

Implementación de un Sistema de Bombeo de Agua, Alimentado con Energía Solar en la Universidad de Córdoba - Colombia

Para citar este artículo: Rivas-Casarrubia, J. D. (2021). "Implementación de un sistema de bombeo de agua, alimentado con energía solar en la universidad de Córdoba - Colombia" *In Vestigium Ire*. Vol. 15-1, pp. 105-120.

Implementation of a Solar Powered Water Pumping System at the University of Cordoba - Colombia.

Mise en œuvre d'un système de pompage d'eau à énergie solaire à l'Université de Cordoba – Colombie

Implementação de um Sistema de Bombagem de Água Solar na Universidade de Córdoba – Colômbia

Juan Daniel Rivas Casarrubia ¹

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2020

Fecha de aprobación: 30 de octubre de 2020

Resumen

El uso de energías renovables y no renovables se encuentra limitado muchas veces en las zonas rurales o zonas no interconectadas de Colombia. De allí, que, al tener casos prácticos sobre sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua, se constituyen en soluciones energéticas para el mejoramiento de la calidad de vida en dichas poblaciones. En el presente artículo se puede observar cómo el uso de la energía solar representa una alternativa sostenible para los sistemas de bombeo de agua en zonas rurales del país, en la medida que se disminuyen impactos ambientales y se genera conciencia ambiental en la población.

El uso de la energía solar frente a las energías convencionales demanda menos

emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a la sostenibilidad ambiental, representando una alternativa para generar conciencia ambiental frente al uso de energías alternativas en aras de dar soluciones energéticas en el país. En el caso práctico realizado en la Universidad de Córdoba - Colombia se puede analizar la eficiencia del sistema en relación al brillo solar y la potencia de la bomba para garantizar el sistema de bombeo de agua.

Palabras claves: Energía, Energía solar, Desarrollo Sostenible, bomba, potencia.

Abstract

The use of renewable and non-renewable energy is often limited in rural areas or non-interconnected areas of Colombia.

.....
1 Ingeniero Ambiental, Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Correo electrónico: juan305daniel@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0209-5133> Bogotá - Colombia.

Hence, by having practical cases on photovoltaic systems for pumping water, they become energy solutions to improve the quality of life in these populations. In this article it can be observed how the use of solar energy represents a sustainable alternative for water pumping systems in rural areas of the country, as environmental impacts are reduced and environmental awareness is generated in the population.

The use of solar energy compared to conventional energy reduces greenhouse gas emissions and contributes to environmental sustainability, representing an alternative to generate environmental awareness against the use of alternative energy in order to provide energy solutions in the country. In the practical case carried out at the University of Córdoba - Colombia, the efficiency of the system in relation to solar brightness and the power of the pump can be analyzed to guarantee the water pumping system.

Keywords: Energy, Solar energy, Sustainable Development, pump, power.

Résumé

L'utilisation des énergies renouvelables et non renouvelables est souvent limitée dans les zones rurales ou non interconnectées de Colombie. Ainsi, en présentant des cas pratiques de systèmes photovoltaïques pour le pompage de l'eau, ils constituent des solutions énergétiques pour l'amélioration de la qualité de vie de ces populations. Cet article montre comment l'utilisation de l'énergie solaire représente une alternative durable pour les systèmes de pompage d'eau dans les zones rurales du pays, dans la mesure où les impacts environnementaux sont

réduits et où la population est sensibilisée à l'environnement.

L'utilisation de l'énergie solaire par rapport aux énergies conventionnelles demande moins d'émissions de gaz à effet de serre et contribue à la durabilité environnementale, représentant une alternative pour générer une prise de conscience environnementale concernant l'utilisation des énergies alternatives afin de fournir des solutions énergétiques dans le pays. Dans l'étude de cas réalisée à l'Université de Córdoba - Colombie, l'efficacité du système peut être analysée en fonction de la luminosité solaire et de la puissance de la pompe pour garantir le système de pompage de l'eau.

Mots clés : énergie, énergie solaire, développement durable, pompe, puissance.

Resumo

A utilização de energias renováveis e não renováveis é frequentemente limitada nas zonas rurais ou não ligadas entre si na Colômbia. Assim, ao terem casos práticos de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água, constituem soluções energéticas para a melhoria da qualidade de vida destas populações. Este artigo mostra como a utilização da energia solar representa uma alternativa sustentável para os sistemas de bombagem de água nas zonas rurais do país, na medida em que os impactos ambientais são reduzidos e a consciência ambiental é gerada na população.

A utilização de energia solar em comparação com as energias convencionais exige menos emissões de gases com efeito de estufa e contribui para a sustentabilidade ambiental, representando uma alternativa para gerar



uma consciência ambiental relativamente à utilização de energias alternativas, a fim de fornecer soluções energéticas no país. No estudo de caso realizado na Universidade de Córdoba - Colômbia, a eficiência do sistema pode ser analisada em relação ao brilho solar e à potência da bomba para garantir o sistema de bombeamento de água.

Palavras-chave: energia, energia solar, desenvolvimento sustentável, bomba, energia.

