pedrollo.S.p.A, 2021)

### 6.1.5.2. NPHS requerido.

La carga de succión positiva neta requerida (NPSH) se determina para comprobar que la bomba seleccionada no cavite durante la operación, se aplica la Ecuación 34.

$$NPHS_A = h_{H_2O} - h_{rp_s} - h_{rs_s}$$

$$NPHS_A = 0,85 \text{ m} - 0,072 \text{ m} - 0,193 \text{ m}$$

$$NPHS_A = 0,585 \text{ m}$$

Con el  $NPHS_A$  disponible se determina el  $NPSH_R$  requerido:

$$NPHS_A = 1,10 * NPSH_R$$

$$NPSH_R = \frac{NPHS_A}{1,10}$$

$$NPSH_R = \frac{0,585 \text{ m}}{1,10} = 0,532 \text{ m}$$

De catálogo (Pedrollo.S.p.A, 2021), se selecciona una bomba proporciona una altura manométrica de aspiración de 8 m, lo cual garantiza que no cavite, véase el Anexo 2. Especificaciones técnicas de la bomba.

### 6.1.6. Selección de componentes para el purificador.

Se selecciona los elementos para el purificador de agua los parámetros de sección que se considera son:

**Tabla 8.** Parámetros para la selección del tipo de filtro a emplear.

PARÁMETROS DE SELECCIÓN	
Volumen de agua purificada requerido	259 litros
Caudal	1,89 l/m
Tiempo de bombeo	2,3 H
Potencia de la Bomba	28 W
Temperatura de trabajo	4° a 45°
Temperatura máxima del agua a purificar	44°

**Fuente:** (Autor)

La Figura 29 muestra el equipo de filtrado (Ósmosis Inversa) seleccionado para el presente proyecto.



**Figura 29.** Filtro, Ósmosis Inversa.  
**Fuente:** (Hidrotek, 2018)

También se selecciona una lámpara de luz UV para esterilizar el agua filtrada a través del Sistema de Ósmosis Inversa, de esta manera se reduce el contenido de microorganismos que no se pueden eliminar mediante el filtros y sedimentación, la selección se realiza en función del caudal y del consumo de energía que sea lo más bajo posible. Véase la Figura 30.

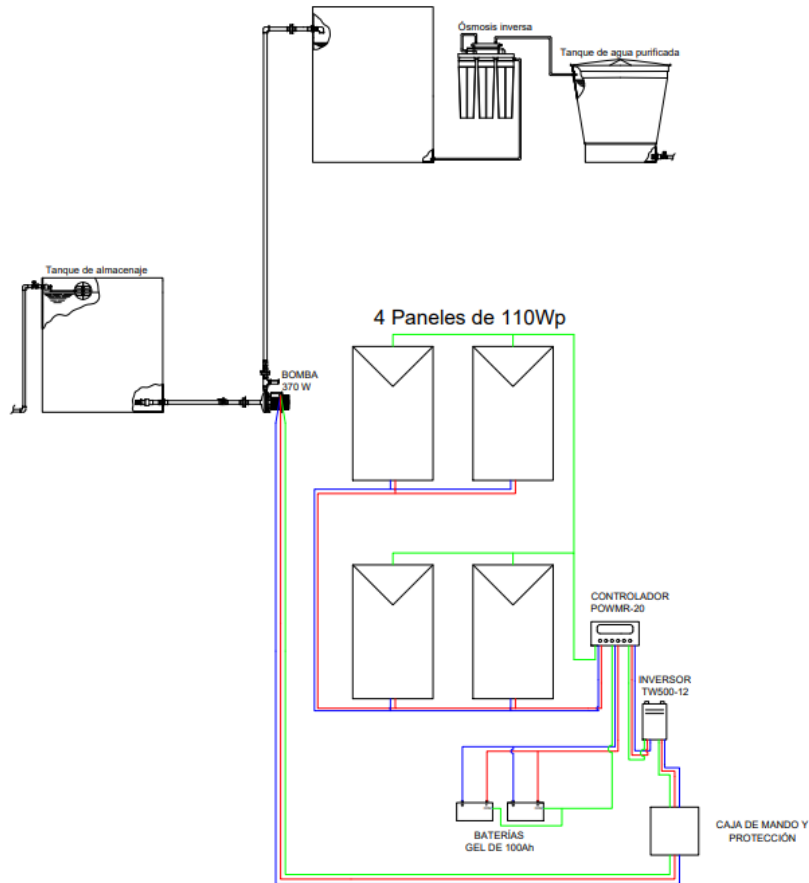


**Figura 30.** Carcasa y lámpara de luz UV para esterilizado de agua.  
**Fuente:** (FiltroShop, 2021)

#### 6.1.7. Diseño del prototipo.

La Figura 31 muestra el diseño abreviado del sistema hidráulico para el prototipo potabilizador, para apreciar con más detalle véase los planos agregados en el Anexo 4.





**Figura 31.** Esquema abreviado del prototipo potabilizador.  
**Fuente:** (Autor)

➤ **Sistema fotovoltaico.**

**6.1.8. Demanda energética.**

Se determina la carga máxima requerida diariamente por del sistema de purificación de agua, la potencia máxima se calcula mediante la Ecuación 36.

$$P_{\text{consmáx}} = \sum (P_{\text{equipo}} * N_{\text{equipos}})$$

Potencia de bomba = 373 W

Potencia bomba de purificado = 28 w

Potencia lámpara = 6 w

$$P_{\text{consmáx}} = 373 \text{ W} + 28\text{W} + 6 \text{ W}$$

$$P_{\text{consmáx}} = 407 \text{ W}$$

Luego utilizando la Ecuación 37 se calcula la energía total diaria en [Wh/día], para la bomba de 373 W se considera el tiempo de funcionamiento establecido anteriormente en 0,5

h, y para la bomba del sistema de Ósmosis Inversa y para la lámpara de luz UV se considera 2,5 h, este tiempo es el requerido para purificar los 259 litros necesarios para una persona.

$$E_{\text{diaria}} = P_{\text{cons}} * N_h$$

$$E_{\text{diaria}} = 373 \text{ W} * 0,5 \text{ h} + 28 \text{ W} * 2,5 \text{ h} + 6 * 2,5 \text{ h}$$

$$E_{\text{diaria}} = 271,5 \text{ Wh}$$

Para garantizar la provisión de energía se aplica un factor de seguridad recomendado por Bayod Rújula, (2009), y se calcula la energía máxima diaria con la Ecuación 38.

$$E_{\text{máxdiaria}} = E_{\text{diaria}} * F_s$$

$$E_{\text{máxdiaria}} = 271,5 \text{ Wh} * 1,20$$

$$E_{\text{máxdiaria}} = 325,8 \text{ Wh}$$

#### 6.1.9. Potencial solar del lugar de emplazamiento.

Se determina la disponibilidad de radiación solar, se emplea la base de datos del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), estos datos están expuestos en la página web Potencial Solar de la Región Sur del Ecuador. Los datos expuestos en la plataforma mencionada se emplean para una disposición de los paneles solares a 0°.

**Tabla 9.** Valores de radiación solar para el lugar de emplazamiento, plano horizontal.

VALORES MEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN LATITUD -4.01, LONGITUD -79.76														
MES ÁNGULO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
0°	5,50	4,75	5,19	5,22	5,46	5,32	5,80	6,23	6,41	6,32	6,12	5,50	5,66	kWh/m²/día
T. Ambiente	21,30	21,10	21,70	22,80	22,10	21,40	22,00	22,20	22,40	21,30	22,60	21,60	21,90	°C

Fuente: (NREL, 2020)

#### 6.1.10. Inclinación óptima de los paneles.

Al tratarse de un sistema fotovoltaico estático, es decir sin seguimiento solar, se determina el ángulo óptimo de inclinación para los paneles mediante la Ecuación 39.

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3,7^\circ + 0,6(|\varphi|)$$

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3,7^\circ + 0,6(|-4,04^\circ|)$$

$$\beta_{\text{óptimo}} = 6,12^\circ \rightarrow \text{para instalación se aproxima a un } \beta_{\text{instalación}} = 15^\circ \text{ por facilidad de limpieza}$$

Según Delgado & Orellana,( 2015) menciona que para latitudes de  $|0^\circ|$  a  $|5^\circ|$  el ángulo óptimo de inclinación recomendado para instalar los paneles es  $15^\circ$ .

A continuación, se calcula los valores de radiación para el ángulo óptimo de inclinación determinado, se calcula mediante el producto entre la radiación solar en el plano horizontal ( $0^\circ$ ) y el factor de corrección establecido para dicha latitud respectivamente para cada mes, se emplea los factores de corrección de acuerdo a lo sugerido por (Romero Marquez, 2020), los factores de corrección y valores de radiación para diferentes ángulos a una latitud de  $-4^\circ$  se muestran en las Tabla 29 y Tabla 30 del Anexo 3.

$$R_{15^\circ} = R_{0^\circ} * F_{C15^\circ}$$

$$R_{15^\circ} = 4,75 \text{ kW/m}^2/\text{día} * 0,9$$

$$R_{15^\circ} = 4,28 \text{ kW/m}^2/\text{día}$$

**Tabla 10.** Valores de coeficientes de corrección de la radiación solar a  $15^\circ$ .

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA RADIACIÓN SOLAR LATITUD $-4^\circ$													
Ángulo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
$15^\circ$	0.9	0.93	0.98	1.03	1.06	1.07	1.05	1.02	0.98	0.94	0.9	0.88	0.98

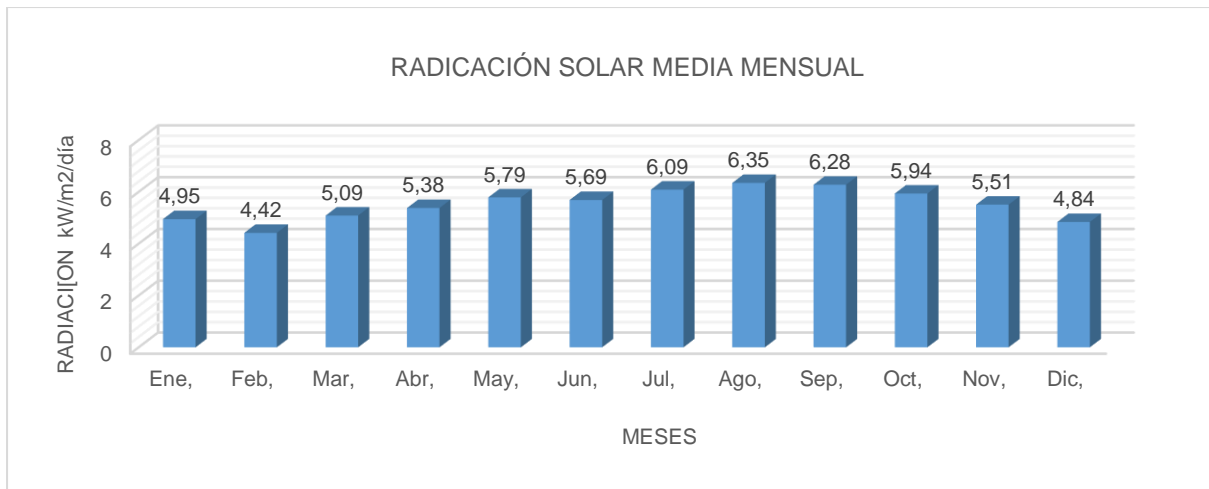
**Fuente:** (Romero Marquez, 2020)

**Tabla 11.** Valores de la radiación solar en el lugar de emplazamiento corregida para  $15^\circ$ .

VALORES DE RADIACIÓN MEDIA MENSUAL LATITUD $-4.01$ , LONGITUD $-79.76$														
ÁNGULO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
$15^\circ$	4.95	4.42	5.09	5.38	5.79	5.69	6.09	6.35	6.28	5.94	5.51	4.84	5.55	kWh/m <sup>2</sup> /día
T. Ambiente	21.30	21.10	21.70	22.80	22.10	21.40	22.00	22.20	22.40	21.30	22.60	21.60	21.90	°C

**Fuente:** (Autor)

La Tabla 11 describe los valores de radiación solar corregida para una inclinación de 15 grados, los factores de corrección empleados se describen en la Tabla 10.



**Figura 32.** Gráfica de la radiación solar media mensual del lugar de emplazamiento.  
**Fuente:** (Autor)

### 6.1.11. Pérdidas angulares.

Para este diseño las pérdidas angulares no se calculan, puesto que la radiación solar ya está corregida mediante un factor de corrección obtenido en función del ángulo de inclinación del panel.

### 6.1.12. Pérdidas del sistema.

Las pérdidas causadas por los elementos del sistema y los parámetros o condiciones de funcionamiento se representan por coeficientes decimales que están recomendados por algunos autores tales como: (Bayod Rújula, 2009), (Romero Márquez & Solano Jiménez, 2020), entre otros.

$$k_C = 0,05 ; k_R = 0,031 ; k_X = 0,011 ; k_T = 0,07 ; k_I = 0,02 ; k_B = 0,005 ; k_{Re} = 0,01$$

$$D_{\text{autonomía}} = 3$$

$$P_{\text{descarga}} = 0,60$$

### 6.1.13. Balance óptimo del sistema.

Con los coeficientes determinados anteriormente se calcula el rendimiento del sistema:

$$k_T = [1 - (k_C + k_R + k_X + k_T + k_I + k_B + k_{Re})] * \left[ 1 - \frac{k_B * D_{\text{autonomía}}}{P_{\text{descarga}}} \right]$$

$$k_T = [1 - (0,05 + 0,031 + 0,011 + 0,07 + 0,02 + 0,005 + 0,01)] * \left[ 1 - \frac{0,005 * 3}{0,60} \right]$$

$$k_T = 0,783$$

Se calcula la energía de consumo máximo diario:

$$E_{\text{máxcons}} = \frac{E_{\text{máxdiaria}}}{kT}$$

$$E_{\text{máxcons}} = \frac{325,8 \text{ Wh}}{0,783}$$

$$E_{\text{máxcons}} = 416,09 \text{ Wh}$$

Para convertir la  $E_{\text{máxcons}}$  a energía en unidades de (Ah) se aplica la Ecuación 44 el voltaje del sistema  $V_{\text{sistema}}$  se propone en función del voltaje de paneles y baterías disponibles en el mercado, para este caso se considera 12 V.

$$I_{\text{máxinst}} = \frac{E_{\text{máxcons}}}{V_{\text{sistema}}}$$

$$I_{\text{máxinst}} = \frac{416,09 \text{ Wh}}{12 \text{ V}}$$

$$I_{\text{máxinst}} = 34,67 \text{ Ah}$$

#### 6.1.14. Dimensionamiento y selección de paneles solares.

Se calcula las horas pico solar empleando la Ecuación 45, se toma  $R = 4,42 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$  de la Tabla 11 y  $1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$  de irradiancia por recomendación de Bayod (2009).

$$\text{HPS} = \frac{R}{I}$$

$$\text{HPS} = \frac{4,42 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}}$$

$$\text{HPS} = 4,42 \text{ h}$$

Se calcula las horas pico solar reales, para ello se aplica un factor de sombra, de acuerdo al lugar se considera un factor de 0,97 según (Bayod Rújula, 2009).

$$\text{HPS}_c = \text{HPS} * f_{\text{sombra}}$$

$$\text{HPS}_c = 4,42 \text{ h} * 0,97$$

$$\text{HPS}_c = 4,287 \text{ h}$$

### 6.1.14.1. Energía producida por el panel.

Para este proyecto se propone el panel de 110 Wp, se calcula la capacidad de carga eléctrica por cada panel instalado, considerando la corriente del panel dada por el fabricante y aplicando un factor de rendimiento de 0,9 (Mogrovejo León & Sarmiento Vintimilla , 2011) los datos se obtienen de la ficha técnica del panel descrita en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Características técnicas del panel solar seleccionado.

PANEL RSM-110P	
Tipo	Policristalino
Modificación	36 células, 4*9,5 Bushbars
Voltaje en circuito abierto VOC	22,58 V
Voltaje en potencia máxima	18,49 V
Corriente en potencia máxima	5,88 A
Corriente de corto circuito	6,26 A
Eficiencia del panel	14,66 %
Dimensiones	1120*670*30 mm
Peso	8,4 Kg
Voltaje	12 V
Potencia	110 Wp

**Fuente:** (Provierto.S.A, 2022)

$$E_p = W_p * HPS_c * n_{inst.ftv}$$

$$E_p = 110Wp * 4,287 h * 0,9$$

$$E_p = 424.413 Wh$$

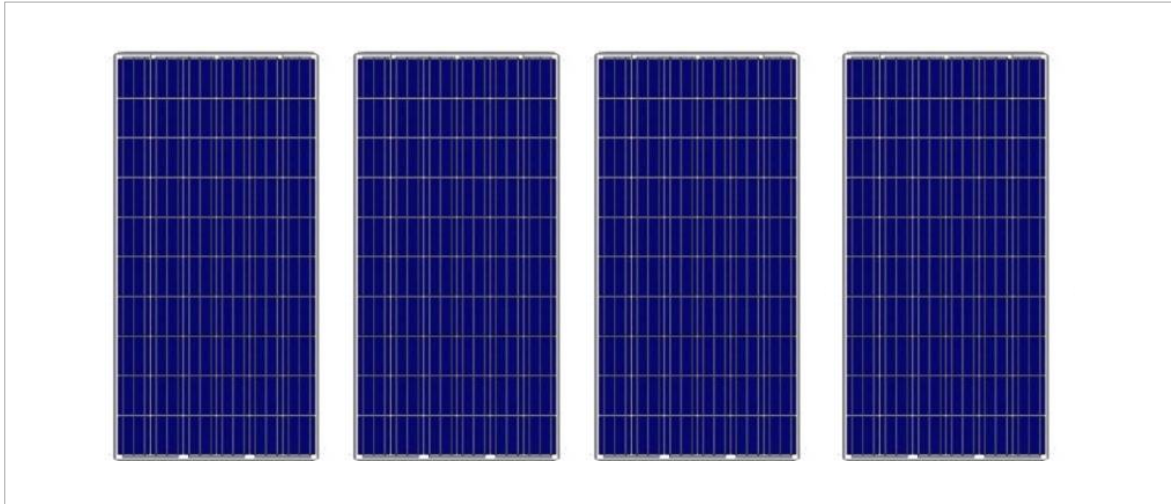
### 6.1.14.2. Número de paneles.

