

**DOI:** <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0237>

## **SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA PURIFICACIÓN DE AGUA UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR, REFLEXIÓN Y LUZ ULTRAVIOLETA**

### **AUTOMATED SYSTEM FOR WATER PURIFICATION USING SOLAR ENERGY, REFLECTION AND ULTRAVIOLET LIGHT**

Lema-Carrera Miguel Ángel<sup>1</sup>; Collins-Melgar Nidia Gabriela <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Seguridad y Defensa. Sangolquí, Ecuador. Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Milagro, Ecuador. Correo: malema7@espe.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7934-8891>.

<sup>2</sup> Ministerio de Educación del Ecuador, Unidad Educativa Bilingüe Fiscomisional Americano. La Libertad, Ecuador. Correo: nidiacollins.uea@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-9181-1531>.

#### **Resumen**

En el presente artículo se describe el proceso de diseño, implementación y pruebas de un sistema automático de purificación de agua por medio de energía solar y radiación ultravioleta. El prototipo está conformado por un Destilador Solar, al cual llega el agua contaminada e impura por medio de una electrobomba, en el cual por diferencia de temperatura en su interior el agua se evapora y condensa para su posterior traslado hacia la luz de radiación UV, la cual emite una longitud de onda de 254nm para eliminar virus, bacterias o cualquier tipo de microorganismo presente, purificando completamente la muestra y haciéndola apta para consumo humano, con la finalidad de mejorar el rendimiento del prototipo se adjuntó un Colector Cilíndrico Parabólico CCP, permitiendo mayores y elevadas temperatura en el interior del destilador, además de un completo sistema de automatización con sus respectivos sensores y actuadores basados en un microcontrolador Atmega 16, que permita el control del equipo y una intervención oportuna en caso de fallas o inconvenientes en el sistema purificador, todo esto alimentado por medio de un sistema fotovoltaico aislado, dándole al equipo completa autonomía.

**Palabras clave:** Purificación de agua, energía solar, destilador solar, luz UV, Atmega 16.

#### **Abstract**

This article describes the design, implementation, and testing process of an automatic water purification system using solar energy and ultraviolet radiation. The prototype consists of a Solar Distiller, which receives contaminated and impure water via an electric pump. Inside the distiller, the water evaporates and condenses due to temperature differences, and is subsequently directed to UV radiation, which emits a wavelength of 254nm to eliminate viruses, bacteria, or any microorganisms present, completely purifying the sample and making it suitable for human consumption. To enhance the prototype's performance, a Cylindrical Parabolic Collector (CPC) was added, allowing for higher temperatures inside the distiller, along with a complete automation system with its respective sensors and actuators based on an Atmega 16 microcontroller. This setup enables the equipment's control and timely intervention in case of malfunctions or issues in the purification system, all powered by an off-grid photovoltaic system, giving the device full autonomy.

**Keywords:** Water purification, solar energy, solar still, UV light, Atmega 16.

#### **Información del manuscrito:**

**Fecha de recepción:** 07 de agosto de 2024.

**Fecha de aceptación:** 15 de octubre de 2024.

**Fecha de publicación:** 10 de enero de 2025.



## 1. Introducción

El sol es una fuente de energía abundante y renovable, utilizada históricamente por las civilizaciones, y puede satisfacer necesidades básicas mediante el uso racional de tecnologías solares como la energía solar pasiva y la fotovoltaica. [1].

El acceso al agua potable en Ecuador es desigual, con 93% de la población urbana y solo 62% de la población rural teniendo acceso, lo que pone de relieve importantes disparidades en la prestación de servicios [2]. Alrededor de 2 millones de personas en el país no acceden al consumo y uso de agua potable, básicamente sus fuentes de provisión del líquido vital se dan por medio de pozos, ríos, vertientes, carros repartidores y otros. Es menester por lo tanto aportar científica y tecnológicamente, soluciones que permitan paliar esta problemática en el Ecuador.

Por lo tanto, se propone el desarrollo experimental y sujeto a mejoras, de un Sistema de Purificación de Agua con Energía limpia y renovable como es la Energía Solar, por medio de un Concentrador Parabólico Cilíndrico (CCP) el cual permitirá concentrar

elevadas temperaturas hacia un Sistema de destilación Solar, acompañada de un sistema de filtro a base de luz ultravioleta que elimina bacterias y virus presentes en aguas contaminadas y no tratadas, que permitirá obtener agua pura y potable apta para consumo humano, que permita abastecer del líquido vital a sectores marginales y alejados del Ecuador y en general en donde se la requiera, teniendo en cuenta que el sistema estará dotado de supervisión, control y automatización.

