

Microred Solar Fotovoltaica para Automatización de Planta Compacta de Potabilización de Agua

Solar photovoltaic micro grid for automation of a compact water purification plant

Otto Ferney Bayona Peñaloza, ottobayona@udes.edu.co, docente investigador Universidad de Santander, Bucaramanga, Colombia

Resumen— Proporcionar acceso de agua y energía impacta profundamente una comunidad en términos de mejora de la calidad de vida, la educación y el medio ambiente. El presente artículo está basado en un trabajo de investigación cuya finalidad fue el diseño, estandarización y operación de una microred solar fotovoltaica -FV- para suplir requerimientos energéticos de una planta compacta de bajo costo en purificación del agua en Barichara (Santander-Colombia) con asistencia del software Homer Micro grid. La fiabilidad de la planta se calculó por las variaciones en la demanda de agua, y el consumo de energía de la planta en una escala de tiempo de 1 año. Se encontró que una radiación media de 5,34 kW/h/m²/d es suficiente para satisfacer la demanda de energía de la planta de potabilización con total independencia del sistema energético convencional y así cubrir las necesidades de agua de un pequeño grupo de personas en un período de un año. Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten dilucidar la viabilidad del desarrollo de sistemas más complejos en áreas que no están conectados al sistema nacional de suministro de electricidad en Colombia

Palabras clave: *microred solar fotovoltaica, PTAP, energía, agua potable y sistema energético colombiano*

Abstract— Providing access to water and energy profoundly impacts a community in terms of improving the quality of life, education and the environment. This article is based on a research project whose aim was to design, standardization and operation of a photovoltaic solar micro grid -FV- to meet energy requirements of a Compact low-cost water purification plant in Barichara (Santander-Colombia). The plant reliability by variations in water demand and energy consumption in a time scale of 1 year was calculated. It was found that an average radiation of 5,34 kW/h/m²/d is adequate to meet the energy demand of the clean water plant, creating a completely independent of the

conventional energy system while the need for water is supplied to a small group of people over a period of one year. The results obtained in this investigation allow examine the feasibility of developing more complex systems in areas that are not connected to the national electricity supply system in Colombia

Index Terms— photovoltaic solar micro grid, clean water plant, energy, clean water, Colombian energetic system.

I. INTRODUCCIÓN

La investigación desarrollada en el proyecto base de este artículo está motivada en el hecho de que existen pueblos en el territorio nacional colombiano que no disponen de servicios de energía ni de agua apta para consumo humano. Estas son cuestiones trágicas en pleno siglo XXI, que demandan innovar en pro de la mejora en la calidad de vida de comunidades, especialmente de aquellas en estados de vulnerabilidad. Es allí, donde ideas como plantas compactas de potabilización de agua a pequeña escala y costo moderado, solucionan requerimientos puntuales en agua potable con abastecimiento e implementación de fuentes energéticas renovables. Así mismo, esta propuesta da cuenta de lo importante que resulta para la academia abordar estos tópicos y realizar investigación aplicada, que se constituye en un beneficio real y directo para la sociedad yendo más allá de los cálculos y de la ingeniería en el papel.

Sumado a lo anterior, el artículo sintetiza la investigación realizada en el tema de la tecnología solar fotovoltaica, que ha alcanzado un punto en la curva de desarrollo sostenible y la convierte en una alternativa muy atractiva para proyectos de las dimensiones y características como el que se presenta a continuación.

Recibido 01/10/ 2015 Revisado 26/11/2015 Aprobado /18/12/2015

Para citar este artículo se recomienda: O. Bayona. Microred solar fotovoltaica para automatización de planta compacta de potabilización de agua, Vol.2 n°1, pp.7-11, enero 2016.

Además, la situación geográfica de Colombia hace que se disponga de una gran cantidad de energía solar, energía que por cierto, no está siendo aprovechada de una manera significativa.

Conseguir la autonomía de un sistema compacto de potabilización de agua mediante un sistema energético solar fotovoltaico, con condiciones de operación estándar establecidas, constituye un logro significativo en la masificación de soluciones de este tipo y aporta en gran medida al cambio de paradigma de que la obtención de energía eléctrica por fuentes no convencionales es inviable debido a aspectos técnicos y económicos, o está fuera de consideración para un país en vías de desarrollo como Colombia.

II. ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO EN COLOMBIA

A. Cobertura

Para el Gobierno Nacional es prioridad mejorar las condiciones de energización en las Zonas No Interconectadas (ZNI) [1] a partir de soluciones financieramente viables y sostenibles a largo plazo. Por lo tanto, la política energética nacional [2] tiene como objetivo: ampliar la cobertura y aumentar las horas de prestación del servicio, asegurando un suministro de energía confiable y de bajo costo para los usuarios. La formulación de la política energética nacional se encuentra plasmada en el Plan Energético Nacional [3]; en los Documentos CONPES [4], que tienen entre sus objetivos, el de direccionar la aplicación de las políticas y plantear estrategias, en el marco de la normatividad vigente, para la adopción de decisiones y procedimientos de cumplimiento obligatorio [5].

B. Avances en fuentes de energía no convencional

Durante los últimos años se ha producido un gran avance en el área de las tecnologías fotovoltaicas (FV), es por esto que se constituyen como una de las mejores alternativas para satisfacer la demanda de energía eléctrica futura en Colombia.

En la actualidad, el consumo mundial de energía es de 10 Teravatios (TW) por año, y para 2050 se prevé que sea aproximadamente 30 TW; y el mundo necesitará alrededor de 20 TW de energía que provengan de fuentes y que no emitan CO₂ para estabilizar el CO₂ en la atmósfera a mediados de siglo. Así, el escenario más simple es uno donde la energía FV y otras energías renovables cubran la electricidad (10 TW), el hidrógeno para el transporte (10 TW) y los combustibles fósiles para calefacción en los contextos residencial e industrial (10 TW) [6].

Para cubrir una parte de la demanda del caso colombiano, es necesario contar con información solar precisa que permita determinar las zonas con gran posibilidad. Sin embargo, la

información existente y los datos en cuanto a radiación solar sobre cualquier superficie horizontal son pocos e inexactos. La mayoría de estaciones meteorológicas instaladas por el IDEAM [7] no cuenta con sensores para tales propósitos, aunque existen métodos de cálculo de radiación en cualquier inclinación y ubicación; y herramientas de consulta en línea como la “NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data” [8]. En este sitio *Web* se hallan registros históricos obtenidos en forma indirecta mediante modelos matemáticos de estimación que correlacionan la radiación y el brillo solar. Estos datos fueron de gran valor en el desarrollo de la investigación que se sintetiza en este artículo y permitieron corroborar las diferentes fuentes de datos, para proponer alternativas que posean un impacto real y duradero en las necesidades de comunidades con problemas de interconexión eléctrica.

III. TECNOLOGÍA INNOVADORA

A. Demanda energética de la PTAP

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo investigativo, la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) posee una tensión en operación de 95,49 VAC RMS e intensidad de corriente media en “Stand by” de 0,03 IAC y en operación de 0,96 IAC, de igual forma la potencia de la PTAP se encuentra entre 2,86 W y 91,61 W [9]. Estos datos permitieron concluir que la demanda energética de la planta depende del tiempo que permanezca encendida y tal lapso a su vez será proporcional al agua demandada por los usuarios finales. Para conocer la demanda se revisó el consumo del año 2013 suministrado por el prestador de servicios públicos del municipio [10].

Para el caso de estudio se encontró que el consumo máximo (Figura 1) se encuentra en diciembre (50 m³) que para 30 días se traduce en 1,66 m³ día y teniendo en cuenta que una dotación de 135 l/habitante corresponde a un número de 12 a 13 personas servidas al día, emulando así los usos habituales de 3 hogares en Colombia.

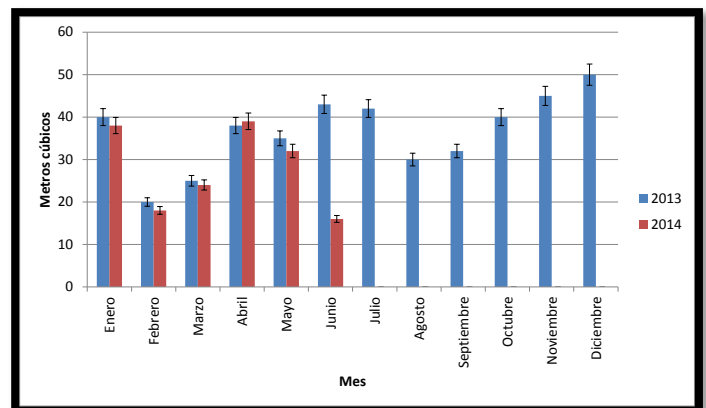


Fig. 1. Registro de consumo de agua potable.

