

**SISTEMA PARA POTABILIZAR AGUA, ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA Y DEL SISTEMA ELECTROENERGÉTICO NACIONAL
SYSTEM FOR POTABILIZING WATER, SUPPLIED BY SOLAR PHOTOVOLTAIC
ENERGY AND THE NATIONAL ELECTROENERGY SYSTEM**

Ing. Osmero Francisco Girón Escobar¹

MSc. Alberto Carballo Peña²

Dra. C. Mabel del Pilar Espinosa Torres

MSc. Arabel Moraguez Iglesias

¹Eléctrica de Holguín, Carretera Central, Vía Habana, Holguín, Cuba.

²Universidad de Holguín, Avenida XX Aniversario, Piedra Blanca, Holguín, Cuba.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo la creación de un sistema de tratamiento de agua para pequeñas comunidades, utilizando para su alimentación energía solar fotovoltaica y la proporcionada por el Sistema Electroenergético Nacional, en días nublados. Dicho sistema considera la existencia de comunidades alejadas que reciben agua no tratada, pero que cuentan con el abasto energético tradicional; no descartándose la posibilidad de alternativas como: híbridos entre grupos electrógenos de emergencia y paneles solares fotovoltaicos. Fueron empleados como métodos teóricos fundamentales: el histórico lógico, análisis síntesis y sistémico estructural. Como métodos empíricos: la observación, medición y criterios de especialistas. Se destacan como resultados que: la esterilización del agua se realiza mediante el uso del Ozono producido en la misma planta, lo que la hace más viable al reducir el costo de operación, pues no utiliza cloradores, ni hipoclorito; sus ventajas económicas, sociales y medio ambientales son evidentes: bajo costo, abasto a comunidades con agua tratada, reducción de morbilidades asociadas; disminución de la carga de sustancias de efecto invernadero; empleo de la radiación solar como fuente renovable de energía. Se concluye que es posible la combinación de pequeñas plantas de tratamiento de agua en comunidades pequeñas y alejadas empleando paneles fotovoltaicos debido a sus bajos niveles de consumo energético y que la utilización del ozono producido en la propia planta es un agente purificador que alcanza niveles aceptables en el agua de consumo.

Palabras clave: tratamiento de agua, energía solar, fuente renovable de energía

ABSTRACT

The objective of this work is to create a water treatment system for small communities, using photovoltaic solar energy for its power supply and that provided by the National Electroenergetic System, on cloudy days. Said system considers the existence of remote communities that receive untreated water, but that have the traditional energy supply; Not ruling out the possibility of alternatives such as: hybrids between emergency generators and photovoltaic solar panels. The following were used as fundamental theoretical methods: the logical historical, synthesis and systemic structural analysis. As empirical methods: observation, measurement and specialist criteria. The results that stand out are that: the sterilization of the water is carried out through the use of Ozone produced in the same plant, which makes it more viable by reducing the cost of operation, since it does not use chlorinators or hypochlorite; Its economic, social and environmental advantages are evident: low cost, supply to communities with treated water, reduction of associated morbidities; reduction of the load of greenhouse effect substances; use of solar radiation as a renewable source of energy. It is concluded that the combination of small water treatment plants in small and remote communities using photovoltaic panels is possible due to their low levels of energy consumption and that the use of ozone produced in the plant itself is a purifying agent that reaches acceptable levels in drinking water.

Keywords: water treatment, solar energy, renewable source of energy

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo la creación de un sistema de tratamiento de agua para pequeñas comunidades utilizando para su alimentación energía solar fotovoltaica y la proporcionada por el SEN (Sistema Electroenergético Nacional), en días nublados. Toma en consideración la existencia de comunidades alejadas que reciben agua no tratada, pero que cuentan con el abasto energético tradicional; no descartándose la posibilidad de alternativas como el empleo de híbridos entre grupos electrógenos de emergencia y paneles solares fotovoltaicos.

Muchas comunidades aisladas tienen abasto de agua no tratada, lo que genera numerosas enfermedades, desde las más comunes como las diarreicas, hasta las más complejas y crónicas como las litiasis vesiculares y renales. El tratamiento de estas por parte del sistema de salud

genera un alto costo, tanto en el caso de los tratamientos medicamentosos como en los quirúrgicos.

Si se utiliza estos tipos de sistemas que generan cantidades de agua potabilizada en pequeñas escalas, dichas enfermedades podrían ir disminuyendo con el paso del tiempo en las poblaciones beneficiadas.