Adicionalmente se ha realizado este trabajo de investigación, con la finalidad de introducirnos en la utilización y desarrollo de las Energías Renovables en nuestro país, que sea un punto de partida, a futuros proyectos y mejoras que permitan el desarrollo de la colectividad y el país.

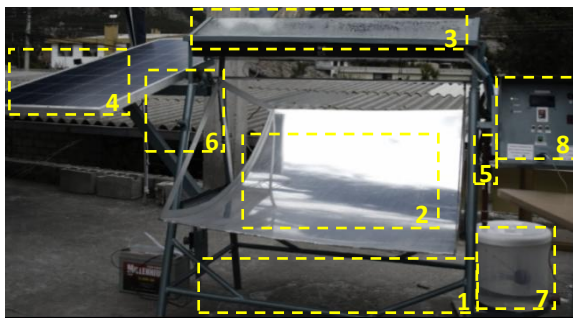
## 2. Sistema implementado

### 2.1 Sistema Mecánico

El sistema está conformado por un soporte o estructura mecánica de tipo trapezoidal, sobre el cual se coloca el Colector Cilíndrico Parabólico CCP [3], y el Panel Solar

Fotovoltaico enganchados a una chumacera de libre giro, que está acoplada a un motor DC, mediante engranajes que permiten la rotación y seguimiento solar alrededor del día. Sobre el soporte metálico se encuentra el Destilador Solar con sus respectivos canales y tuberías que transportan el agua contaminada a su interior y posteriormente el agua destilada hacia la lámpara de radiación ultravioleta UV, de la cual la muestra de agua sale complementamente purificada y apta para consumo humano, la cual se almacena en un recipiente para su posterior uso, mayor detalle se presenta en la Figura 1.

**Figura 1.** Sistema Purificador de Agua



1. Soporte Metálico.
2. Colector Cilíndrico Parabólico (CCP) [1].
3. Destilador Solar.
4. Panel Solar Fotovoltaico.

5. Lámpara de radiación ultravioleta UV.

6. Motor-engranajes (seguimiento solar).

7. Tanque de almacenamiento de agua purificada y apta para consumo humano.

8. Panel de Control.

## 2.2 Destilador Solar

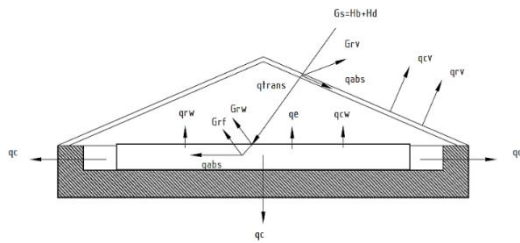
El Destilador Solar es uno de los principales componentes del sistema purificador de agua, el cual por intercambios termodinámicos de calor en su interior permite la evaporación del agua contaminada o impura para su posterior condensación en forma de gotas en las paredes del mismo, la cual es transportada por tuberías hacia la luz UV para eliminar virus, bacterias y microorganismos, por lo tanto a mayor cantidad de calor almacenado en el Destilador Solar mayor cantidad de agua a ser purificada, y mayor rendimiento del equipo.

**Figura 2.** Destilador Solar.



Para el análisis, diseño e implementación del Destilador Solar se cumplen las ecuaciones termodinámicas que se detallan [4]:

**Figura 3.** Análisis termodinámico Destilador Solar.



**Energía Entra – Energía Sale =  
Energía Almacena**

$$q_t = G_s * (1 - \alpha_g) * (1 - \alpha_a) + \alpha_g * G_s - (q_{rv} + q_{cv} + q_c) \quad (1)$$

Donde:

$q_t$ : Calor almacenado por el sistema.

$G_s$ : Radiación solar que incide sobre el destilador.

$\alpha_g$ : Factor de reflexión y absorción en el vidrio.

$\alpha_a$ : Factor de reflexión y absorción en el agua.

$q_{rv}$ : Calor perdido por radiación del vidrio.

$q_{cv}$ : Calor perdido por convección del vidrio.

$q_c$ : Calor perdido por conducción.

Los valores obtenidos y calculados para el sistema purificador son:

$$G_s = 4140 \left( \frac{W - h}{m^2 - día} \right)$$

$$\alpha_g = 0.1$$

$$\alpha_a = 0.3$$

$$q_{rv} = 916.5 \left( \frac{W - h}{m^2 - día} \right)$$

$$q_{cv} = 916.5 \left( \frac{W - h}{m^2 - día} \right)$$

$$q_c = 547.95 \left( \frac{W - h}{m^2 - día} \right)$$

Por lo tanto:

$$q_t = 830.7 \left( \frac{W - h}{m^2 - día} \right) = 166.14 \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

La energía almacenada por el equipo está dada por:

$$Q_T = q_t * A_{bandeja} \quad (2)$$

Donde:

$q_t$ : Calor almacenado por el sistema.