Se calcula la cantidad de paneles requeridos para cubrir la demanda, tomando en cuenta la potencia máxima de consumo que es de 407 W y la potencia nominal del panel 110 Wp, mediante la aplicación de la ecuación 48:

$$Panel_{\#} = \frac{P_{consmáx}}{P_p}$$

$$Panel_{\#} = \frac{407 W}{110 Wp}$$

$$Panel_{\#} = 3.7 \approx 4$$



**Figura 33.** Paneles fotovoltaicos 110 Wp Policristalino.  
**Fuente:** (Proviento.S.A, 2022)

### 6.1.15. Dimensionamiento y selección de baterías.

Se calcula la carga total del banco de baterías tomando en cuenta una profundidad de descarga de 60% y 3 días de autonomía de acuerdo a lo sugerido por (Bayod Rújula, 2009).

$$C_{total} = \frac{I_{máxinst} * D_{aut}}{P_{des}}$$

$$C_{total} = \frac{34,67Ah * 3}{0,60}$$

$$C_{total} = 173.35 Ah$$

#### 6.1.15.1. Número de baterías.

Se propone usar la batería de 100 Ah en paralelo para el voltaje nominal del sistema sea de 12 V, con este valor se determina el número de baterías necesarias, la Tabla 13 describe las características técnicas de la batería propuesta.

**Tabla 13.** Características técnicas de la batería seleccionada.

BATERIA 6-GFM(G)-100	
Dimensiones	330*173*217 mm
Peso	31Kg
Tecnología	gel
Voltaje	12 V
Capacidad	100Ah
Ciclos de vida útil 30%	2400 ciclos
Ciclos de vida útil 50%	1200 ciclos
Ciclos de vida útil 100%	600 ciclos

**Fuente:** (Proviento.S.A, 2022)

$$Baterias_{\#} = \frac{C_{total}}{C_{batería}}$$

$$Baterias_{\#} = \frac{173.35 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}}$$

$$Baterias_{\#} = 1,73 \approx 2 \text{ Baterías}$$



**Figura 34.** Baterías de Gel de 100Ah.

**Fuente:** (Proviento.S.A, 2022)

### 6.1.16. Dimensionamiento y selección del regulador.

El regulador de carga se selecciona empleando la corriente de cortocircuito del panel propuesto, este valor se toma de la Tabla 14 y se considera que los paneles están conectados en paralelo para garantizar que el sistema fotovoltaico funcione a 12 V; por lo tanto, se duplica la corriente de cortocircuito.

$$I_r = I_{cc} * Panel_{\#} * 1,1 A$$

$$I_r = 6,26 * 4 * 1,1 A$$

$$I_r = 27,544 A$$

**Tabla 14.** Características técnicas de controlador de carga seleccionado.

CONTROLADOR POWMR-30	
Tecnología	PWM
Corriente Máxima	30 A
Voltaje	12/24

**Fuente:** (Amazon, 2022)





**Figura 35.** Controlador de carga de 20A.  
Fuente: (Amazon, 2022)

### 6.1.17. Dimensionamiento y selección del inversor.

Se selecciona un inversor que posea una capacidad de carga (potencia) superior y aproximada a la carga instalada en el sistema.

$$P_{inv} = \sum P_{eq}$$

$$P_{inv} = P_{consm\acute{a}x} = 407 W$$



**Figura 36.** Inversor de 500W 12V/120V.  
Fuente: (Provientto.S.A, 2022)

**Tabla 15.** Ficha técnica Inversor ZOHAN TW500-12.

INVERSOR TW500-12	
Tipo	Onda Senoidal Pura
Dimensiones	315x195x135 mm
Peso	2,5 Kg
Tecnología	Frecuencia alta sin transformador
Pantalla	si
Potencia	500
Eficiencia	90%
Potencia pico (1seg)	1500 W
Inversor/Cargador con transferencia Automática	No
OnGrid	No

Fuente: (Provientto.S.A, 2022)

### 6.1.18. Simulación del Sistema en el software PVsyst.

PVsyst está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores. Incluye un menú de ayuda contextual detallado que explica los procedimientos y modelos que se utilizan. PVsyst puede importar datos meteorológicos, así como datos personales de muchas fuentes diferentes. Los resultados obtenidos de la simulación del sistema propuesto demuestran que el dimensionamiento cumple con los requerimientos para el funcionamiento del sistema, tal y como se muestra en la Figura 37, para más información de los resultados de la simulación puede visualizar el Anexo 10.

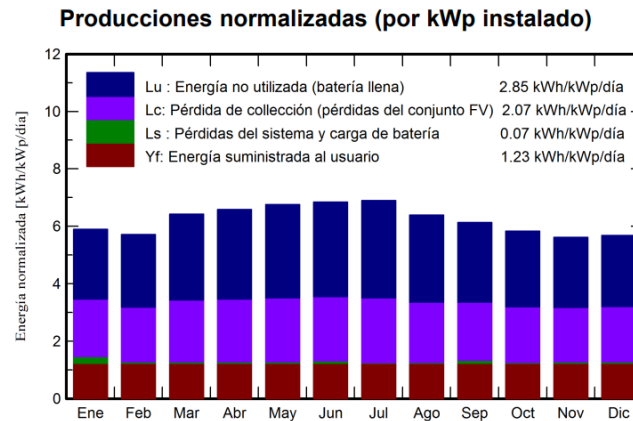


Figura 37. Resultados de la simulación

### 6.1.19. Selección del calibre de conductor.

Las conexiones se realizan con cable solar, puesto que este tipo de conductor resiste las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento.

#### 6.1.19.1. Tramo de corriente continua.

Se determina el flujo de corriente que circula por los conductores y se utiliza la potencia nominal a instalar (paneles).

$$i_{cond.cc} = \frac{P_{nom}}{V_{máxpotencia}}$$

$$i_{cond.cc} = \frac{440 \text{ Wp}}{18,49 \text{ V}}$$

$$i_{cond.cc} = 23,8 \text{ A}$$

Sin embargo, de acuerdo a la Tabla 12 la corriente de corto circuito de los paneles es de 6.26 A, por lo tanto, por los cuatros paneles se obtiene un flujo de corriente máximo de 25,04 A. Es decir, la caída de tensión en el conductor, el material del conductor es cobre con un coeficiente de resistividad  $\rho_{cond} = 0,01786 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$

$$\Delta V_{cc} = \frac{(2 * \rho_{cond} * l_{cond.cc} * i_{cond.cc})}{S_{cond.cc}}$$

$$\Delta V_{cc} = \frac{\left(2 * 0,01786 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} * 5 \text{ m} * 25,04 \text{ A}\right)}{16 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V_{cc} = 0,2795 \text{ V}$$

Se calcula el porcentaje de caída de tensión máxima, según la EERSSA la caída de voltaje no debe superar el 3% del voltaje nominal.

$$\% \Delta V_{cc} = \frac{\Delta V_{cc}}{V_{nom}} * 100\%$$

$$\% \Delta V_{cc} = \frac{0,2795 \text{ V}}{12 \text{ V}} * 100\%$$

$$\% \Delta V_{cc} = 2,33 \%$$

**Tabla 16.** Características técnicas del conductor solar elegido para corriente continua.

CONDUCTOR SOLAR	
Serie	H1Z2Z2-K
Aislante E	Etileno-Propileno EPR
Sección	16 mm <sup>2</sup>
Norma	IEC 60364 aéreo a la intemperie

Fuente: (Centelsa, 2021)

### 6.1.19.2. Tramo de corriente alterna.

Se determina el flujo de corriente desde el inversor a la carga.

$$i_{cond.ca} = \frac{P_{consmáx}}{V_{máxcarga}}$$

$$i_{cond.ca} = \frac{407 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$

$$i_{cond.ca} = 3,4 \text{ A}$$

Para la caída de tensión en el conductor, el material del conductor es cobre con un coeficiente de resistividad  $\rho_{cond} = 0,01786 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$ , se propone una sección de la Tabla 17.

$$\Delta V_{ca} = \frac{(2 * \rho_{cond} * l_{cond.cc} * i_{cond.cc})}{S_{cond.cc}}$$

$$\Delta V_{ca} = \frac{\left(2 * 0,01786 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} * 45 \text{ m} * 3,4 \text{ A}\right)}{3,31 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V_{ca} = 1,65 V$$

Se calcula el porcentaje de caída de tensión máxima, según la Ecuación 55 la caída de voltaje no debe superar el 3% del voltaje nominal.

$$\%_{\Delta V_{ca}} = \frac{\Delta V_{ca}}{V_{nom.ca}} * 100\%$$

$$\%_{\Delta V_{ca}} = \frac{1,65 V}{120 V} * 100\%$$

$$\%_{\Delta V_{ca}} = 1.37 \%$$

**Tabla 17.** Características técnicas del conductor para corriente alterna.

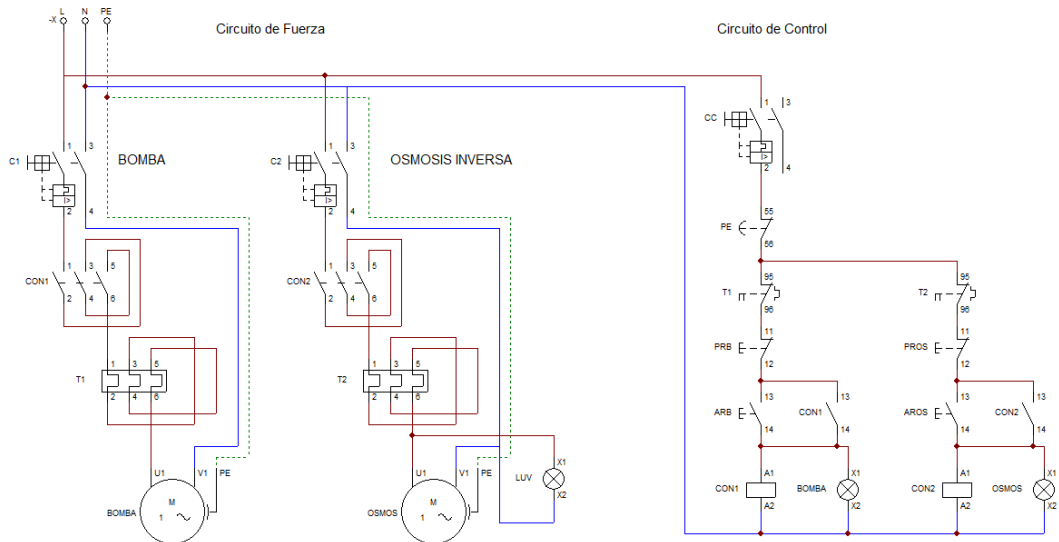
AWG	Sección mm <sup>2</sup>	Diámetro Ø mm	Resistencia Ω/km
0	53,4	8,25	0,37
1	42,4	7,35	0,47
2	33,6	6,54	0,57
3	26,7	5,83	0,71
4	21,2	5,19	0,91
5	16,8	4,62	1,12
6	13,3	4,11	1,44
7	10,6	3,67	1,78
8	8,34	3,26	2,36
9	6,62	2,91	2,77
10	5,26	2,59	3,64
12	3,31	1,14	4,76

Fuente: (SAB.BROCKSKES, 2022)

## ➤ Diagramas

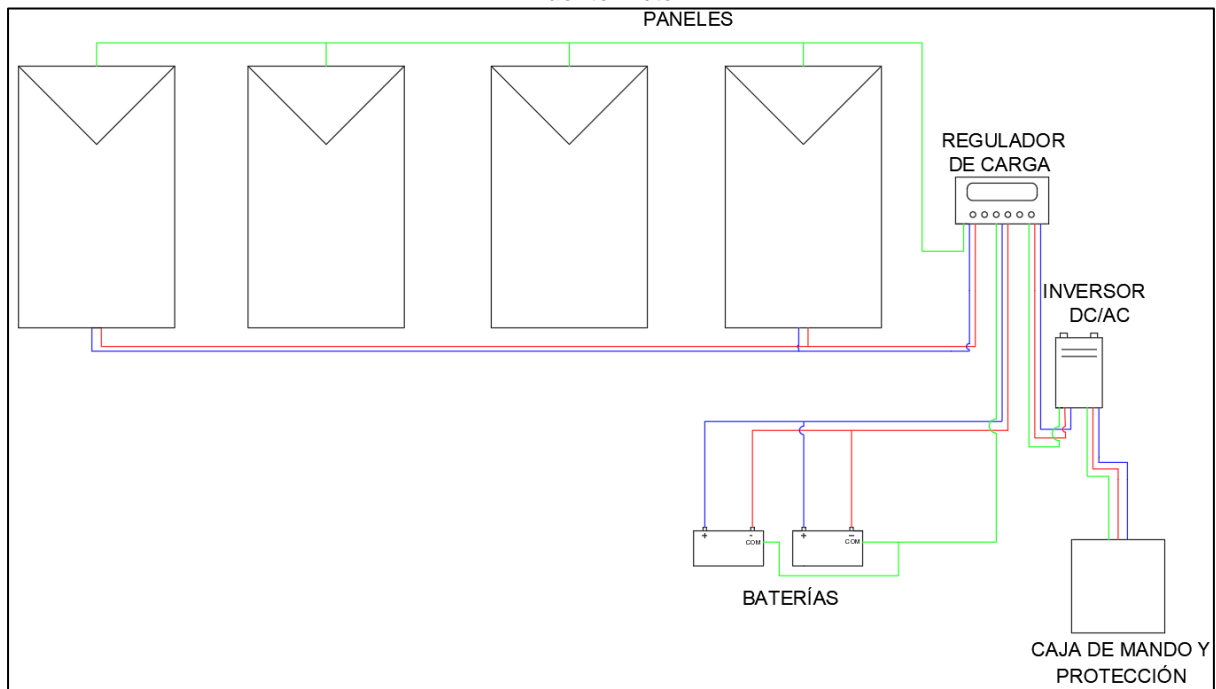
### 6.1.20. Diagrama unifilar de conexión.

Se elabora un diagrama de conexiones eléctricas para cada sistema, tal como se muestra en Figura 38 y la Figura 39 se emplea el software CADe SIMU®.



**Figura 38.** Diagrama unifilar de conexión del sistema de bombeo.

Fuente: Autor

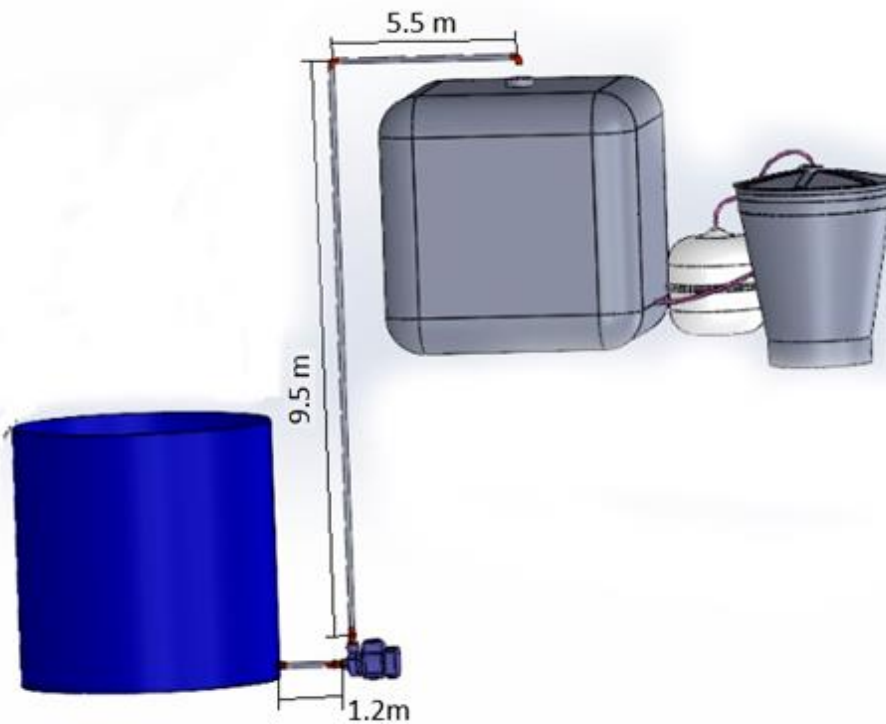


**Figura 39.** Diagrama unifilar de conexión del sistema fotovoltaico.

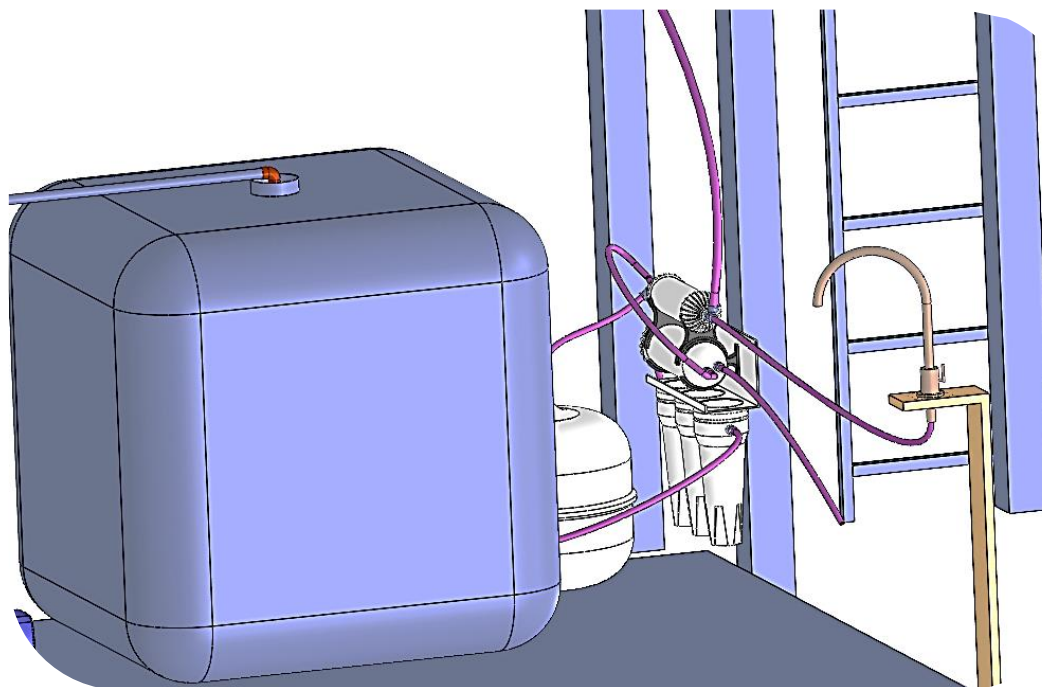
Fuente: Autor

### 6.1.21. Diseño 3D del sistema fotovoltaico y sistema de bombeo.

La Figura 40 permite interpretar la disposición real de los equipos y componentes del sistema fotovoltaico e hidráulico.