Fuente: Empresa de Servicios Públicos de Barichara

Considerando que la planta está diseñada para un caudal de 0.1 l/s se calcula que ésta debe operar por un período de 4,61 horas al día para suplir el máximo consumo de agua [9]. Con la potencia de operación de $P_o = 91.61W$ se tiene un consumo de energía de 422,42 Wh es decir que la energía máxima diaria en AC a suministrar es 0,422 KWh.

Así mismo, se cuenta que la planta procesa 360 l/h a un costo energético de 91,61 W.h por lo que se necesita 0,2545 W/h para producir un litro de agua potable.

El siguiente paso consiste en someter a evaluación la instalación que ya se configuró bajo las condiciones de menor radiación disponible, las cuales según los datos obtenidos corresponden al mes de mayo de 1993 y la mayor demanda de energía, media diaria mensual al mes de diciembre de 2013.

En el caso anterior se propusieron entonces, dos módulos FV, cada uno con una potencia de 100 W, una irradiación en condiciones estándar de 1 kW/m², el valor medio de radiación diario y el “performance ratio”. Todo ello cubre las externalidades como la temperatura ambiente, suciedad de los paneles y eficiencia de los elementos de la instalación, que se asume como 0,6 por tratarse de una instalación con regulador e inversor.

Por la siguiente expresión se calculó la carga diaria que podría suministrar la microred, para máxima energía que pudiera llegar a generar el arreglo FV:

$$NT = \frac{L_{dm} * G_{CEM}}{P_{MOD} * G_{dm}(0) * PR} \quad (1)$$

Dónde:

NT : Número de módulos FV

P_{MOD} = Potencia Pico del Panel FV o Wp

L_{dm} = Media mensual de consumo diario (w.h)

G_{CEM} = Irradiancia en condiciones Estandar de Medida

$G_{dm}(0)$ =

Valor medio mensual de radiación diaria en una superficie)

PR = Performance Ratio o rendimiento energético de la Instalación

B. Aplicación de microred

Para determinar el potencial de aplicación de la PTAP acoplada a una microred FV se realizó una evaluación técnica y financiera con el fin de identificar ventajas y desventajas del proyecto, mediante su comparación con un grupo electrógeno convencional que trabaje con combustible diésel común en las

zonas no interconectadas. Para esto se empleó HOMER® Micro grid Software [11] que es un estándar global para la optimización de microredes.

Así, el presente caso se modeló en dos escenarios con una demanda real que corresponde a la información ya adquirida sobre consumo de agua de los usuarios en el año de 2013 y eficiencia energética de la PTAP.

En el primer escenario se simuló una configuración como la que se encuentra operando actualmente en Barichara, que presenta un generador FV de 0,2 KWp por sus dos módulos de 100 Wp cada uno, un regulador que se ingresa como un costo adicional al acumulador pues la herramienta así lo indica, un acumulador de 155 Ah de capacidad y un inversor DC/AC de 1 Kw. Para cada elemento se ingresan los costos de capital, reposición y salvamento además de la información que brinda el fabricante sobre rangos de operación y eficiencias. El software permite hacer análisis de sensibilidad en la medida que se pueden ingresar varias opciones; es decir, fracciones de la capacidad general de los módulos FV y el inversor, con el objeto de seleccionar la opción que arroje un costo nivelado de la menor energía requerida. (Ver Figura 1)

Para el segundo escenario se consideró cubrir la demanda de la PTAP mediante un generador diésel convencional con capacidad de 1 Kw y a un costo del combustible de 0.85 US dólares por litro. De igual forma se ingresan fracciones de la capacidad nominal del generador para la evaluación.

Por último, se tiene un valor presente neto de la microred de 2712 US dólares. Además, el principal costo lo representa la batería (Figura 2) pues debe ser reemplazada varias veces durante el desarrollo del proyecto con una vida útil de 2,67 años.

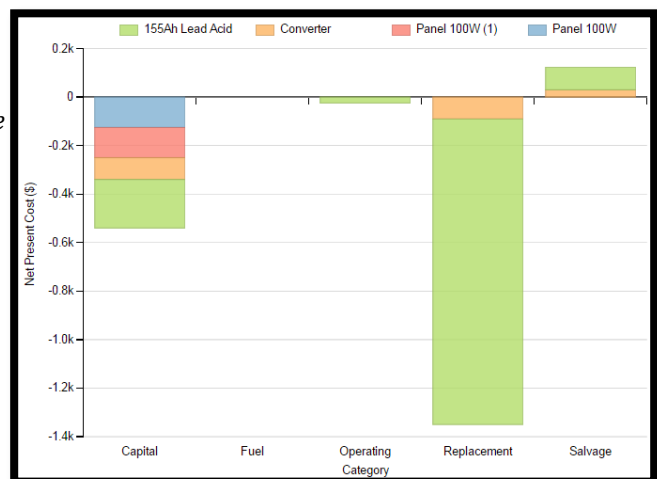


Fig. 1. Resumen de Costos microred.