En el mundo, existen numerosos tipos de plantas de tratamiento de agua, desde las industriales hasta las más pequeñas para usos específicos. El método utilizado para la esterilización puede variar: con empleo de Cloro, que son las más utilizadas; las que esterilizan con Yodo y las que utilizan el Ozono. Las fuentes para el suministro del agua pueden ser aguas dulces superficiales, aguas del manto freático y aguas provenientes de los mares.

Las comunidades aisladas se abastecen, en primer lugar, de agua de pozos, aguas superficiales, aunque no se descarta la desalinización en áreas cercanas a las costas y alejadas de las principales fuentes masivas de abasto. En Cuba, estas comunidades están generalmente abastecidas de energía eléctrica por el Sistema Electroenergético Nacional (SEN); en otros casos, se alimentan de grupos electrógenos de emergencia o, cuando las casas están muy alejadas unas de otras, se alimentan con un sistema de panel solar fotovoltaico y con baterías.

La energía solar fotovoltaica ha ido incrementando su utilización en distintos campos de la vida de los humanos, pero en las zonas aisladas cobra especial importancia, pues tienen muchas ventajas: su costo ha ido decreciendo paulatinamente, no vierte sustancias que dañan al medio ambiente y puede instalarse en cualquier parte donde incidan directamente los rayos solares.

METODOLOGÍA

Fueron empleados métodos teóricos fundamentales: el histórico- lógico, análisis síntesis y sistémico estructural; como métodos empíricos: la observación, medición y criterios de especialistas. Se realizó una investigación del mercado de proveedores de equipos para el tratamiento de agua en pequeñas escalas, para compararlos con el propuesto en este trabajo. Se recopiló antecedentes relacionados con las diferentes enfermedades generadas a propósito del consumo de aguas contaminadas. Fue seleccionada la tecnología más adecuada para el tratamiento del agua en estos casos, considerando factores energéticos, económicos, ambientales y sociales, entre otros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

(Lee, 2004), plantea que:

El agua y el saneamiento son uno de los principales motores de la salud pública. Suelo referirme a ellos como «Salud 101», lo que significa que en cuanto se pueda garantizar el acceso al agua salubre y a instalaciones sanitarias adecuadas para todos, independientemente de la diferencia de sus condiciones de vida, se habrá ganado una importante batalla contra todo tipo de enfermedades.

Un artículo publicado por (SciELO, 2013), refiere que:

La contaminación por metales, residuos químicos y antibióticos, sigue siendo los principales factores de la contaminación del agua, lo que repercute gravemente en la salud de las personas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el consumo de agua contaminada y la falta de acceso a servicios mejorados de saneamiento, se encuentra asociado con más de 4.000 muertes prematuras al año en América Latina.

También señala:

...Pero eso no es todo, la exposición prolongada a agua contaminada con plaguicidas, metales, antibióticos y residuos radiactivos, se asocia a cánceres, fallas renales, problemas cognitivos y otras enfermedades no transmisibles. La presencia de estos contaminantes se atribuye a la mala agricultura, la minería, la deficiencia de los sistemas de saneamiento y otras prácticas industriales.

Además de estos problemas, existen los asociados a las litiasis, tanto vesiculares como renales, así como otras enfermedades como las hepáticas y hematológicas, asociadas a los nitritos que, aunque no de manera frecuente, también ocurren.

En el caso de la contaminación de las aguas que tiene lugar en algunas comunidades aisladas, la causa fundamental reside en que las fuentes principales son ríos o pozos que poseen materias orgánicas. En dichas fuentes, son significativos los bajos niveles de cloro con los que llegan a los consumidores, por el traslado en camiones cisternas o tractores con pipas, durante largas travesías

(Sosa, 2018) afirma que:

En el año 1996 para determinar la contaminación bacteriana del agua se programaron la toma de 24540 muestras en 2045 puntos clave establecidos en 31 ciudades objeto de estudio. La estratificación del riesgo planteado por la exposición al agua de cada ciudad permitió hacer la siguiente clasificación: ciudades con bajo riesgo: 0; ciudades con riesgo moderado: 8; ciudades con alto riesgo: 23

De esta forma, las ciudades con riesgo moderado representan el 26 % y las ciudades con alto riesgo representan el 74 %.

Se puede considerar, de lo anteriormente expuesto, que donde el agua no es correctamente tratada hay un alto riesgo de contraer enfermedades relacionadas, entre ellas, fundamentalmente, las diarreicas y el parasitismo.