$A$ : Área de la bandeja del destilador solar.

$$A = 0.50 m^2$$

$$Q_T = 83.97 (w)$$

La energía necesaria para calentar el vidrio, calentar el agua de la bandeja y evaporar la misma está dada por:

$$Q_N = Q_{cv} + Q_{ca} + Q_{ev} \quad (3)$$

Donde:

$Q_{cv}$ : Calor necesario para calentar el vidrio.

$Q_{ca}$ : Calor necesario para calentar el agua.

$Q_{ev}$ : Calor necesario para evaporar el agua.

$$Q_{cv} = 23.13w$$

$Q_{ca} = 9.07 * ms$  (En función de la masa de agua a destilar).

$Q_{ev} = 125.39 * ms$  (En función de la masa de agua a destilar).

$$QN = 23.13w + 134.46 * ms$$

La energía total del sistema es:

$$Q = QT + QN \quad (4)$$

$$Q = 106.2w + 134.46 * ms$$

La eficiencia del destilador solar viene dada por [5]:

$$e = \frac{Q}{G_s} * 100\%$$

Donde se toma una eficiencia del 23%, debido a estudios, experiencias y modelos anteriormente implementados y calculados en destiladores solares de doble bandeja, se obtiene una masa de agua destilada y purificada por hora de:

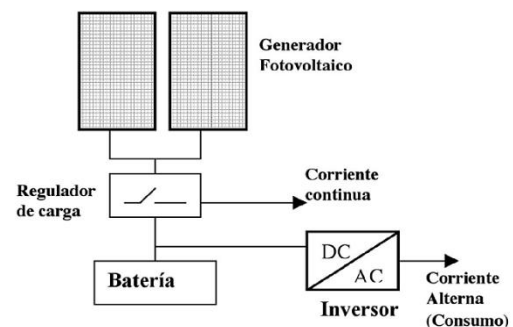
$$ms = 0.435 \left( \frac{kg}{hora} \right)$$

Se considera 5 horas de funcionamiento del equipo, por lo tanto, se obtiene un total de agua purificada de 2.18 litros aproximadamente por día.

### 2.3 Sistema Eléctrico – Electrónico

La alimentación eléctrica del sistema purificador de agua, basa su funcionamiento en un sistema fotovoltaico aislado, que permite dar autonomía al equipo [6].

**Figura 4.** Sistema Fotovoltaico.



En el sistema purificador se tiene:

- ✓ Panel Solar policristalino SIMAX 140 Wp / 12V.
- ✓ Batería millennium 31CP-115 Ah.
- ✓ Regulador de Carga morningstar SunSaver 10 A.

No se requiere de un inversor en el equipo, ya que todas las cargas y elementos son de corriente continua, únicamente se dispone de un conversor DC-DC para reducir el voltaje a 5Vdc.

El sistema purificador de agua, basa su programación e implementación de algoritmos de control en un microcontrolador Atmega 16, el cual administra la información, la procesa y ejecuta las acciones respectivas, realiza control de posición, monitoreo de temperatura, nivel y cantidad de luz, visualización de datos, así como de la comunicación con la PC e intercambio de información con la HMI del equipo, activación del motor DC, la electrobomba, la electroválvula y finalmente envía alarmas visuales, en caso de fallas o inconvenientes en el sistema.

Adicionalmente los sensores implementados en el sistema son:

Control de posición:

- ✓ Potenciómetro de precisión.

Monitoreo temperatura interior del Destilador Solar:

- ✓ LM 35.

Monitoreo temperatura en el foco del CCP:

- ✓ NTC 5D-20.

Control de nivel en el tanque de recolección:

- ✓ Sensor de Nivel tipo Flotador.

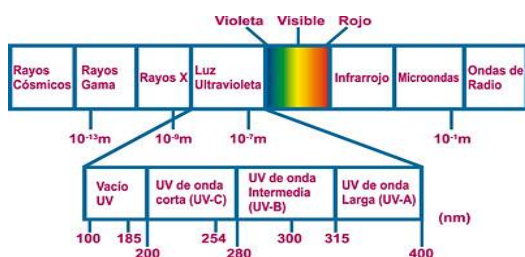
## 2.4 Radiación Ultravioleta UV

La radiación ultravioleta, llamada también luz UV, es un esterilizador natural. Está ubicada en una región del espectro electromagnético que se haya ubicada entre la luz visible y los rayos X, con longitud de onda entre 10nm y 400nm (nanómetros) [7].