Introducción

El sol irradia la tierra desde su formación hace aproximadamente 4700 millones de años, la vida media de una estrella como la nuestra es de unos 10000 millones de años, indicando que quedan aún más de la mitad de este tiempo de radiación permanente (Bachiller, 2008). La energía del sol que viaja desde unos 149 mil millones de kilómetros desde la superficie del sol hasta la tierra, lo hace en forma de ondas electromagnéticas en un rango muy amplio, desde el infrarrojo hasta los rayos ultravioleta, con un importante porcentaje de luz visible, haciendo posible la vida en la tierra (Torres, 2003); gran parte de esta energía se ha almacenado en el pasado geológico en forma de combustibles fósiles, siendo una fuente de energía utilizable, permitiendo el sostenimiento de las civilizaciones en la actualidad, pero la utilización de estas fuentes de energía son responsables de la alteración de la composición de la atmósfera debido a la combustión resultante en gases de efecto invernadero, conllevando en gran medida al progresivo aumento de la temperatura promedio del planeta (Bachiller, 2008).

Los combustibles fósiles como la gasolina, el diésel, el carbón, entre otros, tienen sus

días contados como fuentes energéticas mayormente aprovechadas debido a que son recursos no renovables (Martínez, 2019). Es necesaria la implementación de la llamada nueva fuente de energía, que se caracteriza principalmente por ser un recurso potencialmente renovable y no causar perjuicios al medio ambiente (Vásquez, Tamayo y Jácome, 2017). Al tener que el sol brilla por muchos años más, el aprovechamiento eficaz de su energía será la nueva fuente capaz de cumplir con la demanda mundial de forma sostenible.

En la actualidad, las energías alternativas constituyen un amplio campo de investigación. En el presente artículo se muestra la implementación de un sistema de bombeo de agua alimentado con energía solar convencional en energía eléctrica continua por paneles solares. Este proyecto de investigación se llevó a cabo en la Universidad de Córdoba - Colombia, teniendo como finalidad la medición de la eficiencia del sistema de bombeo en comparación con un sistema de bombeo tradicional, evaluando la utilidad en costos y en efectos medioambientales.

De acuerdo a Lucena (2002), establece que las energías contaminan en la medida que se utilizan, siendo conveniente que la energía que se utilice debe ser renovable y alternativa para que su incidencia en el medio ambiente sea mínima. La energía proveniente del sol, viento y de la tierra (geotérmica) son fuentes alternativas que se caracterizan por ser económicas, abundantes, limpias y preservan el equilibrio ecológico, siendo la energía solar con mayores ventajas respecto a las otras dos fuentes debido a que el sol emite energía 24 horas al día, 365 días al año a nuestro planeta (Táutica, 2015). Todos los lugares reciben esta energía según

la ubicación (latitud), es abundante y gratuita, no es contaminante, como el petróleo y el carbón, no tiene desechos radiactivos como la nuclear (Estenssoro y Cubillos, 2011).

La potencia solar que recibe el planeta tierra (fuera de la atmósfera) es cerca de 173×10^{12} kW o una energía de 15×10^{17} kWh por año (Nandwani, 2005). Al atravesar la atmósfera, cerca de 53% de esta radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes, y al pasar esta radiación por una distancia de 150 millones de km se reduce y al final, el planeta recibe en promedio 3×10^{17} kWh de energía al año, equivalente a 4000 veces al consumo del mundo entero en un año (7×10^{13} kWh/año), indicando la enorme potencia del sol (Universidad Internacional de Andalucía [UNIA], 2010).

La energía producida en el sol, llega hasta las diferentes superficies existentes en la tierra conllevando al “proceso de transformación de la radiación solar en electricidad, ocasionado cuando llega a algunos materiales tales como los semiconductores que tienen la propiedad de poder obtener fotones y emitir electrones para formar una diferencia de potencial que consigue el efecto fotovoltaico” (Palacios, 2018).

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos que convierten la luz solar directamente en electricidad, sin necesidad de equipos mecánicos (Salamanca-Ávila, 2017). Estas celdas están hechas de delgadas capas de material semiconductor como el silicio, el cual después de depurarlo se fabrica en bloques para obtener obleas (capas) que son dopadas con boro (lado eléctricamente positivo) y luego con fósforo (lado negativo),

teniendo los contactos eléctricos adecuados que se conectan con otras celdas, dando lugar a los grandes paneles o módulos solares recubiertos con vidrios especiales que pueden resistir el impacto de la lluvia y el granizo, y enmarcados en una barra de aluminio para tener un mejor manejo (Rodríguez, 2009).

El uso de sistemas de bombeo a través de energía fotovoltaica es una alternativa económica y efectiva para abastecer de agua a los hatos ganaderos principalmente en lugares donde la ausencia de infraestructura predomina (Van Campen et al, 2000). El bombeo de agua a pequeña escala tiene una especial trascendencia en comunidades rurales y urbanas, y con el desarrollo de estos proyectos, los sistemas fotovoltaicos han demostrado que su tecnología ha avanzado, favoreciendo el aprovechamiento de la energía solar (Fideicomiso de Riesgo Compartido [FIRCO], 2007). Además de aprovechar las energías renovables de manera natural, la energía solar se puede convertir en energía calórica y energía eléctrica, empleándose para todos los usos donde se puede funcionar cualquier otra fuente convencional de energía (Llopis y Rodrigo, 2008).