No obstante, en Cuba existen programas que contrarrestan los efectos de la contaminación de las aguas con muy buenos resultados. Un ejemplo de ello es el Programa Materno Infantil que ha logrado obtener índices de mortalidad infantil y materna entre los más bajos del mundo.

El consumo de energía de una planta potabilizadora de agua depende directamente de los volúmenes de agua a procesar, esta es la razón por la que se propone, en este trabajo, pequeñas plantas potabilizadoras, capaces de trabajar con bajos consumos energéticos, lo que favorece que se pueda alimentar, fundamentalmente, con paneles solares fotovoltaicos (Moraguez y Carballo, 2020).

Existen otros tipos de plantas en el mundo para tratar agua en pequeñas escalas, pero adaptadas a condiciones que no cumplen con las expectativas de las pequeñas comunidades aisladas.

Los paneles solares pueden ser de tres tipos:

- Paneles solares fotovoltaicos
- Paneles solares térmicos
- Paneles solares híbridos (fotovoltaico + térmico)

El panel solar fotovoltaico, encargado de transformar la energía procedente del sol en electricidad, ha sido el seleccionado para este tipo de tecnología de tratamiento de agua. Con precios cada vez más reducidos, los módulos fotovoltaicos se presentan como una gran alternativa limpia para generar la electricidad (o parte de ella) en el sector residencial, hospitales, comercios, escuelas, etc. (ENDEF. Solar Solution, 2017).

Al decir de (Moreno, 2011) los paneles solares fotovoltaicos más comunes son:

- Monocristalinos (silicio)
- Policristalinos (silicio)
- Amorfos.

Los más utilizados son los Policristalinos. Las formas de utilizar los paneles fotovoltaicos son de gran variedad en dependencia del objetivo que se persiga con su uso: desde los paneles aislados, conectados a la red eléctrica nacional, o los sistemas híbridos aislados, entre otros.

(Aguilar y Gómez, 2020), plantean que un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional.

El concepto de SFCR es compatible con un amplio margen de aplicaciones, las cuales pueden ir desde centrales de varios megavatios, hasta pequeños sistemas de unos cuantos kilovatios. En el caso que nos ocupa, se dirige el trabajo en sistemas pequeños y medianos, tales como los que pueden incorporarse en un edificio.

A partir de los resultados de esta investigación, se plantea un sistema fotovoltaico con conexión al SEN. De esta forma cuando los días son nublados se garantiza el servicio de potabilización del agua.

Las pequeñas plantas potabilizadoras para el suministro de agua potable son instalaciones destinadas a pequeñas poblaciones aisladas y para situaciones de emergencia, diseñadas para un mínimo consumo de energía que posibilita su operación con energías renovables (NOVAGRIC, 2016).

Muchas empresas en el mundo se dedican al diseño, construcción y producción a gran escala de pequeñas plantas potabilizadoras de agua. El presente trabajo propone una con características especiales: baja producción porque es para asentamientos de baja densidad de población. Ello le garantiza bajos consumos de energía, lo que le permite funcionar con paneles fotovoltaicos, ya que la incidencia solar media en Cuba está entre 5,0 y 6,0 kWh/m², como promedio. La otra cualidad que la hace específica es la utilización del Ozono como agente purificador, lo que tiene como ventajas que es amigable con el medio ambiente y reduce los costos de operación al no tener que comprar el cloro ni los hipocloradores.

Esta propuesta se relaciona de manera directa con los llamados a favorecer encadenamientos productivos como parte de la tarea ordenamiento, pues entre la universidad y otras empresas aliadas a proyectos territoriales y empresariales, se pueden diseñar y fabricar en serie pequeñas plantas de este tipo, que garanticen calidad aceptable del agua de consumo con recursos nacionales y con energía producida por paneles fotovoltaicos fabricados en el país.

(Doménech, 2004) plantea que:

La desinfección del agua para consumo humano es uno de los procesos de potabilización que más controversia ha suscitado en los últimos tiempos, debido a los potenciales efectos indeseables que producen los diferentes aditivos y tratamientos, tanto en las cualidades organolépticas, como otros posibles efectos sobre la salud. Así, el cloro y el

ozono se han convertido en los dos principales desinfectantes del agua potable, cada uno con sus ventajas e inconvenientes.

