

**“AQUALAV SOLAR”**

**Sistema inteligente para el reciclaje de agua de lavadora para sanitarios sostenibles**

Cristian David Carmona Bartolo

Asesor

Jairo Luis Gutiérrez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuelas de Ciencias Básicas e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2026

## Dedicatoria

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, por su inmenso amor, por guiarme en cada paso del camino y por darme la fortaleza necesaria para no rendirme. Sin su presencia en mi vida, nada de esto habría sido posible.

A mi familia, por ser mi base, mi respaldo y mi refugio en todo momento. A mi madre, por ser ejemplo de entrega, esfuerzo y amor incondicional; por enseñarme desde pequeños valores que hoy son la guía de mi vida. A mi esposa, por su apoyo constante, por su compañía, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por animarme siempre a seguir adelante.

A mis hijos, quienes son mi mayor fuente de inspiración y motivación, el motor que me impulsa a superarme día tras día, y la razón más poderosa para construir un mejor futuro.

A la memoria de mi padre, que, aunque ya no está físicamente conmigo, sigue presente en mi corazón. Sus consejos, su ejemplo, su fuerza y los valores que me inculcó siguen marcando mi camino y motivándome a ser mejor cada día.

A mis hermanos, por ser personas nobles, solidarias y leales, con quienes siempre puedo contar, y por compartir conmigo tantos momentos que han forjado mi carácter.

Y a mi tío Jaime Carmona, quien ha sido una figura paternal, siempre pendiente de nosotros, brindándonos apoyo, afecto y sabias palabras en los momentos necesarios. Gracias por estar, por creer, y por ser ese ejemplo silencioso que deja huella.

## **Agradecimientos**

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por su amor infinito, por iluminar mi camino, darme sabiduría en los momentos de duda y fortaleza en los momentos difíciles. Su presencia ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por acompañarme en cada paso de este proceso y por ser mi motivación constante. Gracias por creer en mí, por sus palabras de aliento y por estar siempre presentes, incluso en los momentos más retadores.

Al profesor Jorge Arboleda, por su valiosa orientación y acompañamiento durante la realización de este proyecto. Su guía fue clave para transformar una idea en una propuesta concreta, funcional y significativa.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, por brindarme las herramientas académicas, el acompañamiento y el espacio para crecer profesionalmente. Gracias por abrirme las puertas para vivir experiencias que fortalecen no solo la formación técnica, sino también el compromiso social.

Un agradecimiento muy especial al profesor Frey Jaramillo, quien me brindó la oportunidad de presentar este proyecto en el Encuentro Regional y Departamental de Semilleros de Investigación, una experiencia enriquecedora que me permitió compartir, aprender y crecer junto a otros estudiantes. Valoro profundamente el respaldo de la universidad durante este proceso, así como el estímulo recibido para seguir creyendo en la investigación como motor de cambio.

Y al profesor Jairo Luis Gutiérrez, asesor de este proyecto, gracias por su dedicación, su esfuerzo constante y su compromiso. Su acompañamiento fue esencial para consolidar esta propuesta y llevarla a buen término.

A todos los que, de una u otra forma, contribuyeron a este logro, ¡gracias de corazón!

## Resumen

Este proyecto presenta el diseño e implementación de un sistema inteligente, alimentado por energía solar, para el reciclaje automatizado del agua residual generada por lavadoras. El propósito principal es mitigar el desperdicio de agua potable en los hogares, promoviendo prácticas sostenibles y reduciendo la carga sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La propuesta integra tecnologías de automatización, sensores, actuadores y un sistema de captación y almacenamiento, permitiendo redirigir el agua tratada hacia el tanque del sanitario de forma eficiente y sin intervención manual. La metodología incluye el diseño del sistema, selección de materiales, programación del control, pruebas experimentales y análisis de viabilidad técnica y económica. Se espera lograr una notable reducción en el consumo de agua y energía, así como facilitar la adopción de soluciones sostenibles en el entorno doméstico. Como parte de su impacto académico, el proyecto fue socializado en espacios de investigación regionales, fortaleciendo el vínculo entre tecnología, sostenibilidad y desarrollo comunitario.

**Palabras Clave:** Reciclaje de agua, energía solar, automatización doméstica, aguas grises, sostenibilidad, lavadora, sistema inteligente, Arduino, sensor ultrasónico, LCD, nivel de agua, Proteus.

## Abstract

This project presents the design and implementation of an intelligent system, powered by solar energy, for the automated recycling of wastewater generated by washing machines. The main objective is to reduce potable water waste in households by promoting sustainable practices and decreasing the burden on municipal wastewater treatment systems. The proposal integrates automation technologies, sensors, actuators, and a collection and storage system, allowing the treated water to be redirected to the toilet tank efficiently and without manual intervention. The methodology includes system design, material selection, control programming, experimental testing, and technical and economic feasibility analysis. The project aims to achieve a significant reduction in water and energy consumption while encouraging the adoption of sustainable solutions in the domestic environment. As part of its academic impact, the project was presented at regional research events, strengthening the connection between technology, sustainability, and community development.

**Keywords:** Water recycling, solar energy, home automation, greywater, sustainability, washing machine, smart system, Arduino, ultrasonic sensor, LCD, water level, Proteus.

## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 17 |
| Planteamiento del Problema.....   | 19 |
| Justificación.....  | 21 |
| Objetivos .....   | 22 |
| Objetivo General .....  | 22 |
| Objetivos Específicos .....   | 22 |
| Marco Teórico.....  | 23 |
| Importancia del Recurso Hídrico y la Escasez de Agua. ....  | 23 |
| Contexto Colombiano: Disponibilidad, Consumo Residencial y Necesidad de Uso Eficiente<br>.....    | 24 |
| Consumo de Agua en los Hogares: Patrones y Oportunidades de Ahorro. ....                          | 25 |
| Definición y Clasificación de Aguas Residuales Domésticas: Aguas Negras vs. Aguas Grises<br>..... | 26 |
| Características de las Aguas Grises de Lavandería (Lavadora).....                                 | 27 |
| Riesgos Sanitarios y Directrices para Reúso de Aguas Grises. ....                                 | 28 |
| Tecnologías de Tratamiento de Aguas Grises a Pequeña Escala.....                                  | 29 |
| Criterios Básicos de Diseño Hidráulico para Reúso en Sanitarios. ....                             | 30 |
| Marco Normativo y Lineamientos Técnicos en Colombia Relevantes al Reúso Domiciliario.<br>.....    | 31 |
| Energía Solar Fotovoltaica en Apoyo a Sistemas Descentralizados de Agua. ....                     | 32 |

|  |    |
|--|----|
| Automatización e IoT para Monitoreo de Nivel y Control de Bombeo. .... | 33 |
| Sostenibilidad, Economía Circular y Co-beneficios Ambientales.....     | 34 |
| Metodología .....  | 36 |
| Enfoque Metodológico .....   | 36 |
| Fase 1. Identificación del Problema y Cálculos Iniciales .....         | 36 |
| Fase 2. Selección de Materiales y Diseño del Sistema .....             | 37 |
| Descripción de Materiales. ....  | 40 |
| <i>Tanque de Almacenamiento Bajo de 250 litros:</i> .....              | 40 |
| <i>Panel Solar Fotovoltaico de 100 W</i> .....                         | 41 |
| <i>Controlador Solar de 30 A.</i> ....                                 | 43 |
| <i>Batería Solar 35 Ah.</i> .....                                      | 45 |
| <i>Arduino Uno.</i> .....  | 46 |
| <i>Sensor Ultrasónico HC-SR04.</i> .....                               | 48 |
| <i>Pantalla LCD 16x4.</i> .....  | 49 |
| <i>Contactor.</i> .....  | 50 |
| <i>Filtros Artesanales.</i> ....                                       | 52 |
| <i>Pegante de PVC.</i> .....   | 55 |
| <i>Base para Panel Solar.</i> .....                                    | 56 |
| <i>Cable Solar.</i> .....  | 57 |
| <i>Cajas Eléctricas.</i> ....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| <i>Breaker DC 10 A</i> .....  | 58 |
| <i>Bomba Auxiliar</i> .....   | 59 |
| <i>Cables Adicionales</i> .....   | 60 |
| <i>Válvulas</i> .....   | 61 |
| Herramientas Utilizadas.....  | 61 |
| Fase 3. Diseño del Sistema y Simulación del Circuito .....                    | 63 |
| Explicación Técnica de los Subsistemas .....                                  | 64 |
| <i>Subsistema Hidráulico</i> .....  | 64 |
| <i>Subsistema Eléctrico</i> .....   | 65 |
| <i>Subsistema de Control</i> .....  | 65 |
| Fase 4. Implementación del Subsistema Hidráulico.....                         | 65 |
| <i>Componente Principales</i> .....   | 66 |
| <i>Proceso de Instalación</i> .....   | 67 |
| <i>Justificación Técnica del Diseño Hidráulico</i> .....                      | 73 |
| Fase 5. Implementación del Subsistema Eléctrico y Dimensionamiento Solar..... | 73 |
| <i>Radiación solar local y Horas Pico Solares (HSP)</i> .....                 | 74 |
| <i>Perfil de Operación</i> .....  | 77 |
| <i>Cálculo de Consumo Diario</i> .....  | 77 |
| <i>Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico</i> .....                        | 78 |
| <i>Dimensionamiento de la Batería</i> .....                                   | 80 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Cálculo del Controlador de Carga Solar</i> .....          | 81  |
| <i>Proceso de Instalación del Subsistema Eléctrico</i> ..... | 83  |
| <i>Subsistema Electrónico y de Control</i> .....             | 88  |
| <i>Arquitectura del Sistema</i> .....                        | 88  |
| <i>Diagrama de Conexiones</i> .....                          | 89  |
| <i>Programación del Arduino UNO</i> .....                    | 91  |
| <i>Alimentación y Consumo Eléctrico</i> .....                | 91  |
| <i>Código del Sistema</i> .....                              | 92  |
| <i>Simulación en PROTEUS</i> .....                           | 95  |
| <i>Componentes Utilizados</i> .....                          | 96  |
| <i>Proceso de Carga del Programa</i> .....                   | 97  |
| <i>Funcionamiento del Sistema</i> .....                      | 98  |
| <i>Proceso de instalación y pruebas</i> .....                | 102 |
| <b>Plan de Mantenimiento del Sistema</b> .....               | 109 |
| <i>Mantenimiento del Subsistema Hidráulico</i> .....         | 109 |
| <i>Mantenimiento del Subsistema Eléctrico</i> .....          | 109 |
| <i>Mantenimiento del Subsistema de Control</i> .....         | 110 |
| <i>Cronograma de Mantenimiento</i> .....                     | 110 |
| <i>Beneficios del Mantenimiento</i> .....                    | 114 |
| <b>Resultados y Discusión</b> .....                          | 115 |

|   |     |
|---|-----|
| Comportamiento Semanal del Nivel del Tanque.....          | 117 |
| Desempeño Energético en el Mes.....                       | 119 |
| Validación del Sensor de Nivel. ....                      | 122 |
| Ahorro Mensual de Agua Potable y Análisis de Impacto..... | 124 |
| Conclusiones .....  | 130 |
| Referencias Bibliográficas.....                           | 133 |

**Lista de Tablas**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Comparación Consumo vs Agua Reutilizada.</i> .....                           | 37  |
| <b>Tabla 2</b> <i>Materiales y Costos Estimados</i> .....                                      | 38  |
| <b>Tabla 3</b> <i>Herramientas Utilizadas</i> .....  | 62  |
| <b>Tabla 4</b> <i>Consumo Eléctrico Estimado del Sistema (Modo Diurno).</i> .....              | 77  |
| <b>Tabla 5</b> <i>Consumo Eléctrico.</i> .....   | 92  |
| <b>Tabla 6</b> <i>Cronograma de Mantenimiento del Sistema de Reutilización de Agua</i> .....   | 111 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Balance Mensual de Agua Recuperada y Demanda de Descarga Sanitaria</i> ..... | 115 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Comportamiento Semanal del Nivel del Tanque (Mes de Seguimiento)</i> .....   | 117 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Comparación de Nivel Medido por Sensor y Medición Manual</i> .....           | 123 |

## Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Escasez de Agua</i> .....  | 23 |
| <b>Figura 2</b> <i>Consumo de Agua Residencial</i> .....                                | 25 |
| <b>Figura 3</b> <i>Consejos para Ahorrar Agua en el Hogar</i> .....                     | 26 |
| <b>Figura 4</b> <i>Aguas Residuales Servidas y Grises: Clasificación General.</i> ..... | 27 |
| <b>Figura 5</b> <i>Tratamiento de Aguas Grises para Reúso Doméstico.</i> .....          | 30 |
| <b>Figura 6</b> <i>Diagrama de un Circuito Fotovoltaico Básico.</i> .....               | 33 |
| <b>Figura 7</b> <i>Factores ESG y su Relación con La Economía Circular.</i> .....       | 35 |
| <b>Figura 8</b> <i>Tanque Bajito de 250 Lt</i> .....                                    | 41 |
| <b>Figura 9</b> <i>Ficha Técnica</i> .....  | 42 |
| <b>Figura 10</b> <i>Panel Solar 100 W</i> .....   | 43 |
| <b>Figura 11</b> <i>Controlador de Corriente</i> .....                                  | 44 |
| <b>Figura 12</b> <i>Batería Solar de 35 Ah</i> .....                                    | 46 |
| <b>Figura 13</b> <i>Arduino UNO</i> .....   | 47 |
| <b>Figura 14</b> <i>Sensor Ultrasonico HC-SR04</i> .....                                | 49 |
| <b>Figura 15</b> <i>Pantalla LCD 16x4</i> .....   | 50 |
| <b>Figura 16</b> <i>Contactador</i> .....   | 51 |
| <b>Figura 17</b> <i>Tubería PVC 3/4</i> .....   | 52 |
| <b>Figura 18</b> <i>Filtro de Lanas</i> .....   | 53 |
| <b>Figura 19</b> <i>Filtro Aclarador de Agua</i> .....                                  | 54 |
| <b>Figura 20</b> <i>Construcción Filtro Aclarador de Agua.</i> .....                    | 55 |
| <b>Figura 21</b> <i>Pegante para PVC</i> .....  | 56 |
| <b>Figura 22</b> <i>Base para Panel Solar</i> .....                                     | 56 |
| <b>Figura 23</b> <i>Cable Solar</i> .....   | 57 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 24</b> <i>Caja Eléctrica</i> .....  | 58 |
| <b>Figura 25</b> <i>Breaker DC 10 A</i> .....   | 59 |
| <b>Figura 26</b> <i>Bomba Auxiliar de Segunda Mano</i> .....  | 60 |
| <b>Figura 27</b> <i>Cables para Arduino</i> .....   | 61 |
| <b>Figura 28</b> <i>Válvula de Bola Plástica</i> .....  | 61 |
| <b>Figura 29</b> <i>Diagrama General del Sistema</i> .....  | 64 |
| <b>Figura 30</b> <i>Diagrama de Flujo del Subsistema Hidráulico</i> .....   | 67 |
| <b>Figura 31</b> <i>Adaptación Manguera de Lavadora con Filtro</i> .....  | 68 |
| <b>Figura 32</b> <i>Lavadora</i> .....  | 68 |
| <b>Figura 33</b> <i>Bomba Auxiliar</i> .....  | 69 |
| <b>Figura 34</b> <i>Conexión de Manguera de Lavadora con Bomba Auxiliar</i> .....                                 | 69 |
| <b>Figura 35</b> <i>Tubería Agua de La Bomba Auxiliar Hacia el Tanque Elevado</i> .....                           | 70 |
| <b>Figura 36</b> <i>Ubicación Elevada del Tanque de Almacenamiento</i> .....                                      | 70 |
| <b>Figura 37</b> <i>Distribución del Tanque de Almacenamiento</i> .....   | 71 |
| <b>Figura 38</b> <i>Tubo del Tanque Hacia el Sanitario</i> .....  | 71 |
| <b>Figura 39</b> <i>Válvulas de Control de Agua Reciclada y Agua Potable</i> .....                                | 72 |
| <b>Figura 40</b> <i>Desfogue de Seguridad Tanque</i> .....  | 72 |
| <b>Figura 41</b> <i>Ubicación Geográfica y Parámetros De Entrada en PVGIS</i> .....                               | 75 |
| <b>Figura 42</b> <i>Estimaciones Mensuales de Irradiación Solar y Contorno del Horizonte (2005-2023)</i><br>..... | 75 |
| <b>Figura 43</b> <i>Datos Mensuales de Irradiación Solar para la Ubicación [4.832°N, -75.675°O]</i> .....         | 76 |
| <b>Figura 44</b> <i>Diagrama de Conexión</i> .....  | 82 |
| <b>Figura 45</b> <i>Panel Instalado</i> .....   | 83 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 46</b> <i>Soporte de Panel.</i> .....   | 84  |
| <b>Figura 47</b> <i>Conexión de Panel.</i> .....  | 84  |
| <b>Figura 48</b> <i>Conexión de Elementos de La Planta Solar</i> .....                              | 85  |
| <b>Figura 49</b> <i>Conexion de Bateria.</i> .....  | 86  |
| <b>Figura 50</b> <i>Puerto USB del Controlador.</i> .....   | 86  |
| <b>Figura 51</b> <i>Planta Solar Instalada</i> .....  | 87  |
| <b>Figura 52</b> <i>Imagen Panel Cargando Bateria</i> .....   | 87  |
| <b>Figura 53</b> <i>Voltaje del Controlador.</i> .....  | 88  |
| <b>Figura 54</b> <i>Diagrama de Flujo Del Sistema de Monitoreo de Nivel de Tanque</i> .....         | 89  |
| <b>Figura 55</b> <i>Circuito Hecho en Proteus</i> .....   | 90  |
| <b>Figura 56</b> <i>Código del Sistema En IDE.</i> .....  | 91  |
| <b>Figura 57</b> <i>Simulación Circuito en Proteus.</i> .....                                       | 97  |
| <b>Figura 58</b> <i>Carga del Código al Arduino UNO.</i> .....                                      | 98  |
| <b>Figura 59</b> <i>Sistema en Nivel (0%).</i> .....  | 100 |
| <b>Figura 60</b> <i>Sistema en Nivel (52%).</i> .....   | 100 |
| <b>Figura 61</b> <i>Sistema en Nivel (65%).</i> .....   | 100 |
| <b>Figura 62</b> <i>Sistema en Nivel (72%).</i> .....   | 101 |
| <b>Figura 63</b> <i>Cargue del Programa en IDE de Arduino.</i> .....                                | 102 |
| <b>Figura 64</b> <i>Arduino UNO Instalado.</i> .....  | 103 |
| <b>Figura 65</b> <i>Cableado del Arduino UNO hacia los Periféricos.</i> .....                       | 103 |
| <b>Figura 66</b> <i>Conexion del Arduino UNO por el Puerto USB del Controlador.</i> .....           | 104 |
| <b>Figura 67</b> <i>Protección en Acrílico del Sensor Ultrasonico</i> .....                         | 105 |
| <b>Figura 68</b> <i>Instalación de Sensor Ultrasonico a Tapa de Tanque de Almacenamiento.</i> ..... | 106 |

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Figura 69</b> <i>Instalación de Pantalla LCD y Módulo I2C.</i> .....                            | 107            |
| <b>Figura 70</b> <i>Pantalla LDC Instalada y Funcionando.</i> .....                                | 107            |
| <b>Figura 71</b> <i>Sistema de Control Funcionando.</i> .....                                      | 108            |
| <b>Figura 72</b> <i>Nivel de Tanque.</i> .....   | 119            |
| <b>Figura 73</b> <i>Nivel Tanque.</i> .....  | 119            |
| <b>Figura 74</b> <i>Rendimiento Energético según Condición Climática (Promedios del Mes) .....</i> | <b>¡Error!</b> |
| <b>Marcador no definido.</b>   |                |
| <b>Figura 75</b> <i>Carga Completa de La Batería</i> .....   | 122            |
| <b>Figura 76</b> <i>Recibo de Pago Serviciudad.</i> .....  | 125            |
| <b>Figura 77</b> <i>Historial de Metros Cúbicos.</i> .....   | 126            |
| <b>Figura 78</b> <i>Valores de Meses Anteriores</i> .....  | 127            |
| <b>Figura 79</b> <i>Grafico Costo Mensual.</i> .....   | 127            |
| <b>Figura 80</b> <i>Grafica de Ahorro de Metros Cúbicos.</i> .....                                 | 128            |

## Introducción

El agua es un recurso fundamental para la vida y el desarrollo de las sociedades, pero su disponibilidad se ve cada vez más comprometida por el crecimiento poblacional, el cambio climático y los hábitos poco sostenibles en el consumo doméstico. En este contexto, resulta imprescindible buscar soluciones que permitan optimizar su uso y fomentar una cultura de aprovechamiento responsable. Una de las situaciones más comunes en los hogares es el desperdicio del agua residual generada por las lavadoras, la cual suele ser descartada a pesar de tener un potencial reutilizable para fines no potables como la descarga del sanitario.

Aunque muchas personas reconocen la necesidad de cuidar el agua, son pocos los que implementan acciones concretas debido a factores como la incomodidad de los métodos manuales, la falta de conciencia práctica o la ausencia de tecnologías accesibles. Esto resalta la importancia de desarrollar sistemas automatizados que faciliten el ahorro de agua de manera eficiente, cómoda y ambientalmente responsable.

Este proyecto presenta el diseño e implementación de un sistema inteligente para el reciclaje del agua de lavadora, alimentado por energía solar, que permite su reutilización en el sanitario sin requerir intervención manual. La propuesta integra componentes de automatización, control y energía renovable, aportando una solución viable tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Además de responder a una necesidad ambiental urgente, esta iniciativa busca contribuir a la transformación de los hábitos domésticos mediante el uso de tecnologías sostenibles, en coherencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua limpia, la energía asequible y el consumo responsable. Así, el proyecto no solo propone una alternativa práctica para el ahorro de recursos, sino que también promueve un cambio de mentalidad hacia el cuidado

del medio ambiente desde el entorno más cercano el hogar.