De acuerdo a lo mencionado en los párrafos anteriores, la noción de energía renovable hace mención al tipo de energía que puede obtenerse de fuentes naturales o que pueden regenerarse naturalmente. La energía eólica, la energía solar y la energía geotérmica son ejemplos de energías renovables no contaminantes (energías verdes), debido a que su utilización supone una mínima huella ambiental, mientras que las energías que se obtienen a partir de biomasa son fuentes de energías renovables contaminantes (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el



Cambio Climático [IPCC], 2011). Las energías no renovables son aquellas cuya fuente no puede volver a generarse. Es decir, lo que se gasta, no puede reponerse. Los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón o el gas natural, son energías no renovables (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2015).

Las energías contaminantes tienen el mismo problema que la energía producida por los combustibles fósiles debido a que en la combustión emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, y a menudo son aún más contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas sólidas. Sin embargo, se encuentran dentro del grupo de las energías renovables porque el dióxido de carbono emitido, puede ser utilizado, en un segundo momento o generación, a manera de materia orgánica (Benavides y León, 2007).

La utilización del agua para uso humano, animal y de irrigación se ve muchas veces comprometida debido a las dificultades de bombeo y distribución, especialmente en las localidades situadas en lugares remotos y de difícil acceso (UN Water, 2019). En estos casos, los conjuntos de motores y bombas accionadas a través de sistemas fotovoltaicos ofrecen una serie de ventajas sobre aquellos sistemas basados en la utilización del petróleo, entre las cuales se destaca el menor costo de funcionamiento, en comparación con los sistemas convencionales donde se requiere la compra y traslado de combustible hasta el lugar de utilización y los gastos de mantenimiento los hacen menos rentables, a la vez que resultan con menor vida útil (Vera et al, 2006). El uso de la tecnología fotovoltaica para bombeo de agua no precisa de almacenamiento de energía

en baterías para su uso posterior, ya que el agua bombeada puede ser usada durante el día o, guardarse en depósitos elevados para su futuro empleo (Castro, 2017).

Metodología

Fase de campo. El desarrollo de la investigación se realizó en campo, en donde se utilizaron los siguientes materiales: baldes de 10 litros, cronometro, cartera de campo, lápiz y probeta. Al tener los materiales, se llevaron a cabo las observaciones en el tercer piso del edificio de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba - Colombia, a una altura de 9 metros.

La toma de datos se realizó en el transcurso del día 02 de noviembre de 2018 de 8:00 a.m. hasta las 4:00 p.m., nueve visitas en intervalos de una hora, tomando el volumen de agua que llegaba hasta el lugar con un balde, el cual se ubicaba debajo de la caída de agua con la finalidad de observar y tomar el tiempo con el cronometro. El volumen de agua se depositaba en una probeta donde se media; los datos de volumen y tiempo registrados se pueden ver en la tabla 1 del presente artículo.

Fase de cálculos. Al tener los datos recolectados se procedió a la realización de los siguientes cálculos: el caudal mediante el uso de la formula $Q = \frac{v}{t}$, es decir, dividiendo cada volumen por el tiempo respectivo. El valor que se tomó como referencia para los siguientes cálculos fue el caudal mínimo diferente de cero. A continuación se calculó la energía consumida por la bomba, siendo necesario el análisis de las perdidas por fricción y las perdidas por accesorios, al igual que la potencia y la eficiencia de la

bomba; aunado a ello, se tomó la medida de la altura hasta donde llegaba el agua. Al tener los datos anteriores y al aplicar la ecuación general de la energía, se calculó la energía transmitida de la bomba al agua para hacer avanzar el caudal en contra de la gravedad. Las fórmulas utilizadas para los cálculos son las siguientes:

La información que se tomó en campo para determinar la cabeza de la electrobomba utilizada en el sistema de energía convencional, mediante la ecuación de Bernoulli fue: $Z_1=0,9$ m; $Z_2=9$ m; longitud de la tubería PVC=3,3 m con $D=1$ pulgada; longitud de la manguera de polietileno= 36 m con $D=0,5$ pulgadas; $Q= 2,65 \times 10^{-5}$ m³/s.

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{W} + H_B - H_L = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{W}$$

Como $V_1=V_2=0$; de la misma manera $P_1=P_2=0$ se igualan a la presión atmosférica, sintetizando la ecuación anterior, se tiene:

$$H_B = (Z_2 - Z_1) + H_L$$

Se calculan las pérdidas por fricción y accesorios (H_L) con las siguientes ecuaciones:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V_1^2}{2g} \text{ y } h_m = \sum K_m \frac{V_1^2}{2g}$$

El cálculo de pérdidas por fricción y accesorio en la tubería de succión se tomó la información: codo 90° (0,9), entrada con tubo entrante (0,9), reducción (1). Longitud de la tubería PVC= 0,97 m, $D=1$ pulgada, rugosidad $K_s=0,0000015$ m, $V=0,05$ m/s (calculada con la $Q=AV$ donde $A = \frac{\pi D^2}{4}$), $f=0,04142$ (el factor de fricción fue calculado con el programa

hidráulica de tuberías: Abastecimiento de Agua, Redes y Riegos (Saldarriaga, 2007) para una temperatura ambiente de 27° C).