La radiación ultravioleta está constituida de cuatro áreas:

- **UV Vacío:** (10 - 200 nm), Ozono.
- **UV-C:** (200 - 300 nm), Germicida, onda corta.
- **UV-B:** (280 - 315 nm), Eritema o golpe solar.
- **UV-A:** (315 – 400 nm), Luz negra, onda larga.

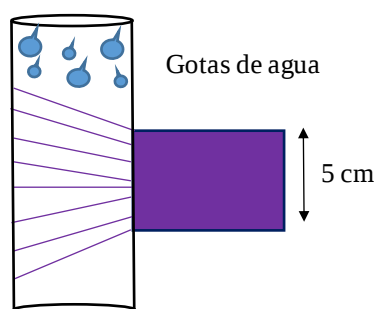
**Figura 5.** Espectro Electromagnético y Radiación UV



La radiación UV-C es generada o producida artificialmente, se genera mediante las lámparas UV, conocidas como germicidas, que presentan una envoltura de cuarzo puro. La luz UV es emitida como resultado de un flujo de corriente (arco fotovoltaico), a través de vapor de mercurio a baja presión, entre los electrodos de la lámpara, produciendo la mayor parte de su emisión a 253.7 nanómetros, que resulta letal para los microorganismos, virus y bacterias presentes en el medio a desinfectar, ya que impacta directamente en su ADN. Cuando los microorganismos son expuestos a una dosis adecuada de radiación ultravioleta a 253.7nm de longitud de onda (UV-C), el ADN (ácido desoxirribonucleico) de las células absorben los fotones UV causando una reacción fotoquímica irreversible, la cual inactiva y destruye las células [8].

En el presente apartado, se dará a conocer la efectividad de la luz ultravioleta al momento de eliminar virus, bacterias y gérmenes presentes en el agua proveniente del Destilador Solar, el tiempo que la luz UV se expone a estos microorganismos y como los elimina.

**Figura 6.** Sección transversal Luz UV y tubería



Se considera el mínimo tramo que el agua atraviesa la Luz UV y esto es de 5cm, la velocidad que le toma al agua atravesar esta trayectoria es de:

$$V = \sqrt{2g\Delta h} \quad (6)$$

$$V = \sqrt{2 * 9.8 * 0.05}$$

$$V = 1 \text{ m/s}$$

El tiempo que se tardan las gotas en atravesar la luz UV es:

$$t = \frac{V}{g} \quad (7)$$

$$t = \frac{1}{9.8}$$

$$t = 0.1 \text{ seg}$$

Considerando el rozamiento que existe dentro de la tubería por donde se traslada el agua podemos multiplicar por un factor de 2 para aproximar de mejor manera el tiempo empleado.

Por lo tanto:

$$t = 0.2 \text{ seg}$$

El fabricante de las luces de radiación UV del sistema purificador, proporciona información sobre la cantidad de energía UV por unidad de área que lo podemos encontrar en las hojas de datos del equipo:

$$I = 150.000 \text{ uW} / \text{cm}^2$$

La dosificación que el prototipo purificador suministra la calculamos por medio de la ecuación descrita por:

$$D = Ixt \quad (8)$$

De donde se obtiene:

$$D = 30.000 \left[ \frac{\text{uWseg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Suficiente para eliminar el 99.9% de cualquier virus, bacteria o germen presente en el agua.

En la Tabla 1, se puede observar la dosificación que requiere cada uno de los microorganismos, bacterias, virus que posiblemente están presentes en aguas contaminadas.

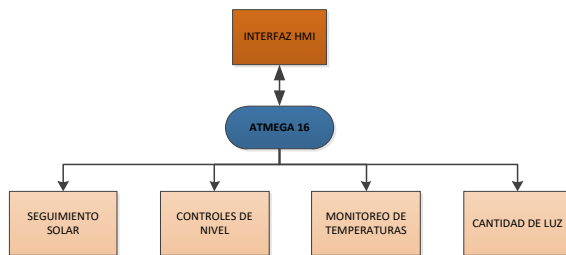
**Tabla 1.** Dosificación para eliminar microorganismos con radiación UV [9].

