

**Evaluación de un prototipo fotovoltaico, vinculado al sistema de desinfección del agua, en un acueducto rural del municipio de Tangua
(Resumen Analítico)**

***Assessment of a photovoltaic prototype for water disinfection in a rural aqueduct of Tangua municipality
(Analytical Summary)***

Autores (Authors): Martínez Ocaña Gabriela, Garcia Herrera Jose Alexander y Montenegro Ayala Juliana Andrea.

Facultad (Faculty): de Ingeniería

Programa (Program): Ingeniería civil

Asesor (Support): Sandra Milena Chañag Checa

Fecha de terminación del estudio (End of the research): diciembre 2024

Modalidad de Investigación (Kind of research): Trabajo de Grado

PALABRAS CLAVE

Proyecto interacción social, proceso de desinfección, potabilización del agua, prototipo fotovoltaico.

KEY WORDS

Social interaction project, Disinfection process, Water purification process, Photovoltaic prototype

RESUMEN: El presente proyecto, tuvo como propósito evaluar un prototipo de desinfección fotovoltaico, para el mejoramiento del sistema de potabilización del agua en una vereda del municipio de Tangua. Su importancia radica en la implementación de paneles solares; es decir, la utilización de energía solar fotovoltaica, la cual genera electricidad para el funcionamiento de un equipo dosificador de cloro. En primer lugar, se realizó la selección de un acueducto rural del Municipio de Tangua, departamento de Nariño, el cual cumplió con los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto a través de un diagnóstico de evaluación. En este estudio se analizaron fuentes de información importantes como el SIVICAP para consultar los valores del IRCA, informes aportados del Grupo Fundación Social, plan de desarrollo, esquema de ordenamiento territorial de Tangua y observaciones directas de la zona. Posteriormente, se realizó el montaje y evaluación correspondiente de la bomba dosificadora junto al prototipo fotovoltaico en el laboratorio de procesos fisicoquímicos y microbiológicos de la sede Alvernia de la Universidad Mariana, en donde se estableció un plan de monitoreo de calidad del agua cruda y tratada del acueducto y se la comparó con el agua de la misma

fuelle, pero tratada mediante la implementación del sistema mencionado anteriormente, así como también se realizó un análisis de la curva del break point; de esta manera, se evaluó y comparó la eficiencia del actual proceso de desinfección Vs el realizado por el prototipo, resultando este último muy eficiente en comparación con el realizado actualmente por el acueducto.

ABSTRACT: *This project aims to evaluate a photovoltaic disinfection prototype to improve the water treatment system in a rural community of Tangua municipality. Its significance lies in the implementation of solar panels; that is, the utilization of photovoltaic solar energy, which generates electricity to operate a chlorine dosing equipment. Firstly, a rural aqueduct in the municipality of Tangua, Nariño department, specifically in the El Tambor community, was selected as it meets the necessary requirements for project development. This study analyzed important information sources such as the SIVICAP (a Colombian information system) to consult IRCA values, reports provided by the Grupo Fundación Social, Tangua's development plan and land use plan, and direct observations of the area. Subsequently, the assembly and corresponding evaluation of the dosing pump along with the photovoltaic prototype were carried out in the physicochemical and biological processes laboratory at the Alvernia campus of the Universidad Mariana. A monitoring plan for the quality of the raw and treated water from the aqueduct was established and compared with water from the same source but treated using the aforementioned system. Additionally, a breakpoint curve analysis was performed. In this way, the efficiency of the current disinfection process was evaluated and compared to that performed by the prototype, with the latter proving to be highly efficient compared to the current aqueduct process.*

CONCLUSIONES: La innovación tecnológica representada por este prototipo ha demostrado ser una solución prometedora para abordar el desafío de la calidad del agua en zonas rurales. Los resultados de las pruebas indican que el sistema es capaz de garantizar un suministro de agua potable más seguro y confiable, contribuyendo a mejorar la salud pública y el bienestar de las comunidades. Esta investigación sienta las bases para el desarrollo de soluciones escalables y replicables en otras regiones con similares características.

El diagnóstico evaluativo implementado permitió identificar al acueducto de la vereda El Tambor como la opción más viable para el desarrollo del proyecto, considerando factores como la legalidad en el uso del recurso hídrico, el tipo de fuente de captación, el estado del desarenador y la calidad del agua según parámetros establecidos en la normativa vigente. Este proceso garantiza que la implementación del prototipo fotovoltaico se realice en un sistema con condiciones adecuadas para maximizar su efectividad y sostenibilidad.

Al momento de la realización de la investigación se logra evidenciar una fuerte relación de los resultados del IRCA, obtenidos por el SIVICAP, de algunos de los acueductos rurales del municipio de Tangua como lo son la vereda de la Palizada

Bajo y Concepción Alto o la vereda el Vergel, entre otros; esto quiere decir que la posibilidad de replicar este proyecto en otras veredas del municipio puede ser muy acertada beneficiando no solo a la comunidad de la vereda el Tambor sino a una gran parte del municipio de Tangua y posiblemente a otros departamentos del país.

