

# EVALUACIÓN DEL RIEGO DE PLÁNTULAS DE HENEQUÉN CON EL EMPLEO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Por Ing. Fernando Camejo Mesa\* y M. Sc. Ing. Martha Mazorra Mestre\*

\*Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter), Facultad de Ing. Mecánica. Universidad Tecnológica de La Habana.  
E-mail: marta@ceter.cujae.edu.cu

## Resumen

Cuba se interesa en el cultivo de Henequén debido a que las investigaciones han demostrado que, frente a las fibras sintéticas, la del henequén es más resistente para la producción de sogas y cordeles, de modo que la obtención de fibra blanca de calidad tiene importancia en la cadena productiva. El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de introducir energía renovable en la irrigación del cultivo de plántulas de henequén para controlar el agua necesaria en etapa de vivero, en particular energía solar fotovoltaica. El riego asistido con energía solar fotovoltaica en Henequén puede efectuarse a partir de diferentes procedimientos; sin embargo, el riego localizado constituye una de las técnicas más difundidas para obtener cultivos con calidad, la introducción de las energías renovables en los cultivos favorece necesidades energéticas en los procesos productivos. Se plantea el riego localizado por goteo, presentando el sistema integrado de riego con energía solar fotovoltaica, determinando cantidad de goteros en el riego, caudal del agua requerida, en el proceso de bombeo de agua calcular presión, carga y pérdidas, determinación del número de celdas fotovoltaicas y potencia del sistema. Se concluye que el sistema de riego asistido con energía solar fotovoltaico puede llegar a emplearse.

*Palabras clave:* Henequén, sistema de riego, energía solar fotovoltaica

---

## IRRIGATION EVALUATION OF HENEQUEN SEEDLINGS WITH THE USE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

### Abstract

Cuba is interested in the cultivation of Henequen because research has shown that, compared to synthetic fibers, henequen fiber is more resistant for the production of ropes and cord, so that obtaining quality white fiber is important in the productive chain. The objective of this work is to evaluate the possibility of introducing renewable energy in the irrigation of the cultivation of henequen seedlings to control the necessary water in the nursery stage, in particular photovoltaic solar energy. The assisted irrigation with photovoltaic solar energy in Henequen can be carried out from in different procedures, however, localized irrigation is one of the most widespread techniques for obtaining quality crops, the introduction of renewable energies in crops favors energy needs in production processes. The localized drip irrigation is proposed, presenting the integrated irrigation system with photovoltaic solar energy, determining the amount of drippers in the irrigation, the required water flow, in the water pumping process calculating pressure, load and losses, determining the number of photovoltaic cells and system power. It is concluded that the irrigation system assisted with photovoltaic solar energy can be used.

*Key words:* henequen, irrigation system, photovoltaic solar energy.

---

## Introducción

En Cuba se presta atención al cultivo de Henequén, debido a que la resistencia de su fibra supera a las sintéticas y ecológicamente es más amigable con el medioambiente. El país tiene necesidad de recuperar las áreas de cultivo y la incorporación rápida del mismo a etapa de producción, por su importancia en la obtención de sogas y cordeles. La pérdida de la cultura sobre el cultivo de henequén y la larga espera para la extracción de la materia prima, hace que surja la necesidad de acortar el período de explotación del cultivo, para ello se diseñan sistemas de riego localizados, que si además están asistidos por energía solar fotovoltaica la calidad de la fibra blanca en su etapa de germinación se incrementa; ya que al regular agua y nutrientes en una porción de suelo se desarrollan raíces que favorecen el mejor desarrollo de la planta de Agave, mayor peso de la piña y mayor concentración de azúcares reductores.

## Materiales y métodos

La atención a la obtención de fibra blanca conlleva el empleo de técnicas para el mejoramiento del cultivo y por tanto, la irrigación del henequén mediante estos procedimientos facilita fibra de calidad. El cultivo de henequén se realiza en varias etapas, una de las cuales es el cultivo en vivero que garantice plántulas robustas y sanas para pasar a la etapa de producción. En la etapa de vivero la irrigación localizada ayuda al crecimiento de las plántulas y la consiguiente obtención de plantas que aporten fibras de calidad.

## Riegos localizados

Consisten en la aplicación del agua al suelo, restringida a la zona de aprovechamiento de las plantas. La característica fundamental es que se riega con la frecuencia necesaria para mantener una humedad en el suelo, normalmente por encima de la capacidad de campo en un entorno reducido de las raíces.