## Planteamiento del Problema

En la sociedad actual, la gestión eficiente de los recursos naturales se ha convertido en una prioridad ineludible, especialmente frente al cambio climático, el crecimiento urbano y la creciente escasez de agua potable. Uno de los desafíos más críticos radica en el manejo del agua, recurso vital para la vida, cuyo uso inadecuado en actividades domésticas sigue siendo una práctica común y poco sostenible. Un caso representativo es el desperdicio de agua residual proveniente de las lavadoras, que generalmente se desecha sin ningún tipo de aprovechamiento.

Aunque muchas personas reconocen la importancia de ahorrar agua y sienten la necesidad de hacerlo, en la práctica se enfrentan a limitaciones cotidianas. Una de ellas es la incomodidad y el esfuerzo que implica recolectar manualmente el agua en baldes para reutilizarla, por ejemplo, en la descarga del sanitario. Esta tarea requiere tiempo, espacio y constancia, lo cual desmotiva su implementación. Como resultado, a pesar de la conciencia ambiental creciente, las acciones concretas en los hogares son escasas y poco sostenibles a largo plazo.

Esta situación no solo representa una pérdida de un recurso valioso, sino que también incrementa la carga sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales y eleva los costos asociados al consumo de servicios públicos. Además, se desaprovechan oportunidades para fomentar prácticas sostenibles mediante tecnologías accesibles.

En respuesta a esta problemática, y en alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables), se propone el diseño y la implementación de un sistema automatizado para el reciclaje de agua residual de lavadora, destinado al llenado del tanque del sanitario. Este sistema estará alimentado por energía solar, lo

que no solo reduce el impacto ambiental, sino que también elimina la necesidad de intervención manual, facilitando así el hábito del ahorro de agua en el hogar.

Por lo tanto, este proyecto busca ofrecer una solución práctica, sostenible y automatizada que responda a una necesidad ambiental, económica y social, al mismo tiempo que promueve un cambio cultural hacia la conservación del agua.

## **Justificación**

El uso eficiente del agua es una necesidad cada vez más urgente en un contexto global donde este recurso es limitado y su demanda sigue en aumento. En los hogares, una de las fuentes más desaprovechadas es el agua residual generada por la lavadora, la cual suele ser descartada directamente al desagüe, a pesar de que podría reutilizarse para fines no potables como la descarga del sanitario. A esto se suma que, aunque muchas personas desean ahorrar agua, el esfuerzo que implica hacerlo manualmente como llenar baldes y vaciarlos cada vez suele ser una barrera que desmotiva su aplicación diaria.

Frente a esta realidad, el proyecto plantea una solución práctica y automatizada que recolecta, filtra y reutiliza el agua de la lavadora sin necesidad de intervención manual. Al integrar tecnologías de automatización y energía solar, se logra un sistema inteligente que no solo facilita el ahorro, sino que también promueve una mayor conciencia ambiental en el entorno doméstico.

Este tipo de iniciativas contribuyen significativamente a mejorar la relación entre el ser humano y el uso de los recursos naturales, al fomentar un consumo más responsable y sostenible. Además, al estar alimentado por una fuente de energía limpia como la solar, el sistema minimiza su impacto ambiental, ayuda a reducir las emisiones y genera beneficios económicos a largo plazo mediante la disminución en el consumo de agua potable y energía convencional.

La implementación de este proyecto representa un paso concreto hacia una cultura del ahorro y el aprovechamiento de los recursos, haciendo uso de la tecnología para resolver problemas cotidianos de manera efectiva. Además, se alinea con propósitos globales como la conservación del agua, la promoción de energías renovables y la optimización del consumo en los hogares, aportando así a un modelo de vida más sostenible y responsable con el entorno.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema inteligente de reciclaje de agua de lavadora, alimentado por energía solar, para su reutilización en el sanitario.

### **Objetivos Específicos**

Diseñar el sistema de recolección, filtrado, almacenamiento y control, integrando sensores, actuadores y un sistema de alimentación solar.

Implementar físicamente el sistema en un entorno residencial, incluyendo el montaje de componentes hidráulicos, eléctricos y electrónicos.

Evaluar la eficiencia operativa y económica del sistema mediante pruebas experimentales, análisis de rendimiento y validación funcional.

## Marco Teórico

### Importancia del Recurso Hídrico y la Escasez de Agua

El agua dulce disponible para uso humano representa solo una fracción mínima del agua total del planeta; sin embargo, la demanda crece por aumento poblacional, urbanización y actividades económicas cada vez más intensivas en recursos. La escasez de agua se considera hoy un fenómeno tanto físico (limitaciones reales de oferta) como de gestión (infraestructura insuficiente, contaminación, distribución desigual). Diversos reportes de Naciones Unidas señalan que hasta la mitad de la población mundial experimenta escasez severa en al menos una parte del año, y que cerca del 10 % de la población vive ya en países con niveles altos o críticos de estrés hídrico. Estas tendencias se agravan con el cambio climático, que altera los regímenes de lluvia, incrementa la frecuencia de sequías y presiona ecosistemas fuente. En respuesta, la reutilización segura de aguas residuales y aguas grises aparece como un pilar dentro de los enfoques de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) para reducir la extracción de agua potable y balancear la demanda entre sectores. (UN-Water, 2024; UNESCO, 2024).

### Figura 1

#### *Escasez de Agua*



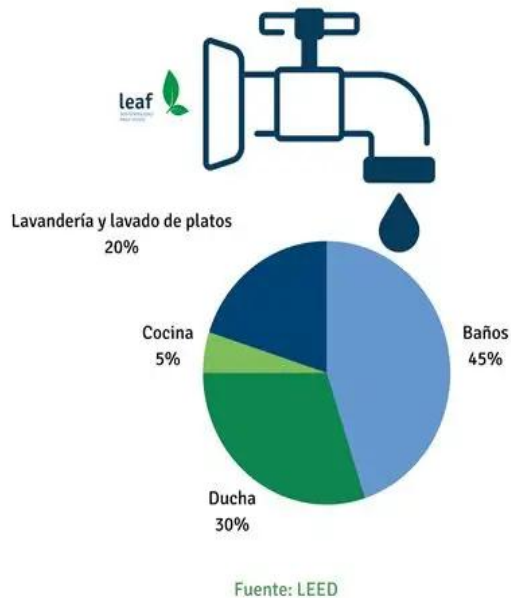
*Nota.* Adaptado de Instituto del Agua (s. f.).

## **Contexto Colombiano: Disponibilidad, Consumo Residencial y Necesidad de Uso Eficiente**

Colombia es un país de alta diversidad climática con abundantes recursos hídricos a escala nacional, pero con fuertes contrastes regionales en disponibilidad, calidad y presión de uso. Los análisis de la FAO (AQUASTAT) muestran que, aunque el país dispone de significativas fuentes superficiales, la distribución espacial y temporal de las lluvias genera zonas de estrés localizado y retos de gestión, particularmente en áreas urbanas en crecimiento y cuencas intervenidas. (FAO, 2015).

La importancia de gestionar mejor la demanda se evidencia en los datos sectoriales nacionales: la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios reportó que el consumo promedio residencial en Colombia fue de 12,7 m<sup>3</sup> por hogar al mes (vigencia 2021), con reducciones frente a años previos y diferencias notorias por estrato socioeconómico (estratos 1-3 consumen menos que 4-6). Estos datos respaldan la pertinencia de tecnologías de ahorro y reúso en el ámbito doméstico, especialmente en municipios intermedios como Dosquebradas, donde la presión sobre las fuentes abastecedoras (como el sistema asociado al río Otún) exige medidas preventivas. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD], 2023).

El fortalecimiento de la seguridad hídrica también figura en análisis macroeconómicos: el Banco Mundial ha destacado que el agua es un activo estratégico para la productividad, la resiliencia climática y la recuperación económica del país; recomienda inversiones en infraestructura, eficiencia en el uso y mecanismos descentralizados de aprovechamiento de recursos hídricos alternativos. (World Bank, 2020).

**Figura 2***Consumo de Agua Residencial*

*Nota.* LeafлатаM (s. f.).

### Consumo de Agua en los Hogares: Patrones y Oportunidades de Ahorro

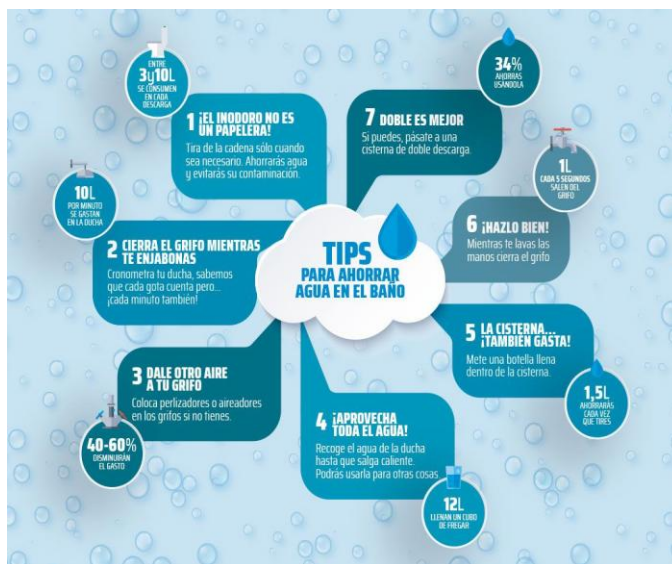
Estudios de uso final (“end uses”) han permitido desagregar cuánta agua se destina a sanitarios, duchas, lavado de ropa y otros usos. En análisis norteamericanos de referencia, el inodoro suele ser el mayor consumidor de agua interior (en torno a 20-27 % del uso inodoro), seguido por duchas, grifos y lavadoras, aunque la proporción exacta varía según eficiencia de artefactos y hábitos. (U.S. EPA, 2008; DeOreo et al., 2016).

Las mejoras tecnológicas han reducido los volúmenes unitarios: inodoros de alto consumo (anteriores a normativas de eficiencia) podían usar más de 13 L por descarga, mientras que modelos eficientes certificados (p. ej., WaterSense en EE. UU.) operan por debajo de ~4.8 L/descarga; de modo similar, lavadoras convencionales podían superar 190 L por ciclo, pero

equipos de alta eficiencia bajan sustancialmente ese valor. Si bien los datos provienen de mercados principales, sirven como rangos comparativos que ayudan a dimensionar el potencial de ahorro al incorporar reúso de agua de lavado en descargas de sanitarios. (U.S. EPA, 2008; DeOreo et al., 2016).

### Figura 3

#### *Consejos para Ahorrar Agua en el Hogar*



*Nota.* Adaptado de Fundación Canal (s. f.).

### **Definición y Clasificación de Aguas Residuales Domésticas: Aguas Negras vs. Aguas Grises**

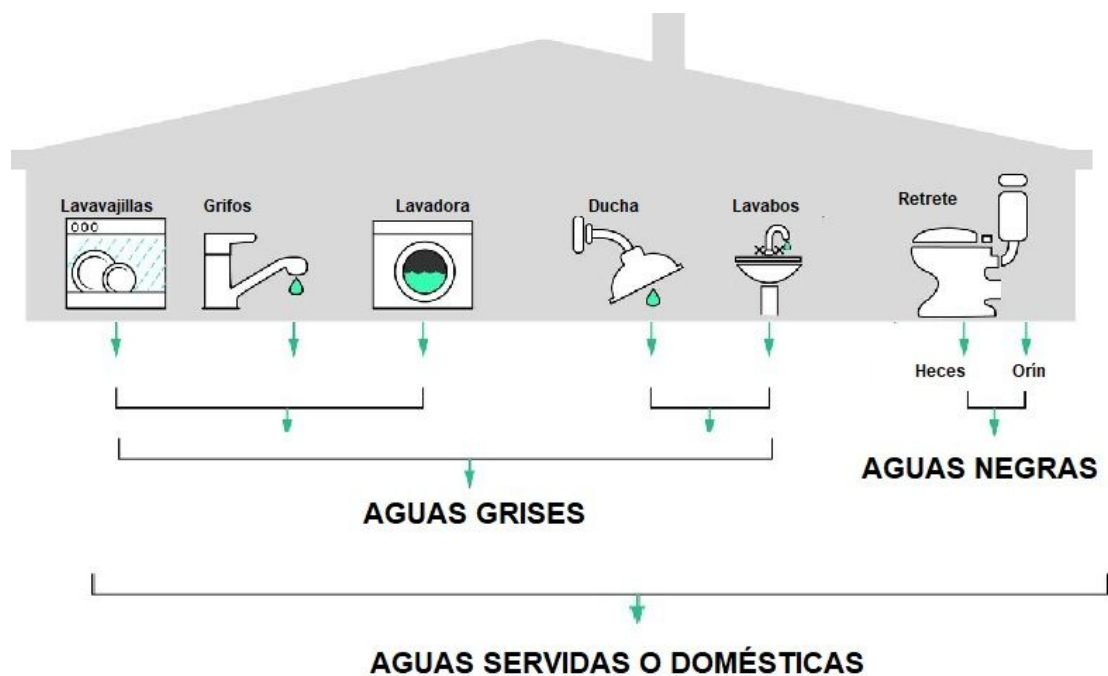
En la literatura técnica se distingue entre aguas negras (efluentes de inodoros y, según la clasificación, orina y materia fecal mezcladas con agua) y aguas grises, que provienen de duchas, lavamanos, lavandería, y en algunos casos cocina (esta última a veces excluida por alta carga de grasas y materia orgánica). La proporción de aguas grises dentro del volumen total de aguas residuales domiciliarias suele oscilar entre 50 % y 80 %, y puede llegar a porcentajes mayores cuando se emplean sistemas de sanitarios secos o separación de flujos. (Mohan, Manthapuri &

Chitthaluri, 2024; Farhat et al., 2022).

Diversos autores proponen sub-categorías de aguas grises según carga contaminante: “ligera” (procedente de duchas y lavamanos) frente a “carga alta” (lavandería y cocina). Esta clasificación es útil para seleccionar el tratamiento mínimo requerido antes del reúso; por ejemplo, el agua de lavadora puede presentar altas concentraciones de detergentes, surfactantes y sólidos suspendidos finos, por lo que conviene incorporar filtración y etapas de acondicionamiento antes de usarla en sanitarios. (Mohan et al., 2024; Farhat et al., 2022).

#### Figura 4

*Aguas Residuales Servidas y Grises: Clasificación General*



Nota. Adaptado de Areacencias (s. f.).

#### **Características de las Aguas Grises de Lavandería (Lavadora)**

La fracción de aguas grises proveniente del lavado de ropa muestra variabilidad dependiendo del tipo de detergente, dureza del agua, carga de suciedad en las prendas y

eficiencia del equipo. Estudios comparativos señalan que el pH del agua de lavandería tiende a ser neutra a alcalina ( $\approx 7.3-10$ ) debido al uso de agentes alcalinos en detergentes; la Demanda Química de Oxígeno (DQO/COD) puede variar ampliamente ( $\approx 58-2.500$  mg/L) y la presencia de fosfatos depende de formulaciones comerciales (hasta decenas de mg/L). La turbidez también puede ser elevada por partículas desprendidas de telas y suciedad. (Mohan et al., 2024).

Reportes de aplicaciones reales en proyectos de reúso han encontrado que sistemas de tratamiento de bajo costo (p. ej., humedales de flujo horizontal seguidos de filtración en arena) logran reducciones significativas de turbidez y cargas orgánicas en aguas grises de baño y lavandería, dejando el efluente apto para aplicaciones no potables como descarga de inodoros cuando se complementa con desinfección. (El Hamouri et al., 2008; Farhat et al., 2022).

### **Riesgos Sanitarios y Directrices para Reúso de Aguas Grises**

El reúso de aguas grises dentro de una vivienda exige gestionar riesgos microbiológicos (bacterias, virus, helmintos), químicos (surfactantes, compuestos orgánicos persistentes), y estéticos (olor, color, espuma) que afectan la aceptación del usuario. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha emitido lineamientos para el uso seguro de aguas residuales y aguas grises en contextos agrícolas y urbanos, enfatizando enfoques de gestión de riesgo que combinan niveles de tratamiento, barreras múltiples y prácticas de exposición controlada. Para usos urbanos como descarga de sanitarios, se recomienda al menos tratamiento secundario seguido de desinfección cuando se manejen volúmenes almacenados. (Farhat et al., 2022).

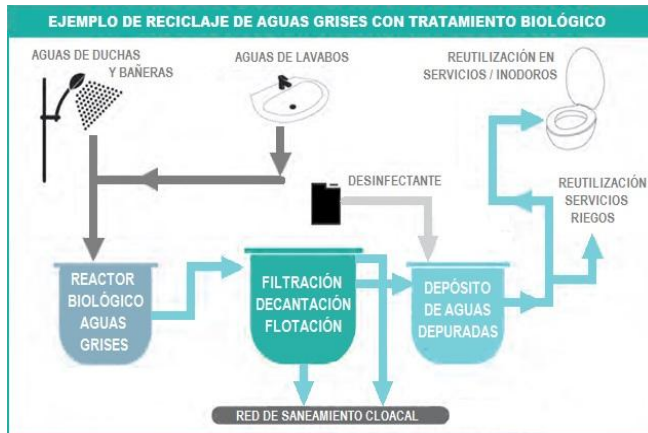
En estudios de campo donde se compararon tecnologías de bajo y alto nivel para tratar aguas grises destinadas a sanitarios, se observaron reducciones sustanciales de patógenos con desinfección UV y filtraciones adecuadas; la aceptación de los usuarios mejoró cuando se controlaron problemas de olor y color. (El Hamouri et al., 2008).

Investigaciones con usuarios en edificios de alta densidad también muestran que la percepción de riesgo influye en la sostenibilidad social del sistema: la gente acepta más fácilmente el reúso si no hay contacto directo (ej., descarga del inodoro) y si el agua se ve “limpia”. Programas de sensibilización y mantenimiento frecuente reducen objeciones y aumentan el uso consistente. (Water Research Commission [WRC], 2011 aprox.).

### **Tecnologías de Tratamiento de Aguas Grises a Pequeña Escala**

Las opciones van desde filtración gruesa (mallas, esponjas) para retener pelusas y sólidos, hasta filtros de medios granulares (grava, arena, carbón activado) que remueven turbidez, sólidos finos, color y parte de la materia orgánica disuelta. La fitofiltración / biofiltración en humedales construidos de bajo costo ha demostrado remociones significativas de DBO, DQO y surfactantes en comparación con líneas sin tratamiento biológico. Sistemas más avanzados como biorreactores de membrana (MBR) o SBR con desinfección UV logran calidades altas, pero con mayor complejidad y costo. La selección depende del uso final, el presupuesto, el espacio disponible y la voluntad de operación/mantenimiento. (El Hamouri et al., 2008; Farhat et al., 2022; Mohan et al., 2024).

Para aplicaciones domiciliarias de bajo costo en zonas urbanas o periurbanas, la literatura recomienda trenes de tratamiento modulares: pre filtrado de sólidos + filtración multicapas + tanque de almacenamiento con purga periódica + opcional desinfección simple (cloración baja dosis o UV doméstico). Esta estrategia equilibra costo y reducción de riesgo para usos como sanitarios. (WRC, 2011; Farhat et al., 2022).

**Figura 5***Tratamiento de Aguas Grises para Reúso Doméstico*

*Nota.* Adaptado de MeterTech (s. f.).

### **Criterios Básicos de Diseño Hidráulico para Reúso en Sanitarios**

Dimensionar un sistema doméstico de reúso exige balancear volumen generado vs. demanda del sanitario. Se parte del caudal estimado por ciclo de lavadora (L/ciclo) multiplicado por frecuencia semanal; se compara con el número de descargas diarias (personas × usos × L/descarga). Donde el volumen de aguas grises excede la demanda diaria, es viable cubrir 100 % del consumo sanitario si se dispone de almacenamiento intermedio y control de sobre flujo. Estudios de uso final muestran que los sanitarios representan un porcentaje grande del uso interior; por lo tanto, sustituir agua potable con agua de lavadora puede generar ahorros significativos, especialmente en hogares de 4 o más personas que lavan ropa con carga completa. (DeOreo et al., 2016; U.S. EPA, 2008).

Al seleccionar la capacidad del tanque se recomienda considerar: (1) volumen medio de un ciclo de lavado; (2) demanda de sanitarios de 1-2 días para cubrir variabilidad; (3) espacio físico disponible; y (4) prevención de estancamiento prolongado (el agua almacenada debe

rotarse para evitar olores). Buenas prácticas en guías de reúso residencial sugieren tanques cerrados, ventilación controlada, válvulas antirretorno y la posibilidad de alternar con red potable en caso de escasez de aguas grises. (WRC, 2011; Farhat et al., 2022).

### **Marco Normativo y Lineamientos Técnicos en Colombia Relevantes al Reúso Domiciliario**

Aunque la regulación colombiana sobre reúso directo de aguas grises en viviendas unifamiliares aún está en desarrollo, existen referencias normativas relacionadas con el manejo de aguas residuales, calidad, descarga y uso eficiente del recurso. La Resolución 1256 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece lineamientos para la evaluación del riesgo sanitario-ambiental asociado al uso de aguas residuales tratadas, sirviendo como referente para proyectos de reúso en diferentes escalas; si bien se enfoca más en usos agrícolas e industriales, los principios de control de calidad, monitoreo y gestión de riesgo aplican por analogía a usos urbanos no potables como descarga de sanitarios. (MADS, 2021).

Por su parte, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Título D — Sistemas de Acueducto y Alcantarillado, define criterios de diseño, materiales, protección sanitaria y separación de redes que resultan útiles al implementar sistemas duales (agua potable / agua de reúso) dentro de edificaciones. Aunque no regula explícitamente el reúso de aguas grises, el RAS enfatiza la protección contra conexiones cruzadas y la necesidad de garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano, lo que obliga a mantener clara segregación hidráulica y válvulas de seguridad. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, s. f./RAS Título D).