El Cloro es hasta hoy el elemento químico más utilizado para desinfectar el agua, pero, al mismo tiempo, se habla de una de las sustancias más activas del universo, capaz de reaccionar con la mayor cantidad de sustancias químicas. Esto lo hace un excelente agente potabilizador al ser capaz de eliminar la mayoría de los patógenos del ser humano. Sin embargo, estudios recientes lo sitúan como destructor de la capa de ozono; también sostienen que, en proporciones mal calculadas en el agua potable, puede dañar la salud de los humanos. Es por esto que se utiliza la variante del empleo del Ozono, pues es posible producirlo en las cantidades necesarias para lograr niveles óptimos de eliminación de bacterias, mohos, hongos y virus en las aguas de consumo humano. Según (Doménech, 2004), el Ozono es posible generarlo dentro de la propia planta utilizando métodos ya de sobra conocidos como el salto de alto voltaje.

CONCLUSIONES

1. Existe un nivel elevado de población que necesita mejorar la calidad del agua potable de consumo, fundamentalmente, en aquellas comunidades alejadas de los grandes acueductos.
2. En nuestras comunidades, es posible la combinación de pequeñas plantas de tratamiento de agua con la utilización de paneles fotovoltaicos, debido a los niveles bajos de consumo energético de dichas plantas.
3. La utilización del ozono producido en la propia planta es un agente purificador que alcanza niveles aceptables en el agua de consumo.
4. La combinación de dos agentes como pueden ser el ozono y el hipoclorito para desinfectar tuberías y envases aumentaría la calidad del producto terminado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar Peña, J. D. and Gómez Segura, A. (2020) *Sistemas fotovoltaicos conectados a la red, Aplicaciones fotovoltaicas en edificios. Lección Inaugural*. Available at: http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/08_lecciones/02_leccion/www/Sist_fotovol_conectados_red.htm.
2. Casañas Sosa, Pedro J. (2018), *Ciencia Universitaria Vol 16 No.1 (Enero-Diciembre)* "Influencia de la calidad Higiénico-Sanitaria del agua sobre la morbilidad por diarrea, en recría de terneros, como problema social". 2018.
3. Castrillón Forero, J. E. and Hincapié Zuluaga, D. A. (2012) 'Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos', *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 4(6), p. 121. doi: 10.22430/21457778.76.
4. Chauvin, S. (2019) *El Agua Potable y la Salud: Lo que debe saber, Mujeres de Empresa*. Available at: <http://www.mujeresdeempresa.com/el-agua-potable-y-la-salud-lo-que-debe-saber/>.
5. Doménech Javier (2004) 'Ozono frente a cloro | Offarm', 23, pp. 120–126. Available at: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-ozono-frente-cloro-13061803>.
6. ENDEF. Solar Solution (2017) *Energía solar para principiantes, ENDEF*. Available at: <https://endef.com/tipos-de-paneles-solares/>.
7. Escolar, A. (2018) *EcoHidro, la solución autosuficiente a la falta de agua potable*. Available at: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/08/10/companias/1533897555_229210.html.
8. Lee, J. (2004) *Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud*.
9. Moraguz, A. and Carballo, A. (2020) *Desarrollo de tecnologías para la sostenibilidad y sustentabilidad de las fuentes renovables de energía (TECNOFRE)*. Proyecto de Investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín, Cuba.
10. Moreno, C. (2011) *Energía eólica. Tecnología y aplicaciones*. Edited by E. Academia. La Habana. Cuba: 2011.
11. NOVAGRIC (2016) *Planta de potabilización de agua móvil, Russian Websites*. Available at: <https://www.novagric.com/es/tratamiento-agua/potabilizacion-movil>.
12. Pérez Fajardo, J. R. (2012) 'Una propuesta de iniciativas para la producción de agua dulce en la ciudad de Puerto Padre, Las Tunas.', *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, octubre-diciembre.*, 21(4), pp. 67–71. Available at: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n4/rcta11412.pdf>.
13. Pizarro Madureira, P. de S. (2010) *Saudes nas Americas; Resumo País: Cuba*. Available at: www.paho.org/salud-en-las-americanas-2017/?page_t_es=informes+de+pais%2Fcuba&lang=pt.
14. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos, W. (2020) *Abastecimiento de agua, UNESCO*. Available at: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/water-supply-sanitation-and-health/>.