Las pérdidas en la tubería de descarga de PVC se realizaron con la información de los accesorios de la misma: ampliación (1), 2 codo de 90° (1,8), T de paso lateral (1,8), válvula de paso (0,2), unión (0,3). Longitud de la tubería PVC=2,36 m, $D=1$ pulgada, rugosidad $K_s=0,0000015$ m, $V=0,05$ m/s (calculada con la $Q=AV$ donde $A = \frac{\pi D^2}{4}$), $f=0,04142$ (ídem).

Las pérdidas en la tubería de descarga de polietileno se realizaron usando la siguiente información: longitud de la tubería Polietileno=36 m, $D=0,5$ pulgada, rugosidad $K_s=0,000001$ m, $V=0,21$ m/s (calculada con la $Q=AV$ donde $A = \frac{\pi D^2}{4}$), $f=0,0429$ (ídem).

La potencia de la bomba utilizada para la investigación es la misma para los dos sistemas de bombeo, contemplando los siguientes datos:

$$Pot(B) = 9,86 \times 10^{-3} \text{ HP} = 7,35 \text{ Watt.}$$

Las características de la bomba que se utiliza en el sistema de bombeo con energía solar: marca Shurflo, Amperaje=15 A, presión de 45 psi, tiene una velocidad máxima de 10 rps, maneja un caudal 3,56 gpm y un voltaje de 12 voltios.

Por último, se analizó el ahorro de dinero mediante el cálculo de la cantidad en pesos que costaría el gasto de la de energía consumida por la bomba en determinado tiempo, tomando como referencia un recibo de energía eléctrica de una vivienda de estrato uno



de la ciudad de montería (esto se hizo con el fin de tener el caso donde más se ahorraría) para tema de interpretación.

Resultados

Sistema de Bombeo Alternativo. Los resultados obtenidos de las mediciones sobre el bombeo de agua utilizando energía solar, se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 2. Bombeo de agua utilizando energía solar.

| Hora | V1 (cm ³) | t1 (S) | V2 (cm ³) | t2 (S) | V3 (cm ³) | t3 (S) | V4 (cm ³) | t4 (S) | V5 (cm ³) | t5 (S) | Observación |
|------------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|----------------------------|
| 08:00 a.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Cielo parcialmente nublado |
| 09:00 a.m. | 130 | 4,53 | 130 | 5,16 | 110 | 4,28 | 120 | 4,47 | 120 | 4,56 | |
| 10:00 a.m. | 450 | 3,31 | 525 | 3,62 | 745 | 5,5 | 540 | 3,97 | 580 | 4 | |
| 11:00 a.m. | 190 | 4,1 | 330 | 4,25 | 300 | 4,03 | 275 | 3,81 | 290 | 4,53 | |
| 12:00 p.m. | 360 | 3,66 | 350 | 3,63 | 340 | 3,53 | 370 | 3,56 | 350 | 3,41 | |
| 01:00 p.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Cielo parcialmente nublado |
| 02:00 p.m. | 130 | 3,47 | 150 | 4,5 | 130 | 3,75 | 190 | 4,25 | 200 | 3,81 | |
| 03:00 p.m. | 160 | 3,9 | 260 | 4,72 | 180 | 4,32 | 160 | 4,35 | 160 | 4,19 | |
| 04:00 p.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Cielo parcialmente nublado |

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se convirtieron los cm³ en m³, teniendo en cuenta que . Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 3. Transformación de unidades de volumen en las mediciones obtenidas en el sistema de bombeo solar.

| Hora | V1 (m ³) | t1 (S) | V2 (m ³) | t2 (S) | V3 (m ³) | t3 (S) | V4 (m ³) | t4 (S) | V5 (m ³) | t5 (S) |
|------------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| 08:00 a.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 09:00 a.m. | 0,00013 | 4,53 | 0,00013 | 5,16 | 0,00011 | 4,28 | 0,00012 | 4,47 | 0,00012 | 4,56 |
| 10:00 a.m. | 0,00045 | 3,31 | 0,000525 | 3,62 | 0,000745 | 5,5 | 0,00054 | 3,97 | 0,00058 | 4 |
| 11:00 a.m. | 0,00019 | 4,1 | 0,00033 | 4,25 | 0,0003 | 4,03 | 0,00028 | 3,81 | 0,00029 | 4,53 |
| 12:00 p.m. | 0,00036 | 3,66 | 0,00035 | 3,63 | 0,00034 | 3,53 | 0,00037 | 3,56 | 0,00035 | 3,41 |
| 01:00 p.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02:00 p.m. | 0,00013 | 3,47 | 0,00015 | 4,5 | 0,00013 | 3,75 | 0,00019 | 4,25 | 0,0002 | 3,81 |
| 03:00 p.m. | 0,00016 | 3,9 | 0,00026 | 4,72 | 0,00018 | 4,32 | 0,00016 | 4,35 | 0,00016 | 4,19 |
| 04:00 p.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