Fuente: elaboración propia basada en el uso del software HOMER

El costo de energía nivelado “Levelized cost of energy (LCOE)”, que calculó el programa es de 0,526 \$/kWh para la microrred solar FV. Finalmente se producen 370 kWh/año, de los cuales 229 kWh/año son un exceso remanente. El tiempo de operación total del microrred FV es 4351 horas anuales.

Como se deduce de lo anterior, el segundo escenario es más elemental y para su desarrollo se ingresó un generador diésel como fuente de energía consumida directamente en AC. Se consideraron factores sobre la capacidad global del generador desde 0,1 a 0,8. El cálculo con el software HOMER [11] predice que la solución más eficiente es contar con un generador de potencia 0,5 kWp que consume 777,43 l de combustible durante la vida del proyecto (25 años), tiene una operación total de 3030 horas en el año, lo que genera un valor presente neto del proyecto de 32.000 dólares, un Levelized Cost of Energy-LCOE de 5,809 dólares/kWh. Un costo alto es el reemplazo del generador que tiene una vida útil calculada de 5 años aproximadamente, sin embargo, el costo más alto si duda lo presenta el combustible fósil del cual depende el generador.

IV. VALOR SOCIOAMBIENTAL

Con respecto a la energía, de acuerdo con reportes de la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME- [12], pesar de que se cumpla el objetivo a 2017 de implementar soluciones técnicas convencionales como generadores diésel de forma masiva, para satisfacer la necesidad de energía en zonas no interconectadas, unas 50.000 personas aún no tendrían acceso a este servicio en las ZNI en Colombia. El debido a que continúan aspectos técnicos que imperan como el costo del combustible que se eleva en gran medida por las dificultades para su transporte hasta comunidades muy aisladas.

En cuanto al servicio de agua potable, según el último Informe Nacional del Agua [13], el país cuenta con recursos hídricos suficientes pero también con una muy mala gestión y calidad del agua para consumo. Así, esta solución fotovoltaica logra mejorar la calidad del agua directamente sobre la demanda y permite al usuario usar los excedentes de energía para usos domésticos.

De manera más sintética se ha planteado una tecnología que aborda la situación crítica de inasistencia que presentan estas comunidades en ZNI en dos aspectos fundamentales: acceso a agua potable y energía eléctrica, lo cual mejoraría la calidad de vida significativamente. De igual manera, las condiciones de sanidad cambian e incluso se agregan nuevos alimentos en el consumo diario que requieren refrigeración.

Es aceptable que sea difícil cambiar el paradigma que supone que las energías renovables y sobre todo la FV son de alto costo o baja fiabilidad. Sin embargo, como se ha demostrado, con un diseño y una estructura metodológica correctas se pueden desarrollar soluciones viables y confiables

a estas poblaciones, reduciendo al mínimo los impactos ambientales.

Este tipo de aplicaciones no sólo funcionan sino que su implementación masiva sería estratégica para el desarrollo de la nación, puesto que la sustitución de las plantas convencionales resulta en una reducción de las emisiones de gases con alto GWP [14].

Adicionalmente si se tiene en cuenta el ciclo de vida de sistemas solares fotovoltaicos supera con creces las inversiones, mantenimiento y recambio; que finalmente se traducen en beneficios económicos y ambientales.

V. RESULTADOS

La configuración actual de la microrred solar fotovoltaica satisface los requerimientos energéticos de PTAP tipo la propuesta para Barichara, atiende criterios de diseño ampliamente aceptados y vislumbra un panorama favorable para la implementación masiva de este sistema y método de tratamiento de agua en las zonas no interconectadas de Colombia.

Se evaluó la configuración actual de la microrred para el peor mes con el día más bajo de radiación disponible registrado de 0,7Kwh/m².día y mostró una satisfacción de la demanda del 100%, incluso hay excesos de energía generada.

La Planta de Potabilización satisfizo la demanda de agua potable para un grupo de entre 12 y 14 usuarios en Barichara, Santander durante un año, con energía eléctrica producida por la microrred, bajo condiciones de radiación solar media de 5,34Kwh/m².día.