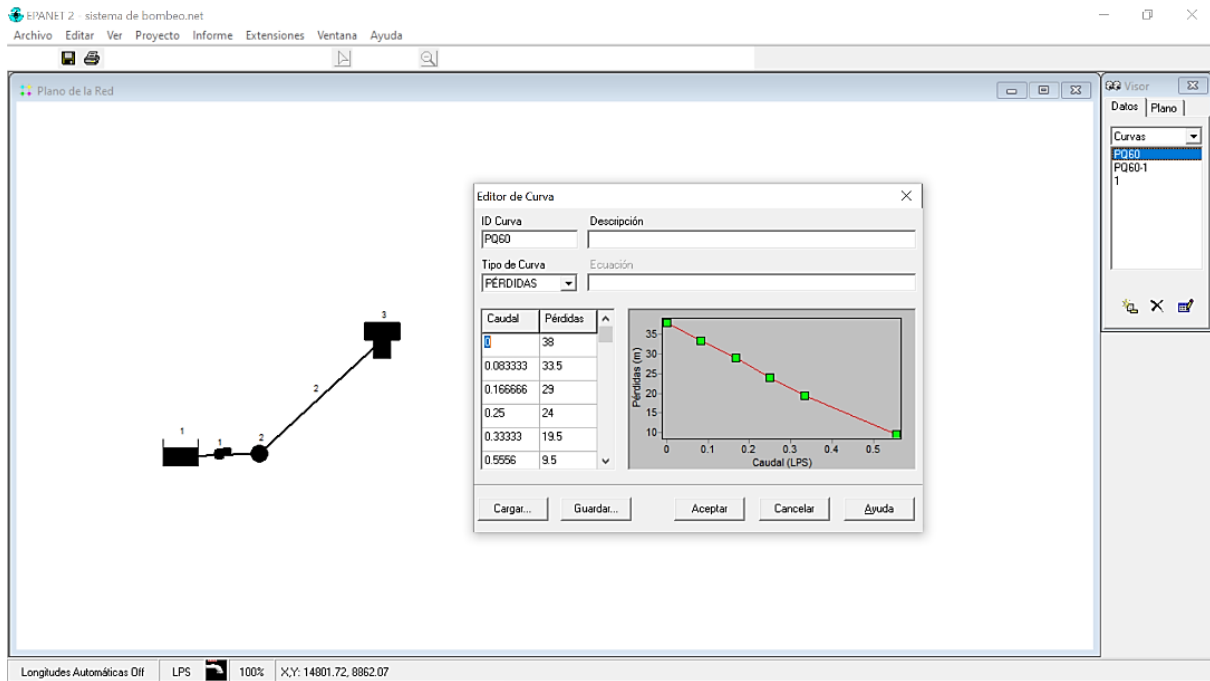
**Figura 40.** Diseño 3D del sistema de bombeo y sistema hidráulico, vista isométrica.  
Fuente: Autor



**Figura 41.** Diseño 3D del sistema potabilizador.  
Fuente: Autor

### 6.1.22. Diseño y simulación del sistema de bombeo en Epanet®

La Figura 42 describe la interfaz de la simulación del sistema de bombeo en el software Epanet®, esta simulación permite generar la curva de pérdidas en función del caudal bombeado.



**Figura 42.** Diseño del sistema de bombeo Epanet®.

Fuente: Autor

➤ **Costos unitarios.**

Los costos referenciales son vigentes a la fecha de presentación del proyecto se detallan en la Tabla 18, el presupuesto total alcanza un valor de 2397,62 dólares americanos.

**Tabla 18.** Costos unitarios referenciales de materiales y componentes.

Ítem	Material/Equipo	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total.
1	Bomba Periférica	372,85 W/ 120 -220V/ 60Hz	1 uni	345,00	345
2	Ósmosis Inversa	1,89 l/min 28W T. Agua 4° a 45°	1 uni	590,00	590
3	Lámpara de luz UV	6W	1 uni	85,00	85
4	Cisterna de agua	1m <sup>3</sup> 1000*1170*1200 mm	2 uni	130,00	260
5	Cisterna de agua	0,260 m <sup>3</sup>	1 uni	45,00	45
6	Tubo PVC	Ø 12 mm	44,20 m	1,22	53,924
8	Codo PVC	Ø 12 mm 90°	2 uni	0,75	1,5
9	Unión PVC	Ø 12 mm	9 uni	0,75	6,75
10	Universal PVC	Ø 12 mm	3 uni	1,20	3,6
11	Válvula de compuerta abierta	Ø 12 mm	1 uni	7,00	7
12	Acople de tanque PVC	Ø 12 mm	2 uni	0,85	1,7
13	Válvula de pie bronce	Ø 12 mm	1 uni	8,00	8
14	Neplo PVC	Ø 12 mm	4 uni	0,50	2
15	Te de paso directo bronce	Ø 12 mm	1 uni	7,00	7
16	Válvula check bronce	Ø 12 mm	1 uni	15,00	15
17	Flotador	Ø 12 mm	1 uni	22,00	22
18	Contactador		1 uni	27,00	27
21	Breaker	10 amperios	1 uni	5,00	5
22	Panel solar	110Wp 12V CC Policristalino	4 uni	80,00	320
23	Inversor	12 Vcc a 127 Vca 500W	1 uni	135,00	135
24	Regulador	PWM 20 A 12V/24V	1 uni	54,00	54
25	Baterías	100Ah 12V GEL	2 uni	260,00	520
26	Conductor SOLAR	16mm <sup>2</sup> IEC 60364	5 uni	0,85	4,25
27	Conductor	AWG #12	45 m	0,42	18,9
28	Breaker	20 amperios	1 uni	5,00	5
29	Caja eléctrica metálica	300*400 mm	1 uni	15,00	15
<b>COSTO DEL PROYECTO</b>					<b>2557,62</b>

Fuente: (Autor)

### 6.1.23. Implementación del sistema.

El proceso de implementación del sistema comprende dos etapas generales, la primera es el emplazamiento del sistema fotovoltaico, y la segunda etapa es la instalación del sistema de bombeo y el sistema potabilizador. En la Figura 43 se muestra la instalación del conductor, y la conexión en paralelo de los dos paneles fotovoltaicos seleccionados.



**Figura 43.** Instalación de conductor en los paneles solares.  
**Fuente:** Autor

El montaje de los paneles solares se realizó sobre la cubierta de la vivienda, en este lugar se puede decir que no hay sombra alguna por lo tanto la generación de energía no se verá afectada, fue necesario instalar una base de madera para poder realizar la sujeción adecuadamente, véase la Figura 44.



**Figura 44.** Montaje y aseguramiento de paneles solares en la cubierta de la vivienda  
**Fuente:** Autor

La Figura 45 muestra los paneles completamente instalados, con su respectivo conductor, para este caso se pudo instalar sobre la cubierta de la vivienda ya que tiene una



inclinación exactamente de 15 grados, por lo que no fue necesario instalar elementos adicionales para corregir dicha inclinación. Los soportes de madera se colocaron para evitar contacto con la corrosión que se genera en las planchas de la cubierta.



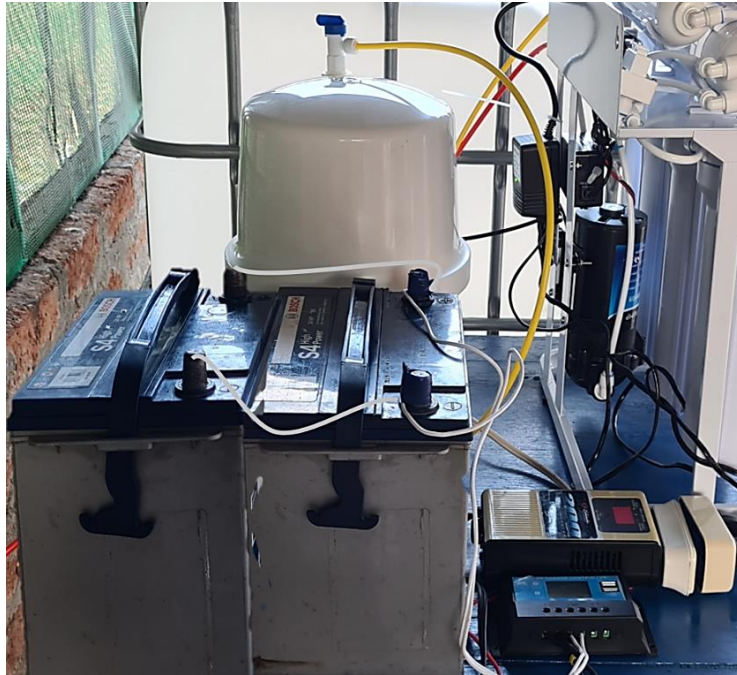
**Figura 45.** Paneles completamente instalados.  
**Fuente:** Autor

Una vez instalado los paneles, se realizó la verificación de generación de energía mediante la medición de tensión, la Figura 46 detalla el procedimiento realizado.



**Figura 46.** Prueba de funcionamiento y medición de voltaje en los paneles.  
**Fuente:** Autor

Finalmente, el sistema fotovoltaico se complementa con la instalación del controlador de carga, baterías e inversor de corriente, la Figura 47 muestra los equipos instalados.



**Figura 47.** Instalación del controlador de carga, inversor de corriente y tanque de presión.

**Fuente:** Autor

La segunda etapa de la implementación, comprende el armado e instalación del sistema hidráulico. El sistema potabilizador, consta de un equipo integrado de siete etapas de tratamiento del agua, en la Figura 48 se detalla el procedimiento de armado del equipo potabilizador, en esta imagen se observa la colocación del filtro de sedimentación.



**Figura 48.** Montaje del equipo para el sistema potabilizador

**Fuente:** Autor

La Figura 49 y Figura 50, ilustran la instalación de los contenedores en el sistema potabilizador, este filtro es la tercera etapa de filtración, contiene gránulos de carbón para retener olores.



**Figura 49.** Instalación de filtros para el sistema potabilizador  
**Fuente:** Autor



**Figura 50.** Instalaciones de filtros el sistema potabilizador, colocación de contenedores.  
**Fuente:** Autor

La Figura 51, detalla la colocación del filtro de la Osmosis Inversa, este filtro es la quinta etapa.

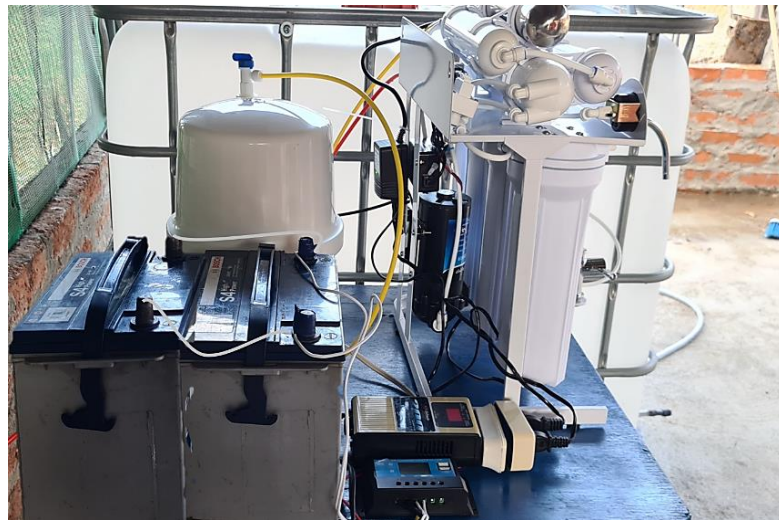


**Figura 51.** Instalaciones de Osmosis Inversa en el sistema potabilizador.  
**Fuente:** Autor

La Figura 52 y Figura 53, muestra la instalación completa del sistema potabilizador y la fuente de alimentación de energía fotovoltaica.



**Figura 52.** Sistema potabilizador armado.  
**Fuente:** Autor



**Figura 53.** Sistema potabilizador armado, controlador de carga e inversor de corriente  
**Fuente:** Autor

La Figura 54 detalla la instalación de la bomba de agua de  $\frac{1}{2}$  hp, esta bomba al igual que la bomba del sistema potabilizador también es alimentada por la energía generada por el sistema fotovoltaico.



**Figura 54.** Bomba Pedrollo de  $\frac{1}{2}$  hp 110 V  
**Fuente:** Autor

Finalmente, en la Figura 55 se muestra el sistema potabilizador completamente instalado, cuenta con dos tanques de almacenamiento, mediante la bomba de 1/2 se alimenta el tanque de 1 m<sup>3</sup>, luego de este tanque se envía el agua al sistema de purificación que consta de 7 etapas, incluyendo la purificación mediante la lámpara de luz ultravioleta, y luego el agua purificada se almacenará en un tanque de 260 litros, tal como se muestra en la imagen.



**Figura 55.** Tanques de almacenamiento completamente instalados  
**Fuente:** Autor

#### **6.1.24. Pruebas de funcionamiento.**

La Figura 56 muestra el funcionamiento del sistema, en la imagen se puede apreciar, el agua purificada mediante el sistema implementado, la capacidad del sistema alcanza los 2 litros por minuto.



**Figura 56.** Funcionamiento de sistema potabilizador, suministro de agua.  
**Fuente:** Autor

### 6.1.25. Analizar la calidad de agua tratada.

En el Anexo 5 se muestra los resultados detallados por la empresa, que realizó dicho análisis; después del proceso de purificación del agua, obteniendo los siguientes porcentajes de diferencia con respecto al agua antes de ser tratada, como se detallan en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Resultados del análisis de agua luego del tratamiento.

Ítem de ensayo	Unidad	Método de ensayo	Resultados de análisis antes del tratamiento	Resultados de análisis después del tratamiento	Porcentaje de diferencia
pH	-----	AOAC, 973,41	7.934	6.735	-15.1
Turbidez	NTU	SM 2130 B	2.26	1.01	-55.3
Color	UPtCo	AM2120-C	2.17	6.56	202.3
Cloruros	mg/l	SM 2340-CI B	8.89	7.02	-21.0
Sólidos totales disueltos *	mg/l	SM 2540-C	90.8	7.12	-92.2
Cloro libre residual	mg/l	SM 4500-CI-G	0.01	0.01	0
Nitritos	mg/l	SM 4500 NO2-B	0.01	0.021	110.0
Coliformes Totales *	NMP/100 ml	ISO 9308-2:2012	501	0	-100.0
Coliformes Fecales *	NMP/100 ml	ISO 9308-2:2012	Ausencia	Ausencia	0
Aeróbicos Mesófilos *	UFC/1ml	SM 9215 A	18	0	-100.0
Hierro	mg/l	US EPA 3015; SM 3111 B	0.08	0.078	-2.5
Cobre	mg/l	US EPA 3015; SM 3111 B	0.073	0.053	-27.4
Calcio *	mg/l	US EPA 3015; SM 3111 A	0.971	0.451	-53.6
Magnesio *	mg/l	US EPA 3015; SM 3111 A	0.554	0.072	-87.0

Fuente: (Autor)



**Figura 57.** Consumo del agua potabilizada mediante el sistema implementado.

Fuente: Autor

Como se puede observar en la Tabla 19, las mejoras del agua tratada son notables, debido a que su nivel del pH disminuyó en un 18%, los sólidos disueltos disminuyeron en un 1175%, se eliminaron los coliformes y los Aeróbicos Mesófilos, además disminuyó notablemente el porcentaje de calcio y magnesio.

#### 6.1.26. Comparación de los resultados de tratamiento del agua antes y después del tratamiento de potabilización con los límites establecidos por las normas que rigen los estándares del agua para consumo humano.

Para hacer una comparación resumida de los resultados del análisis respectivo que se realizó en la muestra del agua de la Tabla 19 con los datos estándares de la Tabla 4 , el ministerio de salud pública del Ecuador recomienda hacer uso de los principales factores que son los criterios básicos para la selección de los indicadores de calidad del agua potable y son los que reflejan mejor el nivel sanitario del agua y, por lo tanto, el peligro de enfermedad transmitida por el agua. (Ministerio de Salud Pública, 2019)

**Tabla 20.** Resultados del análisis de agua.

Ítem de ensayo	Unidad	Límite permitido por Norma	Resultados de análisis antes del tratamiento del agua	Resultados de análisis después del tratamiento del agua	Porcentaje de diferencia
pH	Unidades de PH	6,5-8,0	7,934	6,735	-15.1
Turbidez	NTU	5	2,26	1,01	-55.3
Coliformes totales	NMP/100ml	2	501	0	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	0	0	0	0
Cloro libre residual	mg/l	0.3 a 1.5	0.01	0.01	0

Fuente: Autor

## 7. Discusión.

El consumo de agua sin potabilizar es uno de los principales causantes de graves enfermedades en los seres humanos; sin embargo, existen varios mecanismos y métodos para potabilizar el agua de consumo. Los sistemas de tratamiento de agua requieren la implementación de grandes equipos y por ende grandes costos, en el mejor de los casos se implementan sistemas de tratamiento básico de agua, compuestos generalmente por: tanques de sedimentación para retener impurezas físicas y mecanismos de cloración para eliminar escasamente los factores bacteriológicos. Además, Grueso Domínguez et al (2019) menciona que la principal limitación de la purificación de agua con membranas tiene que ver con los altos costos operativos asociados al consumo energético. Por lo tanto, es importante realizar investigaciones que apunten a integrar las energías alternativas que reduzcan efectivamente estos costos (Grueso Domínguez et al., 2019).