Con la información de la tabla anterior, se procedió hallar los promedios de los volúmenes y los tiempos de las mediciones con la finalidad de calcular los caudales, teniendo en cuenta la fórmula para caudal:

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

Tabla 4. Cálculo de caudales.

| Hora | V Medio (m3) | t Medio(seg) | Q (m³/S) | Q (L/S) | Q (L/h) |
|------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|
| 08:00 a.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 09:00 a.m. | 0,000122 | 4,6 | 2,6522E-05 | 0,02652174 | 95,4782609 |
| 10:00 a.m. | 0,000568 | 4,08 | 0,00013922 | 0,13921569 | 501,176471 |
| 11:00 a.m. | 0,000277 | 4,14 | 6,6844E-05 | 0,06684363 | 240,637066 |
| 12:00 p.m. | 0,000354 | 3,56 | 9,9494E-05 | 0,0994941 | 358,178752 |
| 01:00 p.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02:00 p.m. | 0,00016 | 3,96 | 4,0445E-05 | 0,04044489 | 145,601618 |
| 03:00 p.m. | 0,000184 | 4,3 | 4,2831E-05 | 0,04283054 | 154,189944 |
| 04:00 p.m. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.



Los resultados sobre la variación del caudal con respecto a las horas del día, se puede observar en la figura 1.

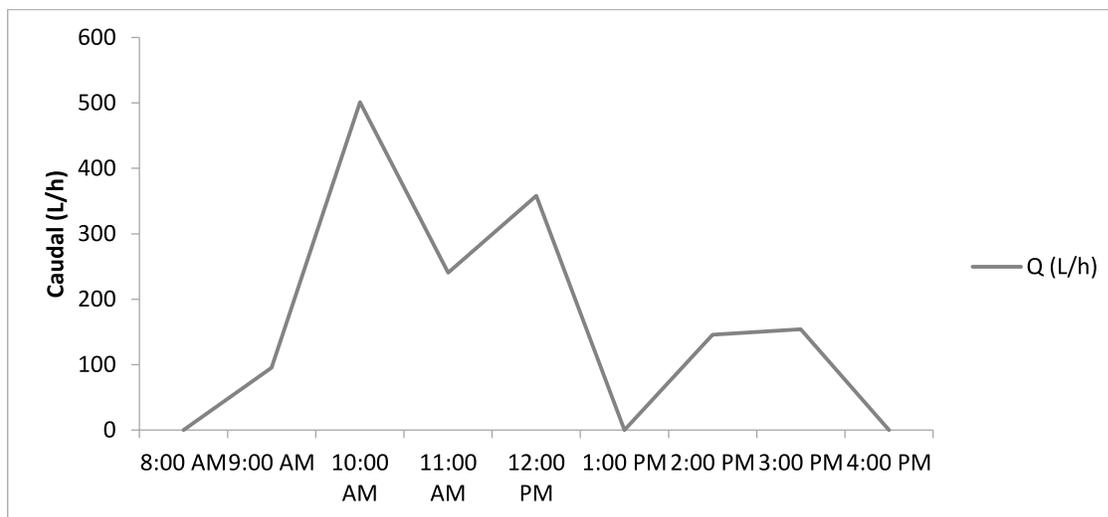


Figura 1. Variación del caudal con respecto a las horas del día.
Fuente: Elaboración propia.

La figura de distribución de caudal de bombeo, muestra que el caudal bombeado por el sistema de energía solar varía dependiendo de las horas del día, por lo que se puede suponer que se relaciona con la intensidad de la radiación del sol, es decir, a mayor radiación solar mayor caudal bombeado. Si se compara la figura 1 con el brillo solar del día 02 de noviembre de 2018, no se puede encontrar la relación existente entre el brillo solar y el caudal bombeado, esto se debe a que lo más indicado para analizar la relación directa existente, es que la toma del brillo solar se haga en el mismo lugar donde se está bombeando.

Al hacer la lectura del brillo solar se puede decir que hubo 6.5 horas de sol, de las cuales 3.4 horas estuvieron en el intervalo de más o menos de 10:20 a.m. a 01:40 p.m. y las otras 3.1 horas estuvieron en el intervalo de

02:00 p.m. a 5:15 p.m., por su parte la gráfica muestra que el mayor caudal bombeado se dio en las horas de la mañana y que alcanzó su máximo nivel de bombeo en el intervalo de tiempo de 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Sistema de Bombeo con Energía Convencional. Para determinar la electrobomba adecuada para el sistema de bombeo con energía convencional se aplicó la ecuación de Bernoulli para determinar la cabeza de la bomba, con la información tomada en campo, la cual se encuentra registrada en la metodología del presente artículo:

$$H_B = (Z_2 - Z_1) + H_L$$

Reemplazando los valores correspondientes:

$$H_B = (9 \text{ m} - 0,9 \text{ m}) + H_L$$

$$H_B = 8,1 \text{ m} + H_L$$

Se calculan las pérdidas por fricción y accesorios (H_L) con las siguientes ecuaciones:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v_1^2}{2g} \text{ y } h_m = \sum K_m \frac{v_1^2}{2g}$$

$$h_m = 2,8 \frac{(0,05)^2}{2 * (9,81 \text{ m/s})} = 3,56 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$h_f = 0,04142 \frac{0,97}{0,0254} \frac{(0,05)^2}{2 * 9,81} = 2,015 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Las pérdidas en la tubería de descarga de PVC.