## Riegos por goteo

El agua se aplica directamente al suelo con caudales inferiores a 12 L/h y los puntos de emisión se llaman goteros. Los consumos de agua en este tipo de riego se basan en la evapotranspiración potencial, de acuerdo con el porcentaje de suelo ocupado por las plantas, ya que en el resto no se produce consumo de agua. En instalaciones de riego localizado se tiene siempre una estación de control para medir el agua, filtrarla, tratarla, incorporar fertilizantes, controlar la presión y medir el tiempo de riego. La introducción de la energía solar fotovoltaica implica integrar técnicas de avanzada y actualidad para garantizar el fin planteado. El sistema fotovoltaico puede ser propuesto sin el empleo de baterías o con éstas para garantizar autonomía en días nublados.

Las características y parámetros a determinar en un diseño integrado de un sistema de riego asistido por energía solar fotovoltaica se presentan en la tabla 1.

## La energía solar

El sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares que ocurren en su masa. Una gran

parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética y la luz solar que podemos percibir está el espectro que abarca desde 0,2 hasta 2,6  $\mu\text{m}$ . La radiación que llega a la superficie terrestre se puede clasificar en directa y difusa. La radiación directa es aquella que se recibe en la superficie terrestre al pasar por la atmósfera. La radiación difusa es la que se recibe después de haber cambiado su dirección por los procesos de refracción y reflexión que ocurren en la atmósfera.

Cada año la tierra recibe la energía luminosa del sol en cantidad diez mil veces mayor que la utilizada por el hombre. La energía solar es reflejo de sostenibilidad al considerar que si el sol se apaga, la vida en la tierra desaparece. El reto está en convertir esa energía en forma útil para las necesidades del hombre. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

## Instalaciones necesarias para el riego por goteo

1. Cabezal de riego
2. Equipo de filtración
3. Sistemas de filtrado
4. Equipo de fertilización
5. Control del riego
6. Goteros
7. Tuberías

## Tubería - gotero

La integración del gotero se realiza en el proceso de extrusión de la tubería y da como resultado un tubo continuo. Esto facilita tanto la instalación como la recogida, así como mayores longitudes de lateral. Los materiales empleados en su fabricación garantizan una mayor resistencia a las variaciones de presión y temperatura, a la acción de los rayos solares y rozamiento.

Están diseñados con un laberinto con grandes pasos de agua y estructura vorticial que crea un flujo hidráulico turbulento favoreciendo la salida de las partículas en suspensión e impidiendo la sedimentación en su interior. Cuenta con un filtro integrado en la entrada de agua que reduce el riesgo de obstrucción debido al uso de aguas de baja calidad. Los dos puntos de emisión por goteros, enfrentados 180 grados, permiten una rápida y fácil instalación sin tener que verificar la posición del punto de emisión. Esto impide que el agua quede retenida en su interior desarrollando algas o precipitados. La distancia entre goteros se precisa según el suministro de agua requerido (Tabla 2, figs. 1 y 2)

Tabla 1. Parametros a determinar en un sistema integrado de riego fotovoltaico

Sistemas		
Riego	Bombeo de agua	Fotovoltaico
Número goteros	Presión	Número de celdas
Caudal de agua	Carga	Potencia
	Pérdidas	

Tabla 2. Longitudes aconsejables de gotero

Descripción	Separación entre goteros (cm)								
	30	40	50	60	75	100	110	125	150
Ø16 1L/h	70	87	102	116	135	166	177	192	218
Ø16 2L/h	54	67	78	89	105	128	136	148	168
Ø16 4L/h	35	43	51	56	68	83	88	96	109
Ø20 1L/h	95	118	139	158	185	226	241	263	297
Ø20 2L/h	79	98	116	132	154	188	201	219	247
Ø20 4L/h	59	73	86	98	115	140	150	163	185

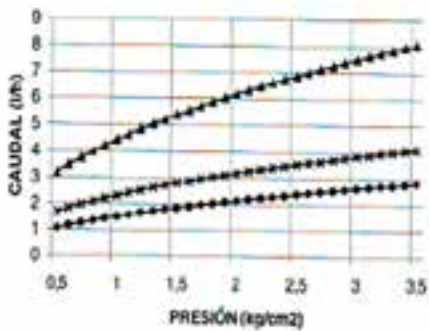


Fig. 1. Caudal de gotero largo D = 16 mm a diferentes presiones.