Por lo tanto, en la presente investigación se optó por diseñar un sistema potabilizador de agua basado en la osmosis inversa, ya que es un método que otorga excelentes resultados en el proceso de mejora de la calidad del agua para el consumo humano, con un costo de producción exitoso, tal y como lo menciona Dévora Isiordia et al (2016) en su investigación; en donde destaca que estos procesos deben incorporar sistemas de generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables. Además, existen otros equipos potabilizadores eficaces, como el diseñado por Rodríguez Santos et al. (2018), el cuál consistía en un filtro ecológico para comunidades rurales utilizando Moringa Oleifera, con un costo de implantación, operación y mantenimiento bajo, dado que los materiales como la arena, piedra y estopa de coco, se obtienen del mismo entorno y el mantenimiento puede ser realizado por las mismas personas del sector; presenta eficiencias del 90% en la eliminación de la turbidez, y hasta el 100% en la remoción de coliformes fecales; sin embargo esta opción no garantiza la potabilización del agua. De la misma forma, Pérez Vidal et al. (2015) evaluó el tratamiento del agua mediante filtros Lifestraw® (FM) y Olla Cerámica de los cuales concluyó que son adecuados para el tratamiento del agua a nivel casero, cumpliendo con la reglamentación colombiana; el FM resultó más eficiente en remoción de turbiedad y tasa de filtración; sin embargo, cuando se tienen en cuenta aspectos como aceptabilidad social, operación, mantenimiento y vida útil, el filtro de olla cerámica parece más apropiado especialmente en áreas rurales (Pérez Vidal et al., 2015).

Considerando el lugar de emplazamiento, el prototipo receipta el agua proveniente de fuentes naturales, la almacena y con la ayuda de una bomba de ½ HP se la hace circular por un sistema de potabilización de osmosis inversa hasta otro embalse que capta el agua purificada que tiene una capacidad de almacenamiento de 260 litros, ya que fue diseñado



para el consumo de una persona de acuerdo a la normativa (NEC, 2011) y la normativa (CPE.INEN, 1992); además, la metodología de cálculo planteada permitió dimensionar las tuberías de succión y de descarga de manera oportuna, con la finalidad de obtener un valor de pérdidas en el sistema de 1,874 m, cuyo cálculo fue validado mediante la simulación en EPANET. Por otro lado, tomando en cuenta las diferentes cargas del sistema, se requirió de cuatro paneles policristalinos de 110 Wp, debido a que el sistema necesita la energía de 416.09 Wh por día y tiene una autonomía de 3 días, brindado por dos baterías de 100 Ah, es decir, se considera que las cargas no entran en operación al mismo tiempo y en el caso que se presente esta situación, las baterías solventarán la demanda necesaria; además, realizando el cálculo con la herramienta de cálculo desarrollado en la investigación realizada por Carlos Delgado (2021) denominada, se obtiene un sistema conformado por cuatro paneles de 110 Wp, dos baterías de 100 Ah, un inversor de 500 W y un regulador de 20 A, tal y como se muestra en el anexo 10.

La construcción del prototipo potabilizador de agua, cuenta con 29 elementos que en total le da un costo al prototipo de 2557.62 USD; que en comparación con el prototipo desarrollado por Rodríguez Santos et al. (2018) es más alto, sin embargo, ese sistema no garantiza la calidad de agua potable, por otro lado, la zona de emplazamiento no se encuentra cercano a una planta purificadora de agua, ya que la más cercana se encuentra aproximadamente a 1.22 km del lugar, por lo tanto, debido a la irregularidad del relieve del cantón es factible implementar el prototipo diseñado para la purificación del agua con respecto al alto gasto económico que podría resultar la implementación de un sistema de transporte de agua potable desde la planta potabilizadora más cercana. Además, considerando que el costo del metro cúbico de agua potable en el cantón Catacocha es de 0.25 USD, se discierne que una persona consumo 91,25 USD de agua potable al año, por lo tanto, el costo del prototipo será cubierto en 25.4 años.

Con el diseño y construcción del prototipo potabilizador de agua potable que utiliza energía fotovoltaica, se mejoró la calidad de vida de un habitante en la parroquia Guachanamá perteneciente al cantón Paltas provincia de Loja. En donde, mediante el análisis del agua tratada, por procesos físicos, químicos y microbiológicos dados por la NTE INEN 1 108:2011, se identificó que la metodología propuesta cumple de manera eficaz con los objetivos de la investigación. Debido a que los resultados denotaron las mejoras del agua tratada; por ejemplo, su nivel de pH disminuyó en un 18%, los sólidos disueltos disminuyeron en un 1175%, se eliminaron los coliformes y los Aeróbicos Mesófilos. Estos resultados al no sobrepasar el límite permisible de acuerdo a la CPE INEN Parte 9-1: 1992, se le otorga al agua tratada por este prototipo la calidad agua potable.

## 8. Conclusiones.

Se diseñó la red de distribución hidráulica del sistema potabilizador de agua con un total de pérdidas de 1,874 m; el cuál consta de un acumulador de agua proveniente de la red de distribución local, una bomba de 373 W, un acumulador de agua de 1 metro cúbico, un sistema de Osmosis Inversa que cuenta con 6 etapas de filtrado y una de purificación por luz ultravioleta, para obtener un total de 259 litros que agua pura que necesita un habitante por día, de acuerdo a la normativa de NEC-AGUA-HIDROSANITARIA.

El prototipo potabilizador de agua se construyó en la parroquia Guachanamá del cantón Paltas, cuya energía eléctrica para su funcionamiento proviene de un sistema fotovoltaico diseñado e implementado en función de la demanda de energía y la radiación solar disponible, el cuál requirió de 4 paneles solares de 110 Wp\_12V, dos baterías de 100 Ah\_12V, un controlador de carga de 20 A y un inversor de corriente de 500 W\_12V/120V, con la finalidad de contar con una autonomía de 3 días; por lo tanto, el prototipo tiene un costo de inversión de 2557.62 USD y es factible en comparación con la construcción del sistema red de distribución de agua potable de planta purificadora más cercana.

La validación del prototipo se realizó mediante pruebas de funcionamiento y mediante el análisis (físico, químico y bacteriológico) del agua, antes y después de la potabilización. De esta manera se pudo determinar el grado de tratamiento de calidad de agua con un 15 % de mejoramiento del PH, obteniendo así un valor de 6,735 el cual está dentro del rango límite permisible para el consumo humano que está entre 6,5 – 8,0 determinado por la norma NTE INEN 1108 2020 “Agua para consumo humano. Requisitos”; además se reduce la turbidez del agua a 1,010 NTU (unidades de turbiedad nefelométricas) el cual se encuentra dentro de lo recomendado por la OMS; de la misma forma, se mejoró en un 92% en la disolución total de los sólidos y por último es eliminó en un 100% los coliformes; por lo tanto, cumple con los requisitos para que el agua sea apta para el consumo humano de acuerdo a la norma ecuatoriana INEN 1108 2020.

## **9. Recomendaciones.**

- Realizar y comparar el análisis técnico económico en la implementación de otros tipos sistemas hidráulicos, que garanticen el caudal requerido por el equipo de osmosis inversas, ya sea mediante bombas en molinos multipalas o bombas de ariete.
- Investigar otras metodologías, que permitan realizar el diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua potable para una familia ecuatoriana, considerando que la misma solo debe ser utilizada para el consumo humano.
- Comparar la calidad de agua potable de varios centros de tratamiento de la provincia de Loja, con respecto al prototipo propuesto, con la finalidad de identificar qué sistema de purificación ofrece una mejor calidad de agua y cuáles son los resultados que más se apegan a lo obtenido por el prototipo propuesto.

## 10. Bibliografía.

- Almandoz B, J. J. (2023). Cuadros y Àbacos (Ingeniería Fluidomecànica). Recuperado el 26 de 11 de 2019, de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14114078/ejercicios-fluidomecanica>
- Alvarado, L. (2004). Diseño de elementos estructurales en edificios de concreto reforzado. Universidad de El Salvador- Facultad de Ingeniería y Arquitectura- Escuela de Ingeniería Civil, El Salvador.
- Amazon. (2022). Amazon. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Controlador-control-amperios-regulador-peque%C3%B1o/dp/B088B8T43K>
- Aquaprof. (18 de Noviembre de 2022). Obtenido de <https://www.aquaprof.es/info/osmosis/domestica/funcionamiento/tipos/>
- Areatecnología. (20 de 12 de 2021). Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>
- ASME. (2020). American Society of Mechanical Engineers. Obtenido de <https://www.asme.org>
- AutoSolar. (10 de Julio de 2020). Obtenido de <https://autosolar.es/blog/baterias-placas-solares/tipos-baterias-solares>
- Bayod Rújula, Á. A. (2009). Energías Renovables Sistemas Fotovoltaicos. Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza.
- Benavidez Domínguez José Leonardo, G. C. (s.f.). Diseño y construcción de un equipo automático mezclador de resinas adhesivas para la empresa parquet los pinos. Tesis Ingenieril . Escuela superior politécnica del chimborazo , Riobamba .
- Bestratén, M. (2008). Erdonomía. MADRID: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. doi:I.S.B.N.: 978-84-7425-753-3
- Budynas , R. G., & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Carfel. (2021). Obtenido de <https://www.carfel.pt/es/produtos/plantas-de-hormigon/mezcladora-eje-vertical/>
- Carro, R., & Gonzales, D. (s.f.). Localización de Instalaciones. Universidad Nacional de la Plata, La Plata.

- Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (15 de Abril de 2017). Determination of Torque and Power of a Gasoline Internal Combustion Engine by Using Spark with Pressure Sensor Adapted and Application of a Mathematical Model. SCIELO, 31(1), pp. 49-57.
- Cengel, Y. (2011). Transferencia de calor y masa. México: Mc Graw-Hill. doi:978-607-15-0540-8
- Cengel, Y. A. (2009). Termodinámica. México: Mc. Graw Hill. doi:ISBN 978-970-10-7286-8
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). Termodinámica (séptima edición ed.). México. doi:ISBN 978-0-07-352932-5
- Centelsa. (6 de Noviembre de 2021). Cables de Energía y telecomunicaciones. Obtenido de [https://centelsa.com/productos\\_centelsa/productos\\_colombia/CABLES\\_PARA\\_CONSTRUCCION/CABLES\\_PARA\\_CONSTRUCCION\\_CABLE\\_FOTOVOLTAICO\\_H1Z272\\_K.pdf](https://centelsa.com/productos_centelsa/productos_colombia/CABLES_PARA_CONSTRUCCION/CABLES_PARA_CONSTRUCCION_CABLE_FOTOVOLTAICO_H1Z272_K.pdf)
- Cientificos.com. (12 de Noviembre de 2021). Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/energia/celulas>
- Climate.Data.Org. (12 de Noviembre de 2020). <https://es.climate-data.org/>. Obtenido de <https://es.climate-data.org/>
- Colmena., T. (2014). Catalogo de tubería estructural. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jairecas/catalogo-tubos-colmena>
- Coronel, I. A. (2021). Diseño de un sistema de microgeneración Fotovoltaico, conectado a la red de distribución de baja tensión para la Facultad de la Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables considerando la regulación Arconel 003/18. Universidad Nacional de Loja, 1-132.
- CPE.INEN. (1992). Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales. Instituto Ecuatoriano de normalización, QUITO.
- Delgado & Orellana, G. J. (2015). Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow Campbell. Tesis de ingeniería. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>

- Delgado Gualpa, C. A. (2021). Desarrollo de una aplicación para el cálculo de instalaciones fotovoltaicas hasta 100 kW para la provincia de Loja [Trabajo de Titulación, Universidad Nacional de Loja].
- DIPAC. (2016). Dipac-Productos de Acero. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/>
- dreamstime. (2022). Obtenido de <https://es.dreamstime.com/esquema-de-conexi%C3%B3n-del-filtro-osmosis-inversa-etapas-la-ilustraci%C3%B3n-sistema-agua-%C3%B3smosis-image209379537>
- Dunlop.S.A. (s.f.). DUNLOP Argentina S.A. Obtenido de [www.dunlop.com.ar](http://www.dunlop.com.ar)
- ecofener. (14 de Diciembre de 2021). Obtenido de <https://ecofener.com/blog/que-es-un-inversor-de-corriente-conversor-de-corriente-continua-a-corriente-alterna-diferentes-tipos-de-inversores-que-inversor-fotovoltaico-necesito/>
- ELC. (25 de Septiembre de 2021). Equipos y Laboratorio de Colombia. Obtenido de <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-es-el-volumen>
- Electrocables. (11 de Febrero de 2022). Electrocable.com. Obtenido de [https://www.electrocable.com/uploads/product/conductores-de-aluminio-solar-fotovoltaico-pv-wire\\_1.pdf](https://www.electrocable.com/uploads/product/conductores-de-aluminio-solar-fotovoltaico-pv-wire_1.pdf)
- Epanet.es. (2022). Obtenido de [https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET\\_Manual\\_Usuario.pdf](https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf)
- Equipament, R. (2000). Recuperado el 5 de Noviembre de 2020, de <https://www.rsf-maquinaria.com/es/soldadura-mig>
- Erazo., J. W. (2020). "Implementación de un banco de pruebas hidráulicas para analizar el funcionamiento de bombas de pistón y evaluar su rendimiento a diferentes revoluciones". Ingeniería Electromecánica. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/browse?type=author&value=Jairo+Wladimir+Erazo+Pauca>
- Fajardo, B. (Agosto de 1999). Determinación de Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de la Panela" publicado por (N). Revista de Ingeniería e Investigación.(43), 34-39. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/download/21079/22033/71436>

- Fernandez, F. (12 de Enero de 2022). Regulatordecarga.net. Obtenido de <https://regulatordecarga.net/>
- Fernando., M. W. (2011). Analiza la factibilidad técnica y económica en el Ecuador para la implementación de energía solar, tanto en el campo fotovoltaico como termo solar aplicado a viviendas unifamiliares. Universidad de Cuenca, 1-234.
- Ferryexpress & copy. (15 de Febreo de 2022). Obtenido de [http://www.ferryexpress.cl/index.php?route=product/product&product\\_id=72](http://www.ferryexpress.cl/index.php?route=product/product&product_id=72)
- Fersa. (Enero de 2021). Fersa Bearings. Obtenido de <https://www.fersa.com/es/gama-de-producto/rodamientos-de-bolas>
- FiltraShop. (24 de Septiembre de 2021). Tienda en línea de filtros de agua , bombas y albercas en México. Obtenido de <https://filtrashop.com/categoria-producto/tratamiento-de-agua/lamparas-uv-de-luz-ultravioleta-para-agua/>
- Freddy J. Rojas, F. O. (8 de Febrero de 2017). Análisis Experimental del Rendimiento Térmico, Potencia y Emisiones de Cocinas Anafe a Gas Licuado de Petróleo para Altitudes entre 2200 Y 4200 metros. SCIELO, 28(4), 179-190. doi:ISSN 0718-0764
- Fullminería. (2021). Minería y construcción. Obtenido de <https://fullmineria.com/producto/rodamientorigidobolas/>
- Galarza, L. M. (2017). Instalación solar fotovoltaica de autoconsumo tipo 2, de 20kw de potencia en el CEIP Las Delicias. Instituto Tecnológico de Energías Renovables S.A., España.
- Goodfellow. (2001). Obtenido de <http://www.goodfellow.com/>
- Goodyear S.A. (s.f.). Manual de correas múltiples en v.
- Grados. (21 de Mayo de 2021). Material Mundial. Obtenido de <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>
- GreenFacts. (12 de Noviembre de 2021). Datos sobre la salud y medio ambiente . Obtenido de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/densidad.htm#:~:text=Definici%C3%B3n%3A,los%20%C3%ADquidos%20y%20los%20gases.>
- Hamrock , B. J., Jacobson , B. O., & Schmid, S. R. (2000). Elementos de Máquinas. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.

- Hernandez, G. R. (2017). Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el ITSLV. Tesis de grado de Maestro en Manufactura Avanzada. CIATEQ, MÉXICO. Obtenido de <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf>
- Hibbeler, R. (2013). Mecánica de Materiales. Pearson. doi:ISBN: 9786071509345.
- Hidrotek. (2018). Hidrotek S.A DE C.V., Tienda Oficial en Línea donde encontrarás Soluciones en Agua y Energía para tu hogar, negocio o Industria. Asesoría técnica. Obtenido de <https://www.evans.com.mx/>
- INEC. (2014). Ecuador en cifras. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- INEN. (13 de Septiembre de 2011). INEN 1108 . Obtenido de AGUA POTABLE REQUISITOS: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1108.pdf>
- INTEC. (Enero de 2021). Suministros Industriales. Obtenido de Acoplamientos Mecánicos: <https://suministrointec.com/1807-acoplamientos-mecanicos>
- Jarabo, F. (1988). Energías Alternativas Renovables. (S. d. Laguna, Ed.) Colección Minor. Libroóptica. (2021). Libros Digitales. Obtenido de <http://libroptica.com/MezcladorDeCintas.html>
- Luna, J. R. (2011). Física Básica. Lima. Obtenido de <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2018/10/FISICA-BASICA-UNIVERSIDAD-RICARDO-PALMA.pdf>
- Mataix, C. (1982). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Madrid: Ediciones del castillo,S. A.
- Mataix, C. (1982). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. . En C. Mataix.
- Mogrovejo León, W. F., & Sarmiento Vintimilla , J. C. (2011). Analiza la factibilidad técnica y económica en el Ecuador para la implementación de energía solar, tanto en el campo fotovoltaico como termo solar aplicado a viviendas unifamiliares. Universidad de Cuenca, 1-234.
- Mogrovejo, W. F., & Sarmiento, J. C. (2011). Analiza la factibilidad técnica y económica en el Ecuador para la implementación de energía solar, tanto en el campo fotovoltaico como termo solar aplicado a viviendas unifamiliares. Universidad de Cuenca, 1-234.