$$h_m = 5,1 \frac{(0,05)^2}{2 * (9,81 \text{ m/s})} = 6,49 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$h_f = 0,04142 \frac{2,36}{0,0254} \frac{(0,05)^2}{2 * 9,81} = 4,9 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Las pérdidas en la tubería de descarga de polietileno.

$$h_f = 0,0429 \frac{36}{0,0127} \frac{(0,21)^2}{2 * 9,81} = 0,273$$

Finalmente se obtienen las pérdidas totales:

$$H_L = 3,56 \times 10^{-4} m + 2,015 \times 10^{-4} m + 6,49 \times 10^{-4} m + 4,9 \times 10^{-4} m + 0,273$$
$$H_L = 0,2747 m$$

Reemplazando en la ecuación de energía, tenemos:

$$H_B = 8,1 m + 0,2747 m = 8,37 m$$

Posteriormente con el valor de $H_B = 8,37 m$ y el $Q = 0,0265 L/s$, se analizaron diferentes catálogos de bombas para determinar la que se debía comprar para el sistema de bombeo

con energía convencional. La bomba seleccionada es de la marca Barnes de Colombia S.A., a continuación, se muestra la curva de la bomba seleccionada.

3062 AA8

1.750 R.P.M

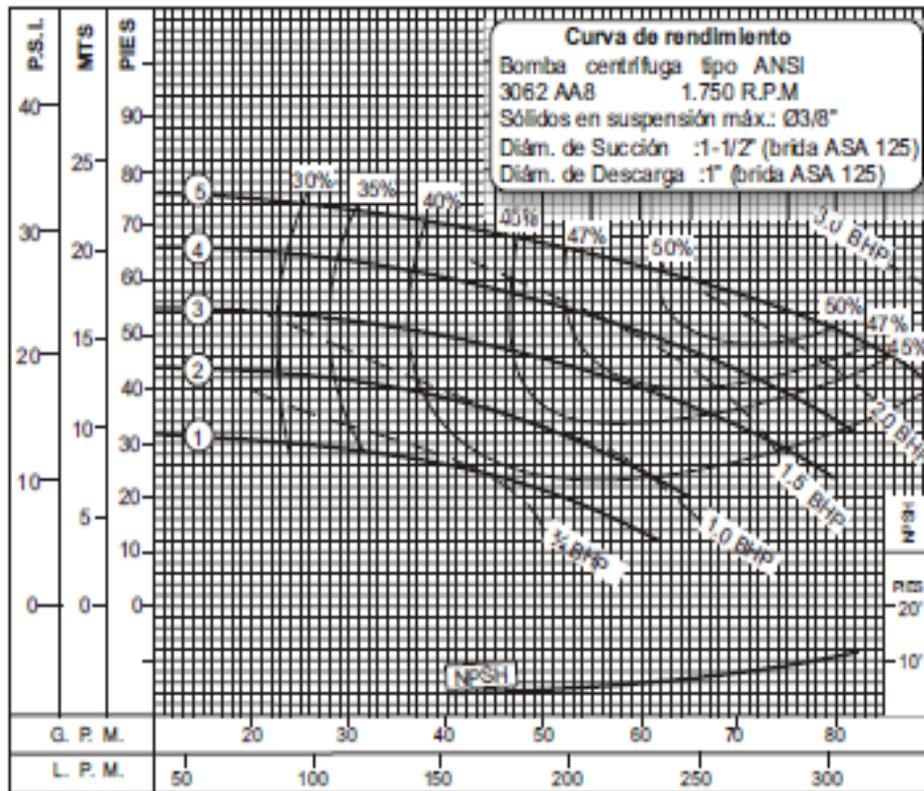


CARACTERISTICAS

- Bomba centrífuga horizontal de una etapa de construcción eje libre fabricada en hierro fundido.
- Carcaza de conexiones bridadas, según norma ASA 125.
- Sución horizontal al extremo y descarga vertical sobre la línea de centros.
- Impulsor abierto en hierro fundido.
- Cierre del eje con prensa estopa o sello mecánico.
- Temperatura máxima de operación 80 °C (líquido agua).

APLICACION

- Traslado de productos químicos.
- Servicios de bombeo.
- Control de aguas contaminadas.
- Industria Petroquímica.
- Recirculación de agua en torres de enfriamiento.



| No | MODELO | Ø IMPULSOR | Ø SUCCION | Ø DESCARGA |
|----|----------|------------|-----------|------------|
| 1 | 3062 AA8 | 6.000" | 1-1/2" | 1" |
| 2 | 3062 AA8 | 6.500" | 1-1/2" | 1" |
| 3 | 3062 AA8 | 7.000" | 1-1/2" | 1" |
| 4 | 3062 AA8 | 7.500" | 1-1/2" | 1" |
| 5 | 3062 AA8 | 8.000" | 1-1/2" | 1" |



Figura 2. Curvas de rendimiento de bombas.