En el contexto de uso eficiente, las reducciones de consumo residencial reportadas por la SSPD (2023) refuerzan la importancia de medidas voluntarias y tecnologías domiciliarias complementarias al marco regulatorio formal. (SSPD, 2023).

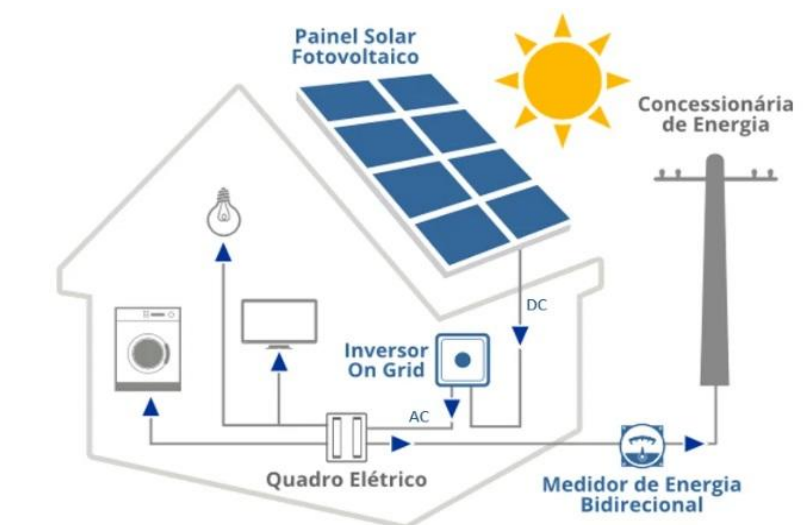
## **Energía Solar Fotovoltaica en Apoyo a Sistemas Descentralizados de Agua**

Integrar energía solar en un sistema de reúso de agua permite autonomía operativa, continuidad en zonas con cortes eléctricos y reducción de la huella ambiental asociada al consumo de electricidad de red. El dimensionamiento básico de un sistema fotovoltaico aislado parte de la energía diaria requerida (Wh/día), las Horas Pico Solares (HSP) del sitio, y un factor de pérdidas del sistema (eficiencia). Guías de diseño de sistemas solares residenciales recomiendan incluir márgenes de seguridad para variabilidad climática, degradación del panel y eficiencia del controlador de carga; también señalan la importancia de dimensionar adecuadamente la batería con base en los días de autonomía deseados y la profundidad de descarga admisible. (Unbound Solar, 2025; World Bank, 2020).

En aplicaciones de baja potencia (sensores, microcontroladores, comunicaciones), un panel sobredimensionado en relación con la carga diaria mejora la recuperación de batería en días nublados, extiende la vida útil del banco de baterías (al reducir descargas profundas) y deja margen para expansión futura (por ejemplo, incorporar telemetría continua o actuadores adicionales). Estos criterios son consistentes con buenas prácticas de diseño para micro redes residenciales y sistemas fuera de red documentadas en manuales técnicos de instaladores solares. (Unbound Solar, 2025).

**Figura 6**

*Diagrama de un Circuito Fotovoltaico Básico*



*Nota.* Adaptado de Aula 14 - Electricidad Básica.

### **Automatización e IoT para Monitoreo de Nivel y Control de Bombeo**

Los microcontroladores de bajo costo como el ESP32 han facilitado el desarrollo de sistemas de monitoreo doméstico de tanques de agua, combinando sensores ultrasónicos de distancia, pantallas LCD y conectividad Wi-Fi/Bluetooth para enviar datos a plataformas en la nube o aplicaciones móviles. Ejemplos de proyectos educativos y de aficionados muestran cómo leer distancia libre en un tanque, convertirla a porcentaje de llenado y activar salidas digitales para bombas o válvulas en función de umbrales configurables; muchos integran notificaciones en tiempo real. (IoTcircuitHub, 2024).

La integración con plataformas IoT (p. ej., Blynk u otras) permite registro histórico, alarmas de nivel bajo/alto y control remoto, lo que reduce desbordamientos y asegura disponibilidad. Estos elementos de instrumentación digital se alinean con los enfoques de gestión

basada en datos promovidos por agendas internacionales de uso eficiente del agua y por estrategias nacionales de modernización de servicios públicos. (IoTcircuitHub, 2024; World Bank, 2020).

### **Sostenibilidad, Economía Circular y Co-beneficios Ambientales**

El reúso de agua a escala domiciliaria encaja en el concepto de economía circular, donde los recursos se mantienen en uso el mayor tiempo posible antes de desecharlos. Al desviar agua relativamente limpia (como la de lavadora) hacia usos no potables, disminuye la demanda de agua tratada de red y se reduce el volumen de aguas residuales que deben transportarse y tratarse centralizadamente, aliviando cargas en infraestructura urbana. Además, si el sistema se alimenta con energía solar, se reduce la dependencia de electricidad de origen fósil, disminuyendo emisiones indirectas de gases de efecto invernadero. Informes globales sobre agua y desarrollo sostenible subrayan que soluciones descentralizadas de pequeña escala, replicables en comunidades, pueden sumar impactos significativos cuando se adoptan masivamente. (UN-Water, 2024; UNESCO, 2024).

En el contexto colombiano, donde la eficiencia del uso residencial contribuye a preservar caudales ecológicos en cuencas estratégicas y a mitigar presiones sobre los sistemas de acueducto municipal, iniciativas comunitarias y proyectos piloto domiciliarios pueden complementar políticas públicas. (World Bank, 2020; SSPD, 2023)

**Figura 7**

*Factores ESG y su Relación con la Economía Circular*



*Nota.* Adaptado de Lógica Económica (s. f.).

## Metodología

### Enfoque Metodológico

El presente proyecto se enmarca en una investigación aplicada, de carácter experimental, orientada al diseño, construcción y validación de un prototipo funcional. El enfoque aplicado busca dar solución a una problemática real: el desperdicio de agua en actividades domésticas, específicamente la generada por el lavado de ropa, reutilizándola en descargas sanitarias mediante un sistema inteligente, sostenible y alimentado por energía solar.

El proyecto se desarrolló en seis fases principales, que se describen a continuación:

#### Fase 1. Identificación del Problema y Cálculos Iniciales

El punto de partida fue la preocupación por el desperdicio de agua en los hogares, especialmente aquella proveniente del lavado de ropa. Se realizó un análisis inicial para determinar la cantidad de agua utilizada por una lavadora para atender las necesidades de una familia de cuatro personas, así como el volumen de agua requerido por los sanitarios en un mismo hogar.

El uso intensivo de agua en tareas domésticas representa un impacto ambiental significativo. Una lavadora con carga completa (8-10 kg) consume aproximadamente 200 litros por ciclo (incluyendo lavado y enjuagues), mientras que un sanitario convencional requiere 6 litros por descarga.

En una familia de 4 personas, el promedio de uso diario del sanitario es:

- 5 descargas por persona/día → 20 descargas/día.
- $6 \text{ L} \times 20 = 120 \text{ L/día}$  solo en sanitarios.

Esto significa que un solo ciclo de lavado con carga completa (200 L) puede cubrir

100% del consumo diario en descargas sanitarias.

**Tabla 1**

*Comparación Consumo vs Agua Reutilizada*

| Concepto                  | Litros por ciclo | Uso semanal | Total semanal |
|---------------------------|------------------|-------------|---------------|
| Lavadora (carga completa) | 200 L            | 4 ciclo     | 800 L         |
| Sanitarios (4 pers.)      | 120 L/día        | 7 días      | 840 L         |

*Nota.* Autoría propia.

A partir de este análisis se revisa que, para una buena gestión del agua, se recomienda realizar el lavado día de por medio, es decir, aproximadamente 4 veces por semana, garantizando que el agua generada en cada ciclo de lavado se reutilice completamente en la descarga de los sanitarios, evitando así el desperdicio y asegurando el máximo aprovechamiento del recurso hídrico.

## **Fase 2. Selección de Materiales y Diseño del Sistema**

Posteriormente, se definieron los materiales y componentes necesarios para el desarrollo del sistema, priorizando eficiencia, bajo costo y sostenibilidad.

**Tabla 2***Materiales y Costos Estimados*

| Material                       | Cantidad | Costo unitario<br>(COP) |
|--------------------------------|----------|-------------------------|
| Tanque plástico 250 L          | 1        | 70.000                  |
| Panel solar 100 W              | 1        | 180.000                 |
| Controlador solar 30 A         | 1        | 20.000                  |
| Batería 35 Ah                  | 1        | 250.000                 |
| Arduino Uno                    | 1        | 12.000                  |
| Sensor ultrasónico HC-<br>SR04 | 1        | 18.000                  |
| Pantalla LCD 16x4              | 1        | 35.000                  |
| Contactador                    | 1        | 30.000                  |
| Tubería PVC ¾" (15<br>metros)  | 15 m     | 70.000                  |

| Material              | Cantidad | Costo unitario<br>(COP) |
|-----------------------|----------|-------------------------|
| Filtros artesanales   | 2        | 30.000                  |
| Cajas eléctricas      | 2        | 50.000                  |
| Pegante PVC           | 1        | 15.000                  |
| Base para panel solar | 1        | 30.000                  |
| Cable solar (10 m)    | 10 m     | 100.000                 |
| Breaker DC 10 A       | 1        | 69.000                  |
| Bomba auxiliar        | 1        | 120.000                 |
| Conectores para panel | 1 par    | 80.000                  |
| Cables adicionales    | 5 m      | 20.000                  |
| Valvulas              | 2        | 15000                   |
| Total estimado        |          | 1.214.000               |

*Nota.* Autoría propia.

*Nota.* Costos calculados según precios locales en Colombia (2025). Elaboración propia.

El costo total del prototipo, \$1.214.000 COP, se considera bajo frente al beneficio ambiental y económico que representa la reducción del consumo de agua potable en el hogar.

## **Descripción de Materiales**

### ***Tanque de Almacenamiento Bajo de 250 litros***

El tanque de almacenamiento bajo, con una capacidad nominal de 250 litros, cumple la función de reservorio temporal del agua residual procedente de la lavadora. Su diseño compacto y horizontal lo hace ideal para ubicaciones con altura limitada, como patios o zonas de servicio doméstico. Está fabricado en polietileno de alta densidad (HDPE), un material resistente a la intemperie, la humedad, agentes químicos y al paso del tiempo, garantizando durabilidad y seguridad sanitaria.

Este tanque recibe directamente el agua de lavado pre filtrada, y actúa como punto de distribución hacia el sistema sanitario. Su tapa hermética evita la entrada de residuos, mientras que su válvula inferior permite conexión con mangueras, filtros y sensores de nivel, optimizando el aprovechamiento del recurso.

Además, su forma baja facilita la instalación del sensor ultrasónico en la parte superior, mejorando la precisión en la medición del nivel de agua.

**Figura 8***Tanque Bajito de 250 Lt*

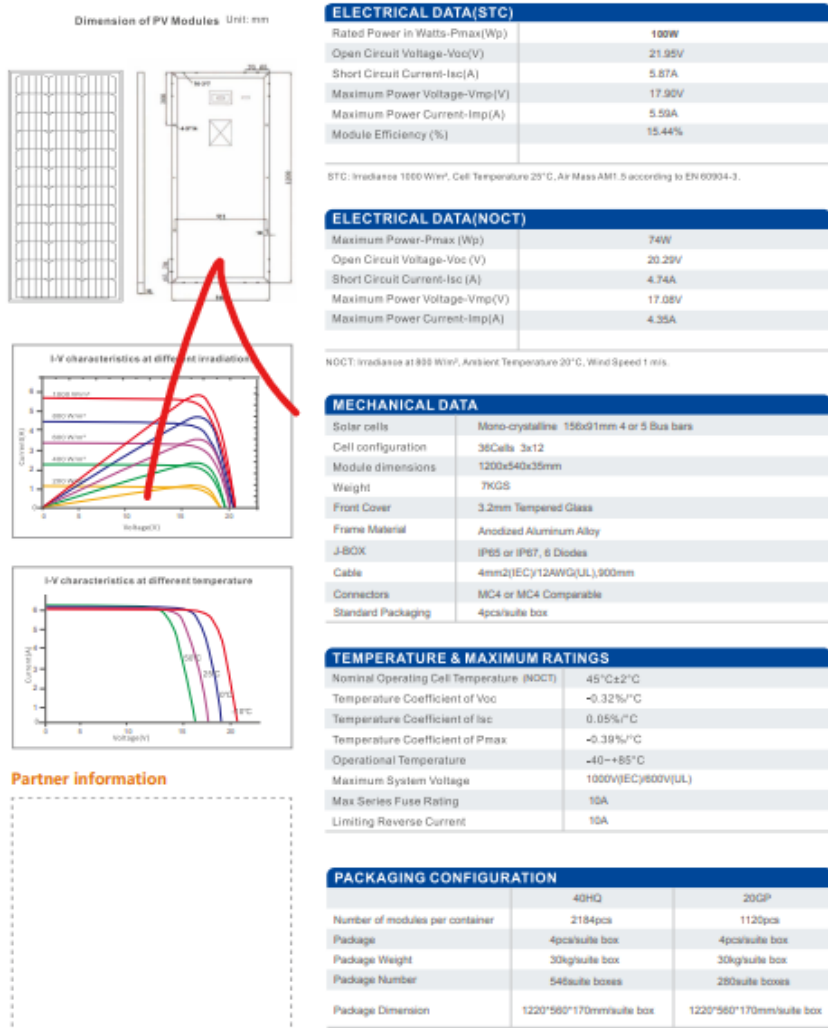
*Nota.* Autoría propia.

***Panel Solar Fotovoltaico de 100 W***

El panel solar de 100 W es el encargado de generar la energía necesaria para el sistema. Funciona a partir de la radiación solar, convirtiéndola en electricidad de corriente continua (DC). Este tipo de panel está compuesto por celdas de silicio, capaces de generar un voltaje nominal de 12 V con una corriente de operación cercana a 5,5–6 A en condiciones de radiación estándar (1.000 W/m<sup>2</sup>).

## Figura 9

### Ficha Técnica



Nota. Restarsolar. (2025). Módulo solar RTM-100M (100 W) [Imagen]. PDF disponible en

<https://cdn.enfsolar.com/z/pp/2025/5/4s6hpr3yk3etjs/2.pdf>

## Figura 10

### *Panel Solar 100 W*



*Nota.* Restarsolar. (2025). Módulo solar RTM-100M (100 W) [Imagen]. PDF disponible en <https://cdn.enfsolar.com/z/pp/2025/5/4s6hpr3yk3etjs/2.pdf>

### ***Controlador Solar de 30 A***

El controlador solar de 30 amperios (A) es el dispositivo encargado de regular la energía proveniente del panel solar antes de llegar a la batería. Su función principal es proteger el sistema de sobrecargas, sobre voltajes y descargas profundas, asegurando una correcta gestión de la energía.

Este tipo de controlador permite:

Optimizar la carga de la batería, evitando daños por exceso de corriente.

Proteger los equipos conectados al sistema de energía solar.

Aumentar la vida útil de la batería, gracias a su control de ciclos de carga y descarga.

En este proyecto, se emplea un controlador de 30 A porque ofrece la capacidad suficiente para manejar la corriente del panel solar de 100 W y posibles expansiones futuras, garantizando así un funcionamiento estable y confiable del sistema.

### Figura 11

*Controlador de Corriente*



*Nota:* Autoría propia.

### Especificaciones Técnicas del Modelo W88-C (30 A)

Modelo: W88-C

Corriente nominal de carga: 30 A

Voltaje del sistema: 12 V / 24 V con detección automática

Tecnología: PWM (Pulse-Width Modulation)

Voltaje máximo del panel (PV): 45 V

Potencia máxima admitida del panel: 390 W (12 V) y 780 W (24 V)

Pantalla: LCD con botones de control

Puertos USB: salida dual 5 V / 2 A para cargar dispositivos móviles

Protecciones integradas: contra sobrecarga, cortocircuito, polaridad inversa, sobretensión y sobre descarga

Tipos de batería compatibles: plomo-ácido (sellada, gel, inundación)

Rango de temperatura de operación: -10 °C a +50 °C

Instalación: montaje superficial fácil.

### ***Batería Solar 35 Ah***

La batería es el componente encargado de almacenar la energía eléctrica generada por el panel solar y regulada por el controlador de carga. Gracias a ella, el sistema puede suministrar energía incluso en horarios donde no hay radiación solar disponible, como en la noche o en días nublados.

Existen diferentes tipos de baterías utilizadas en sistemas solares (plomo-ácido, gel, AGM o litio). En este proyecto se emplea una batería de 12 V y capacidad adecuada para soportar el consumo del sistema, ya que proporciona la autonomía necesaria para garantizar el funcionamiento continuo del sistema de reciclaje de agua de lavadora para sanitarios sostenibles.

Entre sus funciones principales se encuentran:

Almacenamiento de energía para su uso posterior.

Estabilidad en el suministro, evitando variaciones de voltaje que puedan dañar los equipos.

Respaldo energético, asegurando autonomía en ausencia de radiación solar.

La selección de la batería se realiza teniendo en cuenta la capacidad de

almacenamiento (Ah) y el tiempo de respaldo requerido para la operación eficiente del sistema.

## Figura 12

### *Batería Solar de 35 Ah*



*Nota.* Autoría propia.

## Especificaciones Técnicas Batería MAGNA MA35-12

Voltaje: 12 V

Capacidad: 35 Ah

Dimensiones (promedio): aprox. 195 × 130 × 180 mm

Peso: alrededor de 11 kg

Tipo de batería: AGM VRLA de uso estacionario (ideal para sistemas solares, UPS, telecomunicaciones)

## *Arduino Uno*

El Arduino Uno es una de las placas de desarrollo más utilizadas en el mundo de la electrónica y la programación. Está basada en el microcontrolador ATmega328P, y su popularidad se debe a que es económica, fácil de usar y ampliamente compatible con

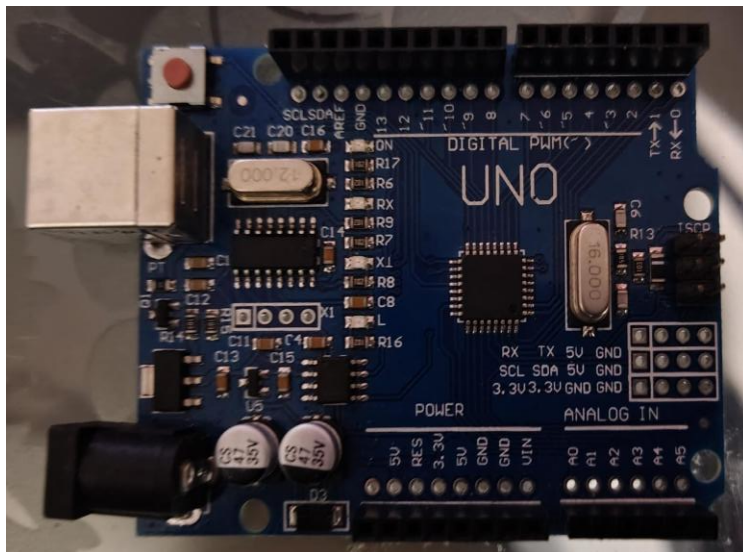
sensores, módulos y actuadores.

Esta tarjeta es ideal tanto para principiantes como para proyectos avanzados, ya que permite programar y controlar dispositivos electrónicos de manera sencilla a través de un entorno de desarrollo (IDE) intuitivo. Se alimenta mediante un cable USB o una fuente externa y cuenta con múltiples pines digitales y analógicos para la conexión de periféricos.

Gracias a su flexibilidad, el Arduino Uno se utiliza en proyectos de automatización, robótica, domótica, monitoreo ambiental y prototipado rápido, convirtiéndose en una herramienta fundamental para estudiantes, ingenieros y aficionados a la electrónica.

### Figura 13

*Arduino UNO*



*Nota.* Autoría propia.

### Especificaciones técnicas.

Microcontrolador: ATmega328P

Voltaje de operación: 5 V

Voltaje de entrada (recomendado): 7 – 12 V

Voltaje de entrada (límite): 6 – 20 V

Pines digitales de I/O: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)

Pines de entrada analógica: 6

Corriente DC por pin I/O: 20 mA

Corriente DC para pin 3.3 V: 50 mA

Memoria Flash: 32 KB (0.5 KB usados por el bootloader)

SRAM: 2 KB

EEPROM: 1 KB

Velocidad del reloj: 16 MHz

LED integrado: Pin 13

Conectividad: USB tipo B, UART, I2C, SPI

Dimensiones: 68.6 mm × 53.4 mm

Peso: ~25 g.

### ***Sensor Ultrasónico HC-SR04***

El HC-SR04 es un sensor ultrasónico de distancia ampliamente utilizado en proyectos con Arduino, ESP32, PIC y otros microcontroladores. Funciona emitiendo un pulso de sonido a 40 kHz que rebota en un objeto y regresa al sensor, midiendo el tiempo que tarda en hacerlo.

Este sensor se caracteriza por ser económico, preciso y fácil de usar, lo que lo hace muy popular en aplicaciones de medición de nivel de líquidos, robots móviles, sistemas de seguridad, detección de obstáculos y control de distancias.

Se conecta con solo 4 pines: alimentación (VCC y GND), un pin de disparo (Trigger) y un pin de recepción (Echo), siendo totalmente compatible con placas Arduino UNO, Mega, Nano, ESP32 y otras.