- Mosquera, S. A. (25 de Enero de 2007). Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el Departamento del Cauca. Dialnet-Universidad de la Rioja., 5(1), 17-27.
- Motorex. (Enero de 2021). Obtenido de <http://www.motorex.com.pe/p/reductor-y-motorreductor-coaxial-rossi/>
- Mott, R. (2006). Mecánica de fluidos (Sexta Edición ed.). México.
- Mott, R. L. (2006). Mecánica de Fluidos. México: Pearson Educación de México, S.A.
- Mott, R. L. (2009). Resistencia de Materiales Aplicado (Vol. 5 Edición.). México: PEARSON. doi:ISBN 9780132368490
- N, B. L. (s.f.).
- NEC. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción Agua Hidrosanitaria . Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Quito, Ecuador. Obtenido de [https://www.academia.edu/32756767/NORMA\\_ECUATORIANA\\_DE\\_LA\\_CONSTRUCCION\\_DE\\_AGUA\\_HIDROSANITARIA\\_NH\\_E\\_AGUA](https://www.academia.edu/32756767/NORMA_ECUATORIANA_DE_LA_CONSTRUCCION_DE_AGUA_HIDROSANITARIA_NH_E_AGUA)
- NREL. (14 de Diciembre de 2020). Laboratorio Nacional de Energía Renovable. Obtenido de Alianza del clima y energía de las américas.: <https://ecpamericas.org/es/resources/nrel-laboratorio-nacional-de-energia-renovable/>
- OLADE. (1995). Organización Latinoamericana de Energía.
- Ordorica, M. G. (2014). Transferencia de cantidad de movimiento . Instituto Politécnico Nacional, Mexico. Obtenido de <https://fim.umich.mx/teach/gsolario/notas/Fen%C3%B3menos%20de%20Transporte-Cantidad%20de%20Movimiento.pdf>
- Paguan, M. S. (2010). Mecanismos de transferencia de calor por convección-Ley de enfriamiento de Newton.
- Paredes, J. (22 de Octubre de 2021). Universidad San Martín de Porres. Obtenido de <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>
- Pedrollo.S.p.A. (octubre de 2021). La Casa del Riego. Italia. Obtenido de [www.pedrollo.com](http://www.pedrollo.com)

- Potes Valencia, P. W., & Proaño Maldonado, X. A. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el bloque b de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi, 1-158.
- Proviento.S.A. (28 de Enero de 2022). Energías Renovables Ecuador. Obtenido de <https://proviento.com.ec/paneles-solares/29-panel-solar-110wp-12vdc-policristalino.html>
- Quinche, B. j. (2012). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de generación eléctrica para vivienda sostenible de interés social del AEIRNNR. Universidad Nacional de Loja, 1-180.
- Recio, J. (22 de Octubre de 2021). CNICE. Obtenido de [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/no\\_renovables.htm?4&2](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/no_renovables.htm?4&2)
- Ricaurte, L. (2016). "Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes". Tesis de grado-Ingeniería Mecánica. Escuela superior Politécnica del Litoral, Guayaquil., Ecuador.
- RINCÓN, J. (2016). Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa químicos ZOREL. Proyecto integral de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Fundación Universidad de América-Facultad de Ingenierías., Bogotá, D.C.
- Rincón, J. E. (2017). Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa químicos ZOREL. Fundación Universidad de America, Bogotá.
- Río, D. (2008). Física y Química. México: McGraw\_Hill.
- Rivas Celi, E. R., & Tapia Peralta, D. G. (2015). Análisis de factibilidad de un sistema de generación fotovoltaica para el sector residencial de la ciudad de Loja. Universidad Nacional de Loja, 2-90.
- Rivas, C. E. (2015). Análisis de factibilidad de un sistema de generación fotovoltaica para el sector residencial de la ciudad de Loja. Tesis de Ingeniería Electromecánica. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/browse?type=author&value=Rivas+Celi%2C+Edgar+Rafael>
- Rodamientos FAG. (2000). Rodamientos bolas - Rodamientos de rodillos - Soportes - Accesorios. Barcelona.

- Rodríguez, J. C. (2011). Mezclado y mezcladoras. Nutrimentos Concentra S.A. de C.V.
- Rodríguez Santos, J., Ortiz Ayoví, D., Rodríguez Baquerizo, E., & Santos Baquerizo, E. (2018). Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera. Laboratorio Piloto de Hidráulica, 15(2), 118-130. <https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a9>
- Rojas Lazo, O. &. (13 de Diciembre de 2006). Diseño asistido por computador. Redalyc.org. doi:1560-9146
- Romero Marquez, C. (2020). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en el ecuador en baja tensión. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/4/browse?type=author&order=ASC&pp=80&value=Romero+M%C3%A1rquez%2C+Christian+Javier>
- Romero Márquez, C. J., & Solano Jiménez, J. C. (2020). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en el Ecuador en baja tensión. Universidad Nacional De Loja, 1-222.
- Rossi.S.p.A. (2018). Habasit Group-ROSSI. Obtenido de <https://www.rossi.com/>
- SAB.BROCKSKES. (31 de Enero de 2022). Especial Cables. Obtenido de <https://www.sab-cables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html>
- Salamanca, A. S. (sep-dic de 2017). Design proposal for a photovoltaic solar energy system. Case of application in the city of Bogotá. Vol. 30 (3). doi:0124-2253
- Sánchez, D. A., & Castaño, H. Z. (2011). Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/29243269-1d0b-4c34-8c23-b3229dbdc19a/content>
- Sanimamp. (21 de 11 de 2022). Obtenido de <https://www.mhsanimamp.com/>
- Santin. (2020). Bruciatori Industriali. doi:<http://www.bruciatorisantin.com/>
- Schallenberg, R. c. (2008). Energías Renovables y Eficiencia Energética. Santa Cruz de Tenerife, España: InstitutoTecnológico de Canarias, S.A. doi:978-84-69093-86-3
- Sebastián, E. (30 de Marzo de 2021). Energía Solar. Obtenido de <https://eliseosebastian.com/watt-pico-significado-exacto/>

- Selectra. (7 de Febrero de 2022). Tarifagasluz. Obtenido de <https://tarifagasluz.com/autoconsumo/componentes/regulador-solar>
- Sodiper. (2023). Catálogo de pernería SODIPER . Obtenido de [https://www.academia.edu/14695766/Catalogo\\_Pernos\\_SODIPER](https://www.academia.edu/14695766/Catalogo_Pernos_SODIPER)
- Soloarquitectura.com. (2020). Solo Arquitectura. Obtenido de <https://www.soloarquitectura.com/foros/threads/duda-coeficientes-de-pandeo-en-pilares.59944/>
- sotysolar. (12 de 01 de 2022). Obtenido de <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>
- Sur, V. (07 de 05 de 2020). Viajes VitalSur.com. Obtenido de <https://www.viajesvistal.com/Articulo/content/905/detail/Loja-Dulce-tradicion>.
- Talent Pool. (28 de Junio de 2014). Obtenido de Consulting Group: <https://www.talentpoolconsulting.com/herramienta-de-mano-ergonomica-herramienta-de-diseño/#:~:text=Los%20mangos%20deben%20ser%20cil%C3%ADndrica,empu%C3%B1adura%20hasta%2050%2D60%20mm>.
- Tama, A. (2009). COCINA DE INDUCCIÓN VS COCINA DE GAS. Obtenido de [http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/25742/Cocina/de/Inducci/%20C3/%20B3n/versus/Cocina/a/Gas/\(GLP\).pdf?sequence=1](http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/25742/Cocina/de/Inducci/%20C3/%20B3n/versus/Cocina/a/Gas/(GLP).pdf?sequence=1)
- Termod. (17 de Abril de 2012). Termodinámica. Obtenido de <http://u1termood.blogspot.com/2012/04/presion.html>
- TIMKEN. (20 de Junio de 2020). Acoplamientos y juntas universales. Obtenido de <https://www.timken.com/>
- Vaca, R. (2018). Validación de datos satelitales de radiación solar utilizando mediciones terrestres para el Ecuador. Tesis de Ingeniería. Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Obtenido de <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=71356>
- Vanegas, C. M. (2015). Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de La Guajira-Colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica. Universidad Autónoma del Caribe , Colombia. doi:ISSN: 1692-8261

Vera B, K. A., & Coronel V, I. A. (2021). Diseño de un sistema de micro generación fotovoltaico, conectado a la red de distribución de baja tensión para la facultad de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables considerando la regulación ARCONEL 003/18. Universidad Nacional de Loja, 1-132.

vikidia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikidia.org/wiki/Arachis\\_hypogaea](https://es.wikidia.org/wiki/Arachis_hypogaea)

Virtualexpo, G. (2020). Direct Industry. Obtenido de <https://www.directindustry.es/>

Zegarra, G. M. (2014). Propiedades térmicas de los alimentos - balance de masa y otras variables en la industria frutícola- factores que influyen en la evaluación sensorial de los alimentos. Tesis para optar al grado de Ingeniera. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, PERU. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4104/IAzequgm018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZEGARRA, G. M. (2014). Propiedades térmicas de los alimentos - balance de masa y otras variables en la industria frutícola- factores que influyen en la evaluación sensorial de los alimentos. Tesis para optar al grado de Ingeniera. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, PERU. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4104/IAzequgm018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## 11. Anexos.

### ➤ Anexo 1. Tablas de propiedades y dotación de agua.

**Tabla 21.** Valores de dotación de agua por habitante.

DOTACIÓN DE AGUA POR HABITANTE		
POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA (temperatura)	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
habitantes<5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000<habitantes>50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
50000<habitantes	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Fuente: (NEC, 2011)

**Tabla 22.** Propiedades del agua. Unidades SI.

Temperatura °C	Peso específico $\gamma$ $kN/m^3$	Densidad $\rho$ $Kg/m^3$	Viscosidad dinámica $\eta$ $Pa \cdot s$	Viscosidad Cinemática $\nu$ $m^2/s$
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-3}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-3}$	$8.03 \times 10^{-7}$

Fuente: (Mott R. L., 2006).

**Tabla 23.** Factores de resistencia para accesorios.

Accesorios	k
Unión o junta	0,40
Universal	0,40
Válvula de compuerta abierta	0,20
Válvula de pie	1,75
Acople de tanque	0,40
Neplo	0,44
Te de paso directo	0,80
Válvula check	2,75
Codos 90	0,90

Fuente: (Mott R. L., 2006).

**Tabla 24.** Valores de diseño de la rugosidad de tubos.

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
PVC Y PE	$7.0 \times 10^{-6}$	$2.3 \times 10^{-5}$
Tubos extruidos; cobre, latón.	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Concreto bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

Fuente: (Mott R. , 2006) & (Almandoz B, 2023).

**Tabla 25.** Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente.

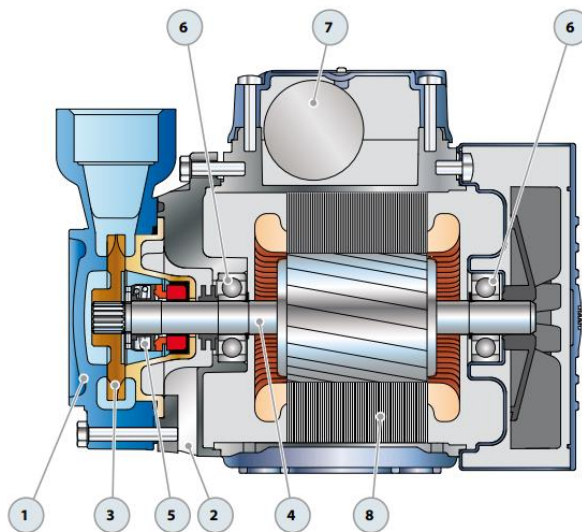
Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $L_e/D$
Válvula de globo abierta por completo	340
Válvula de ángulo abierta por completo	150
Válvula de compuerta abierta por completo	8
3/4 abierta	35
1/2 abierta	160
1/4 abierta	900
Válvula de verificación tipo giratorio	100
Válvula de verificación tipo bola	150
Válvula de mariposa abierta 2 a 8 pulgada	45
10 a 14 pulg	35
16 a 24 pulg	25
Válvula de pie- tipo disco de vástago	420
Válvula de pie- tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Té estándar con flujo directo	20
con flujo en el ramal	60

Fuente: (Mott R. L., 2006).

➤ **Anexo 2.** Especificaciones técnicas de la bomba.

**Tabla 26.** Ficha técnica de la bomba PQ Pedrollo.

<b>POS. COMPONENTE</b>		<b>CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS</b>				
<b>1</b>	<b>CUERPO BOMBA</b>	Hierro fundido (latón para PQ-Bs), con bocas roscadas ISO 228/1				
<b>2</b>	<b>SOPORTE</b>	Aluminio con tapa en latón y laminilla de ajuste frontal antibloqueo (patentado)				
<b>3</b>	<b>RODETE</b>	Latón, del tipo aletas periféricas radiales				
<b>4</b>	<b>EJE MOTOR</b>	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104				
<b>5</b>	<b>SELLO MECANICO</b>	<i>Electrobomba</i>	<i>Sello</i>	<i>Eje</i>	<i>Materiales</i>	
		<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i> <i>Elastómero</i>
		PQ 60-65	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito    NBR
		PQ 70-80-81-90	MG1-12	Ø 12 mm	Carburo de silicio	Grafito    NBR
		PQ 60Bs-65Bs-81Bs	FN-14	Ø 14 mm	Grafito	Cerámica    NBR
		PQ 100-200-300				
<b>6</b>	<b>RODAMIENTOS</b>	<i>Electrobomba</i>	<i>Modelo</i>			
		PQ 60-65-81	6201 ZZ / 6201 ZZ			
		PQ 60Bs-65Bs-81Bs	6203 ZZ / 6203 ZZ			
		PQ 70-80-90	6203 ZZ / 6203 ZZ			
		PQ 100-200-300	6204 ZZ / 6204 ZZ			
<b>7</b>	<b>CONDENSADOR</b>	<i>Electrobomba</i>	<i>Capacidad</i>			
		<i>Monofásica</i>	<i>(220 V)</i>	<i>(110 V o 127 V)</i>		
		PQm 60 - 60Bs	10 µF 450 VL	25 µF 250 VL		
		PQm 65 - 65Bs	14 µF 450 VL	25 µF 250 VL		
		PQm 70	16 µF 450 VL	60 µF 300 VL		
		PQm 80	20 µF 450 VL	60 µF 300 VL		
		PQm 81 - 81Bs	14 µF 450 VL	25 µF 250 VL		
		PQm 90	20 µF 450 VL	60 µF 300 VL		
		PQm 100	31.5 µF 450 VL	60 µF 250 VL		
		PQm 200	45 µF 450 VL	80 µF 250 VL		
<b>8</b>	<b>MOTOR ELECTRICO</b>	<p>PQm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado.                      PQ: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.</p> <p>➔ <b>Las bombas con motores trifásicos son de alto rendimiento en clase IE2 (IEC 60034-30)</b></p> <p>- Aislamiento: clase F.                      - Protección: IP X4.</p>				



Fuente: (Pedrollo.S.p.A, 2021)



Tabla 27. Geometría de la bomba PQ Pedrollo.

DIMENSIONES Y PESOS																							
MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm												kg							
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1~	3~						
PQm 60°	PQ 60°	1"	1"	22	190	145	101	30	131	76	55	118	93-100	53	7	5.1	5.1						
PQm 60-Bs	PQ 60-Bs				216	152	113		143	78	80	120	100			5.4	5.4						
PQm 65	PQ 65				216	152	108		138	76	80	120	100			6.4	5.9						
PQm 65-Bs	PQ 65-Bs				216	152	108		138	76	80	120	100			6.7	6.2						
PQm 70	PQ 70				255	180	121		151	83	90	138	112			62	9.7	9.0					
PQm 80	PQ 80				255	180	121		151	83	90	138	112			62	9.7	9.0					

CONSUMO EN AMPERIOS					
MODELO	TENSION (monofásica)			TENSION (trifásica)	
Monofásica	220 V	110 V	127 V	220 V	440 V
PQm 60° – PQm 60-Bs	2.6 A	5.5 A	5.2 A	2.0 A	1.2 A
PQm 65 – PQm 65-Bs	5.8 A	11.6 A	11.0 A	3.2 A	2.0 A
PQm 70	5.2 A	10.8 A	10.0 A	3.8 A	2.2 A
PQm 80	6.5 A	13.0 A	12.1 A	3.8 A	2.4 A
PQm 81 – PQm 81-Bs	4.0 A	8.0 A	7.4 A	2.2 A	1.3 A
PQm 90	6.0 A	12.0 A	11.2 A	4.2 A	2.4 A
PQm 100	9.0 A	18.0 A	16.7 A	6.2 A	3.2 A
PQm 200	12.0 A	24.0 A	22.3 A	9.0 A	5.5 A
				380 V	660 V
Trifásica	220 V	380 V	660 V	220 V	440 V
PQ 60° – PQ 60-Bs	2.0 A	1.15 A	0.7 A	2.1 A	1.2 A
PQ 65 – PQ 65-Bs	3.2 A	1.85 A	1.1 A	3.5 A	2.0 A
PQ 70	3.8 A	2.2 A	1.3 A	3.8 A	2.2 A
PQ 80	3.8 A	2.2 A	1.3 A	4.3 A	2.4 A
PQ 81 – PQ 81-Bs	2.2 A	1.3 A	0.8 A	2.4 A	1.3 A
PQ 90	4.2 A	2.4 A	1.4 A	4.2 A	2.4 A
PQ 100	6.2 A	3.6 A	2.1 A	6.2 A	3.2 A
PQ 200	7.6 A	4.4 A	2.5 A	7.0 A	4.2 A
PQ 300	9.0 A	5.2 A	3.0 A	9.2 A	5.5 A

PALETIZADO							
MODELO		PARA GRUPAJE			PARA CONTAINER		
Monofásica	Trifásica	n° bombas	H (mm)	kg	n° bombas	H (mm)	kg
PQm 60°	PQ 60°	256	1465	1330	352	1976	1819
PQm 60-Bs	PQ 60-Bs	238	1240	1309	306	1563	1676
PQm 65	PQ 65	216	1484	1407	270	1790	1752
PQm 65-Bs	PQ 65-Bs	216	1484	1471	243	1625	1531
PQm 70	PQ 70	102	1280	1013	170	2040	1673
PQm 80	PQ 80	102	1280	1013	170	2040	1673
PQm 81	PQ 81	216	1484	1450	270	1790	1806
PQm 81-Bs	PQ 81-Bs	216	1484	1428	270	1790	1779
PQm 90	PQ 90	102	1280	1034	170	2040	1707
PQm 100	PQ 100	72	1510	1040	96	1970	1380
PQm 200	PQ 200	72	1510	1120	96	1970	1480
-	PQ 300	72	1510	-	96	1970	1480

Fuente: (Pedrollo.S.p.A, 2021)

**Tabla 28.** Ficha técnica del Purificador HIDROTEK RO

PURIFICADOR HIDROTEK-RO	
Uso del agua	Para consumo humano
Cantidad Etapas de filtración	6 etapas
Etapas de filtración	Cartucho de polipropileno PP-10 Cartucho de carbón activado granular GAC-10 Cartucho de carbón activado en bloque CTO-10 Membrana de Osmosis Inversa MEM-050G Abrillantador T-33
Flujo	2,08 LPM
Presión mínima	10 PSI
Presión máxima	80 PSI
Temperatura máxima	44 °C
Potencia de la bomba	28,8 W
Número de membranas	1
Diámetro de conexión	0,25 pulgadas
Material	Plástico

Fuente: (Hidrotek, 2018)

➤ **Anexo 3.** Tablas de radiación solar y factores de corrección.