| BACTERIA                    | Dosis<br>[ $\mu\text{W.s/cm}^2$ ] | HONGOS Y ESPORAS              | Dosis<br>[ $\mu\text{W.s/cm}^2$ ] |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Bacillus anthracis          | 8700                              | Aspergillus flavus            | 9900                              |
| Clostridium tetani          | 22000                             | Mucor racemosus               | 35200                             |
| Corynebacterium diphtheriae | 6500                              | Oospora lactis                | 11000                             |
| Escherichia coli            | 6600                              | Penicillium expansum          | 22000                             |
| Leptospira                  | 6000                              | Penicillium roqueforti        | 26400                             |
| Micrococcus sphaeroides     | 15400                             | PROTOZOARIOS                  |                                   |
| Mycobacterium tuberculosis  | 10000                             | Chlorella vulgaris (alga)     | 22000                             |
| Neisseria catarrhalis       | 8500                              | Nematode eggs                 | 9200                              |
| Phytomonas tumefaciens      | 8500                              | Paramecium                    | 20000                             |
| Proteus vulgaris            | 6600                              |                               |                                   |
| Pseudomonas aeruginosa      | 10500                             | VIRUS                         |                                   |
| Salmonella typhosa          | 4100                              | Bacteriophage (E. coli)       | 6600                              |
| Sarcina lutea               | 26400                             | Influenza                     | 6600                              |
| Serratia marcescens         | 6160                              | Poliovirus                    | 6000                              |
| Shigella dysenteriae        | 4200                              | Virus of Infectious Hepatitis | 8000                              |
| Spirillum rubrum            | 6160                              |                               |                                   |
| Staphylococcus albus        | 5720                              | LEVADURAS                     |                                   |
| Streptococcus hemolyticus   | 5500                              | Bakers Yeast                  | 8800                              |
| Streptococcus latic         | 8800                              | Brewer's Yeast                | 6600                              |
| Vibrio cholerae             | 6500                              | Common Yeast cake             | 13200                             |

### 3. Algoritmos de control

Las tareas y algoritmos a realizar por el microcontrolador atmega 16 se detallan en la Figura 7.

**Figura 7.** Tareas del Atmega 16.



El sistema tiene 4 modos de operación:

- ✓ Funcionamiento principal.
- ✓ Modo Igualar Hora.
- ✓ Modo Igualar Fecha.
- ✓ Información del equipo.

En el funcionamiento principal, se inicializa el sistema a las 9:00 en la mañana, se transfiere datos con el HMI y se procede a:

- Monitorear la cantidad de luz solar.
- Control de posición y seguimiento solar.
- Control de Nivel en el Destilador Solar,
- Control de Nivel en el Tanque de Almacenamiento.
- Monitoreo de temperatura en el interior del Destilador Solar con el LM35.

- Monitoreo de temperatura en el foco del Colector Cilíndrico Parabólico CCP con el NTC 5D-20.
- Presentación y visualización de datos.

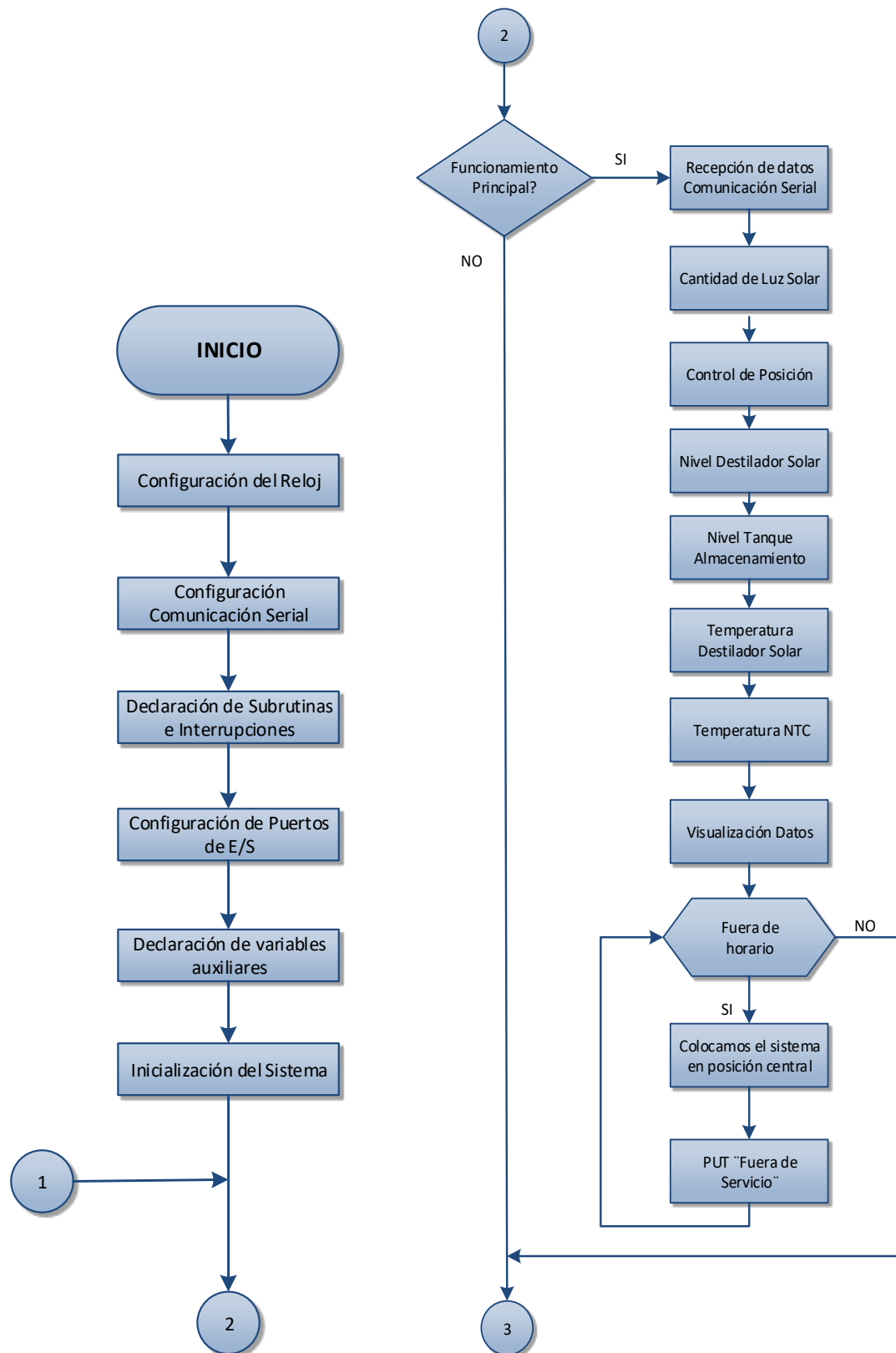
En el Modo Igualar Hora, se iguala segundos, minutos y horas con los respectivos pulsadores del panel de control.