## Figura 14

### *Sensor Ultrasónico HC-SR04*



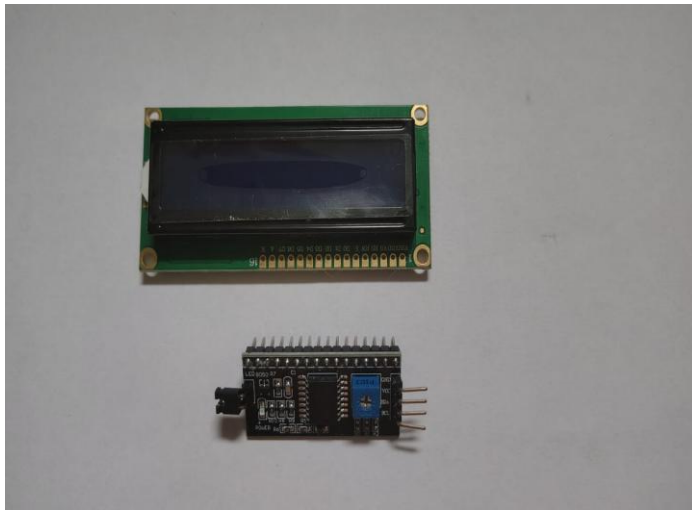
*Nota.* Autoría propia.

### *Pantalla LCD 16x4*

La pantalla LCD 16x4 es un dispositivo de visualización muy utilizado en proyectos electrónicos y de automatización para mostrar texto, números, mensajes de estado o variables del sistema. Su nombre indica que posee 16 columnas y 4 filas, lo que significa que puede mostrar hasta 64 caracteres en total al mismo tiempo.

Funciona con la tecnología de cristal líquido y utiliza un controlador integrado HD44780 o compatible, lo que la hace fácilmente programable con microcontroladores como Arduino, PIC, ESP32 y otros.

Estas pantallas son muy apreciadas porque consumen poca energía, ofrecen buena visibilidad y permiten mostrar información en tiempo real de manera sencilla. Además, se pueden conectar en modo paralelo (8 o 4 bits) o mediante módulo adaptador I2C, lo cual reduce el número de pines necesarios.

**Figura 15***Pantalla LCD 16x4*

*Nota.* Autoría propia.

***Contactador***

El contactor es un dispositivo electromecánico utilizado para controlar el encendido y apagado de cargas eléctricas de manera remota y segura. Su funcionamiento se basa en un electroimán que, al ser excitado, atrae un núcleo móvil que cierra los contactos principales permitiendo el paso de corriente hacia el circuito de potencia.

El uso de un contactor resulta indispensable en aplicaciones donde se manejan corrientes elevadas que no pueden ser conmutadas directamente desde los pines de un microcontrolador. De esta forma, el contactor actúa como un intermediario entre la electrónica de control y los dispositivos de mayor consumo eléctrico, protegiendo tanto los componentes electrónicos como a los usuarios frente a posibles sobrecargas.

## Figura 16

### *Contactor*



*Nota.* Autoría propia.

### ***Tubería en PVC***

La tubería en poli cloruro de vinilo (PVC) es uno de los materiales más utilizados en sistemas hidráulicos debido a su resistencia, ligereza, bajo costo y facilidad de instalación. Su estructura plástica le confiere propiedades anticorrosivas, lo que garantiza una mayor durabilidad en comparación con tuberías metálicas expuestas a humedad o productos químicos.

En el presente proyecto, la tubería de PVC se emplea como medio de conducción del agua reciclada desde la lavadora hacia el tanque de almacenamiento y posteriormente hacia los sanitarios. Gracias a su versatilidad, permite realizar un diseño modular del sistema, adaptándose a las dimensiones disponibles en la instalación doméstica.

Otra de sus ventajas es la hermeticidad de las uniones, que se logra mediante el uso de accesorios como codos, uniones, reducciones y pegamento especializado, evitando fugas y pérdidas en el sistema. Además, la tubería de PVC soporta presiones adecuadas para la operación de la bomba de agua utilizada en el proyecto, sin comprometer su integridad

estructural.

### **Figura 17**

*Tubería PVC 3/4*



*Nota.* Autoría propia.

### ***Filtros Artesanales***

El proceso de tratamiento del agua reciclada requiere de sistemas de filtración que permitan remover sólidos suspendidos, sedimentos y partículas que puedan alterar la calidad del recurso antes de su reutilización en los sanitarios. En este proyecto se implementan dos filtros artesanales complementarios, elaborados con materiales de fácil adquisición y bajo costo, garantizando un método eficiente y sostenible.

#### ***Filtro de Lanas con Malla Interna***

Este filtro se construye en un tramo de tubería sanitaria, en cuyo interior se dispone una malla metálica o plástica que actúa como soporte de varias capas de lana sintética o fibras textiles. Su función principal es retener sólidos de mayor tamaño, como pelusas, cabellos y residuos provenientes del agua de la lavadora.

La lana cumple la función de medio filtrante, mientras que la malla mantiene la

compactación de las fibras y evita que sean arrastradas por el flujo de agua. Este diseño artesanal permite un fácil mantenimiento, ya que el material filtrante puede retirarse, lavarse o reemplazarse periódicamente.

Características del filtro de lanas:

- Material de la carcasa: tubería sanitaria de PVC.
- Medio filtrante: lana sintética y fibras textiles.
- Función: retención de partículas gruesas y sólidos suspendidos.
- Mantenimiento: limpieza o reemplazo de la lana filtrante cada cierto número de ciclos.

### **Figura 18**

#### *Filtro de Lanas*



*Nota.* Autoría propia.

#### ***Filtro Aclarador de Agua***

El filtro aclarador de agua corresponde a una etapa fundamental dentro del sistema de tratamiento, ya que permite mejorar la calidad del agua proveniente de la lavadora antes

de su reutilización en los sanitarios. Este filtro está conformado por varias capas filtrantes dispuestas en un orden específico: algodón, carbón activado, arena y gravilla. El algodón cumple la función de retener fibras y partículas muy finas; el carbón activado se encarga de eliminar olores, color y compuestos orgánicos presentes en el agua; la arena permite atrapar sólidos suspendidos y reducir la turbidez; mientras que la gravilla actúa como medio de soporte y drenaje para evitar el arrastre de la arena. En conjunto, estas capas logran aclarar el agua, mejorando su aspecto físico y reduciendo contaminantes, lo que la hace más adecuada y segura para fines de reuso no potable, como el llenado de inodoros.

### **Figura 19**

*Filtro Aclarador de Agua*



*Nota.* Autoría propia.

## Figura 20

### *Construcción Filtro Aclarador de Agua*



*Nota.* Tomado de Miss Gris (2014).

### ***Pegante de PVC***

El pegante de PVC es el recipiente o estructura tubular que se utiliza como soporte para contener las diferentes capas filtrantes del sistema. Generalmente se fabrica en tubo de PVC hidráulico o sanitario, por ser un material económico, resistente a la humedad, fácil de conseguir y de instalar.

Entre sus ventajas se destacan: bajo costo, resistencia a la corrosión, facilidad de manipulación y durabilidad en condiciones domésticas. Este componente asegura la estabilidad del filtro aclarador, evitando pérdidas de material filtrante y dirigiendo el agua tratada hacia la siguiente etapa del proceso.

**Figura 21***Pegante Para PVC*

*Nota.* Tomado de Ferretería Bervar (s. f.).

***Base para Panel Solar***

La base para panel solar es una estructura fabricada en hierro que cumple la función de soportar el peso del panel y mantenerlo fijo en una posición estable. Sus dimensiones corresponden a las medidas exactas del panel, garantizando un ajuste seguro y evitando movimientos que puedan afectar su funcionamiento.

Este soporte se instala directamente en la pared mediante pernos o anclajes adecuados, lo que asegura firmeza y resistencia frente a la vibración, el viento y otros factores externos. Al estar construida en hierro, ofrece alta durabilidad, capacidad de carga y resistencia mecánica, siendo ideal para aplicaciones domésticas en las que se requiere una fijación sólida y confiable del panel solar.

**Figura 22***Base para Panel Solar*

*Nota.* Autoría propia.

### ***Cable Solar***

El cable solar es el conductor eléctrico diseñado específicamente para la interconexión de los paneles fotovoltaicos con el regulador de carga, las baterías y el inversor. En este proyecto se utilizaron 10 metros de cable solar de calibre 4 mm<sup>2</sup>, el cual garantiza una adecuada conducción de la corriente generada por el panel sin presentar caídas de tensión significativas.

Este tipo de cable se caracteriza por estar fabricado con cobre estañado, lo que le proporciona mayor resistencia a la corrosión, y por poseer un aislamiento doble y flexible, diseñado para soportar condiciones ambientales adversas como radiación ultravioleta, cambios de temperatura y humedad.

### **Figura 23**

#### *Cable Solar*



*Nota.* Tomado de Activo Solar (s. f.).

### ***Cajas Eléctricas***

La caja eléctrica es un componente estructural fabricado en hierro con dimensiones de 40 cm x 40 cm, diseñada para alojar y proteger los dispositivos electrónicos del sistema.

Su construcción en hierro proporciona resistencia mecánica y durabilidad, además de ofrecer seguridad frente a golpes, manipulación externa y posibles factores ambientales.

En su interior se instalarán los principales elementos de control y almacenamiento de energía, tales como la batería, el controlador de corriente, el Arduino y la pantalla de supervisión. La disposición organizada de estos equipos dentro de la caja permite una adecuada gestión del espacio, facilita las conexiones eléctricas y protege los dispositivos contra polvo, humedad y daños accidentales.

### **Figura 24**

#### *Caja Eléctrica*



*Nota.* Autoría propia.

#### ***Breaker DC 10 A***

El breaker de corriente continua (DC) de 10 amperios es un dispositivo de protección eléctrica utilizado en el sistema fotovoltaico del proyecto. Su función principal es interrumpir el paso de la corriente en caso de sobrecarga o cortocircuito, evitando daños en los equipos y garantizando la seguridad de la instalación.

Este componente está diseñado específicamente para aplicaciones en corriente

continua, lo que lo hace adecuado para sistemas solares, donde la energía generada por el panel fotovoltaico se transmite hacia el controlador de carga y la batería. Al estar calibrado a 10 A, protege el circuito dentro de los rangos de operación del sistema, evitando que corrientes superiores deterioren el cableado, los controladores o los dispositivos electrónicos conectados.

En el proyecto de reciclaje de agua, el breaker DC actúa como un elemento de seguridad eléctrica fundamental, ya que brinda confiabilidad al sistema y permite realizar maniobras de desconexión controlada durante mantenimientos o ajustes técnicos.

### **Figura 25**

*Breaker DC 10 A*



*Nota.* Autoría propia.

### ***Bomba Auxiliar***

La bomba auxiliar utilizada en el sistema corresponde a una bomba de lavadora reutilizada, adquirida de segunda mano. Su función principal es apoyar el transporte del agua reciclada hacia el tanque de almacenamiento, reduciendo la carga de trabajo de la bomba original de la lavadora y evitando su sobreesfuerzo.

Este componente se integra al sistema de tuberías y se activa en los momentos en que se requiere impulsar el agua, garantizando un flujo constante y estable. Al emplear una

bomba auxiliar, se mejora la eficiencia energética del sistema, se prolonga la vida útil de la bomba principal de la lavadora y se asegura un traslado adecuado del caudal hacia el tanque de reserva.

La incorporación de este dispositivo representa además una estrategia de aprovechamiento de recursos al reutilizar un equipo en buen estado, lo que reduce costos y refuerza el carácter sostenible del proyecto.

### **Figura 26**

#### *Bomba Auxiliar de Segunda Mano*



*Nota.* Autoría propia.

#### ***Cables Adicionales***

Para complementar el sistema se utilizaron cables adicionales de diferentes calibres y características, seleccionados según la función de cada componente: cables finos tipo Dupont y de prototipado para las conexiones del Arduino con el sensor ultrasónico y la pantalla LCD 16x2, que requieren baja corriente y precisión; cables de calibre medio para la bomba auxiliar, capaces de soportar la corriente necesaria sin generar sobrecalentamiento; y conductores flexibles para la interconexión de dispositivos dentro de la caja eléctrica, garantizando orden, seguridad y facilidad de mantenimiento en el sistema de reciclaje.

**Figura 27***Cables para Arduino*

*Nota.* Tomado de Grupo Electrostore (s. f.).

**Válvulas**

El sistema cuenta con dos válvulas plásticas: una conectada al acueducto, que normalmente permanece cerrada y solo se utiliza en caso de ser necesario el suministro directo de agua potable, y otra instalada en la salida del tanque de la lavadora, la cual controla el paso del agua reciclada hacia el sanitario. Estas válvulas permiten una gestión eficiente y segura del flujo de agua, asegurando que el sistema pueda alternar entre la fuente convencional y el agua reutilizada sin riesgo de mezclas indeseadas.

**Figura 28***Válvula de Bola Plástica*

*Nota.* Tomado de Polisantafe (s. f.).

**Herramientas Utilizadas**

Para el montaje del prototipo fue necesario el uso de herramientas manuales y

eléctricas que

facilitaron el ensamblaje de las partes hidráulicas, eléctricas y la instalación del sistema fotovoltaico. La correcta selección de herramientas no solo garantiza un trabajo eficiente, sino también seguridad durante el proceso de construcción. En la Tabla 3 se detallan las herramientas utilizadas junto con su función principal.

**Tabla 3**

*Herramientas Utilizadas*

| Herramienta      | Función principal  |
|------------------|--|
| Taladro          | Perforar superficies para instalación de tuberías y soportes |
| Destornilladores | Ajuste de tornillos en conexiones eléctricas y soportes      |
| Martillo         | Fijación de anclajes y soportes                              |
| Alicate          | Corte y sujeción de cables eléctricos                        |
| Segueta          | Corte de tuberías PVC y estructuras                          |
| Multímetro       | Medición de voltajes, corrientes y continuidad               |
| Cortacables      | Corte preciso de conductores eléctricos                      |

*Nota.* Autoría propia.

### Fase 3. Diseño del Sistema y Simulación del Circuito

El diseño del prototipo se desarrolló integrando tres subsistemas principales: hidráulico, eléctrico y de control, con el objetivo de garantizar la reutilización eficiente del agua de la lavadora y el suministro autónomo mediante energía solar. Este enfoque responde a criterios de sostenibilidad, bajo costo y autonomía energética, alineados con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6: Agua limpia y saneamiento.

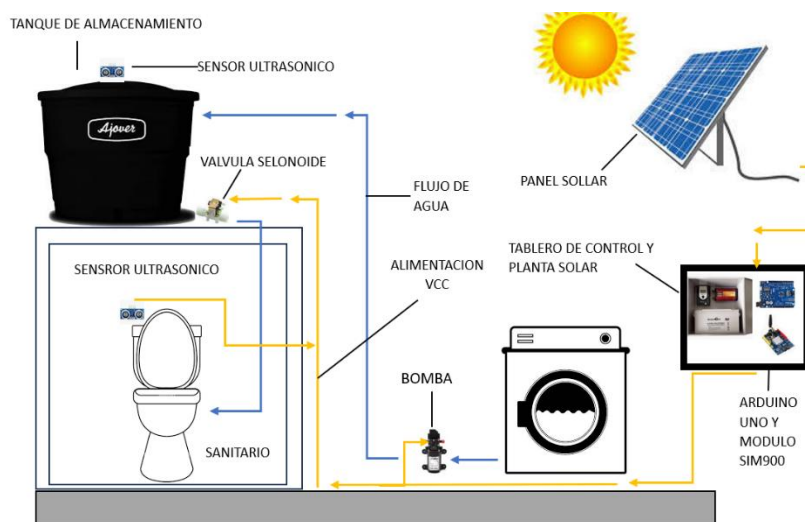
El sistema se compone de:

- Subsistema hidráulico: incluye el tanque de almacenamiento (250 L), filtros artesanales (sedimentación y clarificación), tuberías PVC de  $\frac{3}{4}$ ", válvulas de control y conexión hacia los sanitarios.
- Subsistema eléctrico: conformado por el panel solar de 110 W, batería de 35 Ah, controlador de carga (30 A), breaker DC y cableado solar para garantizar el suministro energético.
- Subsistema de control: utiliza un Arduino UNO para la gestión automática, que recibe datos del sensor ultrasónico (nivel del tanque), activa la bomba mediante un relé y muestra la información en una pantalla LCD 16x4.

En la Figura 29 se presenta el esquema general del sistema, que representa la interacción entre los subsistemas mencionados.

## Figura 29

### Diagrama General del Sistema



*Nota.* Autoría propia.

## Explicación Técnica de los Subsistemas

### Subsistema Hidráulico

El agua residual proveniente de la lavadora es conducida inicialmente a un filtro artesanal diseñado para retener sólidos gruesos como pelusas y restos textiles. Posteriormente, una bomba auxiliar impulsa el flujo hacia el tanque de almacenamiento a través de una línea hidráulica equipada con un filtro de clarificación compuesto por arena, carbón activado y piedras, el cual reduce impurezas y mejora la calidad del agua antes de su reutilización. El tanque principal, con capacidad de 250 L, actúa como depósito intermedio. Desde este punto, el agua es dirigida al sistema sanitario mediante tuberías PVC de  $\frac{3}{4}$ ", empleando una conexión directa a la entrada del inodoro. El llenado se produce por

gravedad, complementado con la bomba del sanitario cuando es necesario, mientras que el paso del agua es controlado mediante válvulas manuales para garantizar seguridad y evitar retornos indeseados.

### ***Subsistema Eléctrico***

La generación de energía se realiza a través de un panel solar de 100 W, cuya producción es regulada por un controlador de carga solar de 30 A, protegiendo tanto la batería como los componentes electrónicos. La energía es almacenada en una batería de 12 V y 35 Ah, configurada para operar en un rango de carga óptimo (60 %) con el fin de prolongar su vida útil. Este subsistema suministra energía al ESP32, la pantalla LCD y el sensor ultrasónico, asegurando un consumo eficiente y estable. Para protección adicional, se incorporó un breaker de corriente continua que evita daños por sobrecarga o cortocircuitos.

### ***Subsistema de Control***

El núcleo del sistema está compuesto por un microcontrolador Arduino UNO, programado para realizar la lectura continua del nivel del tanque mediante el sensor ultrasónico HC-SR04. Esta información se visualiza en tiempo real en una pantalla LCD de 16x4 y El algoritmo desarrollado

## **Fase 4. Implementación del Subsistema Hidráulico**

El subsistema hidráulico es fundamental para la reutilización del agua proveniente de la lavadora. Su instalación se realizó con base en los cálculos de capacidad y caudal definidos en la Fase 1, asegurando que el volumen almacenado pueda cubrir la demanda de descarga sanitaria de la vivienda y que el flujo ocurra de forma controlada, segura y con bajo riesgo de contaminación.

### ***Componente Principales***

El montaje hidráulico incluyó los siguientes elementos:

**Tanque de Almacenamiento (250 L):** Contenedor principal donde se acumula el agua reciclada antes de ser enviada al sanitario.

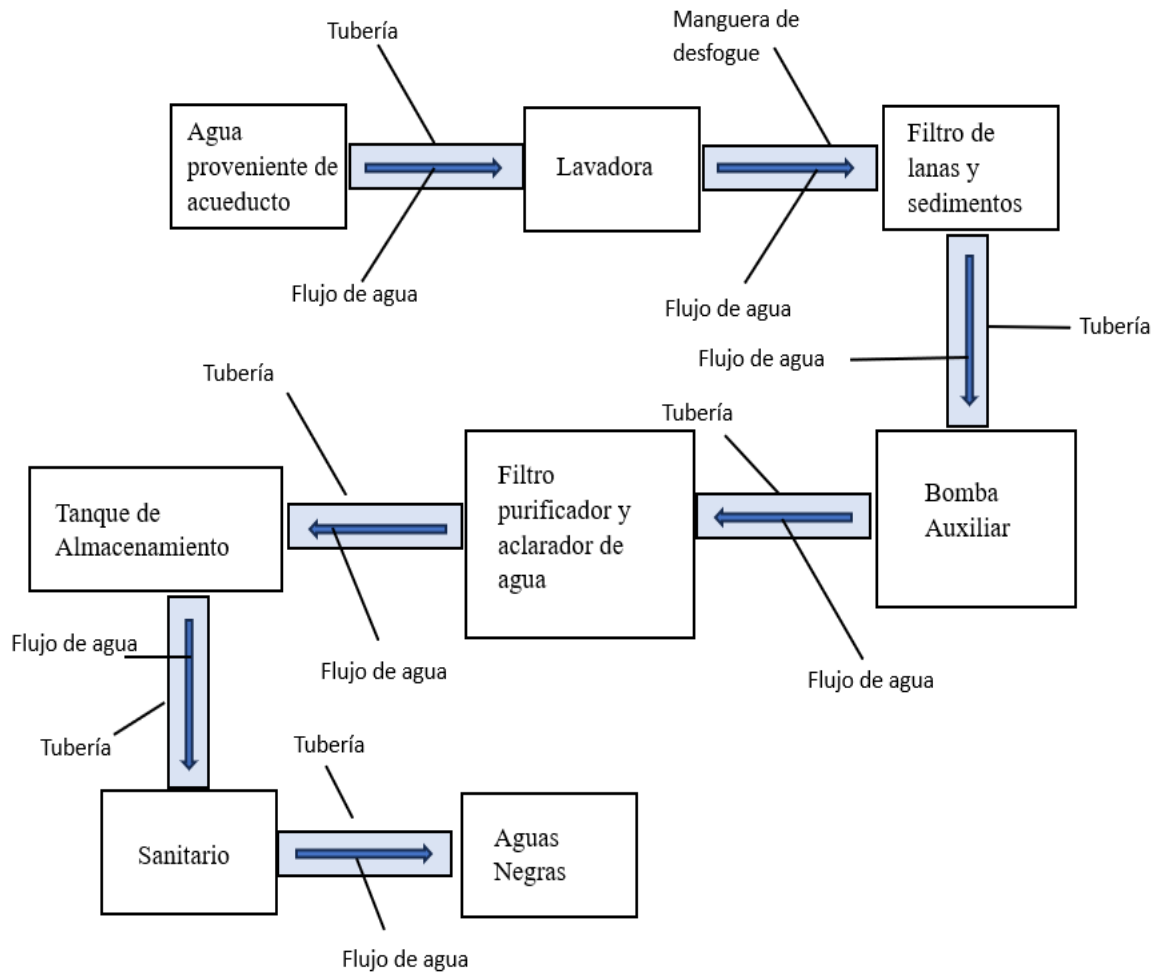
**Filtro Artesanal (Pre-Filtrado):** Ubicado en la entrada; fabricado con mallas y material esponjoso para retener sólidos gruesos (pelusas, restos textiles, cabellos).