**Tabla 29.** Factores de corrección en función del ángulo de inclinación.

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA RADIACIÓN SOLAR LATITUD -4°													
Ángulo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.02	1.03	1.03	1.02	1.01	1	0.99	0.97	0.97	1
10	0.94	0.96	1	1.03	1.05	1.05	1.04	1.02	1	0.96	0.94	0.93	0.99
15	0.9	0.93	0.98	1.03	1.06	1.07	1.05	1.02	0.98	0.94	0.9	0.88	0.98
20	0.85	0.9	0.96	1.03	1.07	1.08	1.06	1.02	0.97	0.9	0.85	0.83	0.96
25	0.8	0.86	0.94	1.02	1.07	1.08	1.05	1.01	0.94	0.86	0.8	0.77	0.93
30	0.74	0.81	0.91	1	1.06	1.07	1.05	0.99	0.91	0.82	0.74	0.71	0.9
35	0.67	0.76	0.87	0.98	1.05	1.06	1.03	0.97	0.87	0.77	0.68	0.64	0.86
40	0.6	0.7	0.82	0.95	1.03	1.04	1.01	0.94	0.83	0.71	0.61	0.57	0.82
45	0.53	0.64	0.77	0.91	1	1.02	0.98	0.9	0.78	0.65	0.54	0.5	0.77

Fuente: (Hidrotek, 2018)

**Tabla 30.** Valores de radiación solar corregidos en función de la inclinación del panel.

LATITUD -4.01, LONGITUD -79.76 // 1127 MSNM.														
VALORES METEOROLÓGICOS MENSUALES														
MES ÁNGULO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
0°	5.50	4.75	5.19	5.22	5.46	5.32	5.80	6.23	6.41	6.32	6.12	5.50	5.66	kWh/m²/día
5°	5.34	4.66	5.19	5.32	5.62	5.48	5.92	6.29	6.41	6.26	5.94	5.34	5.66	
10°	5.17	4.56	5.19	5.38	5.73	5.59	6.03	6.35	6.41	6.07	5.75	5.12	5.60	
15°	4.95	4.42	5.09	5.38	5.79	5.69	6.09	6.35	6.28	5.94	5.51	4.84	5.55	
20°	4.68	4.28	4.98	5.38	5.84	5.75	6.15	6.35	6.22	5.69	5.20	4.57	5.43	
25°	4.40	4.09	4.88	5.32	5.84	5.75	6.09	6.29	6.03	5.44	4.90	4.24	5.26	
30°	4.07	3.85	4.72	5.22	5.79	5.69	6.09	6.17	5.83	5.18	4.53	3.91	5.09	
35°	3.69	3.61	4.52	5.12	5.73	5.64	5.97	6.04	5.58	4.87	4.16	3.52	4.87	
40°	3.30	3.33	4.26	4.96	5.62	5.53	5.86	5.86	5.32	4.49	3.73	3.14	4.64	
45°	2.92	3.04	4.00	4.75	5.46	5.43	5.68	5.61	5.00	4.11	3.30	2.75	4.36	
T. Ambiente	21.30	21.10	21.70	22.80	22.10	21.40	22.00	22.20	22.40	21.30	22.60	21.60	21.90	°C

Fuente:(Fuente)

**Tabla 31.** Características técnicas de los conductores AWG.

CARACTERÍSTICAS DEL CABLE				
N. AWG	Sección mm <sup>2</sup>	Ø mm	Resistencia Ω/km	l
1	42,4	7,35	0,47	110
2	33,6	6,54	0,57	95
3	26,7	5,83	0,71	85
4	21,2	5,19	0,91	70
6	13,3	4,11	1,44	55
8	8,34	3,26	2,36	40
10	5,26	2,59	3,64	30
12	3,31	2,05	5,41	20
14	2,08	1,63	8,79	15

Fuente: (Electrocables, 2022)

- 
- **Anexo 4.** Muestras de agua para realizar análisis, físico, químico y microbiológico.



**Figura 58.** Tres tipos de envases para tomar muestras y realizar el análisis del agua.



Fuente: (Autor)



**Figura 59.** Contenedores para transportar los recipientes de las muestras de agua.

Fuente: (Autor)

➤ **Anexo 5.** Resultados de los análisis de agua antes de ser tratada.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b> <b>REGISTRO DE INFORME DE RESULTADOS</b> LABORATORIOS UTPL		 SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO Acreditación N° SAE LEN 12-005 LABORATORIO DE ENSAYOS			
CODIGO: R.7.8.2 VERSION: 5 FECHA: 2022-09-20 ELABORADO POR: Diego Maza Estrada REVISADO Y APROBADO POR: Diana Ines Hualpa					
<b>Informe de Resultados Nro:</b>		<b>2206171855</b>			
Solicitud Nro:	617	Fecha del Informe: 2022-11-02			
Sitio de análisis:	Laboratorios UTPL	Dirección: San Cayetano Alto s/n, Loja, Ecuador			
<b>Información Proporcionada por el Cliente:</b>					
Cliente:	Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza	Muestreador: Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza			
Dirección:	Av. Pio Jaramillo y Reinaldo Espinoza	Descripción: Agua Potable			
Teléfono:	0994895 140	Identificación: Catacocha Playas- No Potable			
Email:	<a href="mailto:jatandazoc@unl.edu.ec">jatandazoc@unl.edu.ec</a>	Fecha de muestreo: 2022-10-18			
<b>Información general de muestra recibida:</b>					
Fecha de recepción:	2022-10-18				
Condiciones de recepción:	Las muestras son transportadas bajo cadena de frío, llegan al laboratorio a temperatura de (3 a 7) C°				
<b>Resultados de análisis de muestra</b>					
Condiciones Ambientales durante el ensayo:		Temperatura (°C): 21.4 Humedad (%): 56			
Fecha de análisis		Ítem de ensayo	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Inicio	Fin				
2022-10-19	2022-10-19	pH	-	7.934	AOAC, 973.41
2022-10-19	2022-10-19	Turbidez	NTU	2.26	SM 2130 B
2022-10-19	2022-10-19	Color	UPTCo	2.17	SM 2120-C
2022-10-21	2022-10-21	Sulfatos	mg/l	<1	SM 4500-SO <sub>4</sub> -E
2022-10-19	2022-10-19	Nitratos	mg/l	<5	SM 4500-NO <sub>3</sub> -B
2022-10-19	2022-10-19	Dureza	mg/l	75.02	SM 2340-C
2022-10-31	2022-10-31	Cloruros	mg/l	8.89	SM 4500-Cl B
2022-10-25	2022-10-25	Sólidos totales disueltos *	mg/l	90.8	SM 2540-C.
2022-10-18	2022-10-18	Cloro libre residual *	mg/l	<0.01	SM 4500-Cl-G
2022-10-27	2022-10-27	Cianuros *	mg/l	<0.001	SM 4500-CN-E
2022-10-20	2022-10-20	Nitritos	mg/l	<0.05 (0.010)	SM 4500 NO <sub>2</sub> - B
2022-10-18	2022-10-19	Coliforme Totales *	NMP/100ml	501	ISO 9308-2:2012
2022-10-18	2022-10-19	Coliformes Fecales *	NMP/100ml	Ausencia	ISO 9308-2:2012
2022-10-18	2022-10-19	Aeróbicos Mesófilos *	UFC/1ml	18	SM 9215 A-
2022-10-21	2022-10-24	Hierro	mg/l	0.080	US EPA 3015; SM 3111 B
2022-10-21	2022-10-24	Cobre	mg/l	0.0731	US EPA 3015; SM 3111 B
2022-10-21	2022-10-28	Plomo	mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3111 B;
2022-10-21	2022-10-24	Manganeso	mg/l	<0.05 (0.0021)	US EPA 3015; SM 3111 B
2022-10-21	2022-10-31	Cadmio *	mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3113 B
2022-10-21	2022-10-26	Calcio *	mg/l	0.971	US EPA 3015; SM 3111 A
2022-10-21	2022-10-31	Cromo *	mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3113 B
2022-10-21	2022-10-26	Magnesio *	mg/l	0.554	US EPA 3015; SM 3111 A
2022-10-21	2022-11-01	Mercurio *	mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3112 A
<b>Glosario:</b>					
n/d: No disponible			NPM/100 ml: Número más probable de bacterias por 100 mililitros		
<: Menor al límite de detección			mg/l: miligramos por litro		
% Sat OD: Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto			IS: In Situ (En el sitio de muestreo)		
UPTCo: Unidades de Platino Cobalto			SM: siglas en inglés de Método Estándar		
NTU: Unidades nefelométricas de turbidez			AOAC: siglas en inglés de Asociación de Químicos Analíticos Oficiales		
uS/cm: microsiemens por centímetro					

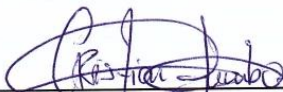
**Observaciones:**

- A) El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
  - B) Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
  - C) Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE validez de los resultados.
- expresado entre paréntesis (0,016) corresponde a la concentración del parámetro en su muestra.

**Información Técnica:**

Los métodos de análisis para la determinación de cada uno de los parámetros, se basan en:  
Edición 23th del Standar Methods, publicada en octubre de 2017.  
Edición 21th del AOAC - Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, publicada en 2019.

ELABORADO POR:



Ing. Cristian David Jumbo  
**Técnico Analista**



REVISADO Y APROBADO POR:



Mgr. Diego E. Maza Estrada  
**Líder Técnico**

----- Fin del Informe -----

➤ **Anexo 6.** Resultados de los análisis de agua luego de ser tratada.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b> <b>REGISTRO DE INFORME DE RESULTADOS</b>			
Laboratorios		LABORATORIOS UTPL		Acreditación N° SAE LEN 12-005 LABORATORIO DE ENSAYOS	
CODIGO: R.7.8.2 VERSION: 5 FECHA: 2022-09-20 ELABORADO POR: Diego Maza Estrada REVISADO Y APROBADO POR: Diana Ines Hualpa					
<b>Informe de Resultados Nro:</b>			<b>2206161854</b>		
Solicitud Nro: 616		Fecha del Informe: 2022-11-02			
Sitio de análisis: Laboratorios UTPL		Dirección: San Cayetano Alto s/n, Loja.Ecuador			
<b>Información Proporcionada por el Cliente:</b>					
Cliente: Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza		Muestreador: Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza			
Dirección: Av. Pio Jaramillo y Reinaldo Espinoza		Descripción: Agua Potable			
Teléfono: 0994895140		Identificación: Catacocha Playas- Potable			
Email: <a href="mailto:jatanjazoc@unl.edu.ec">jatanjazoc@unl.edu.ec</a>		Fecha de muestreo: 2022-10-18			
<b>Información general de muestra recibida:</b>					
Fecha de recepción: 2022-10-18					
Condiciones de recepción: Las muestras son transportadas bajo cadena de frío, llegan al laboratorio a temperatura de (3 a 7) C°					
<b>Resultados de análisis de muestra</b>					
Condiciones Ambientales durante el ensayo:			Temperatura (°C): 21.4	Humedad (%):	56
Fecha de análisis		Ítem de ensayo	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Inicio	Fin				
2022-10-19	2022-10-19	pH	-	6.735	AOAC, 973.41
2022-10-19	2022-10-19	Turbidez	NTU	1.01	SM 2130 B
2022-10-19	2022-10-19	Color	UPtCo	6.56	SM 2120-C
2022-10-21	2022-10-21	Sulfatos	mg/l	<1	SM 4500-SO <sub>4</sub> -E
2022-10-19	2022-10-19	Nitratos	mg/l	<5	SM 4500-NO <sub>3</sub> -B
2022-10-19	2022-10-19	Dureza	mg/l	<5 (0.51)	SM 2340-C
2022-10-31	2022-10-31	Cloruros	mg/l	7.02	SM 4500-Cl B
2022-10-25	2022-10-25	Sólidos totales disueltos	* mg/l	7.12	SM 2540-C.
2022-10-18	2022-10-18	Cloro libre residual	* mg/l	<0.01	SM 4500-Cl-G
2022-10-27	2022-10-27	Cianuros	* mg/l	<0.001	SM 4500-CN-E
2022-10-20	2022-10-20	Nitritos	mg/l	0.021	SM 4500 NO <sub>2</sub> - B
2022-10-18	2022-10-19	Coliforme Totales	* NMP/100ml	Ausencia	ISO 9308-2:2012
2022-10-18	2022-10-19	Coliformes Fecales	* NMP/100ml	Ausencia	ISO 9308-2:2012
2022-10-18	2022-10-19	Aeróbicos Mesófilos	* UFC/1ml	Ausencia	SM 9215 A
2022-10-21	2022-10-24	Hierro	mg/l	0.078	US EPA 3015; SM 3111 B
2022-10-21	2022-10-24	Cobre	mg/l	0.053	US EPA 3015; SM 3111 B
2022-10-21	2022-10-28	Plomo	mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3111 B;
2022-10-21	2022-10-24	Manganeso	mg/l	<0.05 (0.0012)	US EPA 3015; SM 3111 B
2022-10-21	2022-10-31	Cadmio	* mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3113 B
2022-10-21	2022-10-26	Calcio	* mg/l	0.451	US EPA 3015; SM 3111 A
2022-10-21	2022-10-31	Cromo	* mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3113 B
2022-10-21	2022-10-26	Magnesio	* mg/l	0.072	US EPA 3015; SM 3111 A
2022-10-21	2022-11-01	Mercurio	* mg/l	<0.001	US EPA 3015; SM 3112 A
<b>Glosario:</b>					
n/d: No disponible			NPM/100 ml: Número más probable de bacterias por 100 mililitros		
<: Menor al límite de detección			mg/l: miligramos por litro		
% Sat OD: Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto			IS: In Situ (En el sitio de muestreo)		
UPtCo: Unidades de Platino Cobalto			SM: siglas en inglés de Método Estándar		
NTU: Unidades nefelométricas de turbidez			AOAC: siglas en inglés de Asociación de Químicos Analíticos Oficiales		
uS/cm: microsiemens por centímetro					

**Observaciones:**

- A) El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
  - B) Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
  - C) Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE validez de los resultados.
- expresado entre paréntesis (0,016) corresponde a la concentración del parámetro en su muestra.

**Información Técnica:**

Los métodos de análisis para la determinación de cada uno de los parámetros, se basan en:  
Edición 23th del Standar Methods, publicada en octubre de 2017.  
Edición 21th del AOAC - Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, publicada en 2019.