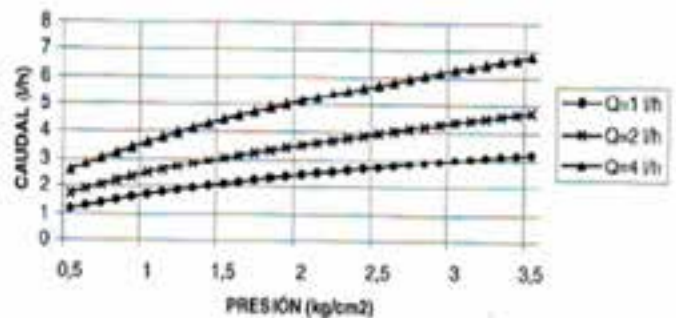


Fig.2. Caudal de gotero largo D=20mm a diferentes presiones.

**Sistema de bombeo de agua**

*Carga estática y dinámica*

La carga estática es la medida de la altura de bombeo total para un sistema en reposo. Sin embargo, cuando se está bombeando un pozo, hay que tomar en cuenta otros factores. Por una parte, el nivel de agua en el pozo cae (abatimiento), y por otra, el paso del agua por la tuberías provoca en el sistema pérdidas por fricción. Estos datos

adicionales constituyen la carga dinámica total. La carga dinámica total es la suma de la carga estática, de la distancia de abatimiento y del equivalente en distancia de la fricción del agua en las tuberías y las pérdidas locales. Ya que tanto abatimiento como la fricción dependen de la velocidad de flujo de bombeo, la carga dinámica total siempre debe estar especificada para determinado flujo. A mayor flujo, mayor carga dinámica total (Fig. 3).

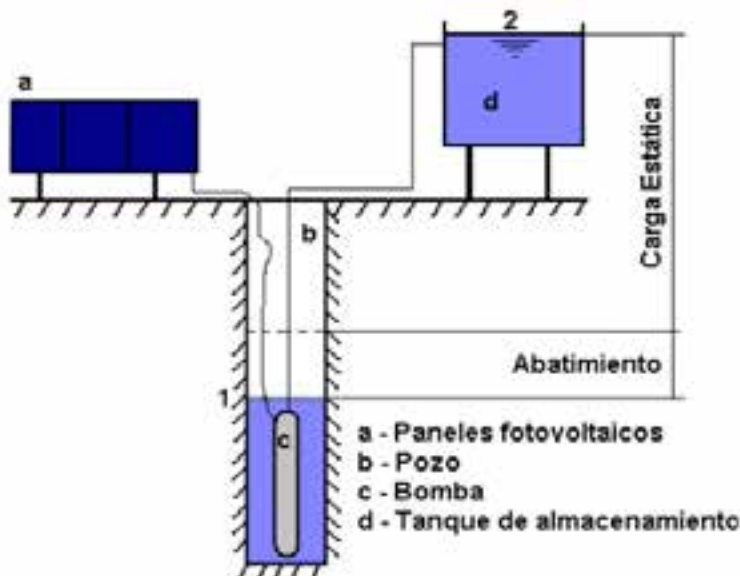


Fig. 3. Cargas a vencer por el sistema.

En un sistema de bombeo, en algunos casos la fuerza de gravedad da el caudal y la presión requerida para regar, pero en otros permite obtener caudal y presión a voluntad.

**Resultados y discusión**

Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico. Sin baterías

Para la realización del dimensionado, se debe seleccionar la bomba que satisfaga los parámetros requeridos, donde la carga dinámica es de 34 metros y el gasto de agua sería de 0,24 m³/h, equivalente a 2,4 m³/día, teniendo en cuenta que la bomba trabaje solo 10 horas en el día. Para esto se obtienen las curvas de las bombas que ofrece la marca Grundfos. Para las condiciones de trabajo que se necesita, se escoge la bomba SQF 0.6-2 (Fig. 4).

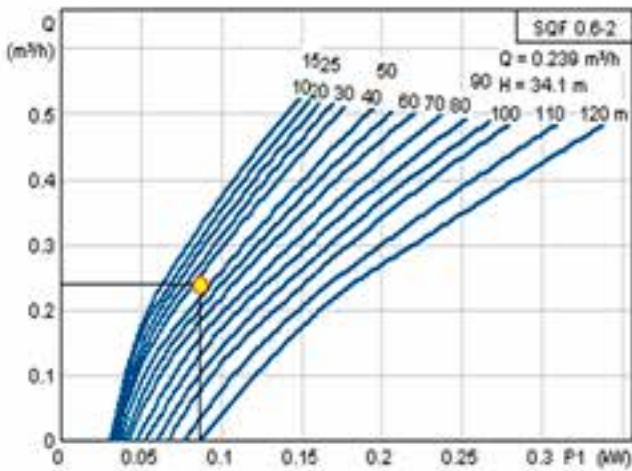


Fig. 4. Curva característica de la Bomba SQF 0.6-2.