**Filtro de Clarificación:** Dispositivo en serie con capas de grava, arena y carbón activado que reduce turbidez, retiene partículas finas y mejora el aspecto del agua antes de la reutilización.

**Bomba Auxiliar:** Instalada después del pre-filtrado; impulsa el agua hacia la línea de clarificación y el tanque de almacenamiento.

**Tubería PVC de ¾”:** Conduce el agua entre filtros, tanque y sanitario; diámetro seleccionado por su disponibilidad, bajo costo y pérdidas de carga moderadas.

**Válvulas de Control:** Dos válvulas manuales permiten seleccionar fuente (agua reciclada / agua potable), aislar el sistema para mantenimiento y evitar retornos no deseados.

**Figura 30***Diagrama de Flujo del Subsistema Hidráulico*

*Nota.* Autoría propia.

***Proceso de Instalación***

**Conexión Inicial desde la Lavadora:** Se adaptó la manguera de desagüe hacia el primer filtro artesanal.

**Figura 31**

*Adaptación Manguera de Lavadora con Filtro*



*Nota. Autoría propia.*

**Figura 32**

*Lavadora*



*Nota. Autoría propia.*

**Montaje del Sistema de Filtración:** El agua pasa por el filtro artesanal y luego por la bomba que impulsa el agua hacia el filtro de clarificación antes de llegar al tanque.

**Figura 33**

*Bomba Auxiliar*



*Nota.* Autoría propia.

**Figura 34**

*Conexión de Manguera de Lavadora con Bomba Auxiliar*



*Nota.* Autoría propia.

**Figura 35**

*Tubería Agua de la Bomba Auxiliar hacia el Tanque Elevado*



*Nota:* Autoría propia.

**Instalación del Tanque:** El tanque de 250 L se ubicó en una posición elevada para permitir el llenado por gravedad hacia los sanitarios.

**Figura 36**

*Ubicación Elevada del Tanque de Almacenamiento*



*Nota.* Autoría propia.

**Distribución hacia el Sanitario:** Desde el tanque, el agua se dirige mediante tubería PVC de 3/4" hasta la entrada del inodoro. Se añadió un bypass con la red convencional para garantizar el suministro en caso de ausencia de agua reciclada.

### Figura 37

*Distribución del Tanque de Almacenamiento*



*Nota.* Autoría propia.

### Figura 38

*Tubo del Tanque Hacia el Sanitario*



*Nota.* Autoría propia.

**Figura 39**

*Válvulas de Control de Agua Reciclada Y Agua Potable*



*Nota.* Autoría propia.

**Control Manual y Seguridad:** Se incorpora tubería de desfogue del tanque hacia el desagüe para prevenir derramamientos.

**Figura 40**

*Desfogue de Seguridad Tanque*



*Nota.* Autoría propia.

### ***Justificación Técnica del Diseño Hidráulico***

**Doble Filtrado en Serie.** El pre-filtrado artesanal retira sólidos grandes que podrían obstruir tuberías o dañar la bomba; el filtro de clarificación mejora la calidad física del agua y reduce sedimentos finos antes del almacenamiento, prolongando la vida útil del sistema y disminuyendo olores.

**Seguridad Sanitaria y de Operación.** El uso de válvulas de corte y un bypass a la red potable garantiza continuidad de servicio aun cuando no haya agua reciclada disponible. Además, el aislamiento hidráulico reduce el riesgo de retorno de aguas usadas hacia la red limpia. Mantener el tanque cerrado limita la entrada de insectos, residuos y luz, factores que pueden promover crecimiento microbiano.

**Eficiencia por Gravedad.** La instalación del tanque en un punto elevado permite que gran parte del suministro al sanitario ocurra por gravedad, disminuyendo la necesidad de bombeo continuo, reduciendo consumo energético y el desgaste de la bomba.

### **Fase 5. Implementación del Subsistema Eléctrico y Dimensionamiento Solar**

El subsistema eléctrico provee la energía necesaria para operar el sistema de reutilización de agua de manera autónoma a partir de energía fotovoltaica. El diseño considera el patrón de uso real en la vivienda (el sistema de control se utiliza solo durante el día), la radiación solar disponible en Dosquebradas (Risaralda, Colombia) y márgenes de seguridad para pérdidas eléctricas, suciedad en paneles y degradación de componentes. La metodología de dimensionamiento se basó en la conversión de radiación diaria a Horas Pico Solares (HSP), una medida estándar que representa el número de horas equivalentes por día en las que la irradiación es de  $1 \text{ kW/m}^2$ . Esta métrica permite estimar la producción energética diaria de un arreglo fotovoltaico a partir de su potencia nominal.

Estudios y reportes técnicos muestran que Colombia, por su ubicación cercana al ecuador, presenta una radiación solar promedio anual alrededor de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día, con variaciones regionales. Este rango sirve como base de diseño conservador para pequeños sistemas fotovoltaicos domiciliarios en la región andina, incluyendo Risaralda.

### ***Radiación solar local y Horas Pico Solares (HSP)***

La vivienda de estudio está ubicada en Dosquebradas, Risaralda (aprox. 4.83° N, – 75.67° O; sector La Carmelita, Cra 17 #30-24). Para zonas interandinas de Colombia con nubosidad variable se adopta un valor conservador de HSP = 4,0–4,5 h/día anual promedio, pudiendo superar 5 h en periodos secos y caer hacia 3,5–4 h en temporadas muy nubladas. Estas estimaciones son consistentes con datos regionales de radiación media del país ( $\approx 4,5$  kWh/m<sup>2</sup>/día) y con la metodología de cálculo PVGIS para latitudes tropicales.

Para los cálculos de diseño se emplea HSP\_diseño = 4,0 h/día (valor prudente) y se aplica un factor de pérdidas del 20 % (15 % pérdidas eléctricas + 5 % suciedad/degradación del panel). El factor resultante (derating) es 0,80. La ecuación general se muestra en la Sección 5.3.

Figura 41

## Ubicación Geográfica y Parámetros de Entrada en PVGIS



*Nota.* Imagen tomada de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS-ERA5), European Commission, Joint Research Centre, 2023.

Figura 42

## Estimaciones Mensuales de Irradiación Solar y Contorno del Horizonte (2005-2023)



*Nota.* Imagen tomada de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS-ERA5),

European Commission, Joint Research Centre, 2023.

### Figura 43

*Datos Mensuales de Irradiación Solar para la Ubicación [4.832°N, -75.675°O]*

Global irradiation optimum angle

| Month     | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| January   | 144.93 | 146.89 | 152.9  | 145.95 | 144.55 | 181.33 | 160.81 | 150.98 | 165.01 | 145.92 | 167.62 | 174.05 | 149.2  | 150.05 | 161.43 | 175.12 |
| February  | 151.44 | 154.21 | 171.98 | 150.47 | 135.69 | 150.75 | 129.73 | 159.36 | 131.6  | 126.64 | 144.31 | 150.66 | 152.62 | 132.1  | 143.05 | 166.87 |
| March     | 181.4  | 137.88 | 142.55 | 158.18 | 142.44 | 171.35 | 140.57 | 138.31 | 152.17 | 157.02 | 147.52 | 158.78 | 139.93 | 158.19 | 158.33 | 168.51 |
| April     | 128.83 | 124.25 | 132.72 | 133.14 | 135.71 | 123.54 | 119.99 | 122.18 | 137.89 | 136.39 | 133.56 | 130.15 | 140.83 | 128.03 | 128.57 | 139.61 |
| May       | 134.72 | 139.24 | 121.3  | 120.7  | 131.91 | 126.87 | 130.37 | 132.31 | 124.25 | 120.64 | 128.83 | 123.76 | 140.49 | 127.19 | 132.06 | 121.57 |
| June      | 130.69 | 135.82 | 130    | 132.6  | 121.45 | 130.84 | 130.77 | 145.33 | 138.91 | 122.55 | 127.19 | 131.6  | 142.29 | 132.48 | 124.04 | 128.49 |
| July      | 159.57 | 131.35 | 154.76 | 135.68 | 145.22 | 132.42 | 141.85 | 148.07 | 147.9  | 143.03 | 129.62 | 137.71 | 143.57 | 139.36 | 150.19 | 144.53 |
| August    | 155.47 | 171.5  | 155.93 | 152.04 | 146.91 | 153.04 | 162.68 | 165.08 | 143.18 | 158.26 | 144.3  | 160.38 | 169.61 | 169.22 | 171.66 | 154.29 |
| September | 163.2  | 167.12 | 161    | 151.8  | 160    | 141.05 | 158.01 | 154.43 | 150.8  | 150.46 | 155.49 | 148.72 | 163.36 | 169.44 | 166.43 | 166.14 |
| October   | 141.54 | 142.33 | 133.99 | 157.59 | 138.64 | 140.54 | 124.34 | 137.1  | 148.36 | 131.74 | 136.03 | 137.98 | 146.45 | 144.59 | 154.82 | 149.74 |
| November  | 122.23 | 126.81 | 133.73 | 121.89 | 128.04 | 117.93 | 117.73 | 138.52 | 126.71 | 135.89 | 119.88 | 137.88 | 144.82 | 128.32 | 139.8  | 144.98 |
| December  | 154.63 | 133.51 | 138.82 | 143.04 | 147.01 | 129.79 | 131    | 146.27 | 132.21 | 156.84 | 147.35 | 147.04 | 162.4  | 167.22 | 152.04 | 156.23 |

*Nota.* Imagen tomada de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS-ERA5),

European Commission, Joint Research Centre, 2023.

Según los datos obtenidos mediante la herramienta PVGIS (ERA5, 2005-2023) para la ubicación [4.832°N, -75.675°O], correspondiente a Dosquebradas, Risaralda, la irradiación solar global promedio sobre un plano con ángulo óptimo de inclinación se encuentra en un rango de 4,5 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Estos valores se traducen en las llamadas Horas Pico Solares (HSP), que representan la cantidad de horas equivalentes de máxima radiación solar disponibles al día. La variación mensual muestra que los meses de enero, febrero, marzo y agosto tienden a registrar los valores más altos de irradiación, mientras que los meses de abril, mayo, octubre y noviembre presentan valores más moderados.

En términos de potencial, los resultados confirman que la zona cuenta con

condiciones favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos residenciales y comerciales, garantizando un buen nivel de generación eléctrica a lo largo del año.

Por lo tanto, se puede concluir que la región posee un alto recurso solar renovable, lo cual respalda la viabilidad técnica del uso de energía solar fotovoltaica como alternativa sostenible para el suministro energético local.

### ***Perfil de Operación***

El sistema funcionará únicamente durante el día, lo que significa que los consumos eléctricos se concentran en un periodo aproximado de 14 horas (6:00 a 20:00). Durante la noche, el sistema permanecerá apagado o en modo de bajo consumo, evitando descargas innecesarias de la batería. Esta decisión reduce considerablemente la demanda energética diaria, optimizando el aprovechamiento del recurso solar.

### ***Cálculo de Consumo Diario***

En la Tabla 4 se presenta la estimación del consumo eléctrico del sistema, sin incluir la bomba, ya que esta podría mantenerse conectada a la red convencional.

**Tabla 4**

*Consumo Eléctrico Estimado del Sistema (Modo Diurno)*

| Componente                 | Potencia (W) | Horas/día | Energía diaria (Wh) |
|----------------------------|--------------|-----------|---------------------|
| Arduino UNO                | 0.8          | 14        | 11.2                |
| Pantalla LCD 16x4          | 0.6          | 14        | 8.4                 |
| Sensor ultrasónico HC-SR04 | 0.02         | 14        | 0.3                 |
| Módulo relé                | 0.4          | 1         | 0.4                 |

| Componente                     | Potencia (W) | Horas/día | Energía diaria (Wh) |
|--------------------------------|--------------|-----------|---------------------|
| Conversión y pérdidas internas | 1.0          | 14        | 14.0                |
| Total consumo diario           |              |           | 34.3                |
| Margen adicional (25 %)        |              |           | +8.6                |
| Consumo total estimado         |              |           | ≈43 Wh              |

*Nota.* Autoría propia.

### ***Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico***

Dimensionamiento del panel solar.

Ya calculamos el consumo total aproximado:

$$E_{Consumo} \approx 43 \text{ Wh/día}$$

Esto incluye:

- Arduino UNO :  $0,8 \text{ W} \times 14 \text{ h} = 11,2 \text{ Wh}$
- LCD 16x4:  $0,6 \text{ W} \times 14 \text{ h} = 8,4 \text{ Wh}$
- Sensor ultrasónico:  $0,02 \text{ W} \times 14 \text{ h} = 0,3 \text{ Wh}$
- Relé:  $0,4 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 0,4 \text{ Wh}$
- Pérdidas internas y regulador: 14 Wh

Total: 43 Wh/día (con 25 % margen).

### **Producción Solar Necesaria**

Se aplica:

$$P_{necesaria} = \frac{E_{consumo}}{HSP * \eta}$$

Donde:

- $E_{consumo} = 43 \text{ Wh/día}$
- $HSP = 4h / \text{día}$  (dosquebradas)
- $\eta = 0.80$  (eficiencia real del sistema)

$$P_{necesaria} = \frac{43}{4 * 0.8} = 13.4 \text{ W}$$

Si bien los cálculos teóricos indican que un panel de 14 W sería suficiente para cubrir la demanda diaria (43 Wh/día), se optó por un panel de 100 W por las siguientes razones:

1. Condiciones climáticas variables: Dosquebradas presenta alta nubosidad y lluvias frecuentes, lo que reduce significativamente la radiación solar efectiva. El sobredimensionamiento asegura que incluso en días parcialmente nublados el sistema cargue la batería.
2. Factor de degradación y pérdidas: Con el tiempo, los paneles solares pierden eficiencia (aprox. 0,5 % anual) y se producen pérdidas por temperatura, suciedad y cableado. El margen garantiza que estas pérdidas no afecten el funcionamiento del sistema.
3. Velocidad de recarga: Un panel de 100 W permite recuperar la energía consumida en pocas horas de luz solar, evitando que la batería llegue a niveles críticos y aumentando su vida útil.
4. Autonomía y expansión futura: La selección de un panel más potente brinda la posibilidad de agregar más dispositivos al sistema (sensores adicionales, comunicación Wi-Fi

constante, actuadores) sin necesidad de cambiar el sistema fotovoltaico.

Producción real del panel:

$$E_{dia} = P_{panel} * HSP_0 * \eta = 110 * 4 * 0.8 = 320 Wh/dia$$

### ***Dimensionamiento de la Batería***

Objetivo: 3 días de autonomía sin sol.

$$E_{autonomia} = E_{consumo} * Dias = 43 * 3 = 129 Wh$$

Ajustando por profundidad de descarga segura (DOD = 60 %):

$$Capacidad_{Wh} = \frac{129}{0.60} = 215 Wh$$

Convertido a amperios-hora a 12 V:

$$Capacidad_{Wh} = \frac{215}{12} = 18 Ah$$

La batería mínima requerida para 3 días de autonomía sería de 18 Ah a 12 V. Sin embargo, el sistema cuenta con una batería de 35 Ah, que proporciona:

Energía nominal:

$$E_{bat} = 12 * 35 = 420 Wh$$

Capacidad útil al 60 %:

$$E_{util} = 420 * 0.60 = 252 Wh$$

Autonomía:

$$Autonomia = \frac{252}{43} = 5.8 dias$$

Aunque el cálculo teórico indica que una batería de 18 Ah sería suficiente para cubrir tres días de autonomía, se seleccionó una batería de 35 Ah. Este valor duplica la capacidad mínima, ofreciendo:

1. Mayor autonomía ( $\approx 5,8$  días): Esto asegura operación estable incluso en varios días nublados consecutivos.
2. Reducción del número de ciclos profundos: Al trabajar en un rango del 40–60 % de descarga, se prolonga significativamente la vida útil de la batería.
3. Posibilidad de ampliación del sistema: La capacidad extra permite añadir sensores o cargas menores sin comprometer la estabilidad energética.

Por tanto, la batería de 35 Ah no solo cumple, sino que supera ampliamente los requerimientos del proyecto, garantizando seguridad y confiabilidad.

### ***Cálculo del Controlador de Carga Solar***

El controlador regula la energía del panel hacia la batería, protegiendo ambos componentes y estabilizando la carga. Para dimensionarlo, se considera la corriente máxima del panel solar:

Fórmula:

$$I_{panel} = \frac{p_{panel}}{V_{Bateria}} = \frac{100 W}{12 V} = 8.33 A$$

Esto significa que el panel de 100 W entregará aproximadamente 8.3 A en condiciones óptimas.

Margen de seguridad.

Se recomienda un factor de seguridad del 25 % para soportar picos y futuros aumentos de potencia:

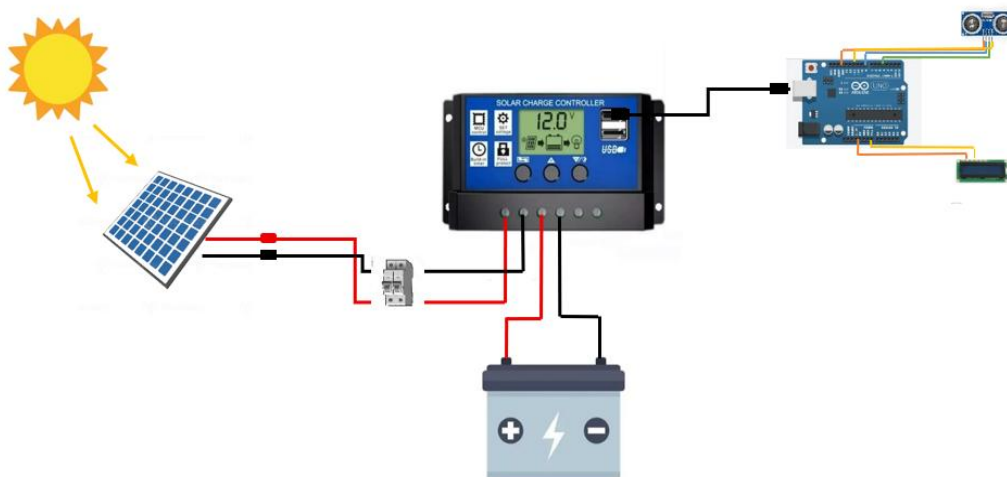
$$I_{segura} = 8.33 * 1.25 = 10.4 A$$

Aunque un controlador de 10 A cubriría el requerimiento actual, se eligió uno de 30 A por:

- Sobredimensionamiento para seguridad: Garantiza que no trabaje al límite de su capacidad, reduciendo riesgo de fallas por sobrecarga.
- Expansión del sistema: Posibilidad de añadir más paneles o cargas en el futuro.
- Protección integral: Algunos modelos de 30 A incorporan mejor monitoreo y protección contra sobre voltaje, polaridad inversa y cortocircuitos.

**Figura 44**

*Diagrama de Conexión*



*Nota.* Autoría propia.

### *Proceso de Instalación del Subsistema Eléctrico*

1. Ubicación del panel: Instalado en zona libre de sombra; orientado al norte geográfico con inclinación baja ( $\approx 10^\circ$ ) acorde a latitud tropical.

#### **Figura 45**

*Panel Instalado*



*Nota.* Autoría propia.

2. Soporte estructural: Base metálica fijada al techo o estructura rígida.

**Figura 46***Soporte de Panel*

*Nota.* Autoría propia.

3. Cableado solar: Conectores MC4 y cable UV-resistente.

**Figura 47***Conexión de Panel*

*Nota.* Autoría propia.

4. Caja eléctrica de control: Caja de metal con controlador solar, breaker DC, y bornes de distribución.

### Figura 48

#### *Conexión de Elementos de la Planta Solar*



*Nota.* Autoría propia.

5. Conexión de batería: Cable corto y calibre adecuado para baja caída de voltaje; protección con fusible/breaker.

**Figura 49***Conexión de Batería*

*Nota.* Autoría propia.

6. Salida regulada: Convertidor del Controlador solar DC-DC a 5 V para alimentar Arduino, LCD y sensor.

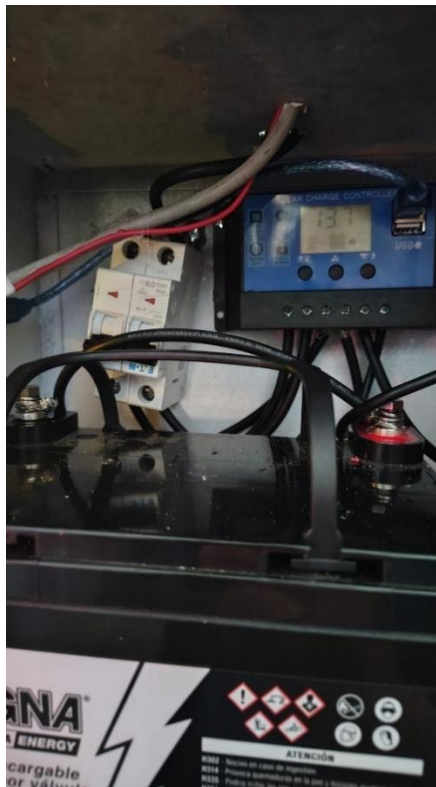
**Figura 50***Puerto USB del Controlador*

*Nota.* Autoría propia.

7. Prueba funcional: Verificación de voltajes, carga del panel, lectura de estado de batería y entrega de energía a cargas.