La utilización de software especializado como AutoCAD ha sido fundamental para obtener una representación gráfica precisa y detallada de las infraestructuras hidráulicas del acueducto de la vereda El Tambor. Estos planos constituyen una herramienta indispensable para comprender a cabalidad el funcionamiento del sistema actual, facilitando así la toma de decisiones informadas para futuras intervenciones de mantenimiento, ampliación o mejora del servicio de agua potable.

La comparación entre la eficiencia del proceso de desinfección actual del acueducto rural de la vereda El Tambor y la desinfección generada por el prototipo fotovoltaico destacó la notable efectividad de este último, especialmente en las muestras Tipo M3 tratadas con cloro granular. Las concentraciones de cloro residual libre en estas muestras se mantuvieron dentro del rango normativo establecido por la Resolución 2115 (2007), con valores que garantizan la eliminación completa de coliformes totales y *Escherichia coli*, asegurando así la calidad del agua para consumo humano.

La bomba dosificadora electromagnética de cloro alimentada por energía solar garantiza la dosificación adecuada de solución madre de cloro, así como la continuidad del proceso, a diferencia de otros equipos que dependen de fuentes de energía convencionales, este sistema utiliza energía renovable, permite operar de manera constante y confiable, siendo ideal para su uso en comunidades rurales que carecen o cuentan con acceso limitado o intermitente a la electricidad. Este tipo de energía asegura que el proceso de desinfección no se vea interrumpido, manteniendo la calidad del agua en todo momento y garantizando el cumplimiento de los parámetros de potabilización del agua.

Además, el uso de energía renovable convierte al prototipo en una solución sostenible y económicamente viable a largo plazo, ya que reduce los costos asociados con el consumo energético. Esto lo posiciona como una alternativa replicable y escalable, adecuada para su implementación en otras comunidades especialmente de tipo rural con características similares.

Los ensayos llevados a cabo en el laboratorio de Alvernia han demostrado de manera concluyente la capacidad del kit solar para operar de forma óptima la bomba dosificadora. Estos resultados no solo validan la funcionalidad del sistema en condiciones controladas, sino que, además, proyectan un alto potencial para su implementación en escenarios reales, como el acueducto de la Vereda El Tambor.

La energía solar fotovoltaica es una forma ecológica y eficiente para suministrar energía eléctrica a las plantas de potabilización de Tangua y Nariño. Su

implementación en campo permite aprovechar de manera directa un recurso natural abundante, como la radiación solar promedio de 3.97 kWh, garantizando un funcionamiento sostenible incluso en áreas rurales. Además, esta tecnología no solo reduce emisiones, sino que también se adapta a las condiciones específicas de cada lugar, consolidándose como una solución práctica y a largo plazo para el suministro de agua potable y la mitigación del cambio climático.

Los resultados obtenidos a través de los estudios de radiación solar en la Sede Alvernia y la Vereda El Tambor evidencian una similitud significativa en los niveles de radiación. Esta homogeneidad en las condiciones de exposición solar permite inferir que ambos sitios son adecuados para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

El sistema de desinfección fotovoltaico diseñado representa una mejora significativa respecto al método convencional empleado en el acueducto rural. Al utilizar energía solar como fuente primaria, el prototipo asegura una desinfección eficiente y sostenible, cumpliendo estrictamente con los estándares microbiológicos establecidos por la normativa vigente. Para garantizar su óptimo desempeño en campo, el sistema incorpora un controlador de carga que gestiona de manera eficiente la energía generada por los paneles solares, manteniendo un suministro constante incluso en condiciones de baja irradiación. Su diseño compacto, de fácil mantenimiento y adaptable a diversos entornos rurales, facilita su implementación y asegura un impacto positivo en comunidades con acceso limitado a fuentes de energía convencionales.

CONCLUSIONS: *The technological innovation represented by this prototype has proven to be a promising solution to address the challenge of water quality in rural areas. Test results indicate that the system is capable of ensuring a safer and more reliable supply of drinking water, helping to improve public health and community well-being. This research sets the stage for the development of scalable and replicable solutions in other regions with similar characteristics.*

The implemented evaluative diagnosis identified the El Tambor rural aqueduct as the most viable option for project development, considering factors such as the legality of water resource use, the type of water source, the condition of the desander, and water quality based on parameters established by current regulations. This process ensures that the implementation of the photovoltaic prototype occurs in a system with suitable conditions to maximize its effectiveness and sustainability.