La eficiencia de esta bomba para estas condiciones es de 27 %. El material de la bomba es acero inoxidable, el radio de salida es de 1 ¼”, el diámetro mínimo de la perforación debe ser de 76 mm. La frecuencia de 60 Hz y el peso neto es de 7,6 kg. El rango de voltaje para la corriente directa es de 30 – 300 V. El rango de la velocidad nominal es de 500 – 3000 rpm. Con el gráfico anterior se puede obtener la potencia aproximada que necesita la bomba o por una vía más exacta, como se muestra a continuación.

$$N_e = \frac{\rho * g * H * V_{agua}}{\eta_b * 10 * 3600} = 82,35 \text{ (W)} \quad (1)$$

Donde:

Ne – Potencia que consume la bomba [W]  
 10\*3600 – conversión de día, a horas (10 horas), y a segundos de trabajo de la bomba.

Con la potencia que consume la bomba, se obtiene la energía que se requiere, en 10 horas de trabajo al día,

$$E_2 = N_e * 10 \frac{h}{día} \quad (2)$$

Por lo que la energía requerida por los paneles fotovoltaicos se obtiene de la siguiente forma:

$$E_1 = \frac{E_2}{\eta_{elec}} \quad (3)$$

Por lo tanto, para obtener el número de paneles fotovoltaicos, de 80 W, necesarios para producir esta energía, será:

$$n = \frac{E_1}{P_o * (HSP)} \quad (4)$$

La fórmula para la determinación del número de paneles fotovoltaicos, quedaría de la forma siguiente:

$$n = \frac{\rho * g * H * V_{agua}}{P_o * \eta_{ele} * \eta_b * (HSP) * 3600} \quad (5)$$

Donde:

- n – Número de paneles
- Po – Potencia de cada panel [Wp / panel]
- (HSP) – Hora Solar Pico del lugar [h/día], el número coincide con la Radiación en [kWh/m² día]
- 3600 – [segundo / hora]
- η<sub>ele</sub> – Eficiencia del sistema eléctrico, desde la salida del panel, hasta la entrada de la bomba.
- η<sub>b</sub> – Eficiencia energética de la bomba
- V<sub>agua</sub> – Volumen diario de agua a bombear [m³/día]
- ρ – Densidad del agua: 1000 [kg / m³]
- g – Aceleración de la gravedad: 9,81 [m/s²]
- H – Altura total o carga dinámica de elevación del agua [m]

Al simplificar la ecuación anterior se obtiene que:

$$n = 2.725 \frac{H * V_{agua}}{P_o * \zeta_{ele} * \zeta_b * (HSP)} \quad (5.1)$$

Al realizar el diseño de esta instalación de bombeo fotovoltaico y para determinar el número de paneles se toma el mes en el que la Hora Solar Pico (HSP), sea la menor posible en el lugar de emplazamiento, dato que aparece en la tabla 2. En la tabla 3 se reporta dicho parámetro.

Por la tabla 3, considerando un ángulo de inclinación de 30 grados, el mes de menor radiación solar, es diciembre con una radiación solar promedio de 4,4 h/día.

Al evaluar los datos planteados en la ecuación 5.1, se obtiene:

$$n = 2.725 \frac{3 * 2.4}{80 * 0,2 * 0,9 * 4,4} = 2.9$$

Tabla 3. Radiación solar promedio diario incidente

Radiación solar promedio diaria												
	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Rs(0°)	3,7	4,5	5,2	6,5	6,2	5,9	6,3	6,1	5,3	4,4	3,7	3,4
Rs(15°)	4,3	4,9	5,5	6,5	5,9	5,7	6	5,9	5,4	4,8	4,2	4,1
Rs(30°)	4,6	5,2	5,5	6,2	5,5	5,1	5,5	5,5	5,3	4,9	4,5	4,4

Por lo tanto se decide la instalación de tres paneles de 80 Wp, y como este dimensionado se realiza para el mes de menos radiación, para un volumen de agua de 2,4 [m³/día], se determina el volumen de agua requerido en los demás meses para la misma cantidad de paneles:

$$V_{agua} = \frac{n * P_o * \eta_{ele} * \eta_b * (HSP)}{2,725 * H} \quad (6)$$

Simplificando queda:

$$V_{agua} = \frac{3 * 0,9 * 0,9 * 0,2 * (HSP)}{2,725 * 4} = 0,629 * HSP$$

En la figura siguiente se muestra el volumen de agua diario:



Fig. 5. Volúmenes de agua.

El volumen de agua diaria promedio en el año es de 3,21 m³/día y el tipo de paneles utilizado en el dimensionado es GF 80, de 80 Wp.