ELABORADO POR:

  
Ing. Cristian David Jumbo  
Técnico Analista



REVISADO Y APROBADO POR:

  
Mgtr. Diego E. Maza Estrada  
Lider Técnico

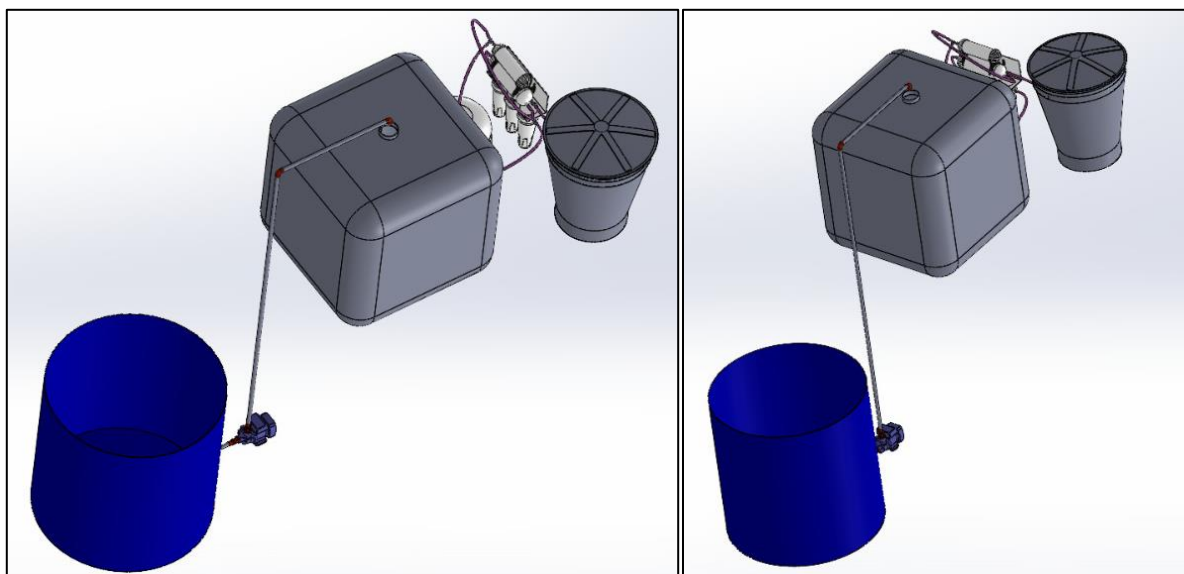
----- Fin del Informe -----

➤ **Anexo 7. Tipos de osmosis inversa**



**Figura 60.** Tipos de osmosis inversa  
**Fuente:** (Aquaprof, 2022)

➤ **Anexo 8. Modelado 3D del sistema completo**



**Figura 61.** Modelado 3D  
**Fuente:** El autor



➤ Anexo 9. Simulación en EPANET 2.0

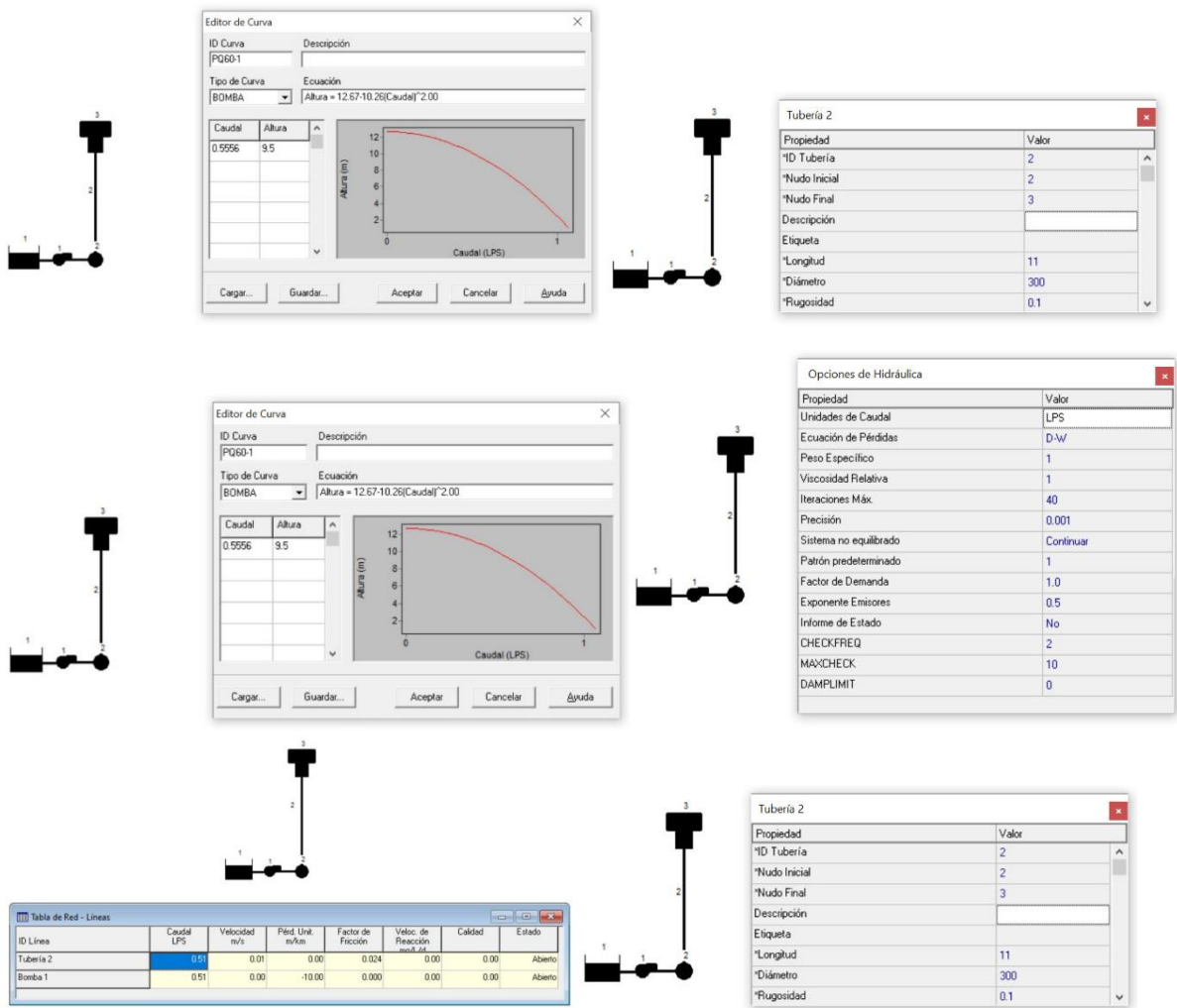



Figura 62. Resultados obtenidos de la simulación en EPANET  
Fuente: El autor

➤ Anexo 10. Cálculo del sistema fotovoltaico



## SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

CÁLCULO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

---

### Ubicación geográfica

Proyectista: Jonathan Tandazo C.  
 Provincia: Loja  
 Cantón: Paltas  
 Parroquia: Guachanamá

### Datos

Ángulo de inclinación: 15°  
 Radiación: 4.9 kWh/m2/día  
 Demanda: 271 Wh  
 Pérdidas: 22.71 %  
 Factor de sombreado: 0.9  
 Profundidad de descarga: 60 %  
 Factor de seguridad: 1.2  
 Voltaje del sistema: 12V  
 Tipo de conexión: Paralelo

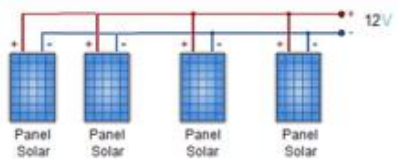
### Cálculos

HPS: 4.41 h  
 Consumo máx diario: 420.79 kWh  
 Consumo máx diario: 35.07 Ah  
 BOS: 77.28 %  
 Área de emplazamiento: 1.37 m2  
 Potencia instalada: 0.22 kW

### Componentes

Paneles		Baterías	
Tipo:	Monocristalino	Capacidad:	100 Ah
Potencia:	110 Wp	Cantidad:	2 Unid.
Cantidad:	4 Unid.	Voltaje:	12 V
Corriente Isc:	6.15 A	Peso:	16 Kg
Voltaje:	12V	Ciclos 30%:	7000
Id Panel:	EGE-105-110M	Ciclos 50%:	5000
Ancho:	670 mm	Ciclos 100%:	3000
Largo:	1020 mm	Tecnología:	LITIO
Rendimiento:	16.1 %	Id Batería:	6-GFM(G)-10
Inversor		Regulador	
Potencia:	500 W	Corriente Isc:	20 A
Frecuencia:	50/60 Hz	Voltaje:	12 V
Voltaje:	12 V	Tipo:	PWM
Voltaje salida:	115 V	Id Regulador:	SS-20L-12
TDH:	3 %	Unidades:	1 Unid.
Tipo:	Monofásico		
Id Inversor:	TW500-12		
Rendimiento:	90 %		
Unidades:	1 Unid.		


### Diagrama de conexión





El diagrama muestra cuatro paneles solares conectados en paralelo. Los polos positivos (+) de todos los paneles están conectados a un único bus conductor superior, y los polos negativos (-) están conectados a un único bus conductor inferior. Este bus inferior está conectado a un regulador de voltaje. El bus superior está etiquetado como 12V.


### Observaciones

El diseño del proyecto comprende la utilización de los componentes recomendados por el software, sin embargo, en caso de no existir disponibles en su proveedor es posible reemplazar por otros componentes siempre y cuando tengan características similares.

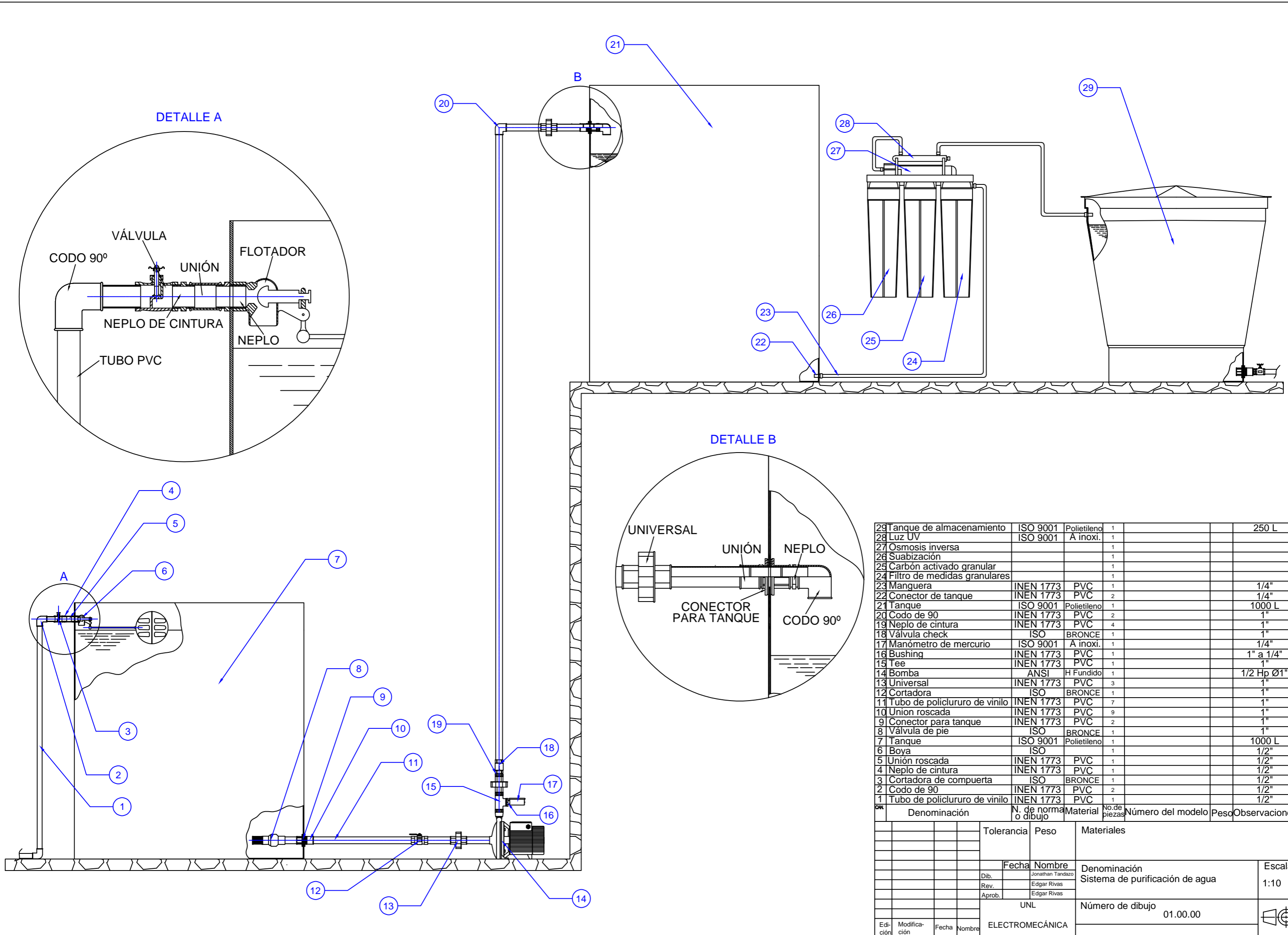
 cadelgadog@unl

 cadelgadog@

 0984176893

 Ciudadela Universitaria  
Guillermo Falconi

- **Anexo 11.** Planos del sistema potabilizador y diagramas del sistema fotovoltaico

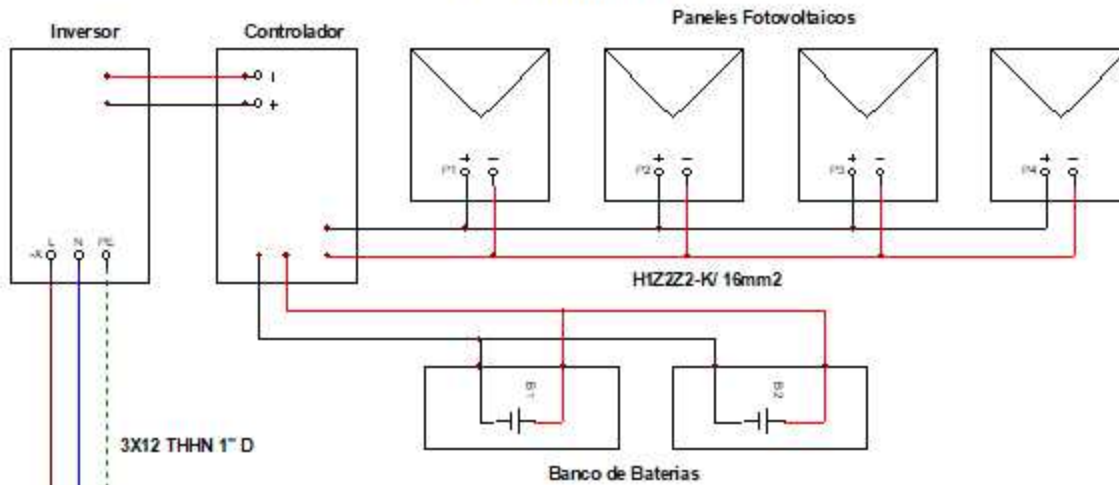


29	Tanque de almacenamiento	ISO 9001	Polietileno	1			250 L
28	Luz UV	ISO 9001	A inoxi.	1			
27	Osmosis inversa			1			
26	Suabización			1			
25	Carbón activado granular			1			
24	Filtro de medidas granulares			1			
23	Manguera	INEN 1773	PVC	1			1/4"
22	Conector de tanque	INEN 1773	PVC	2			1/4"
21	Tanque	ISO 9001	Polietileno	1			1000 L
20	Codo de 90	INEN 1773	PVC	2			1"
19	Neplo de cintura	INEN 1773	PVC	4			1"
18	Válvula check	ISO	BRONCE	1			1"
17	Manómetro de mercurio	ISO 9001	A inoxi.	1			1/4"
16	Bushing	INEN 1773	PVC	1			1" a 1/4"
15	Tee	INEN 1773	PVC	1			1"
14	Bomba	ANSI	H Fundido	1			1/2 Hp Ø1"
13	Universal	INEN 1773	PVC	3			1"
12	Cortadora	ISO	BRONCE	1			1"
11	Tubo de policlururo de vinilo	INEN 1773	PVC	7			1"
10	Union roscada	INEN 1773	PVC	9			1"
9	Conector para tanque	INEN 1773	PVC	2			1"
8	Válvula de pie	ISO	BRONCE	1			1"
7	Tanque	ISO 9001	Polietileno	1			1000 L
6	Boya	ISO		1			1/2"
5	Unión roscada	INEN 1773	PVC	1			1/2"
4	Neplo de cintura	INEN 1773	PVC	1			1/2"
3	Cortadora de compuerta	ISO	BRONCE	1			1/2"
2	Codo de 90	INEN 1773	PVC	2			1/2"
1	Tubo de policlururo de vinilo	INEN 1773	PVC	1			1/2"

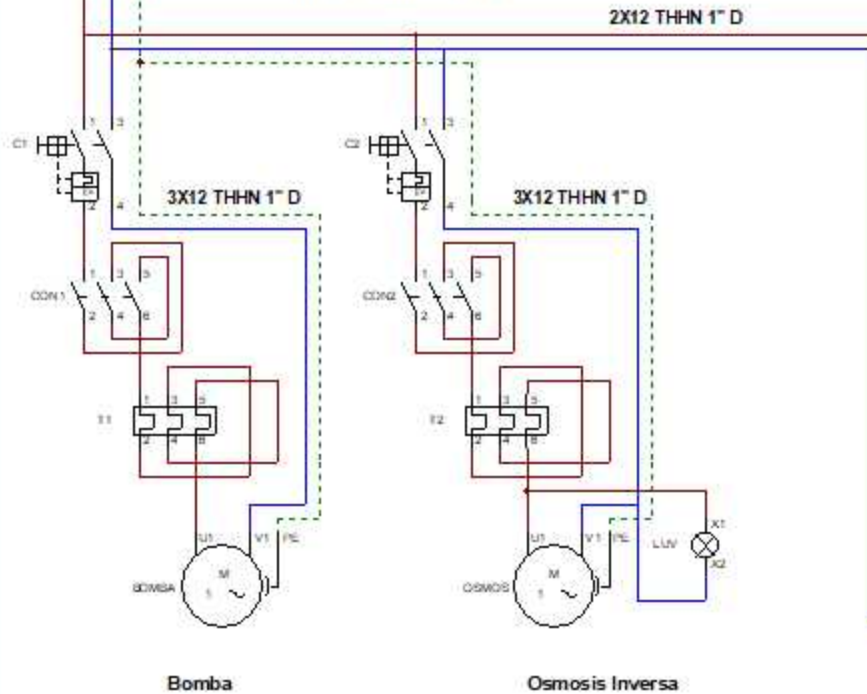
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Tolerancia	Peso	Materiales	Denominación	Escala
							Sistema de purificación de agua	1:10
							Número de dibujo	
							01.00.00	
							ELECTROMECAÁNICA	



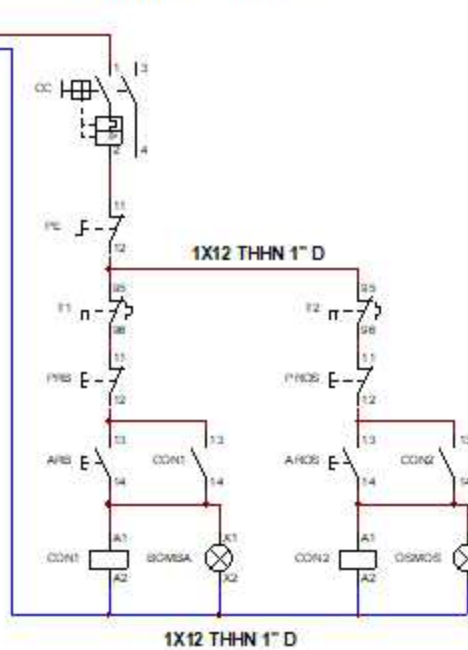
## SISTEMA FOTOVOLTAICO



### CIRCUITO DE FUERZA



### CIRCUITO DE CONTROL



## SMBOLOGÍA

	Baterías 12 V
	Paneles Fotovoltaicos 110Wp
	Pulsador Normalmente abierto
	Pulsador normalmente cerrado
	Disyuntor: - C1: 5 A - C2: 5 A
	Relé Térmico Trifásico
	Luz piloto y luz ultravioleta
	Contactores Trifásicos: - COM1: 5 A - COM2: 5 A
	Motores Monofásicos 120 V

➤ **Anexo 12. Informe de simulación**

**INFORME DE PVSYST**

# PVsyst - Informe de simulación

## Sistema independiente

Proyecto: Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del so

Variante: Nueva variante de simulación

Sistema independiente con baterías

Potencia del sistema: 220 Wp

Zapotepamba - Ecuador

Autor(a)