Our research revealed a strong correlation between the IRCA results obtained by the SIVICAP and those of several rural aqueducts in the municipality of Tangua, such as the Palizada Bajo, Concepción Alto, and El Vergel veredas. This suggests that replicating this project in other veredas within the municipality could be highly successful, benefiting not only the community of El Tambor but also a significant portion of the municipality of Tangua and potentially other departments in the

country.

The use of specialized software like AutoCAD has been essential for obtaining a precise and detailed graphic representation of the hydraulic infrastructure of the El Tambor aqueduct. These blueprints serve as an indispensable tool for fully understanding the current system's operation, thus facilitating informed decision-making for future maintenance, expansion, or improvement of the potable water service.

When comparing the efficiency of the current disinfection process in the rural aqueduct of El Tambor vereda with the disinfection generated by the photovoltaic prototype, the remarkable effectiveness of the latter was highlighted, especially in Type M3 samples treated with granular chlorine. The free residual chlorine concentrations in these samples remained within the normative range established by Resolution 2115 (2007), with values that guarantee the complete elimination of total coliforms and Escherichia coli, thus ensuring the quality of water for human consumption

The solar-powered electromagnetic chlorine dosing pump ensures precise dosing of the chlorine stock solution and continuous process operation. Unlike conventional equipment reliant on traditional power sources, this system utilizes renewable energy, enabling consistent and reliable operation. It is ideally suited for rural communities with limited or intermittent access to electricity. This renewable energy source guarantees uninterrupted disinfection, maintaining water quality at all times and ensuring compliance with water potability standards.

Additionally, the use of renewable energy makes the prototype a sustainable and economically viable long-term solution, as it reduces costs associated with energy consumption. This positions it as a replicable and scalable alternative, suitable for implementation in other, particularly rural, communities with similar characteristics.

The tests carried out in the Alvernia laboratory have conclusively demonstrated the solar kit's ability to operate the dosing pump optimally. These results not only validate the system's functionality under controlled conditions but also project high potential for its implementation in real-world scenarios, such as the El Tambor Vereda aqueduct.

Solar photovoltaic energy is an eco-friendly and efficient way to supply electricity to the water treatment plants in Tangua and Nariño. Its implementation in the field allows for the direct utilization of an abundant natural resource, such as the average solar radiation of 3.97 kWh, ensuring sustainable operation even in rural areas. Additionally, this technology not only reduces emissions but also adapts to the specific conditions of each location, solidifying its position as a practical and long-term solution for providing clean drinking water and mitigating climate change.

The results obtained through solar radiation studies at the Alvernia Campus and El

Tambor Vereda show a significant similarity in radiation levels. This homogeneity in solar exposure conditions allows us to infer that both sites are suitable for the implementation of photovoltaic systems.

The designed photovoltaic disinfection system represents a significant improvement over the conventional method used in the rural aqueduct. By utilizing solar energy as the primary source, the prototype ensures efficient and sustainable disinfection, strictly complying with the microbiological standards established by current regulations. To guarantee optimal performance in the field, the system incorporates a charge controller that efficiently manages the energy generated by the solar panels, maintaining a constant supply even under low irradiation conditions. Its compact design, easy maintenance, and adaptability to various rural environments facilitate its implementation and ensure a positive impact on communities with limited access to conventional energy sources.

RECOMENDACIONES: Para garantizar el cumplimiento de la Resolución 0330 (2017) y asegurar una desinfección óptima del agua, se recomienda complementar el sistema de tratamiento actual con la construcción de un tanque de contacto de cloro. Esta estructura adicional permitirá asegurar el tiempo de contacto con el desinfectante durante el tiempo mínimo establecido (20 minutos), la homogeneización del desinfectante y la eliminación de microorganismos cumpliendo con los estándares de calidad del agua potable.

La implementación de un tanque de contacto de cloro representa una inversión en la salud pública y la calidad de vida de la comunidad, al asegurar un suministro de agua segura y confiable.

Se insta a la implementación de un sistema de monitoreo continuo en línea del cloro residual libre en el agua tratada. Esta medida permitirá optimizar el proceso de desinfección, garantizando la eficacia bacteriológica del agua y minimizando los riesgos asociados a niveles inadecuados de cloro. A través de la medición en tiempo real, se podrá ajustar de manera precisa y oportuna la dosificación de cloro, evitando tanto la sub – cloración, que compromete la calidad sanitaria del agua, como la sobre – cloración, que puede generar subproductos de desinfección y corrosión en las redes de distribución.

Se sugiere implementar un programa integral de capacitación continua para el personal operativo del acueducto, enfocado en tres ejes principales:

Desinfección del agua: Profundizar en los principios de desinfección, los mecanismos de acción de los desinfectantes (principalmente cloro), la dosificación óptima según las características del agua cruda y las normativas sanitarias vigentes. Esto permitirá optimizar los procesos de desinfección, garantizar la calidad bacteriológica del agua y minimizar el riesgo de contaminación.