Otro método de cálculo:

$$E = 2,725 * \frac{H * V_{agua}}{\eta_b} \quad (7)$$

$$P = E * \frac{G_{cem}}{G_{dm} * \bar{h} * (1 - \delta(\bar{h} - T))} \quad (8)$$

Donde:

- E<sub>e</sub>: Energía que requiere la bomba (Wh/día)
- P<sub>p</sub>: Potencia pico necesaria (Wp)
- G<sub>cem</sub>: Radiación media en una hora solar pico 1000W/m²
- G<sub>dm</sub>: Radiación media diaria en un mes en el plano del generador (KWh/m²).
- F<sub>m</sub>: Factor de acoplo medio (0,9 para bombas centrifugas).
- δ: Coeficiente de variación de la potencia con la temperatura. 0,004 y 0,005 1/°C para Si monocristalino.
- T<sub>m</sub>: Temperatura media diaria de los módulos.
- T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente 25° C

Al evaluar en las ecuaciones se obtiene:

$$E = \frac{2,725 * 4 * 2,4}{0,2} = 823,5W / día$$

$$P = 823,5 * \frac{1}{4,4 * 0,9(1 - 0,005(0 - 3))} = 224,8WP$$

Con esta potencia se pueden seleccionar los paneles fotovoltaicos a instalar y su número, donde la potencia pico del generador seleccionado debe ser mayor o igual a la potencia pico requerida por la instalación. Para la instalación se escogen tres paneles de 12v y 80 Wp.

$$80Wp * 3 \text{ panel} > 225 Wp.$$

$$240Wp > 225 Wp.$$

Realizando estudio de mercado se obtiene el valor actual neto (VAN) y la tasa de rendimiento interno (TIR), dando como resultado que la inversión se recupera aproximadamente en cinco años y nueve meses;

Van (\$): 111,69  
VAN/ Inversión: 0,15  
TIR(%): 17  
PAYBACK (años)  
Inversión: 5,75  
Más gastos totales: 5,75

Por lo anteriormente planteado, se demuestra que se obtiene el VAN, la relación VAN/Inversión, la tasa TIR con tiempo de recuperación de la inversión de menos de seis años. Las condiciones para un cultivo en vivero en la actualidad no utiliza energías renovables en la irrigación, y menos aún cuenta con ahorros de agua y energía en la actividad.

### Conclusiones

- El sistema de riego asistido con energía solar fotovoltaica sin empleo de baterías recupera la inversión en menos de seis años.
- Este método de irrigación mediante energía solar fotovoltaica, además de ser un avance en el desarrollo de la industria agrícola cubana constituye un factor para disminuir el uso de combustibles fósiles.
- La aplicación y utilización de este sistema integrado, permite al país desarrollos técnicos y sostenibles en la obtención de fibra blanca de calidad.
- Mediante esta tecnología se promueve la reducción del tiempo de corte de las hojas en producción en 3-4

años, mientras que por el sistema actual de riego o tradicional es de 5-6 años sin garantizar buena calidad en la fibra.

### Bibliografía

- ALMANZA SALGADO, R.M.G., FELIPE (2003). «Ingeniería de la Energía Solar», en *Ingeniería de la Energía Solar*, C.S.A.D. C.V., Editor. México, D.F. p. 431.
- ARIJA GONZÁLEZ, D. (2010). «Prototipo de Sistema de Bombeo Fotovoltaico en Departamento de Ingeniería Eléctrica., Universidad Carlos III de Madrid (Escuela Politécnica Superior): Madrid.
- BAEZA, G. (2012-2013). *Renovables*, B. S.A, Editor. Málaga. p. 76.
- CRUZ DAVID, B. (2011). *Estudio del ahorro mediante bombeo solar*, U.I.d. Andalucía, España.
- ESTRADA., D.L.Z. (2010). «Producción Intensiva de Agave (Riego por goteo)». Fundación Produce Tamaulipas A.C.: Altamira, Tampas. p. 2.
- IGARZA, C. (2010). «Tecnología del cultivo de Henequén». Instituto de Investigaciones Hortícola Liliانا Dimitrova. La Habana, p.9
- MORALES SALAS, J. (2007). «Diseño y Análisis de Factibilidad de una Instalación de Bombeo Solar Fotovoltaica para el Abastecimiento de Agua, en Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER)». Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: La Habana.
- MORENO FIGUEREDO, CONRADO, ET AL. (2012). *Fuentes Renovables de Energía*. CETER, La Habana, p. 410.
- SARMIENTO SERA, A. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica. Temas Seleccionados*. La Habana, p. 102.

Recibido: Enero 2019

Aceptado: Febrero 2019