**Figura 51**

*Planta Solar Instalada*



*Nota.* Autoría propia.

**Figura 52**

*Imagen Panel Cargando Bateria*



*Nota.* Autoría propia.

## Figura 53

### *Voltaje del Controlador*



*Nota.* Autoría propia.

## Subsistema Electrónico y de Control

El subsistema electrónico constituye el núcleo de monitoreo y automatización del sistema de reutilización de agua. Está basado en un microcontrolador Arduino UNO, que gestiona la adquisición de datos (nivel de agua), el control de la electroválvula o bomba, y la interacción con el usuario mediante una pantalla LCD 16x2.

El diseño busca bajo consumo energético, robustez en ambientes húmedos, y compatibilidad con el sistema fotovoltaico descrito en la Fase 5.

## *Arquitectura del Sistema*

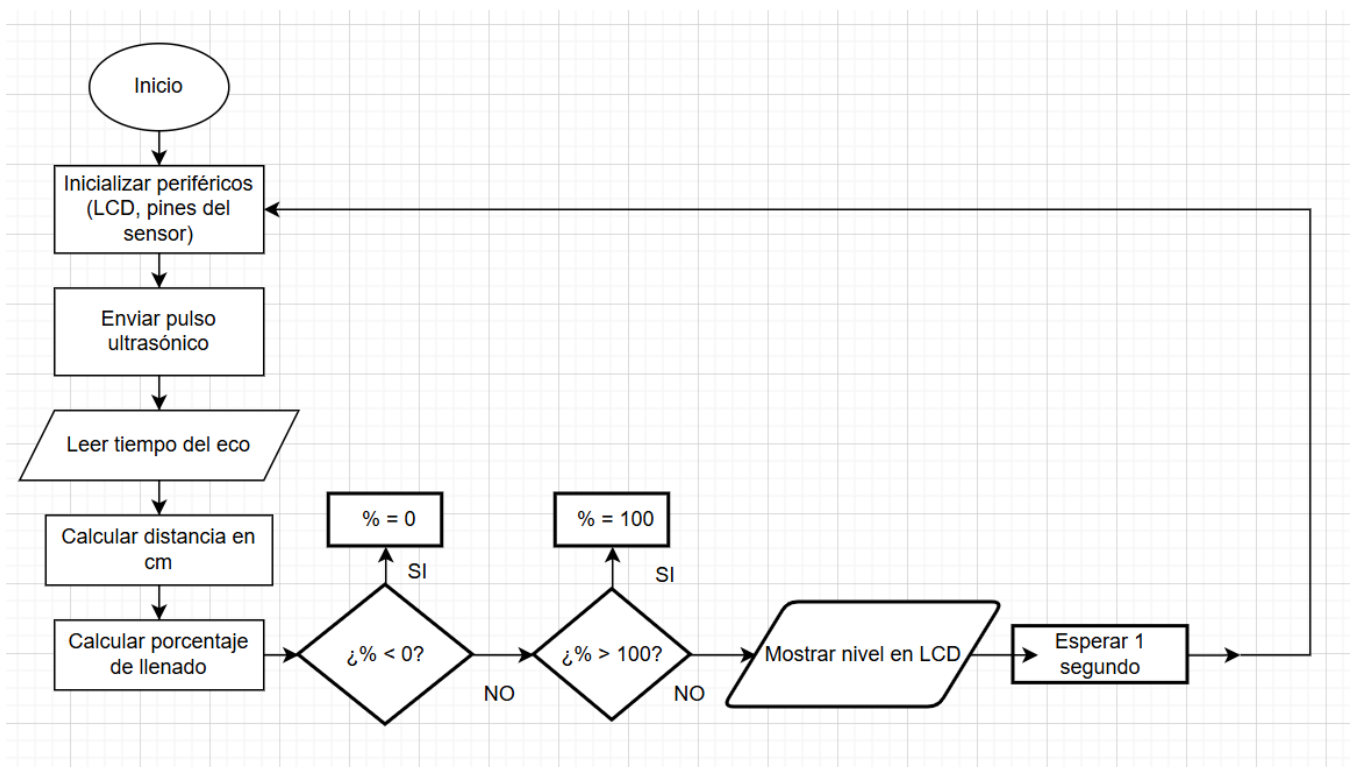
El flujo de trabajo del subsistema es el siguiente:

1. El sensor ultrasónico HC-SR04 envía señales al Arduino UNO, indicando la distancia hasta la superficie del agua.

2. El Arduino UNO procesa esta información, calculando el porcentaje de llenado del tanque.
3. El nivel de agua se visualiza en la pantalla LCD 16x2 en tiempo real.
4. La alimentación proviene directamente de la salida de 5 V del controlador solar.

**Figura 54**

*Diagrama de Flujo del Sistema de Monitoreo de Nivel de Tanque*



*Nota.* Autoría propia

### **Diagrama de Conexiones**

El circuito se conectó de la siguiente manera:

VCC (5 V): Salida de 5 V del controlador solar al VCC del Arduino UNO,  
pantalla LCD y sensor HC-SR04.

Arduino UNO – Sensor ultrasónico HC-SR04

Pin digital D5 → Pin TRIG

Pin digital D10 → Pin ECHO

Pin 5V → Pin VCC

Pin GND → Pin GND

Arduino UNO – Pantalla LCD 16x2 con módulo I2C

Pin analógico A4 (SDA) → Pin SDA

Pin analógico A5 (SCL) → Pin SCL

Pin 5V → Pin VCC

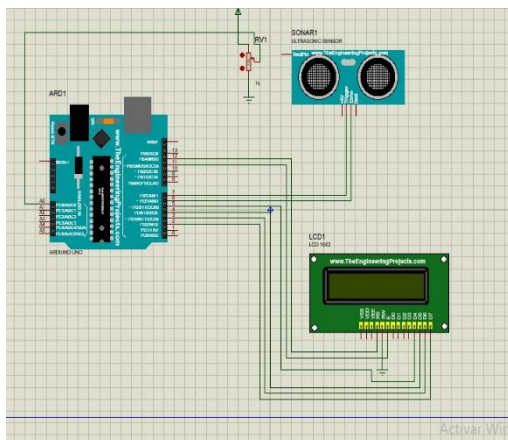
Pin GND → Pin GND

Todas las tierras (GND) se conectan en común para asegurar un correcto funcionamiento del sistema.

La dirección I2C utilizada para la comunicación con la pantalla LCD es 0x27 (en caso de no reconocerla, se debe probar con la dirección alternativa 0x3F).

## Figura 55

*Circuito Hecho en Proteus*



*Nota.* Autoría propia.

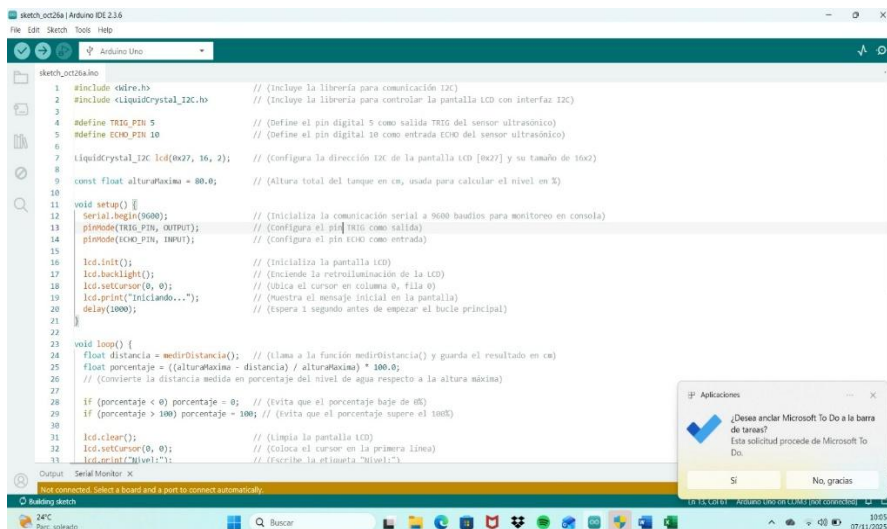
## Programación del Arduino UNO

### Lenguaje y entorno

- IDE: Arduino IDE (configurado para placas Arduino UNO).
- Lenguaje: C/C++ basado en el framework de Arduino.
- Librerías necesarias:
  - LiquidCrystal\_I2C.h para la pantalla LCD.
  - Wire.h para comunicación I2C.

Figura 56

### Código del Sistema en IDE de Arduino



```

1 #include <Wire.h> // Incluye la librería para comunicación I2C
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // Incluye la librería para controlar la pantalla LCD con interfaz I2C
3
4 #define TRIG_PIN 5 // Define el pin digital 5 como salida TRIG del sensor ultrasónico
5 #define ECHO_PIN 10 // Define el pin digital 10 como entrada ECHO del sensor ultrasónico
6
7 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Configura la dirección I2C de la pantalla LCD [0x27] y su tamaño de 16x2
8
9 const float alturaMaxima = 80.0; // Altura total del tanque en cm, usada para calcular el nivel en %
10
11 void setup() {
12   Serial.begin(9600); // Inicializa la comunicación serial a 9600 baudios para monitoreo en consola
13   pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT); // Configura el pin TRIG como salida
14   pinMode(ECHO_PIN, INPUT); // Configura el pin ECHO como entrada
15
16   lcd.begin(); // Inicializa la pantalla LCD
17   lcd.backlight(); // Enciende la retroiluminación de la LCD
18   lcd.setCursor(0, 0); // Sitúa el cursor en columna 0, fila 0
19   lcd.print("Iniciando..."); // Muestra el mensaje inicial en la pantalla
20   delay(1000); // Espera 1 segundo antes de empezar el bucle principal
21 }
22
23 void loop() {
24   float distancia = medirDistancia(); // Llama a la función medirDistancia() y guarda el resultado en cm
25   float porcentaje = ((alturaMaxima - distancia) / alturaMaxima) * 100.0;
26   // (Convierte la distancia medida en porcentaje del nivel de agua respecto a la altura máxima)
27
28   if (porcentaje < 0) porcentaje = 0; // Evita que el porcentaje baje de 0%
29   if (porcentaje > 100) porcentaje = 100; // Evita que el porcentaje supere el 100%
30
31   lcd.clear(); // Limpia la pantalla LCD
32   lcd.setCursor(0, 0); // Coloca el cursor en la primera línea
33   lcd.print("Nivel:"); // Escribe la etiqueta "Nivel:"

```

Nota. Autoría propia.

## Alimentación y Consumo Eléctrico

La salida de 5 V del controlador solar alimenta de forma directa los componentes.

Los consumos aproximados son:

**Tabla 5***Consumo Eléctrico*

| Componente        | Consumo (mA) | Horas/día | Energía (Wh) |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|
| Arduino UNO       | ~160         | 14        | ~11.2        |
| Pantalla LCD 16x2 | ~100         | 14        | ~8.4         |
| HC-SR04           | ~15          | 14        | ~0.3         |
| Total             | ≈275 mA      | 14        | ~20 Wh       |

Nota. Autoría propia.

*Código del Sistema*

```
#include <Wire.h>           // (Incluye la librería para comunicación I2C)
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // (Incluye la librería para controlar la pantalla
LCD con interfaz I2C)

#define TRIG_PIN 5         // (Define el pin digital 5 como salida TRIG del
sensor ultrasónico)

#define ECHO_PIN 10       // (Define el pin digital 10 como entrada ECHO
del sensor ultrasónico)
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // (Configura la dirección I2C de la pantalla  
LCD [0x27] y su tamaño de 16x2)
```

```
const float alturaMaxima = 80.0; // (Altura total del tanque en cm, usada para  
calcular el nivel en %)
```

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600); // (Inicializa la comunicación serial a 9600 baudios  
para monitoreo en consola)
```

```
    pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT); // (Configura el pin TRIG como salida)
```

```
    pinMode(ECHO_PIN, INPUT); // (Configura el pin ECHO como entrada)
```

```
    lcd.init(); // (Inicializa la pantalla LCD)
```

```
    lcd.backlight(); // (Enciende la retroiluminación de la LCD)
```

```
    lcd.setCursor(0, 0); // (Ubica el cursor en columna 0, fila 0)
```

```
    lcd.print("Iniciando..."); // (Muestra el mensaje inicial en la pantalla)
```

```
    delay(1000); // (Espera 1 segundo antes de empezar el bucle  
principal)
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    float distancia = medirDistancia(); // (Llama a la función medirDistancia() y
```

guarda el resultado en cm)

```
float porcentaje = ((alturaMaxima - distancia) / alturaMaxima) * 100.0;
```

// (Convierte la distancia medida en porcentaje del nivel de agua respecto a la altura máxima)

```
if (porcentaje < 0) porcentaje = 0; // (Evita que el porcentaje baje de 0%)
```

```
if (porcentaje > 100) porcentaje = 100; // (Evita que el porcentaje supere el 100%)
```

```
lcd.clear(); // (Limpia la pantalla LCD)
```

```
lcd.setCursor(0, 0); // (Coloca el cursor en la primera línea)
```

```
lcd.print("Nivel:"); // (Escribe la etiqueta "Nivel:")
```

```
lcd.setCursor(7, 0); // (Coloca el cursor en la misma línea, columna 7)
```

```
lcd.print((int)porcentaje); // (Muestra el nivel en porcentaje sin decimales)
```

```
lcd.print("%"); // (Agrega el símbolo de porcentaje)
```

Serial.print("Distancia: "); // (Envía por el puerto serial la distancia medida en cm)

```
Serial.print(distancia);
```

```
Serial.print(" cm - Nivel: ");
```

```
Serial.print(porcentaje); // (Envía también el nivel en porcentaje)
```

```
Serial.println(" %");
```

```
delay(1000); // (Espera 1 segundo antes de realizar otra medición)
```

```

}

float medirDistancia() {
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);    // (Asegura que TRIG inicie en bajo)
    delayMicroseconds(2);          // (Espera 2 microsegundos)

    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);  // (Envía un pulso alto de 10 microsegundos
en TRIG)
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);   // (Apaga el pulso en TRIG)

    long duracion = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000); // (Mide el tiempo en
microsegundos del pulso de retorno en ECHO, máximo 30 ms ≈ 500 cm)

    float distancia = duracion * 0.034 / 2;    // (Convierte el tiempo en distancia en
cm, usando la velocidad del sonido: 0.034 cm/μs)