Tecnologías fotovoltaicas: Brindar formación en el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos aplicados a la potabilización de agua. Se debe enfatizar en la selección adecuada de componentes, el dimensionamiento de los sistemas, la conexión a la red eléctrica y las medidas de seguridad. Esta capacitación permitirá aprovechar al máximo el potencial de las energías renovables, reducir los costos operativos y disminuir la huella de carbono del sistema.

En cuanto a la bomba dosificadora electromagnética de membrana VMS MF, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo periódico para asegurar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Es importante verificar regularmente la calibración del equipo y ajustar la dosificación según las necesidades específicas del sistema de acueducto, garantizando una dosificación precisa de cloro.

Es necesario contar con un kit de respaldo de componentes clave, como las membranas y los sellos, para facilitar reparaciones rápidas en caso de fallas. Implementar estas acciones garantizará un proceso de desinfección eficiente y confiable en el sistema de potabilización del agua.

Con el objetivo de optimizar el rendimiento y la durabilidad de un sistema de energía fotovoltaica, se sugiere una cuidadosa selección de los paneles solares. Estos deben ser compatibles con el rango de temperaturas del entorno específico, garantizando así una operación eficiente. Además, es fundamental instalar los paneles en ubicaciones que promuevan una adecuada ventilación, minimizando el riesgo de sobrecalentamiento y maximizando la eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica.

Se recomienda enfáticamente en la instalación de reguladores de carga de alta calidad en todos los sistemas fotovoltaicos. Estos dispositivos actúan como guardianes de la batería, optimizando su desempeño y prolongando su vida útil. Al controlar de manera precisa el flujo de energía entre los paneles solares y el banco de baterías, los reguladores evitan tanto la sobrecarga, que puede dañar las células, como la descarga profunda, que reduce su capacidad. En consecuencia, se garantiza un suministro eléctrico estable y confiable, además de proteger los componentes electrónicos del sistema de posibles averías causadas por variaciones de tensión.

RECOMMENDATIONS: *To ensure compliance with Resolution 0330 (2017) and guarantee optimal water disinfection, it is recommended to supplement the current treatment system with the construction of a chlorine contact tank. This additional structure will ensure the required contact time with the disinfectant (20 minutes), the homogenization of the disinfectant, and the elimination of microorganisms, meeting drinking water quality standards.*

The implementation of a chlorine contact tank represents an investment in public health and the quality of life of the community, by ensuring a safe and reliable water supply.

It is urged to implement a continuous online monitoring system for free residual chlorine in the treated water. This measure will allow for the optimization of the disinfection process, guaranteeing the bacteriological effectiveness of the water and minimizing the risks associated with inadequate chlorine levels. Through real-time measurement, chlorine dosing can be adjusted precisely and promptly, avoiding both under-chlorination, which compromises the sanitary quality of the water, and over-chlorination, which can generate disinfection byproducts and corrosion in the distribution networks.

It is recommended to implement a comprehensive, ongoing training program for the aqueduct's operational staff, focusing on three main areas:

Water Disinfection: A deep dive into disinfection principles, the mechanisms of action of disinfectants (primarily chlorine), optimal dosing based on raw water characteristics, and current health regulations. This will allow for the optimization of disinfection processes, ensuring bacteriological water quality, and minimizing the risk of contamination.

Photovoltaic Technologies: Provide training in the design, installation, operation, and maintenance of photovoltaic systems applied to water treatment. Emphasis should be placed on the proper selection of components, system sizing, grid connection, and safety measures. This training will allow for maximizing the potential of renewable energy, reducing operating costs, and decreasing the system's carbon footprint.

Regarding the VMS MF diaphragm electromagnetic dosing pump, periodic preventive maintenance is recommended to ensure proper operation and extend its service life. It is important to regularly verify the equipment calibration and adjust the dosage according to the specific needs of the water supply system, ensuring accurate chlorine dosing.

A backup kit of essential components, such as membranes and seals, is necessary to facilitate rapid repairs in case of failures. Implementing these actions will ensure an efficient and reliable disinfection process within the water treatment system.

To optimize the performance and durability of a photovoltaic system, careful selection of solar panels is suggested. These should be compatible with the temperature range of the specific environment, ensuring efficient operation. Additionally, it is crucial to install the panels in locations that promote adequate ventilation, minimizing the risk of overheating and maximizing the efficiency of

converting solar energy into electrical energy.

The installation of high-quality charge controllers is strongly recommended in all photovoltaic systems. These devices act as battery guardians, optimizing their performance and extending their lifespan. By precisely controlling the energy flow between the solar panels and the battery bank, the controllers prevent both overcharging, which can damage the cells, and deep discharge, which reduces their capacity. Consequently, a stable and reliable electrical supply is guaranteed, in addition to protecting the system's electronic components from potential failures caused by voltage variations.