15. Scielo (2013) *Calidad de agua y salud pública*, *Revista Scielo*. Available at: www.rpp.com.pe/2013-04-15-calidad-de-agua-y-salud-publica-noticia_585434.html.
16. Sosa, D. E. (2018) *MODELO DE ASIGNACIÓN DE EQUIPOS MONTACARGAS EN UN OPERADOR LOGÍSTICO EN COLOMBIA*. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en la Universidad Católica de Colombia.
17. Soto Alvarez, G. *et al.* (2013) *Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo, Unesco. PHI-VII / Documento Técnico N° 33*. Coquimbo, Chile. Available at: <http://www.unesco.org/uy/phi/biblioteca/archive/files/e733e28fc539e3c010d06c64bf298dc e.pdf>.
18. Yosmani Emilio Lamorena and Axel Hidalgo (2019) 'Programa para el análisis espacial de los regímenes de temperatura y precipitación', *Rcm.Insmet.Cu*, 25(2), pp. 238–243. Available at: <file:///E:/Users/Arabel/AppData/Local/Temp/470-1631-2-PB-1.pdf>.

RESUMENES CURRICULARES DE LOS AUTORES

Ing. Osmero Francisco Girón Escobar: Graduado de ingeniero Termoenergético en el Instituto superior técnico de Cienfuegos en 1991; Diplomado en Relaciones económicas internacionales en Universidad “Oscar Lucero Moya” de Holguín 1995; Diplomado en Máquinas soplantes, bombas, compresores y ventiladores, en Universidad “Oscar Lucero Moya” de Holguín 1997; Diplomado en Gerencia Turística, Formatur Holguín 2001; Diplomado en Training maintenance Hotels, Sandals Resort Jamaica 2003. Ha cursado y aprobado Diplomado de Contabilidad y Finanzas en Formatur Holguín en 2007; Actualización del modelo económico cubano, Universidad de Holguín-Escuela Superior de PCC Holguín 2011. Ha cursado y aprobado el curso de Gestión integral del proceso inversionista, Universidad de Holguín 2017. Actualmente, cursa Maestría de eficiencia energética en Universidad “Oscar Lucero Moya” de Holguín. Ha participado en más de siete Fóruns de Ciencia y Técnica como ponente y como jurado. Ha trabajado en la producción de Cervezas en Holguín, desde el 1991 hasta 1998. Luego en el turismo (hotel Villa El Bosque, hasta 2007); en la Empresa Eléctrica Holguín en grupos electrógenos de Emergencia, hasta 2017 y en Inversiones, hasta la fecha. osmero@elechol.une.cu

Alberto Carballo Peña: Graduado de Ingeniero Mecánico en la Universidad de Holguín, Cuba en 1994. Obtiene título de Máster en Ciencias de la Ingeniería de la Maquinaria Agrícola en 1997. Obtiene el título de Profesor Auxiliar en año 2002. Miembro del Comité Académico de la Maestrías en Eficiencia Energética desde el 2010 hasta la actualidad. Coordinador y miembro de varios proyectos territoriales y empresariales. Coordinador de un proyecto internacional asociado a la Universidad de Quebec en Canadá. Profesor de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín con más de 30 años en la docencia y la investigación. Miembro Permanente de la Comisión Nacional de la Carrera de Ingeniería Mecánica. Participante como colaborador en cuatro misiones internacionalistas. Ha dirigido la Disciplina Tecnologías Energéticas, la Línea de Investigación Energía y ha tutorado un número significativo de Trabajos de Diploma y Tesis de Maestría en esta línea. carballoalberto94@gmail.com

Arabel Moraguez Iglesias: Graduado del Profesorado de Física en el Instituto Superior Pedagógico de Holguín “José de la Luz y Caballero”, en 1979. Graduado de Ingeniero Mecánico en la Universidad de Holguín en 1980. Graduado de Idioma Ruso en la Facultad Preparatoria de

la Universidad de Santiago de Cuba en 1983. Obtiene el título de Profesor Auxiliar en año (1996), Máster en Planeamiento Administración y Supervisión de Sistemas Educativos IPLAC (2001). Profesor con 53 años de experiencia docente. Coordinador de un proyecto territorial y miembro de varios proyecto empresariales. Miembro de un proyecto internacional asociado a la Universidad de Quebec en Canadá. Profesor de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín. mabele@uho.edu.cu

Mabel del Pilar Espinosa Torres: Graduada de Ingeniera Mecánica (1989) y de la Licenciatura en Mecánica (2000). Máster en Ciencias (2012). Profesora Auxiliar (2012) y Doctora en Ciencias Pedagógicas (2013). Vicedecana de pregrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín. Teléfono de donde labora 24-482737. Línea investigativa que trabajó: la formación laboral del profesional de la ETP en las carreras Industriales. arabel69@gmail.com