

Modelos matemáticos para la estimación de parámetros de un sistema de bombeo en el riego por surcos



<https://cu-id.com/2177/v33n1e01>

Mathematical models for estimating parameters of a pumping system in furrows irrigation

[✉]Alexander Hernández-Rodríguez^{1*}, [✉]Oscar Brown-Manrique¹, [✉]Beatriz Melo-Camaraza¹,
[✉]Gisel Guerra-Hernández¹, [✉]Yaily Beltran-Perez^{II}, [✉]Maiquel López Silva^{III}

^IUniversidad de Ciego de Ávila (UNICA), Ciego de Ávila, Cuba.

^{II}Cooperativa de Producción Agropecuaria 8 de Marzo, Ciego de Ávila, Cuba.

^{III}Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

RESUMEN: El estudio se realizó en la finca Tío Pedro en el municipio de Venezuela, en la provincia de Ciego de Ávila, tuvo como objetivo proponer modelos matemáticos para estimar los parámetros hidráulicos de un sistema de bombeo utilizando la técnica de riego por surcos para el cultivo del frijol negro. Los resultados mostraron fluctuaciones esperadas en los parámetros hidráulicos como caudal, carga, potencia hidráulica, tiempo de bombeo y volumen bombeado. Se encontraron relaciones funcionales entre el caudal y la carga de bombeo, así como entre la potencia hidráulica, el caudal y la carga de bombeo. Estas relaciones pueden mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo, ahorrar energía y aumentar la eficiencia de la bomba. Además, se desarrollaron funciones para predecir las curvas características de la carga, la eficiencia de la bomba y del sistema en general. Estos resultados pueden mejorar la eficiencia energética y la gestión del agua en la agricultura.

Palabras clave: carga de bombeo, caudal, potencia eléctrica, potencia hidráulica.

ABSTRACT: The study was carried out at the Tío Pedro farm in the municipality of Venezuela, in the province of Ciego de Ávila, with the objective of proposing mathematical models to estimate the hydraulic parameters of a pumping system using the furrow irrigation technique for the cultivation of black bean. The results showed expected fluctuations in hydraulic parameters such as flow rate, head, hydraulic power, pumping time, and pumped volume. Functional relationships were found between flow and pumping head, as well as between hydraulic power, flow and pumping head. These ratios can improve pump system performance, save energy, and increase pump efficiency. In addition, functions were developed to predict the characteristic curves of the load, the efficiency of the pump and the system in general. These results can improve energy efficiency and water management in agriculture.

Keywords: Pumping Head, Flow, Electrical Power, Hydraulic Power.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el agua ha sido un elemento indispensable para la supervivencia de la humanidad. Su manejo y el uso racional han permitido la invención de novedosas máquinas de bombeo, en la que el ser humano ha utilizado diversas fuentes de energía para la solución de los problemas energéticos y medioambientales en la agricultura (Ávila-González *et al.*, 2021).

El logro de mayores producciones con rendimientos altos y estables requiere del conocimiento de los

factores que producen un mayor consumo energético en el regadío, por ser la base para establecer estrategias de ahorro energético en el riego, teniendo en cuenta que el aumento del tiempo de riego demanda de un mayor consumo de agua y energía (Tornés-Olivera *et al.*, 2016).

En el sistema de riego por surcos el caudal de entrada, la longitud del surco, el tiempo de riego y las características de infiltración son variables que afectan su desempeño; sin embargo, la eficiencia de aplicación del agua está influenciada principalmente

*Autor para correspondencia: Alexander Hernández-Rodríguez. e-mail: alexanderh@unica.cu

Recibido: 12/06/2022

Aceptado: 09/12/2023

por la cantidad de agua aplicada, la infiltración del suelo y la tasa de avance (Tornés-Olivera *et al.*, 2016; 2020).

Un sistema de riego por surcos tiene diferentes componentes como la fuente de agua, el equipo de bombeo; así como la red de canales y zanjas para la distribución del agua en la parcela de riego. La determinación del rendimiento energético de un sistema de bombeo para el riego superficial requiere del conocimiento de la relación entre la potencia eléctrica consumida por la bomba, la cantidad de agua bombeada, la energía consumida por la bomba, el tiempo de funcionamiento de la bomba y la energía hidráulica suministrada por la bomba; pues, un sistema de bombeo eficiente con un alto rendimiento energético debe ser capaz de suministrar una mayor cantidad de energía hidráulica por unidad de energía eléctrica consumida.

La potencia del motor asegura la transferencia requerida de energía hidráulica para lograr una alta eficiencia de la bomba con mínima pérdida de energía; sin embargo, su comportamiento está influenciado por el caudal de bombeo y la presión de descarga según Amador-Vilarino *et al.* (2020); por tal motivo, es indispensable entender la relación entre la potencia hidráulica y la potencia mecánica para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos del sistema (Pineda-Ortiz y Chica-Arrieta, 2020).

Los modelos matemáticos son herramientas importantes porque pueden contribuir a mejorar la eficiencia energética del riego, simular la interacción entre los diferentes componentes de un sistema de riego, evaluar diferentes estrategias de riego y tomar decisiones sobre el uso de la energía. También pueden favorecer el diseño de sistemas de riego eficientes en términos de energía, lo que puede reducir los costos de energía y mejorar la sostenibilidad de la agricultura (Perellada-Gamio y Albelo-Martínez, 2020).

La modelación matemática es un componente fundamental para el manejo integral del recurso hídrico y del medio ambiente; por eso las técnicas de regresión son muy utilizadas para la obtención de información mediante el pronóstico; pero requieren previamente la medición y comparación de su desempeño a través de diferentes criterios de medida del error (Álvarez-Sevilla *et al.*, 2017).