    return distancia;                // (Devuelve la distancia calculada en cm)
}

```

### **Simulación en PROTEUS**

Antes de proceder con el montaje físico del sistema, se desarrolló una simulación en el software Proteus Design Suite, el cual es ampliamente utilizado en el ámbito académico e industrial para la verificación de circuitos electrónicos y sistemas embebidos. El propósito de la simulación fue validar previamente el comportamiento del algoritmo implementado en

el microcontrolador y la correcta interacción entre los diferentes componentes del proyecto.

### ***Componentes Utilizados***

#### **Arduino UNO**

Es el microcontrolador principal del sistema. Se encarga de recibir la señal analógica o digital, procesarla y mostrar el resultado en la pantalla LCD. En esta simulación, se cargó un programa en formato .hex generado desde el entorno Arduino IDE.

#### **Sensor Ultrasónico (HC-SR04)**

En el diseño real, este sensor mide la distancia entre el emisor y la superficie del agua mediante ondas ultrasónicas.

En la simulación, se incluyó el componente Ultrasonic Sensor (HC-SR04) del repositorio TheEngineeringProjects, aunque no fue funcional para la lectura real. Por este motivo, se utilizó un potenciómetro para representar el comportamiento del nivel del agua.

#### **Pantalla LCD 16x2**

Permite visualizar el porcentaje de llenado del tanque en tiempo real.

Está conectada al Arduino mediante los pines digitales 12, 11, 5, 4, 3 y 2 (modo de 4 bits).

El pin RW está conectado a GND para mantener la pantalla en modo de escritura.

#### **Potenciómetro (POT-HG)**

Se usó como sustituto del sensor ultrasónico para simular la variación del nivel del tanque.

Su conexión fue la siguiente:

Pin 1 → GND

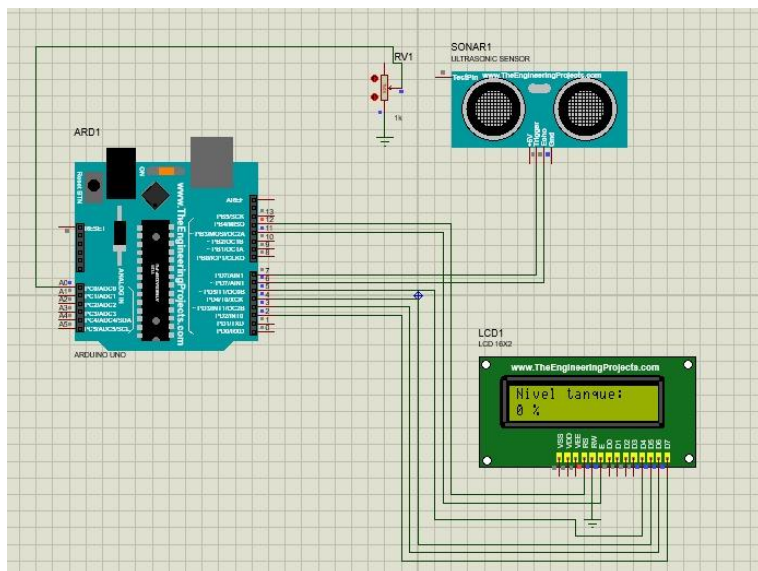
Pin 2 (wiper) → A0 del Arduino

Pin 3 → 5V

Al girar el potenciómetro, se genera un valor analógico entre 0 y 1023 que el Arduino convierte a un porcentaje (0–100%) usando la función.

### Figura 57

*Simulación Circuito en Proteus*



*Nota.* Autoría propia.

### *Proceso de Carga del Programa*

El código fue desarrollado en el entorno Arduino IDE y compilado para el modelo Arduino UNO.

Desde el menú Sketch → Exportar compilación, se generó un archivo .hex que fue ubicado en la carpeta temporal del proyecto.

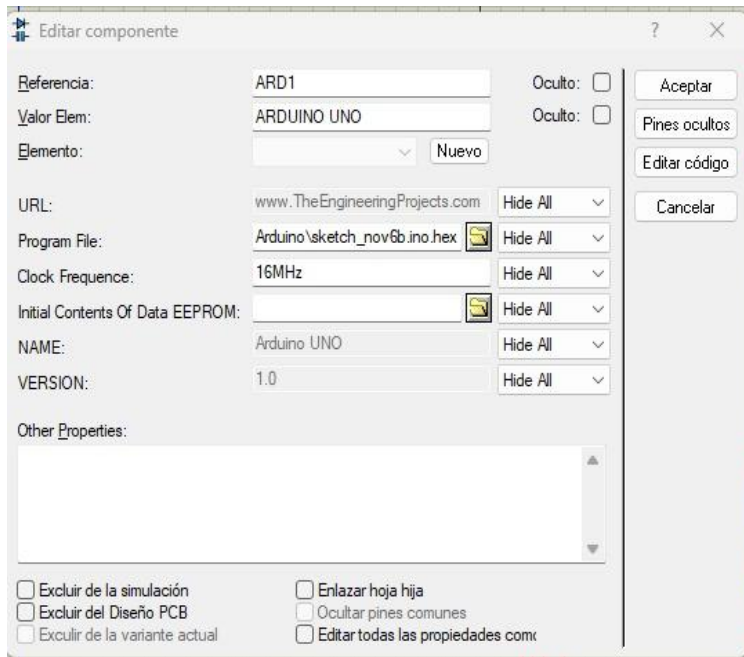
En Proteus, se seleccionó el Arduino UNO y en sus propiedades se cargó el archivo

.hex correspondiente al programa.

Una vez cargado, se inició la simulación y el sistema comenzó a mostrar el nivel en la pantalla LCD en función del movimiento del potenciómetro.

## Figura 58

### *Carga del Código al Arduino UNO*



*Nota.* Autoría propia.

### ***Funcionamiento del Sistema***

El sistema de medición de nivel del tanque está diseñado para representar, mediante una simulación en Proteus, el comportamiento real de un tanque con un sensor ultrasónico, utilizando un potenciómetro como sustituto del sensor.

El funcionamiento se basa en la lectura continua de una señal analógica proveniente del potenciómetro, que representa el nivel de llenado del tanque. Cuando el usuario gira el eje del potenciómetro, se modifica la resistencia interna del mismo, lo que genera una variación

en el voltaje entregado al pin analógico A0 del Arduino UNO. Este voltaje cambia entre 0 V (nivel mínimo) y 5 V (nivel máximo), lo que el microcontrolador interpreta como un valor entre 0 y 1023 en su conversor analógico–digital (ADC) de 10 bits.

Una vez el Arduino recibe esta señal, la procesa internamente y realiza una conversión proporcional para expresar el valor en forma de porcentaje. Este porcentaje representa el nivel del tanque, es decir, cuánto se encuentra lleno respecto a su capacidad total.

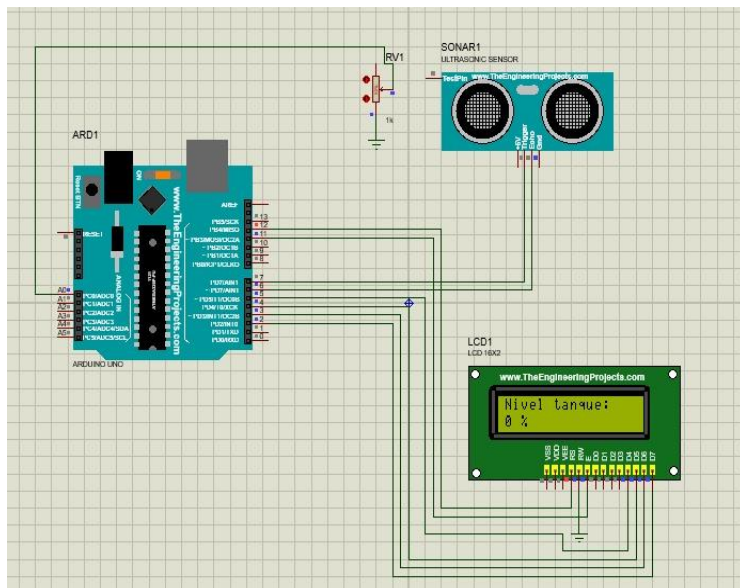
El resultado de esta lectura se envía a la pantalla LCD 16x2, donde se visualiza en tiempo real el nivel del tanque. La primera línea de la pantalla muestra el texto “Nivel tanque”, mientras que la segunda línea indica el porcentaje actual de llenado. Esta actualización es continua, por lo que cada movimiento en el potenciómetro genera un cambio inmediato en la lectura mostrada.

Durante la simulación, cuando el potenciómetro se encuentra completamente girado hacia un extremo, el sistema interpreta que el tanque está vacío (0 %). A medida que el usuario incrementa el valor del potenciómetro, el nivel mostrado aumenta progresivamente hasta alcanzar el 100 %, lo que representaría un tanque completamente lleno.

Este principio de funcionamiento es el mismo que se utilizaría con un sensor ultrasónico real, que, en lugar de entregar una señal analógica proporcional, mediría la distancia desde el emisor hasta la superficie del agua. Con dicha distancia, el Arduino podría calcular el nivel de llenado del tanque aplicando una relación matemática entre la altura total del depósito y el valor medido.

**Figura 59**

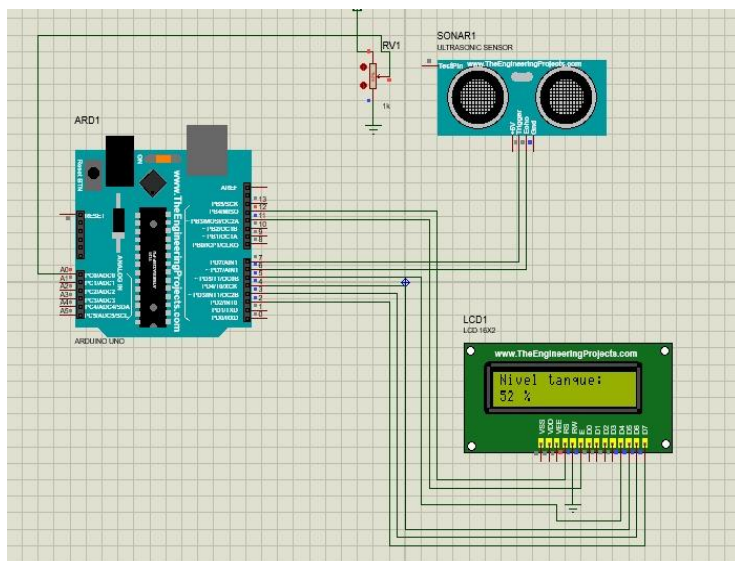
*Sistema en Nivel (0%)*



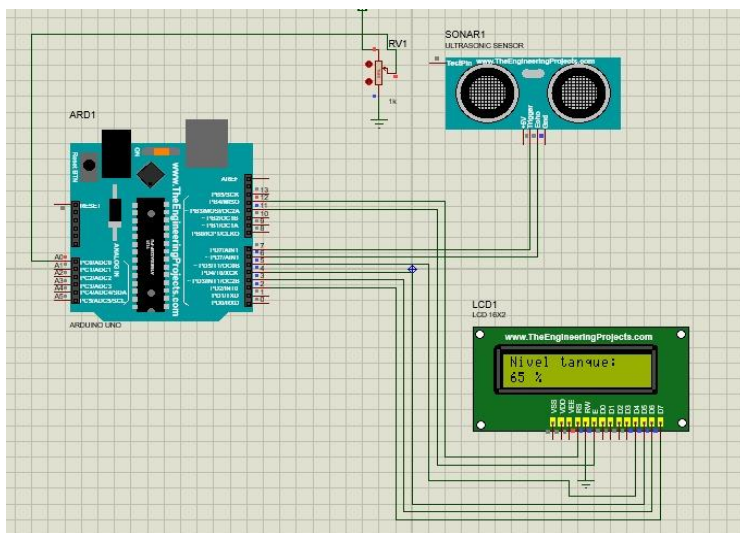
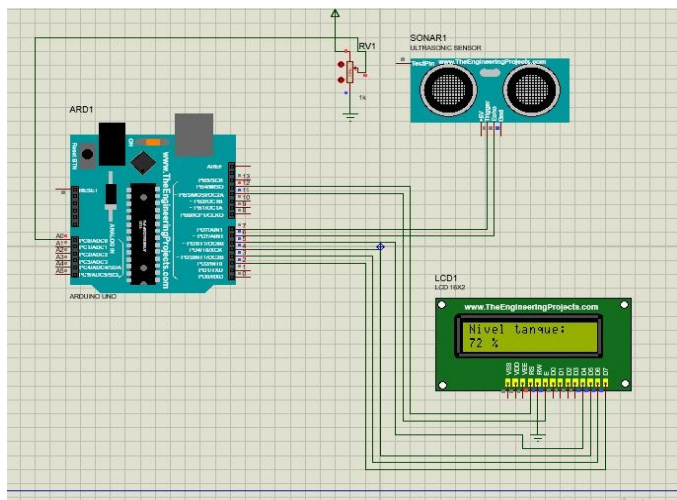
*Nota. Autoría propia.*

**Figura 60**

*Sistema en Nivel (52%)*



*Nota. Autoría propia.*

**Figura 61***Sistema en Nivel (65%)**Nota. Autoría propia.***Figura 62***Sistema en Nivel (72%)**Nota. Autoría propia.*

Gracias a esta simulación, es posible validar el comportamiento general del sistema

antes de su implementación física, comprobando que el algoritmo de lectura del sensor y la visualización de los datos en la pantalla LCD funcionen correctamente.

Cabe aclarar que, aunque las conexiones utilizadas en Proteus no son exactamente las mismas que en el montaje real, se mantienen los principios de funcionamiento y las correspondencias lógicas entre los pines, por lo que el desempeño final del sistema será equivalente una vez adaptado al circuito físico.

### ***Proceso de Instalación y Pruebas***

El proceso de instalación del sistema se desarrolló en varias etapas, siguiendo un orden lógico que garantizó tanto la protección de los componentes como el correcto funcionamiento del dispositivo.

Carga del programa al microcontrolador.

Inicialmente, se realizó la carga del código al Arduino UNO mediante el entorno de desarrollo Arduino IDE, empleando el puerto USB de conexión. En esta etapa se verificó que no existieran errores de compilación y que el programa pudiera ejecutarse correctamente en la placa.

### **Figura 63**

#### *Cargue del Código en IDE de Arduino*



*Nota.* Autoría propia.

## Montaje en la Caja Eléctrica

Una vez programado el Arduino, se procedió a su instalación en la caja metálica destinada a alojar los componentes. La placa se fijó con aislantes plásticos para prevenir cortocircuitos, asegurando su estabilidad mecánica.

### Figura 64

*Arduino UNO Instalado*



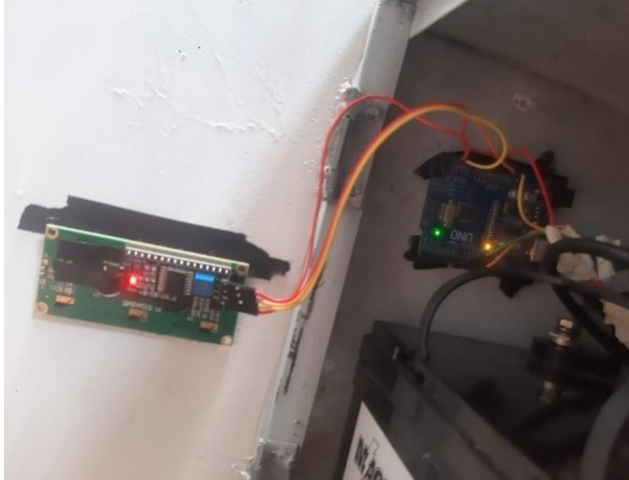
*Nota.* Autoría propia.

## Cableado de los Periféricos

Posteriormente, se realizaron las conexiones entre el Arduino UNO, el sensor ultrasónico HC-SR04 y la pantalla LCD 16x2 con interfaz I2C. Se respetaron los colores convencionales para los conductores (rojo para positivo y negro para negativo) con el fin de facilitar futuras verificaciones.

**Figura 65**

*Cableado del Arduino UNO hacia los Periféricos*



*Nota.* Autoría propia.

**Conexión de la Alimentación**

La alimentación del sistema se efectuó a través del puerto USB del Arduino, el cual proporcionó el voltaje necesario tanto para el microcontrolador como para los periféricos asociados.

**Figura 66**

*Conexión del Arduino UNO por el Puerto USB del Controlador*



*Nota.* Autoría propia.

### **Protección del Sensor Ultrasónico**

Para evitar daños por humedad, el sensor ultrasónico fue ubicado dentro de una caja de acrílico con dos orificios circulares que permitieron la emisión y recepción de las ondas acústicas. Esta caja protectora se instaló en la tapa superior del tanque, garantizando así la correcta orientación del sensor hacia la superficie del agua.

### **Figura 67**

*Protección en Acrílico del Sensor Ultrasónico*



*Nota.* Autoría propia.

### **Instalación del Sensor en el Tanque**

Una vez fijada la caja acrílica en la tapa del tanque, los conductores del sensor se extendieron hasta la caja metálica principal y se conectaron al Arduino.

**Figura 68***Instalación de Sensor Ultrasónico a Tapa de Tanque de Almacenamiento*

*Nota.* Autoría propia.

**Instalación de la Pantalla LCD**

La pantalla LCD se montó en el orificio frontal de la caja metálica, diseñado específicamente para su visualización. Posteriormente, se conectaron los conductores de la pantalla al Arduino, siguiendo las especificaciones del módulo I2C.

**Figura 69**

*Instalación de Pantalla LCD y Módulo I2C*



*Nota. Autoría propia.*

**Figura 70**

*Pantalla LCD Instalada y Funcionando*



*Nota. Autoría propia.*

**Puesta en Marcha del Sistema**

Finalmente, se energizó el dispositivo, verificando que el algoritmo ejecutado en el Arduino mostrara en la pantalla LCD el porcentaje de llenado del tanque. Se corroboró

además que el sensor ultrasónico transmitiera correctamente las mediciones y que el sistema respondiera de forma estable en tiempo real.

### **Figura 71**

*Sistema de Control Funcionando*



*Nota. Autoría propia.*

## **Plan de Mantenimiento del Sistema**

El mantenimiento del sistema es esencial para garantizar su funcionamiento continuo, prevenir fallas y prolongar la vida útil de cada uno de los componentes. Dado que el sistema combina elementos hidráulicos, eléctricos y electrónicos, el plan de mantenimiento se diseñó con un enfoque preventivo, priorizando tareas periódicas simples y de bajo costo.

### **Mantenimiento del Subsistema Hidráulico**

**Limpieza de filtros:** El filtro artesanal y el filtro de clarificación (arena, grava y carbón activado) deben lavarse cada mes para evitar obstrucciones por sedimentos, residuos o pelusas provenientes de la lavadora.

**Revisión de tuberías y válvulas:** Se debe inspeccionar visualmente el estado de las tuberías PVC y las válvulas de control cada mes, verificando que no existan fugas, grietas o acumulación de residuos.

**Lavado interno del tanque:** Una vez cada 2 meses, es recomendable vaciar el tanque de 250 L para remover sedimentos acumulados en el fondo y evitar malos olores.

**Verificación del caudal de la bomba:** En caso de utilizar bomba auxiliar, se debe comprobar su correcto funcionamiento y limpiar el impulsor si presenta obstrucciones.

### **Mantenimiento del Subsistema Eléctrico**

**Limpieza del panel solar:** Cada 15 días se recomienda limpiar la superficie del panel con un paño húmedo, removiendo polvo, hojas o residuos que puedan disminuir la captación de energía.

**Revisión de la batería:** Cada dos meses se debe medir el voltaje de la batería (12 V, 35 Ah) con un multímetro, verificando que no existan sulfataciones en los bornes.

Conexiones y cableado: Cada tres meses se deben revisar las conexiones en la caja eléctrica, asegurando que no haya falsos contactos, cables flojos o daños en el aislamiento.

Breaker y protecciones: Probar la funcionalidad del breaker DC y fusibles para garantizar la protección contra sobrecargas.

### **Mantenimiento del Subsistema de Control**

Sensor ultrasónico: Revisar el estado físico del sensor HC-SR04, ya que la acumulación de polvo o humedad puede afectar las mediciones. Se sugiere limpiarlo mensualmente.

Pantalla LCD y ESP32: Verificar el funcionamiento de la pantalla y el microcontrolador, comprobando que la información mostrada sea coherente.

Actualización de software: Si se detectan fallos de lectura o se requiere mejorar la lógica de control, se pueden cargar nuevas versiones del código en el ESP32.

### ***Cronograma de Mantenimiento***

El mantenimiento preventivo es esencial para garantizar el correcto funcionamiento y la vida útil del sistema de reutilización de agua. Debido a que el proyecto integra componentes hidráulicos, eléctricos y electrónicos, se definió un plan periódico que permite anticipar fallas, reducir costos de reparación y mantener la eficiencia energética y de filtración.

En la Tabla 6 se presenta el cronograma de mantenimiento propuesto, el cual establece las actividades, la frecuencia recomendada y las acciones preventivas para cada subsistema.

**Tabla 6***Cronograma de Mantenimiento del Sistema de Reutilización de Agua*

| Frecuencia   | Subsistema | Actividad   | Responsable         | Observaciones / Insumos              |
|--------------|------------|---|---------------------|--------------------------------------|
| Cada 15 días | Eléctrico  | Limpieza superficial del panel solar (polvo, hojas)                   | Usuario del sistema | Paño suave, agua; no abrasivos.      |
| Mensual      | Hidráulico | Limpieza del filtro artesanal (retención de pelusas y residuos)       | Usuario del sistema | Agua limpia, cepillo suave.          |
| Mensual      | Hidráulico | Lavado / reacomodo del filtro de clarificación (arena, grava, carbón) | Usuario del sistema | Reemplazar capas si están saturadas. |
| Mensual      | Control    | Limpieza del sensor   | Usuario del sistema | Paño seco; no sumergir.              |

| Frecuencia | Subsistema | Actividad   | Responsable         | Observaciones / Insumos           |
|------------|------------|---|---------------------|-----------------------------------|
|            |            | ultrasónico HC-SR04                                     |                     |                                   |
| Mensual    | Control    | Verificar lectura en LCD vs. medición manual de nivel   | Usuario del sistema | Cinta métrica para calibración.   |
| Mensual    | Hidráulico | Revisión de fugas en tuberías y válvulas                | Usuario del sistema | Sellador PVC si aplica.           |
| Bimestral  | Hidráulico | Lavado interno del tanque de 250 L (sedimentos, olores) | Usuario del sistema | Vaciar tanque; guantes y cepillo. |
| Bimestral  | Eléctrico  | Medir voltaje y estado de la batería; limpiar bornes    | Técnico o usuario   | Multímetro; vaselina dieléctrica. |

| Frecuencia | Subsistema | Actividad   | Responsable           | Observaciones / Insumos      |
|------------|------------|---|-----------------------|------------------------------|
| Trimestral | Eléctrico  | Revisar conexiones en caja metálica (tornillos, cables, fusibles) | Técnico               | Destornillador, multímetro.  |
| Trimestral | Eléctrico  | Probar breaker DC (apagar/encender, continuidad)                  | Técnico               | Multímetro continuidad.      |
| Trimestral | Hidráulico | Inspección general de tuberías PVC y válvulas (grietas, desgaste) | Usuario/Técnico       | Repuesto de sellador PVC.    |
| Semestral  | Control    | Actualizar firmware del ESP32 (si hay mejoras)                    | Técnico especializado | PC + cable USB; IDE Arduino. |
| Eventual   | Hidráulico | Verificar caudal de bomba si                                      | Técnico               | Medir tiempo de llenado.     |

| Frecuencia | Subsistema | Actividad  | Responsable | Observaciones / Insumos |
|------------|------------|--|-------------|-------------------------|
| Eventual   | Todos      | cambia<br>desempeño<br>Reemplazo de<br>componentes<br>dañados<br>(válvulas, cables,<br>sensores) | Técnico     | Según<br>diagnóstico.   |

*Nota.* Autoría propia.

### ***Beneficios del Mantenimiento***

Un mantenimiento adecuado:

Prolonga la vida útil de los componentes, especialmente de la batería y los filtros.

Asegura una alta eficiencia en la generación solar y en la filtración del agua.

Reduce costos de reparación al prevenir fallas mayores.

Garantiza el suministro confiable de agua reciclada y energía para el sistema de control.

## Resultados y Discusión

Se realizó un seguimiento continuo de 30 días al sistema de reutilización de agua de lavadora instalado en la vivienda (Dosquebradas, Risaralda) para evaluar: (a) el volumen de agua efectivamente recuperado y usado en descargas sanitarias, (b) el comportamiento del nivel en el tanque de 250 L bajo uso real familiar, (c) el desempeño energético del sistema fotovoltaico que alimenta el monitoreo electrónico y (d) la precisión de la medición de nivel frente a verificaciones manuales. Los datos se tomaron mediante registros diarios del usuario, lecturas de la pantalla LCD del sistema y comprobaciones puntuales con medición manual de nivel en el tanque.

Durante el mes de prueba se realizaron 16 ciclos de lavado (promedio: lavado día de por medio; algunas semanas con 4 y otras con 5 lavados). El volumen medido por carga estuvo entre 190 y 205 L; se tomó un promedio de 198 L/ciclo. Considerando pequeñas pérdidas en filtración y mangueras (~5 %), el volumen útil fue suficiente para cubrir prácticamente toda la demanda sanitaria. En la tabla se presenta el balance mensual.

**Tabla 7**

*Balance Mensual de Agua Recuperada y Demanda de Descarga Sanitaria*

| Concepto                     | Valor mensual | Observación                      |
|------------------------------|---------------|----------------------------------|
| Ciclos de lavado registrados | 16            | Lavado día de por medio (aprox.) |

| Concepto  | Valor mensual | Observación                   |
|---|---------------|-------------------------------|
| Volumen promedio por ciclo                        | 198 L         | Rango 190–205 L               |
| Agua total recuperable (teórica)                  | 3.168 L       | 16 × 198 L                    |
| Pérdidas estimadas en filtración/transporte (5 %) | -158 L        | Sedimentos y retención mínima |
| Agua almacenada útil en tanque                    | 3.010 L       | Disponible para sanitario     |
| Descargas sanitarias promedio/día                 | 20            | 4 personas × 5 usos           |
| Volumen por descarga (sanitario convencional)     | 6 L           | Medido en campo               |
| Demanda mensual sanitaria                         | 3.600 L       | 120 L/día × 30 días           |
| Cobertura con agua reciclada                      | ≈95–100 %     | Dependió de la semana de uso  |

*Nota.* Autoría propia.

Gracias al aporte de agua de la lavadora, se cubrió prácticamente el 100 % de las descargas sanitarias del mes. En semanas con cinco lavados la reserva en el tanque se

mantuvo alta incluso tras varios usos consecutivos. El valor de 6 L por descarga corresponde a un sanitario convencional de una sola descarga; equipos más nuevos o de doble descarga pueden usar entre 4,8 L y 8 L según fabricante y ajuste, por lo que la cobertura podría incluso superar el 100 % si se moderniza el sanitario.

### Comportamiento Semanal del Nivel del Tanque

El nivel del tanque se mantuvo casi siempre por encima del 50 % de su capacidad útil, lo que aseguró disponibilidad continua para descarga. En la semana con menos lavados (Semana 4) el nivel bajó más, pero aun así se logró atender la demanda sanitaria sin depender de la red convencional.

**Tabla 8**

*Comportamiento Semanal del Nivel del Tanque (Mes de Seguimiento)*

| Semana | Lavados | Agua ingresada (L) | Agua al sanitario (L) | % tiempo tanque >50 % | Comentarios de uso          |
|--------|---------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1      | 4       | 760                | 720                   | 85                    | Tanque siempre con reserva. |