Fuente: Barnes de Colombia (s.f).

Luego se calculó la potencia de la bomba con la siguiente ecuación:

$$Pot(B) = \frac{w * Q * H_B}{75n}$$

Donde $w = 1000 \text{ Kg/m}^3$ (densidad del agua) $n = 0,3$ (eficiencia) y 75 es el factor de conversión a caballos de fuerza HP.

$$Pot(B) = \frac{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 2,65 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 8,37 \text{ m}}{75(0,3)}$$

$$Pot(B) = 9,86 \times 10^{-3} \text{ HP} = 7,35 \text{ Watt.}$$

Para determinar el gasto monetario de energía para un día y para un mes en base a una factura de energía de la empresa Electricaribe para una vivienda de estrato 1, en la cual el costo de 1KW/H (kilowatt por hora)

es de \$ 334,41 pesos. Teniendo presente que los 7,35 watt hacen referencia al gasto de energía por segundo de funcionamiento de la bomba, se calcularon los KW/H gastados.

$$7,35 \text{ watt} \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) \left(\frac{1 \text{ Kw}}{1000 \text{ watt}} \right) = 26,460 \text{ Kw/H}$$



116

Lo anterior, permite determinar los costos monetarios de funcionamiento de la electrobomba con energía convencional.

$$26,460 \text{ Kw/H} \left(\frac{\$334,41}{1 \frac{\text{Kw}}{\text{H}}} \right) = \$8848,48 \text{ Gasto por una hora de consumo.}$$

Si se establece el funcionamiento de la bomba durante 9 horas diarias, el gasto diario sería el siguiente:

$$9 \times \$8848,48 = \$79636,32 / \text{día}$$

Para finalmente pagar una factura mensual:

$$\$79636,32 / \text{día} \times 30 \text{ días} = \$ 2\,389.089,6 \text{ pesos.}$$

Como se logra observar en los cálculos realizados, tiene alto costo bombear un caudal de 0,0265 L/s, a una altura de 8,37m utilizando energía convencional debido a

que se estaría pagando más de dos millones mensuales; esto tiene su explicación en la baja eficiencia registrada por la bomba que apenas llega al 30%, no siendo favorable para el diseño del sistema de bombeo con estas características. Además, al comparar con el sistema de bombeo con energía no convencional (energía solar), resulta más factible por la baja inversión económica y la disminución de impactos ambientales, puesto que no se generan emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, ni existen gastos de energía eléctrica o convencional.

La bomba utilizada para el bombeo de agua tiene un valor de \$1'000.000 pesos, sumando los dos paneles solares que están evaluados en \$ 2'000.000 pesos para un acumulado de \$3'000.000 pesos. Al comparar este valor con el facturado mensualmente en el sistema de bombeo con energía convencional de \$2'389.089,6 pesos, resulta una diferencia marcada de dinero que se ahorraría con el transcurrir de los meses de funcionamiento del sistema, garantizando el sistema de energía renovable que contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad y a la calidad del ambiente.

Conclusiones

El uso de energías no convencionales permite soluciones energéticas amigables con el medio ambiente, en la medida que se dan soluciones a problemas de abastecimiento de agua en comunidades ubicadas en zonas rurales. La importancia ambiental del sistema se configura en cero emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera y cero facturas pagadas mensualmente a una empresa privada de energía eléctrica.

Antes de estudiar las implicaciones ambientales del uso de las energías convencionales, se debe considerar la existencia de dos grandes grupos y/o tipos de energía: las energías renovables que son recursos ilimitados y limpios, y las energías convencionales o tradicionales, estas son las fuentes más comunes para producir energía eléctrica, provienen de recursos energéticos naturales (petróleo, carbón, madera y gas natural), estos recursos son limitados y el uso indiscriminado que se ha hecho de ellos durante años ha derivado en la escasez de los mismos, tendiendo a su desaparición (IPCC, 2011). El uso de las energías conven-

cionales conlleva al agotamiento de recursos y al impacto tanto local como global sobre el medio ambiente, reflejándose en continuas emisiones de gases de efecto invernadero que favorece al calentamiento global, producción de lluvias ácida, smog fotoquímico, generación de residuos, contaminación térmica, pérdida de biodiversidad, entre otras (Asociación de Productores de Energías Renovables [APPA], 2014).

La opción de energía solar para bombeo de agua es factible para muchos productores del campo y para suministro en zonas urbanas y rurales donde no hay acueducto ni energía eléctrica. El costo inicial es relativamente alto comparado con otras opciones tradicionales, pero pueden ser más económicos a largo plazo debido a su bajo costo de operación y mantenimiento.

Las ventajas de la energía solar para bombeo de agua hacen de este sistema el más idóneo para dicha función, ya que se da una relación directa entre la mayor radiación solar existente con el periodo de mayor necesidad de riego, funcionando con total fiabilidad y de forma adecuada para el usuario debido a la no emisión de contaminación al medio.