En el Modo Igualar Fecha, se iguala días, meses y años con los respectivos pulsadores del panel de control.

En el Modo Información del equipo, se da a conocer un pequeño informe del sistema, y su modo de utilizarlo, como ayuda para el operario.

En la Figura 8, se presenta y detalla el algoritmo implementado en el microcontrolador Atmega16, que anteriormente se describió, para el sistema purificador de agua.

**Figura 8.** Diagrama de Flujo para el Atmega16



## 4. Pruebas y resultado

### 4.1 Toma de datos de agua purificada

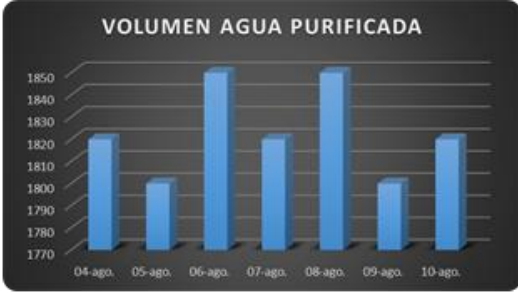
Mediante un vaso de precipitado con capacidad para 1000ml, se recoge el agua purificada al final de cada jornada de funcionamiento del sistema purificador, para su respectiva medición y posterior análisis de laboratorio cuyos resultados se presentan a continuación.

En primer lugar, se presenta los datos, sin la utilización del Colector Cilíndrico Parabólico CCP, el cual hace referencia a que este resultado es únicamente del Destilador Solar sin considerar el calor extra que aporta el CCP en su foco de concentración.

**Tabla 2.** Datos de volumen de agua purificada sin CCP.

| Parámetro         | Unidades    |
|-------------------|-------------|
| Volumen Destilado | mml         |
| 04-ago            | 1820        |
| 05-ago            | 1800        |
| 06-ago            | 1850        |
| 07-ago            | 1820        |
| 08-ago            | 1850        |
| 09-ago            | 1800        |
| 10-ago            | 1820        |
| <b>promedio</b>   | <b>1823</b> |

**Figura 9.** Volumen de Agua Purificada sin CCP.



Los resultados de la cantidad de agua purificada, recolectada utilizando el calor extra generado por el Colector Cilíndrico Parabólico se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Datos de volumen de agua purificada con CCP

| Parámetro         | Unidades    |
|-------------------|-------------|
| Volumen Destilado | mml         |
| 11-ago            | 2440        |
| 12-ago            | 2300        |
| 13-ago            | 2350        |
| 14-ago            | 2450        |
| 15-ago            | 2300        |
| 16-ago            | 2420        |
| 17-ago            | 2280        |
| <b>promedio</b>   | <b>2363</b> |

**Figura 10.** Volumen de Agua Purificada con CCP.



Como se puede observar, mediante la implementación del Colector Cilíndrico Parabólico se obtuvo un aumento de alrededor de 600 mml de agua purificada, que representa aproximadamente el 30% de incremento en la operación del sistema purificador, mejorando sustancialmente la efectividad del mismo.