# Proyecto: Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del sol

Variante: Nueva variante de simulación

## PVsyst V7.3.1

VCO, Fecha de simulación:  
27/01/23 12:44  
con v7.3.1

### Resumen del proyecto

Sitio geográfico	Situación	Configuración del proyecto
Zapotepamba	Latitud -4.05 °S	Albedo 0.20
Ecuador	Longitud -79.79 °W	
	Altitud 988 m	
	Zona horaria UTC-5	
<b>Datos meteo</b>		
Zapotepamba		
Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético		

### Resumen del sistema

Sistema independiente	Sistema independiente con baterías
<b>Orientación campo FV</b>	<b>Necesidades del usuario</b>
Plano fijo	Consumidores domésticos diarios
Inclinación/Azimut 15 / 0 °	Constante durante el año
	Promedio 0.3 kWh/Día
<b>Información del sistema</b>	<b>Paquete de baterías</b>
<b>Generador FV</b>	Tecnología Plomo-ácido, sellado, Gel
Núm. de módulos 4 unidades	Núm. de unidades 2 unidades
Pnom total 440 Wp	Voltaje 12 V
	Capacidad 320 Ah

### Resumen de resultados

Energía disponible 333.8 kWh/año	Producción específica 1517 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR 19.80 %
Energía usada 99.1 kWh/año		Fracción solar (SF) 100.00 %

### Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema.	3
Necesidades detalladas del usuario	4
Resultados principales	5
Diagrama de pérdida	6
Gráficos predefinidos	7



# Proyecto: Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del sol

Variante: Nueva variante de simulación

## PVsyst V7.3.1

VC0, Fecha de simulación:  
27/01/23 12:44  
con v7.3.1

### Parámetros generales

<b>Sistema independiente</b>		<b>Sistema independiente con baterías</b>	
<b>Orientación campo FV</b>		<b>Configuración de cobertizos</b>	
<b>Orientación</b>		Sin escena 3D definida	
Plano fijo		<b>Modelos usados</b>	
Inclinación/Azimut	15 / 0 °	Transposición	Perez
		Difuso	Perez, Meteonorm
		Circunsolar	separado
<b>Necesidades del usuario</b>			
Consumidores domésticos diarios			
Constante durante el año			
Promedio	0.3 kWh/Día		

### Características del generador FV

<b>Módulo FV</b>		<b>Batería</b>	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	DKP110/17	Modelo	Solar 12V / 160 Ah
(Base de datos PVsyst original)		Tecnología	Plomo-ácido, sellado, Gel
Unidad Nom. Potencia	110 Wp	Núm. de unidades	2 en paralelo
Número de módulos FV	4 unidades	Descarga mín. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	440 Wp	Energía almacenada	3.1 kWh
Módulos	En series	<b>Características del paquete de baterías</b>	
<b>En cond. de funcionam. (50°C)</b>		Voltaje	12 V
Pmpp	197 Wp	Capacidad nominal	320 Ah (C10)
U mpp	15 V	Temperatura	Fijo 25 °C
I mpp	13 A	<b>Control de gestión de la batería</b>	
<b>Controlador</b>		Comandos de umbral como	Cálculo SOC
Controlador universal		Cargando	SOC = 0.90 / 0.75
Tecnología	Series	aprox.	13.1 / 12.4 V
Coef. temp.	-5.0 mV/°C/Elem.	Descarga	SOC = 0.20 / 0.45
		aprox.	11.6 / 12.1 V
<b>Potencia FV total</b>			
Nominal (STC)	0.220 kWp		
Total	2 módulos		
Área del módulo	2.0 m <sup>2</sup>		

### Pérdidas del conjunto

<b>Pérdidas de suciedad del conjunto</b>		<b>Factor de pérdida térmica</b>		<b>Pérdidas de cableado CC</b>	
Frac. de pérdida	3.0 %	Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	20 mΩ
		Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Frac. de pérdida	1.5 % en STC
		Uv (viento)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s	<b>Pérdidas de desajuste de módulo</b>	
<b>Pérdida diodos serie</b>		<b>Pérdida de calidad módulo</b>		Frac. de pérdida (Voltaje fijo)	2.5 %
Caída de tensión	0.7 V	Frac. de pérdida	1.5 %		
Frac. de pérdida	4.1 % en STC	<b>Factor de pérdida IAM</b>			
<b>Pérdidas de desajuste de cadenas</b>		Parametriz. ASHRAE: IAM = 1 - bo (1/cosi -1)			
Frac. de pérdida	0.1 %	Parám. bo	0.05		



# Proyecto: Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del sol

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.3.1

VC0, Fecha de simulación:  
27/01/23 12:44  
con v7.3.1

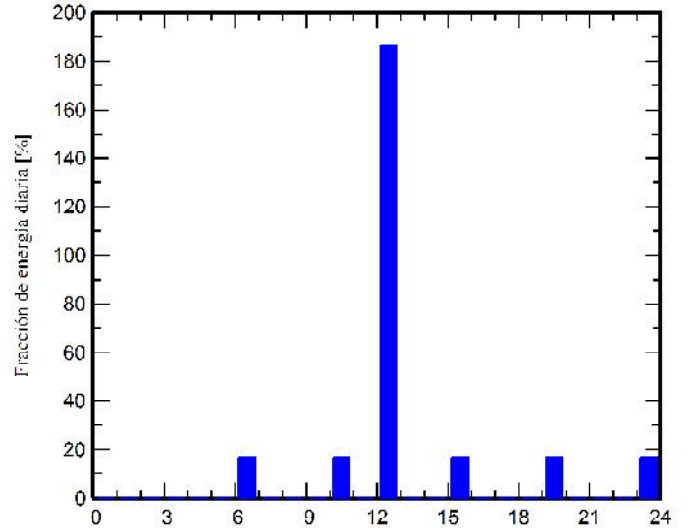
## Necesidades detalladas del usuario

Consumidores domésticos diarios, Constante durante el año, promedio = 0.3 kWh/día

### Valores anuales

	Núm.	Potencia W	Uso Hora/día	Energía Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	1	6/lámpara	2.5	15
Otros usos	1	373 tot	0.5	187
Otros usos	1	28 tot	2.5	70
Energía diaria total				272

### Distribución por hora





# Proyecto: Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del sol

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.3.1

VCO, Fecha de simulación:  
27/01/23 12:44  
con v7.3.1

## Resultados principales

### Producción del sistema

Energía disponible 333.84 kWh/año  
Energía usada 99.10 kWh/año  
Exceso (sin usar) 229.22 kWh/año

Proporción de rendimiento (PR) 19.80 %  
Fracción solar (SF) 100.00 %

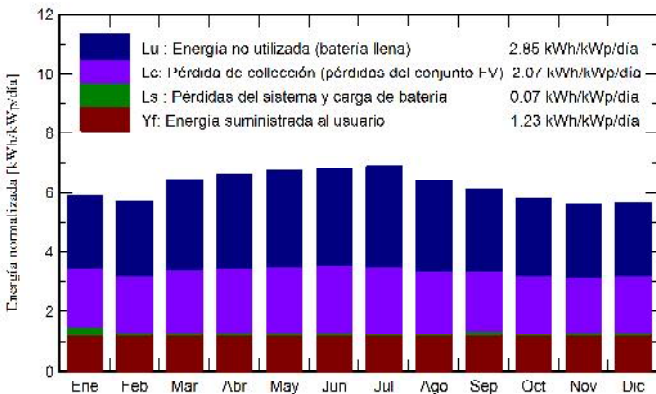
### Pérdida de carga

Fracción de tiempo 0.0 %  
Energía faltante 0.00 kWh/año

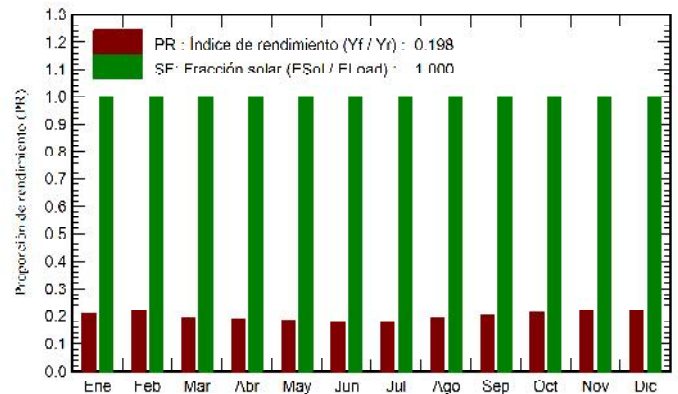
### Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)

Ciclos SOW 98.6 %  
SOW estático 90.0 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



## Balances y resultados principales

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SoIFrac
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	proporción
Enero	206.3	170.5	26.51	16.51	0.000	8.416	8.416	1.000
Febrero	171.7	150.1	23.38	15.47	0.000	7.602	7.602	1.000
Marzo	201.7	188.2	29.17	20.38	0.000	8.416	8.416	1.000
Abril	189.3	187.0	28.98	20.50	0.000	8.145	8.145	1.000
Mayo	189.7	198.6	30.85	22.08	0.000	8.416	8.416	1.000
Junio	181.2	194.7	30.33	21.64	0.000	8.145	8.145	1.000
Julio	190.4	202.8	31.62	23.06	0.000	8.416	8.416	1.000
Agosto	184.9	187.9	29.25	20.59	0.000	8.416	8.416	1.000
Septiembre	181.6	173.8	27.07	18.22	0.000	8.145	8.145	1.000
Octubre	190.1	169.9	26.50	17.90	0.000	8.416	8.416	1.000
Noviembre	188.0	157.4	24.56	16.03	0.000	8.145	8.145	1.000
Diciembre	200.7	164.2	25.61	16.85	0.000	8.416	8.416	1.000
<b>Año</b>	<b>2275.4</b>	<b>2145.2</b>	<b>333.84</b>	<b>229.22</b>	<b>0.000</b>	<b>99.097</b>	<b>99.097</b>	<b>1.000</b>

### Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E_Load	Necesidad energética del usuario (Carga)
E_Avail	Energía solar disponible	SoIFrac	Fracción solar (EUtilizada / ECarga)
EUnused	Energía no utilizada (batería llena)		
E_Miss	Energía faltante		



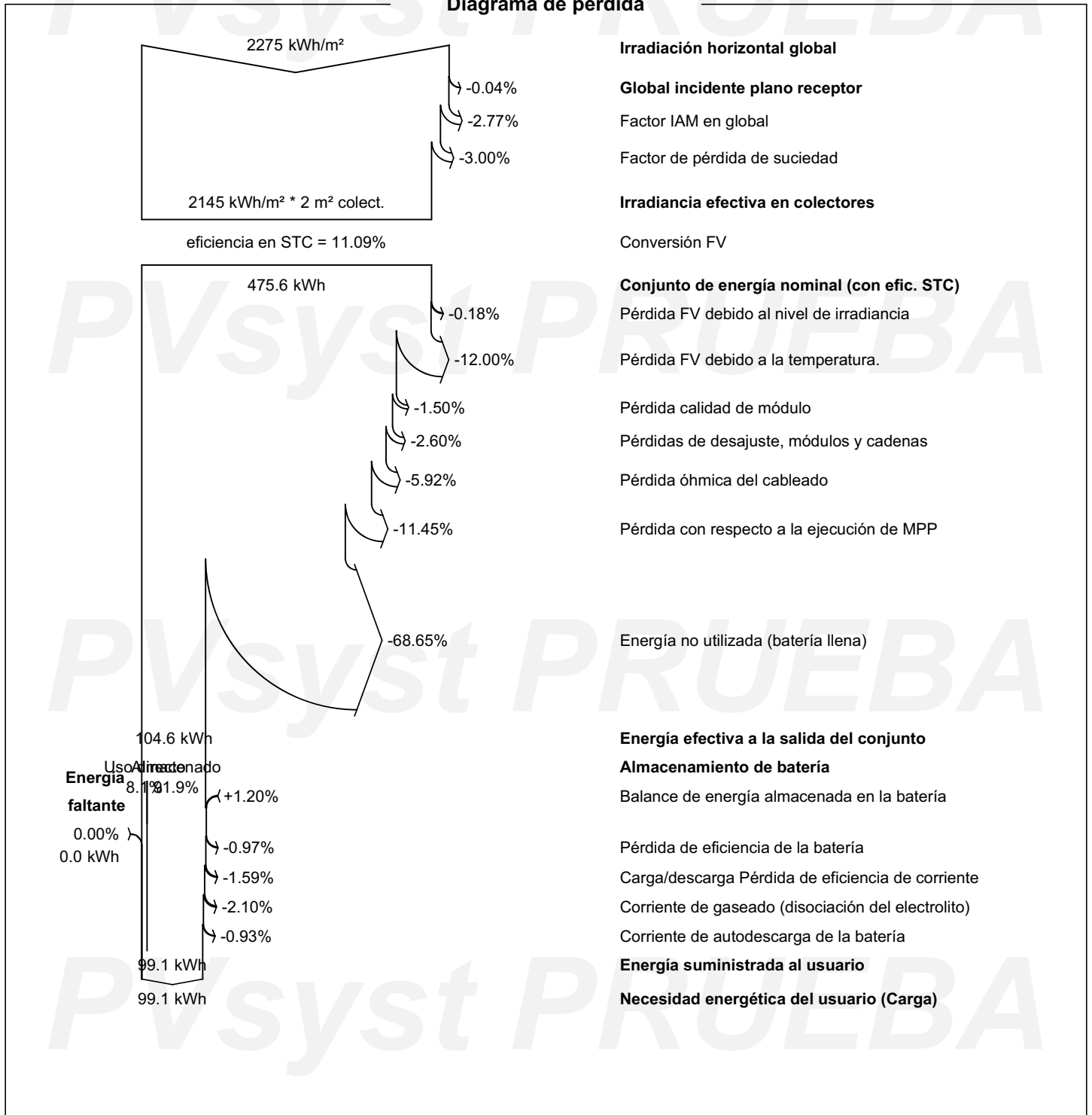
# Proyecto: Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua usando la energía del sol

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.3.1

VCO, Fecha de simulación:  
27/01/23 12:44  
con v7.3.1

## Diagrama de pérdida



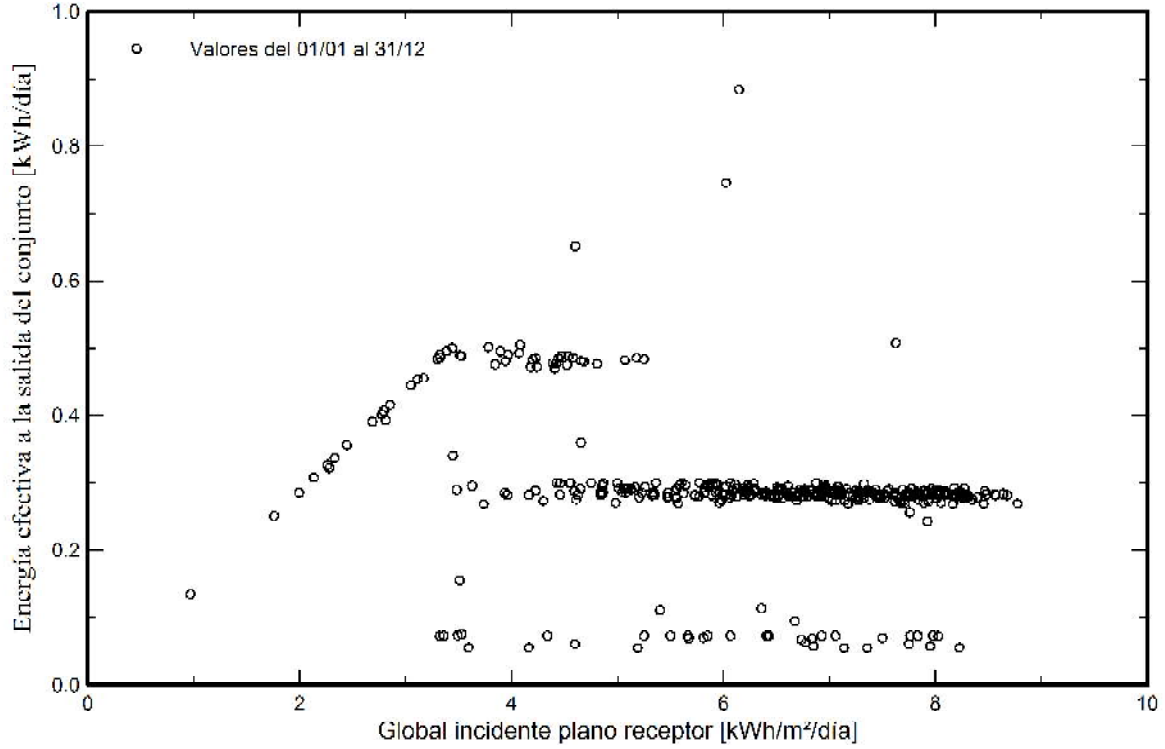


PVsyst V7.3.1

VC0, Fecha de simulación:  
27/01/23 12:44  
con v7.3.1

Gráficos predefinidos

Diagrama entrada/salida diaria



- **Anexo 13.** Certificado de traducción del resumen



# FINE-TUNED ENGLISH LANGUAGE INSTITUTE

*Líderes en la Enseñanza del Inglés*

Ing. María Belén Novillo Sánchez.

**ENGLISH TEACHER- FINE TUNED ENGLISH CIA LTDA.**

## **CERTIFICA:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del trabajo de integración curricular: **Diseño y construcción de un prototipo potabilizador de agua utilizando la energía del sol**, autoría del señor **Jonathan Alexander Tandazo Chicaiza** con número de cédula **1104681489**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 19 de noviembre del 2023



Ing. María Belén Novillo Sánchez.

**ENGLISH TEACHER- FINE TUNED ENGLISH CIA LTDA.**

Matriz - Loja: Macará 205-51 entre Rocafuerte y Miguel Riofrío - Teléfono: 072578899  
Zamora: García Moreno y Pasaje 12 de Febrero - Teléfono: 072608169  
Yantzaza: Jorge Mosquera y Luis Bastidas - Edificio Sindicato de Choferes - Teléfono: 072301329

**www.fte.edu.ec**