| 2      | 4       | 800                | 840                   | 88                    | Cobertura total.            |

---

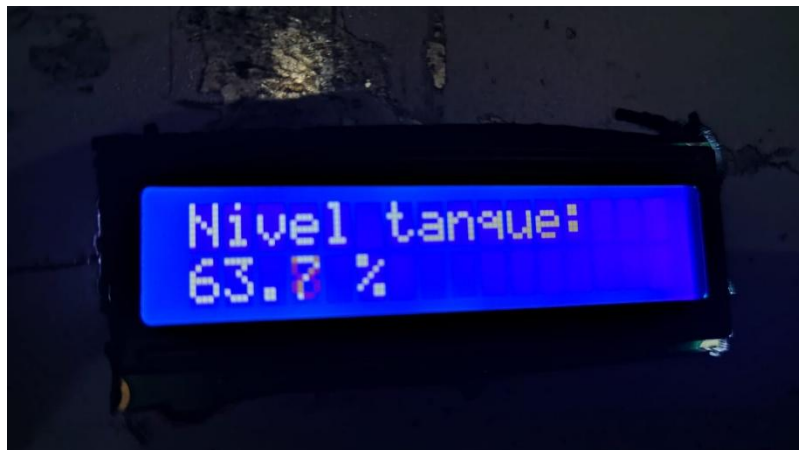
| Semana | Lavados | Agua ingresada (L) | Agua al sanitario (L) | % tiempo tanque >50 % | Comentarios de uso                          |
|--------|---------|--------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| 3      | 5       | 975                | 900                   | 96                    | Tanque casi siempre lleno.                  |
| 4      | 3       | 585                | 540                   | 81                    | Incluso con 3 lavados se cubrió la demanda. |

---

*Nota.* Autoría propia.

**Figura 72**

*Nivel de Tanque*



*Nota:* Autoría propia.

**Figura 73**

*Nivel Tanque*



*Nota.* Autoría propia.

### **Desempeño Energético en el Mes**

El subsistema fotovoltaico (panel 100 W + batería 12 V/35 Ah) alimentó el

monitoreo (ESP32, LCD, sensor) sin interrupciones durante el mes. Se tomaron lecturas diarias del controlador solar y del voltaje de batería al inicio y final del día. Los resultados agrupados por condición climática se muestran a continuación.

**Tabla 9**

*Rendimiento Energético Según Condición Climática (Promedio Mes)*

| Condición de día | Días observados | Energía generada (Wh/día) | Consumo del control (Wh/día) | SoC batería al amanecer (%) | SoC al atardecer (%) | Comentarios            |
|------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| Soleado          | 11              | 350–360                   | 42–45                        | 85–90                       | 100                  | Carga completa diaria. |
| Parcial nublado  | 12              | 240–300                   | 42–44                        | 80–88                       | 96–100               | Recupera casi total.   |
| Nublado/luvia    | 7               | 140–200                   | 41–43                        | 74–82                       | 85–95                | Siempre                |

---

| Condición de día | Días observados | Energía estimada generada (Wh/día) | Consumo del control (Wh/día) | SoC batería al amanecer (%) | SoC al atardecer (%) | Comentarios                  |
|------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|
|                  |                 |                                    |                              |                             |                      | mantuvo margen de seguridad. |

---

*Nota.* Autoría propia

La carga solar fue muy superior al consumo ( $\approx 43$  Wh/día). Incluso tras varios días nublados, la batería no descendió a niveles críticos, confirmando que el panel de 100 W y la batería de 35 Ah están sobredimensionados intencionalmente para asegurar confiabilidad con nubosidad frecuente en la región. Literatura técnica sobre eficiencia de uso de lavadoras y buenas prácticas de carga completa refuerza la importancia de operar en ciclos planificados para optimizar recursos agua-energía. Esto significa que el monitoreo opera de manera autosuficiente y no depende de la red eléctrica, reduciendo la huella energética del sistema.

**Figura 74**

*Carga Completa de la Batería*



*Nota.* Autoría propia.

**Validación del Sensor de Nivel**

Para verificar la precisión del sensor ultrasónico se compararon lecturas electrónicas con mediciones manuales (cinta graduada) en distintos niveles del tanque. El error absoluto fue  $\leq 3\%$  en todas las mediciones, suficiente para gestión doméstica del agua.

**Tabla 10***Comparación de Nivel Medido por Sensor y Medición Manual*

| Medición | Distancia sensor (cm) | Nivel calculado (%) | Nivel manual (%) | Error absoluto (%) | Observación            |
|----------|-----------------------|---------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| 1        | 12                    | 94                  | 95               | 1                  | Tanque recién llenado. |
| 2        | 35                    | 65                  | 67               | 2                  | Uso normal.            |
| 3        | 48                    | 52                  | 50               | 2                  | Dentro de margen.      |
| 4        | 60                    | 40                  | 43               | 3                  | Ligeras burbujas.      |
| 5        | 75                    | 25                  | 27               | 2                  | Nivel bajo.            |
| 6        | 22                    | 84                  | 86               | 2                  | Después de lavado.     |

| Medición<br>n | Distancia<br>a sensor<br>(cm) | Nivel<br>calculado<br>(%) | Nivel<br>manual<br>(%) | Error<br>(%<br>absoluto) | Observación<br>n          |
|---------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 7             | 90                            | 10                        | 12                     | 2                        | Casi vacío.               |
| 8             | 15                            | 91                        | 93                     | 2                        | Espuma<br>ligera.         |
| 9             | 55                            | 46                        | 44                     | 2                        | Error<br>negativo.        |
| 10            | 68                            | 32                        | 35                     | 3                        | Salpicaduras<br>internas. |

*Nota.* Autoría propia

El desempeño del sensor fue estable y confiable, validando la estrategia de monitoreo adoptada.

### **Ahorro Mensual de Agua Potable y Análisis de Impacto**

Durante el primer mes de funcionamiento logré reciclar 3.010 L de agua de lavadora ( $\approx 3 \text{ m}^3$ ) que de otra manera habrían venido del acueducto para descargar el sanitario. Con eso cubrí entre 95 % y 100 % de las descargas del inodoro en mi hogar (4 personas).

Al revisar mi recibo (estrato 3 en Dosquebradas) observé una reducción cercana a

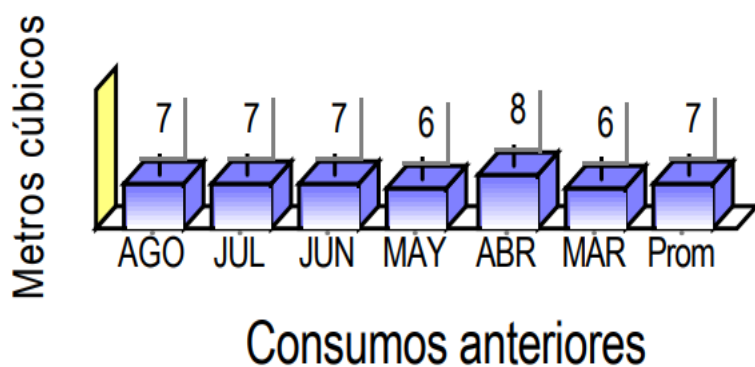


esquema similar de reutilización de agua de lavadora para sanitarios, el ahorro agregado superaría los 3.000 m<sup>3</sup> de agua potable al mes ( $\approx$ 3 millones de litros) que dejarían de extraerse, tratarse y bombearse para uso de descarga. Datos de población municipal respaldan la magnitud potencial de esta contribución.

Para tener una idea del volumen, 3 millones de litros equivalen a la carga aproximada de  $\sim$ 120 camiones cisterna grandes de 25.000 L, o a varias horas de captación municipal desde fuentes superficiales. Este tipo de ahorro distribuido también reduce la presión sobre el río Otún, fuente principal de abastecimiento para Pereira y Dosquebradas, de la cual se deriva caudal para potabilización municipal.

### Figura 76

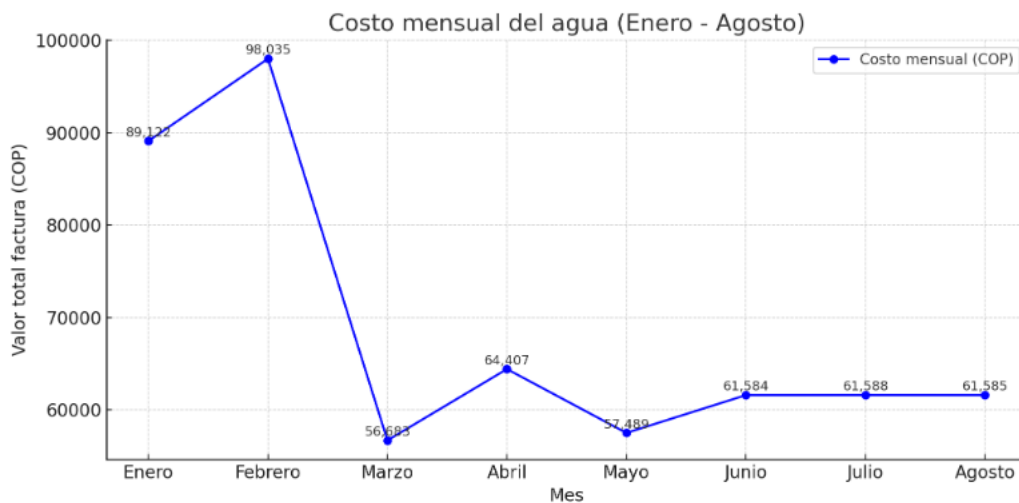
*Historial de Metros Cúbicos*

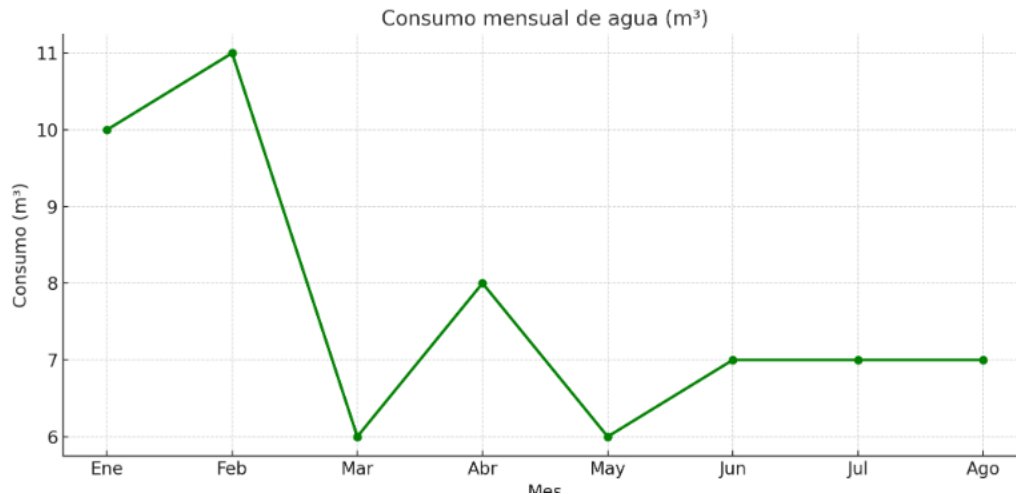


*Nota.* Autoría propia.

**Figura 77***Valores de Meses Anteriores*

| MES | M3 | V/ACU  | V/ALC  | V/ASE  | V/TOTAL |
|-----|----|--------|--------|--------|---------|
| AGO | 7  | 25,775 | 17,002 | 18,758 | 61,535  |
| JUL | 7  | 25,775 | 17,002 | 18,811 | 61,588  |
| JUN | 7  | 25,775 | 17,002 | 18,757 | 61,534  |
| MAY | 6  | 23,401 | 15,348 | 18,740 | 57,489  |
| ABR | 8  | 27,280 | 18,096 | 19,031 | 64,407  |
| MAR | 6  | 22,678 | 14,885 | 19,070 | 56,633  |

*Nota. Autoría propia.***Figura 78***Gráfico Costo Mensual**Nota. Autoría propia.*

**Figura 79***Grafica de Ahorro de Metros Cúbicos*

*Nota.* Autoría propia.

El registro mensual de consumo de agua durante el período enero–septiembre evidencia un comportamiento descendente. En enero se consumieron 10 m<sup>3</sup> y en febrero 11 m<sup>3</sup>, con un costo asociado de aproximadamente \$80.350 y \$56.300 respectivamente. A partir de marzo se observa una tendencia a la reducción, llegando a estabilizarse entre 6 y 7 m<sup>3</sup> en los meses posteriores, con costos cercanos a \$58.500 – \$61.900 en promedio.

En términos acumulados, si se compara el consumo inicial (10–11 m<sup>3</sup>) con el consumo promedio posterior (6–7 m<sup>3</sup>), se observa un ahorro mensual de aproximadamente 4 m<sup>3</sup> de agua. Esto equivale a una reducción del 36–40 % del consumo por mes.

Económicamente, el ahorro se refleja en una disminución de alrededor de \$10.000 a \$18.000 mensuales, lo que proyectado a un año representa cerca de \$120.000 – \$180.000 de reducción en costos de facturación.

Desde el punto de vista ambiental, esta disminución en el consumo de agua tiene un

impacto positivo significativo. Un ahorro de 4 m<sup>3</sup> por mes equivale a 36.000 litros de agua anuales que dejan de ser extraídos de fuentes hídricas. Esta cantidad es suficiente, por ejemplo, para cubrir las necesidades básicas de consumo humano de más de 240 personas en un día, considerando el estándar de 150 litros diarios por persona definido por la OMS.

La reducción progresiva y estabilización del consumo demuestra una gestión racional del recurso hídrico, lo que contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6: Agua limpia y saneamiento). Además, al consumir menos agua se disminuye indirectamente la energía utilizada en procesos de captación, potabilización, bombeo y distribución, reduciendo así la huella de carbono asociada al ciclo del agua.

## Conclusiones

Este proyecto nació de algo muy simple que veía todos los días: cada vez que lavábamos la ropa en la casa se iban casi doscientos litros de agua al desagüe, mientras seguíamos gastando agua potable para descargar el sanitario. Con esa preocupación empecé a preguntar: ¿por qué no usar esa misma agua del lavado para el baño? A partir de ahí diseñé, construí e instalé en mi vivienda en Dosquebradas un sistema doméstico que recolecta el agua de la lavadora, la filtra en dos etapas, la almacena en un tanque de 250 litros y la envía a los sanitarios. Todo el monitoreo del nivel lo hago con un ESP32 alimentado por energía solar (panel de 100 W y batería de 12 V/35 Ah), de modo que el sistema también es autónomo en electricidad.

Después de 30 días de seguimiento real en casa, los resultados fueron muy buenos. Registré 16 lavados en el mes (casi siempre día de por medio), con un volumen promedio de 198 litros por carga. Con las pérdidas normales en filtros y tubería (yo estimo alrededor de 5 %) terminé aprovechando unos 3.010 litros en el mes, que equivalen a 3 metros cúbicos de agua reciclada. En mi hogar somos cuatro personas y el sanitario que tenemos descarga aproximadamente 6 litros por uso; contando unas 20 descargas al día, el consumo mensual para el sanitario sería de unos 3.600 litros. Eso quiere decir que el agua de lavadora cubrió entre el 95 % y el 100 % de todas las descargas del inodoro durante el mes de prueba. En las semanas en que lavé cinco veces quedé con reserva de sobra; incluso en la semana con solo tres lavadas el tanque alcanzó gracias al almacenamiento previo.

El subsistema fotovoltaico funcionó sin problemas. El consumo del control (ESP32, pantalla y sensor) estuvo alrededor de lo que había calculado, cercano a 43 Wh/día, y el panel de 100 W fue más que suficiente, incluso con días nublados. La batería de 35 Ah nunca bajó a niveles preocupantes porque el panel la recupera rápido cuando sale el sol. Haber

sobredimensionado un poco la parte solar valió la pena: me quitó preocupaciones y mantuvo el sistema estable todo el tiempo.

La medición de nivel con el sensor ultrasónico montado en la tapa del tanque resultó confiable. Comparé lecturas con mediciones manuales en diferentes alturas y el error se mantuvo por debajo del 3 % en todas las pruebas que hice. Cuando entra agua recién salida de la lavadora a veces se forma espuma y las lecturas suben o bajan un poco, pero se estabilizan al cabo de unos minutos. Para mejorar todavía más podría promediar varias lecturas o ponerle un tubo guía al sensor.

En la parte económica, yo estoy en estrato 3 y, después de instalar el sistema, mi recibo bajó más o menos 20.000 pesos en el mes. El valor exacto siempre depende de cargos fijos y de otros servicios, pero el cambio sí se notó. Para mí eso es importante porque demuestra que el sistema no solo ahorra agua; también ayuda al bolsillo.

El impacto ambiental se vuelve interesante cuando uno piensa en grande. En mi casa ahorré 3 m<sup>3</sup> en un mes. Si 100 hogares hicieran lo mismo, serían 300 m<sup>3</sup>/mes. Si 1.000 hogares lo implementaran, estaríamos hablando de 3.000 m<sup>3</sup> al mes (3 millones de litros) que no se tomarían de la red de agua potable solo para descargar sanitarios. Para visualizarlo: esa cantidad equivale, de manera aproximada, a más de un centenar de carro tanques grandes llenos de agua. Además, reutilizar el agua del lavado reduce la cantidad que va directo al alcantarillado, lo que también ayuda a los sistemas de tratamiento y al medio ambiente.

Otra cosa que comprobé es que la operación importa: cuando lavamos ropa día de por medio y con carga completa, el tanque se mantiene por encima de la mitad casi todo el tiempo y no toca usar agua de la red para el sanitario. Cuando por alguna razón se dejan de hacer lavadas, el nivel baja rápido. Por eso, más que la tecnología sola, el hábito de uso es clave para lograr el

máximo ahorro.

Finalmente, el proyecto demostró que con materiales accesibles y algo de trabajo manual es posible montar en casa un sistema que ahorra agua potable, reduce costos y funciona con energía solar. Si en el futuro le agrego más automatización (por ejemplo, una válvula motorizada para cambiar entre agua reciclada y agua de red, o alertas al celular cuando el tanque está bajo), el sistema podría volverse todavía más práctico y fácil de replicar. En mi caso, con la experiencia de este primer mes, puedo decir que sí vale la pena: ahorré agua, bajé la factura y aprendí que la sostenibilidad también se puede construir con cosas que ya tenemos en casa, solo organizándolas mejor.

El análisis refleja que las medidas implementadas para controlar el consumo de agua han generado un doble beneficio: económico, con un ahorro estimado de hasta \$180.000 anuales, y ambiental, con la preservación de aproximadamente 36 m<sup>3</sup> de agua por año. Esto evidencia que un uso eficiente del recurso hídrico, aunque parezca mínimo en el ámbito individual, tiene un impacto relevante en la sostenibilidad ambiental y en la reducción de costos a nivel doméstico o institucional.

### Referencias Bibliográficas

Areaciencias. (s. f.). Aguas residuales servidas y grises.

Sitio web: <https://www.areaciencias.com/ecologia/aguas-residuales-servidas-grises/>

Banco Mundial. (2020). Colombia: la gestión del agua como motor de productividad y resiliencia. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.

Sitio web: <https://www.bancomundial.org/es/country/colombia/publication/la-gestion-del-agua-como-motor-de-productividad-y-resiliencia>

DeOreo, W., Mayer, P., Dziegielewski, B., & Kiefer, J. (2016). Residential end uses of water, version 2. Water Research Foundation.

Sitio web: <https://www.waterrf.org/research/projects/residential-end-uses-water-version-2>

El Hamouri, B., Bey, I., Ait Douch, N., & Regelsberger, M. (2008). Greywater treatment and recycling for toilet flushing: Comparison of low and high tech treatment approaches. *Water Practice & Technology*, 3(2), 1–8.

<https://doi.org/10.2166/wpt.2008.041>

Espressif Systems. (2023). ESP32 series datasheet.

Sitio web: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)

Farhat, H., Hamieh, T., Saab, C., Saab, J., & Awad, R. (2022). Greywater as an alternative solution for a sustainable management of water resources—A review. *Sustainability*, 14(2), 665.

<https://doi.org/10.3390/su14020665>

Ferretería Bervar. (s. f.). Pegante PVC Pavco 1/32 [Producto].

Sitio web: <https://www.ferreteriabervar.com/products/pegante-pvc-pavco-1-32>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). AQUASTAT – FAO’s global information system on water and agriculture.

Sitio web: <http://www.fao.org/aquastat/en/>

Fundación Canal. (s. f.). Cómo ahorrar agua en casa.

Sitio web: <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/como-ahorrar-agua-en-casa/>

Grupo Electrostore. (s. f.). Kit de cables Arduino macho-hembra 30 cm (40 unidades) [Producto].

Sitio web: <https://www.grupoelectrostore.com/shop/cables-plugs-y-conectores/kit-de-40-cables-arduino-30cm-de-longitud-macho-hembra-2/>

Instituto Federal de Santa Catarina. (s. f.). Aula 14 - Electricidad básica - FIC.

Sitio web: [https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA\\_14\\_-\\_Eletricidade\\_B%C3%A1sica\\_-\\_FIC](https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_14_-_Eletricidade_B%C3%A1sica_-_FIC)

IoTcircuitHub. (2024). DIY water level monitoring system using ultrasonic sensor & ESP32.

Sitio web: <https://iotcircuitHub.com/water-level-monitoring-system-esp32>

MeterTech. (s. f.). Tratamiento de aguas grises para reúso doméstico.

Sitio web: <https://metertech.com.ar/tratamiento-de-aguas-residuales/tratamiento-de-aguas-grises-para-reuso/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2021). Resolución 1256 de 2021:

Usos y manejo de aguas residuales tratadas.

Sitio web: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>

Ministerio de Minas y Energía (MME). (2023). Atlas de radiación solar en Colombia.

Sitio web: <https://www.minenergia.gov.co>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (s. f.). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), título D.

Sitio web: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/ras-titulo-d.pdf>

Miss Gris. (2014, diciembre 10). Filtro de agua casero [Imagen].

<https://missgris5a.blogspot.com/2014/12/filtro-de-agua-casero.html>

Mohan, S., Manthapuri, V., & Chitthaluri, S. (2024). Assessing factors influencing greywater characteristics around the world. *Discover Water*, 4(37).

<https://doi.org/10.1007/s43832-024-00094-w>

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2022). Solar photovoltaic system design basics. U.S. Department of Energy.

Sitio web: <https://www.nrel.gov>

Restarsolar. (2025). Módulo solar RTM-100M (100 W) [Imagen].

<https://cdn.ensolar.com/z/pp/2025/5/4s6hpr3yk3etjs/2.pdf>

Solar Energy International (SEI). (2020). *Photovoltaic systems* (3rd ed.). Delmar.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). (2023, marzo 23). Los colombianos continúan disminuyendo el consumo de agua en los hogares.

Sitio web: <https://www.superservicios.gov.co/noticias/los-colombianos-continuan-disminuyendo-el-consumo-de-agua-en-los-hogares>

UNESCO. (2024). UN world water development report 2024: Water for prosperity and peace.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388330>

UN-Water. (2024). *Water scarcity: Facts and figures*.

Sitio web: <https://www.unwater.org/water-facts/scarcity>

Unbound Solar. (2025). Battery bank sizing worksheet & off-grid solar design basics.

Sitio web: <https://unboundsolar.com>

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2008). Indoor water use in the United States.

WaterSense Program.

Sitio web: <https://www.epa.gov/watersense>

Water Research Commission (WRC). (2011). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings. WRC Report No. 1821/1/11.