Al comparar la energía solar utilizada en una estación de bombeo con una de energía convencional se encuentra que las emisiones de CO₂ por parte de la convencional son altas en comparación con una fuente de energía cero carbono, la cual genera una disminución sustancial en las emisiones de gases de efecto invernadero, en la medida que se da una disminución de costos energéticos convencionales, puesto que la energía solar es totalmente gratuita. En este orden de ideas, las energías alternativas son una opción económica a mediano y largo plazo,

contribuyendo al no uso de recursos no renovables como el petróleo y la optimización de fuentes de energía.

Las energías alternativas son todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles, representado ventajas al nivel de sostenibilidad energética y disminución de costos operativos a mediano y largo plazo. Además, se caracterizan por ser amigables con el ambiente debido a que no generan gases de efecto invernadero, que si bien, son necesarios para mantener la temperatura del planeta en unas condiciones óptimas; un exceso de ellos favorece al calentamiento global, afectando procesos que dependen de la temperatura, en la medida que se genera desequilibrio ecosistémico.

Benavides Ballesteros, H. O. y León Aristizábal, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>

Castro Guevara, L. O. (2017). *Diseño de un sistema de flujo ascendente hidráulico, con paneles solares, en la vereda Santa Rosa, en el municipio de Anapoima, Cundinamarca* (Trabajo de Grado). Universidad de La Salle. Bogotá.

Estenssoro Saavedra, J. F., Cubillos Meza, A. I. (Eds.). (2011). *Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: Los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático*. Santiago de Chile: Universidad Santiago de Chile.

Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). (2007). Sistemas fotovoltaicos para el bombeo de agua: Una alternativa para el aprovechamiento de la energía solar en el sector agropecuario. *Claridades Agropecuarias*, (173), 3-25.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2011). *Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf

Llopis Trillo, G., y Rodrigo Angulo, V. (2008). *Guía de la energía geotérmica*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM005842.pdf>

Referencias

Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). (2014). *Impactos ambientales de la producción de electricidad: Estudio comparativo de ocho tecnologías de generación eléctrica*. Proyecto Isla Renovable. http://proyectoisla renovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17_Estudio_Impactos_MA_mix_electrico_APPA.pdf

Bachiller, R. (2008). *El sol: Nuestra estrella, nuestra energía*. Instituto Geográfico Nacional de España. <http://astronomia.ign.es/rknowsys-theme/images/webAstro/paginas/documentos/Anuario/elsolnuestraestrella.pdf>

Barnes de Colombia. (s.f.). *Catálogos técnicos*. Recuperado el 15 de noviembre de 2018 de https://www.informacion-empresas.co/Empresa_BARNES-COLOMBIA-SA.html

- Lucena, A. (2002). Impacto ambiental de las energías renovables. *Reserva de la biosfera de Urdaibai*, (60), 89-94. http://www.unesco-etxea.org/ext/urdaibai/html/VII/pdf/VII_89.pdf
- Martínez Ortiz, A. (Dir.). (2019). *Informe 3 Recomendaciones finales*. Fedesarrollo. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3880/Repor_Noviembre_2019_Mart%C3%ADnez_et%20a.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nandwani, S. S. (2005). *Energía solar: Conceptos básicos y su utilización*. Solartronic. http://www.solartronic.com/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf
- Palacios Auqui, B. (2018). *Importación de celdas solares para una mejor oferta a los clientes de una empresa de seguridad* (Trabajo de Grado). <https://core.ac.uk/download/pdf/230585508.pdf>
- Pascualino, J., Cabrera, C., y Vanegas Chamorro, M. (2015). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano. *Prospect*, 13(1), 68-75. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.361>
- Poch Ambiental. (2011). *Informe final. Producto 1: Línea base de las tecnologías energéticas. Producto 2: Estado del Arte*. Observatorio de Energías Renovables en América Latina y El Caribe. https://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/Chile_Producto_1_y_2_Esp_02.pdf
- Rodríguez Murcia, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, (28), 83-89.
- Salamanca-Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica: Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 30 (3), 263-277. <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías: Abastecimiento de agua, redes y riegos*. Editorial Marcombo.
- Táutica Mancera, C. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- Torres Peimbert, S. (2003). Una visión más amplia del universo. *Revista Ciencia*, 54(4), 34-47.
- UN Water. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos: No dejar a nadie atrás*. París: UNESCO. <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2015). *Plan energético nacional Colombia: Ideario energético 2050*. http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf
- Universidad Internacional de Andalucía (UNIA). (2010). *La radiación solar: Efectos en la salud y el medio ambiente*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3395270>
- Van Campen, B. Guidi, D., y Best., G. (2000). *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles*. FAO. <http://www>.

fao.org/uploads/media/Solar%20photovoltaic%20for%20SARD%20ES.pdf

Vásquez Cordano, A. L., Tamayo Pacheco, J. F. R., y Jácome, J. S. (Eds.). (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documento/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10años.pdf

mental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10años.pdf

Vera, L. H., Steigleder, M. A., Aeberhard, M. A., y Benítez, F. (2006). *Acoplamiento directo entre generadores fotovoltaicos y bombas de agua*. Universidad Nacional de Nordeste. <http://www.ger-unne.com.ar/articulos/2006fot01.pdf>