Tomando en consideración que los valores obtenidos pueden variar continuamente, ya que estas pruebas fueron realizadas en épocas soleadas en la ciudad de Quito, por lo tanto en épocas de lluvias, el sistema purificador puede verse seriamente afectado en su operación y cantidad de líquido destilado y purificado que pueda producir.

Se ha tomado muestras del agua purificada, que se ha producido en el sistema, para su posterior análisis Microbiológico y Físico-Químico en un laboratorio que cuenta con todas las normas de calidad, seguridad y reconocida a nivel nacional como es el Laboratorio LASA, para lo cual se presenta el siguiente informe detallado en todas las características técnicas.

## 4.2 Análisis Bacteriológico del agua

Es importante conocer el tipo, número y desarrollo de las bacterias o microorganismos en el agua para prevenir o impedir enfermedades de origen hídrico. Es difícil detectar en una muestra organismos patógenos como bacterias protozoarios y virus debido a sus bajas concentraciones, por esta razón, es que se utiliza el grupo de coliformes fecales, como indicador de la presencia de microorganismos, la bacteria coliforme fecal presente en las heces humanas y animales de sangre caliente, puede entrar en los cuerpos de agua por medio de desechos directos de mamíferos y aves, así como corrientes de agua, acarreando desechos y del agua de drenaje [10].

La norma INEN 1108, establece que, para ser agua apta para consumo humano, el análisis bacteriológico de la muestra debe cumplir con los siguientes parámetros que se detalla en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Requisitos microbiológicos

| Parámetro          | Unidades                 | Valores máximos permitidos |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| Coliformes Totales | NMP/100ml                | <2                         |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml                | <2                         |
| Criptosporidium    | Número de quistes/100 lt | ausencia                   |
| Giardia Lambia     | Número de quistes/100 lt | ausencia                   |

Siendo NMP (Número más probable).

Los resultados obtenidos en los laboratorios LASA se muestran en la Figura 11.

**Figura 11.** Análisis Bacteriológico laboratorio LASA.

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO          |           |            |                         |
|----------------------------------|-----------|------------|-------------------------|
| PARAMETROS                       | UNIDADES  | RESULTADOS | **VALORES DE REFERENCIA |
| Recuento de heterótrofos totales | UFC/ml    | <1         | <10 <sup>2</sup>        |
| Coliformes totales               | NMP/100ml | <1.8       | <1.8                    |
| Escherichia coli                 | NMP/100ml | <1.8       | <1.8                    |
| Hongos                           | UPC/ml    | <1         | -                       |
| Levaduras                        | UPC/ml    | <1         | -                       |

\*\*Requisitos sanitarios obtenidos de Norma INEN 1108

Se puede observar que la muestra de agua del sistema purificador, según los datos entregados por los Laboratorios Lasa cumple con los requisitos establecidos en la norma INEN 1108, en lo referente al análisis microbiológico.

### 4.3 Análisis físico – químico del agua

La realización de diagnósticos de calidad de agua hace necesario considerar las características fisicoquímicas del agua, ya que estas están relacionadas con las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, y pueden a su vez alertar sobre posibles riesgos a la salud humana [11]. El monitoreo de estos parámetros debe realizarse para verificar que estén dentro de los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua. Para el análisis físico-químico del agua, la norma INEN 1108 establece los siguientes parámetros:

**Tabla 5.** Requisitos físico - químicos

| Parámetro                 | Unidades                           | Valores máximos permitidos |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Color                     | Unidades de color aparente (Pt-Co) | 15                         |
| Turbidez                  | NTU                                | 5                          |
| pH                        | Unidades pH                        | 6.5 – 8.5                  |
| Sólidos totales disueltos | mg/l                               | 1000                       |
| Conductividad             | us/cm                              | 600                        |
| Sulfatos                  | mg/l                               | 200                        |
| Temperatura               | °C                                 | 18 - 30                    |
| Alcalinidad               | mg/l- CaCO <sub>3</sub>            | 30 - 300                   |
| Dureza                    | mg/l- CaCO <sub>3</sub>            | 300                        |
| Calcio                    | mg/l                               | 100 - 250                  |
| Hierro                    | mg/l                               | 0.1 – 0.2                  |
| Magnesio                  | mg/l                               | 30 - 60                    |

Los resultados obtenidos en los laboratorios LASA se muestran en la Figura 12.