Las circunstancias de operación simuladas de generación cero y demanda máxima mostraron un período de autonomía para la microrred de 100 horas.

Se realizó la evaluación técnica y financiera que mostró que el “Levelized cost of energy”, calculado para la microrred solar FV es 0,526 \$/kwh entre tanto el LCOE de un grupo electrógeno convencional a DIESEL es 5,809\$/kwh, la marcada diferencia está asociada al consumo de combustible, operación y mantenimiento menores en microrredes FV.

Se calculó que el uso de la microrred solar fotovoltaica para operar la planta de potabilización y no un generador diésel convencional evitaría la emisión de 2.047 Kg/año de dióxido de carbono además de óxido nitroso, material particulado, sulfuro de hidrógeno e hidrocarburos no quemados.

Se evidenció que la microrred solar FV está 115COP sobre el costo de 1.200COP por Kwh en una Zona no Interconectada, cuando se usó una tasa representativa del mercado de 2.500COP en la simulación en Homer Energy y resultó un LCOE 0,526 \$/kWh.

VI. CONCLUSIONES

La cobertura energética nacional es Buena; sin embargo, se pronostican en el mediano plazo carencias en zonas de difícil acceso.

Ante el déficit de energía en el ámbito mundial se concluye que es necesario proponer soluciones de energía no convencional.

La PTAP para la que se propone esta microred tiene un bajo consumo energético y con altos niveles de eficiencia debido a la automatización que presenta.

La propuesta de diseño de microred aquí planteada es replicable a casos y situaciones de condiciones similares en las que se requiera cubrir requerimientos energéticos o de agua potable.

La microred como tal se constituye en una alternativa económicamente viable, socialmente aplicable y de bajo impacto medio ambiental debido a que no presenta de GEI.

REFERENCIAS

- [1] Unidad de Planeación Minero Energética UPME. *Sistema de Información Eléctrico Colombiano. Zonas No Interconectadas (ZNI)*. [En línea] Disponible en <http://www.upme.gov.co/zni/>
- [2] A. I. Cadena. “La política energética colombiana y los retos de coordinación”. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes* n° 25 de 2007. [PDF] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n25/n25a11.pdf>
- [3] Ministerio de minas y energía (Colombia) y UPME. *Plan Energético Nacional* [En línea] Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39201284>
- [4] Departamento Nacional de Planeación. *Documentos CONPES* [En línea] Disponible en <https://www.dnp.gov.co/CONPES/documentos-conpes/Paginas/documentos-conpes.aspx>
- [5] N. E. Gómez, “Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica”. Tesis Maestría en Gestión Ambiental, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana: Bogotá, Cundinamarca (Colombia), 2011 p. 99.
- [6] K. Zweibel. “The Terawatt challenge for thin-film PV. *Technical Report NREL/TP-520-38350*. Colorado: Natural Renewable Energy Laboratory, 2005, 44p.
- [7] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Estaciones meteorológicas. Disponible en <http://www.despachospublicos.com/tipos-de-entidad/64/entidades-nacionales/instituto-de-hidrolog%C3%ADa-meteorolog%C3%ADa-y-estudios-ambientales>
- [8] NASA. (2014/8/3) *Atmospheric Science Data Center*. [En línea]. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>.
- [9] Jesús Manuel Epalza Contreras y Otto Ferney Bayona Peñaloza. “Planta de tratamiento de agua potable autónomo, compacto, automatizado y asistido con energía solar fotovoltaica y dicha planta”. No. Radicado Solicitud: 15-1966159-00000-0000. Ago. 21, 2015.
- [10] Empresa de Servicios Públicos de Barichara, (2015/7/8) Acueducto Barichara, [Blog]. Disponible en: <http://acueductobarichara.blogspot.com/>.
- [11] Homer Energy LLC. HOMER® Micro grid Software. (Web Site) Disponible <http://www.homerenergy.com/company.html>
- [12] Unidad de Planeación Minero Energética UPME *Demanda y eficiencia energética*. [En línea] Disponible en: <http://www1.upme.gov.co/demanda-y-eficiencia-energetica>
- [13] E. Ojeda y R. Arias. Informe Nacional sobre la gestión del Agua en Colombia. [PDF] Disponible en <http://www.cepal.org/dmri/proyectos/samtac/inco00200.pdf>
- [14] L. R. Chaparro, M. P. Cuervo, J. Gómez y M. A. Toro. Emisiones al