**Figura 12.** Análisis Físico-Químico laboratorios LASA.

| ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO     |                        |            |
|-----------------------------|------------------------|------------|
| PARAMETROS                  | UNIDADES               | RESULTADOS |
| Alcalinidad total           | mg/l-CaCO <sub>3</sub> | 323.51     |
| Calcio                      | mg/l                   | 19.88      |
| Color                       | U. DE COLOR            | 0          |
| Conductividad               | µS/cm                  | 649.00     |
| Dureza total                | mg/l-CaCO <sub>3</sub> | 263.01     |
| Hierro                      | mg/l                   | <0.1       |
| Magnesio                    | mg/l                   | 51.83      |
| pH                          | Unidades pH            | 6.83       |
| Sólidos disueltos           | mg/l                   | 421.85     |
| Sólidos totales             | mg/l                   | 421.85     |
| Sólidos totales suspendidos | mg/l                   | <20        |
| Sulfatos                    | mg/l                   | 24.83      |
| Turbidez                    | F.T.U.                 | 0          |

Laboratorio de ensayos acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE 1C 06-002  
Los ensayos marcados con \* están fuera del Alcance de Acreditación

Se observa en los resultados obtenidos en el análisis físico-químico entregado por Laboratorios Lasa que en un 95% los parámetros presentes en el agua resultado del sistema purificador cumplen con los valores preestablecidos en la Norma INEN 1108 por lo tanto se confirma que el agua es apta para consumo humano.

## 5. Conclusiones

Se ha diseñado, desarrollado e implementado un sistema automático, capaz de destilar y purificar aguas residuales o contaminadas, utilizando energía solar y luz ultravioleta, obteniendo muy buenos resultados, ya que las muestras resultantes de agua son

completamente aptas para consumo humano.

Mediante la implementación de un Colector Cilíndrico Parabólico CPC, el volumen destilado y purificado aumentó aproximadamente en 600ml, que representa un incremento del 30%, permitiendo de esta manera mejorar el rendimiento del sistema purificador.

Los Destiladores Solares de doble bandeja y con un ángulo de inclinación de 15°, son ideales y óptimos, para los cuales se obtiene la mayor cantidad de líquido destilado, de esta manera corroboramos a experiencias y trabajos realizados en ocasiones anteriores.

Las pruebas realizadas en el prototipo dan como resultado los valores máximos en el volumen de agua destilada y purificada, ya que coincidió con las épocas soleadas en la ciudad de Quito, en donde el sol por lo general se encuentra presente todo el día, por lo tanto, en épocas de lluvia o invierno estas cantidades o resultados pueden verse seriamente afectados.

Destilar y purificar agua por medio de energías renovables, añadiéndole a

esta tecnología sistemas automáticos, resulta una alternativa muy buena y novedosa para suplir la falta del líquido vital en poblaciones del Ecuador y del mundo.

El sistema es autónomo, debido a que su alimentación eléctrica, se encuentra a cargo de un panel fotovoltaico, cuyo rendimiento ha sido mejorado al incluir un sistema de seguimiento solar, basado en un potenciómetro de precisión como realimentación y un microcontrolador para posicionar adecuadamente el equipo.

La implementación de un sensor a base de una fotorresistencia, que mide la cantidad de luz solar que llega hacia el sistema purificador, es vital para evitar pérdidas de energía y mal funcionamiento del mismo, en días nublados o lluviosos.

## Bibliografía

- [1] L. Szabó, "The history of using solar energy," in 2017 International Conference on Modern Power Systems (MPS), 2017, pp. 1–8. doi: 10.1109/MPS.2017.7974451.
- [2] A. M. Moscoso, El derecho al agua en el Ecuador: un análisis desde la Ciencia Política y el Derecho Público. Universidad de Cuenca, Facultad de Jurisprudencia, Ciencias Políticas y Sociales, 2017.
- [3] C. Paredes Velasco, "Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay," 2012.
- [4] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Educación, 1999.
- [5] A. F. Mills, "TRANSFERENCIA DE CALOR.," 1995.
- [6] C. CIE, "Atlas Solar del Ecuador," Quito: CIE, 2008.
- [7] J. Bohórquez-Ballén and J. F. Pérez Mogollón, "Radiación ultravioleta," Ciencia y tecnología para la salud Visual y Ocular, vol. 5, no. 9, pp. 97–104, 2007.
- [8] P. M. A. Castellanos, C. A. C. Camargo, and N. R. P. Granados, "Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV," Revista de Tecnología (Archivo), vol. 14, no. 2, pp. 105–112, 2015.
- [9] M. Sánchez, N. Villalobos, E. Gutiérrez, and Y. Caldera, "Diseño de un Equipo de desinfección por Luz Ultravioleta para el Tratamiento de Aguas

- Residuales con fines de Reutilización,” Revista Tecnocientífica URU, pp. 11–18, 2012.
- [10] M. C. Apella and P. Z. Araujo, “Microbiología de agua. Conceptos básicos,” Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua, pp. 33–50, 2005.
- [11] P. Torres, C. H. Cruz, and P. J. Patiño, “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica,” Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 8, no. 15, pp. 79–94, 2009.