El objetivo del presente estudio es proponer modelos matemáticos para la estimación de parámetros de un sistema de bombeo en el riego por surcos que contribuyan al mejoramiento de la eficiencia energética del riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Finca Tío Pedro del municipio de Venezuela, provincia Ciego de Ávila, Cuba que se encuentra ubicada a los 21°45'04" de Latitud Norte y 78°46'45" de Longitud Oeste.

El área experimental consistió en un experimento en franja completamente aleatorizado con una longitud de 251,60 m y un ancho de 18 m para un área de 4528,8 m² (0,45 ha). Esta superficie se subdividió en parcelas con una longitud de 62,90 m y ancho de 6 m (10 surcos) con el propósito de lograr un mayor control de las variables experimentales. Se seleccionaron tres surcos de la franja central como se muestra en la (Figura 1).

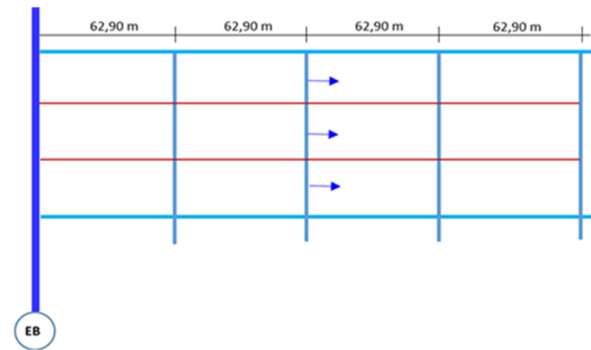


FIGURA 1. Representación esquemática del área experimental.

En la investigación se evaluó el cultivo de frijol negro de la variedad ICA PIJAO sembrado con espaciamento entre plantas de 10 cm y entre surcos de 60 cm para un marco de plantación de 0,24 m². El cultivar fue sembrado con una profundidad promedio de 20 cm y se tuvieron en cuenta las normas establecidas para este tipo de suelo.

En el área de estudio se encuentra establecido un sistema de riego por surcos abiertos compuesto por una bomba centrífuga vertical sumergida Caprari del tipo T8C/7/8-71X conectada a un motor eléctrico sumergido asíncrono con acoplamiento de 100 mm diámetro a las partes hidráulicas; una obra hidráulica de mampostería para la derivación del agua; el canal principal excavado en tierra y sin revestimiento con ancho superficial de 1,85 m; ancho de base de 0,12 m; altura total de 0,38 m y longitud de 512 m. Este se utiliza para el suministro de agua a la red interna de riego de la finca donde se encuentra la parcela experimental.

La carga total de trabajo de la bomba se calculó analíticamente mediante la aplicación del balance de energía entre la superficie del nivel del agua en el pozo y en la salida de la tubería de descarga. En este análisis el nivel de referencia se traza por la base del equipo de bombeo. Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$E_a + H_B = E_d + \Sigma h_{T_{a-d}} \quad (1)$$

$$\left(\frac{P_a}{\rho \cdot g}\right) + \left(Z_a + \frac{v_a^2}{2g}\right) + H_B = \quad (2)$$

$$\left(\frac{P_d}{\rho \cdot g}\right) + \left(Z_d + \frac{v_d^2}{2g}\right) + \Sigma h_{T_{a-d}}$$

Si se anulan las presiones en la aspiración y la descarga por ser puntos donde actúa la presión

atmosférica, se obtiene la siguiente expresión matemática para la estimación de la carga total de trabajo de la bomba:

$$H_B = \frac{v_d^2}{2g} + (Z_d - Z_a) + \Sigma h_{T_{a-d}} \quad (3)$$

$$v_d = \frac{Q}{A_d} \quad (4)$$

Donde E_a es la energía en el punto seleccionado en la tubería de aspiración (m); E_d la energía en el punto seleccionado en la tubería de descarga (m); H_B la carga total de trabajo de la bomba (m); P_a la presión en la tubería de aspiración (m); P_d la presión en la tubería de descarga (m); ρ la densidad del agua (kg m^{-3}); g la aceleración de la fuerza de gravedad (m s^{-2}); $\Sigma h_{T_{a-d}}$ las pérdidas totales de energía por fricción y localizadas (m); Z_a la altura de aspiración respecto a la base de la bomba (m); Z_d la altura de descarga respecto a la base de la bomba (m); v_a la velocidad en la tubería de aspiración (m s^{-1}); v_d la velocidad en la tubería de descarga (m s^{-1}); A_d el área de la tubería de descarga (m^2).

Los parámetros eléctricos del motor medidos fueron la corriente, el voltaje y el factor de potencia con la utilización del analizador de redes eléctricas de la marca SPERRY DSA-500. Las variables se midieron en cada uno de los riegos realizados durante todo el periodo y se repitieron cinco veces para la obtención del valor medio.

Los principales parámetros eléctricos e hidráulicos del motor y la bomba evaluados fueron: potencia hidráulica, potencia entregada por el motor, rendimiento electromecánico del conjunto motor - bomba, rendimiento de la bomba y potencia eléctrica. Estos cálculos se sustentaron en la medición de la velocidad de giro del eje en revoluciones por minuto (rpm), mediante un tacómetro digital de contacto de la marca GMKD y precisión de 0,02%.

El rendimiento del motor sumergible se asumió igual al 80%, pues los motores eléctricos modernos tienen una eficiencia alta, que puede oscilar entre el 75% y el 95%.

$$P_h = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_B \cdot H_B}{1000} \quad (5)$$

$$P_e = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos\phi}{1000} \quad (6)$$

$$P_m = \frac{\sqrt{n_f} \cdot I \cdot V \cdot \cos\phi}{1000} \quad (7)$$

$$\eta_{em} = \frac{P_h}{P_m} 100 \quad (8)$$

$$\eta_b = \frac{\eta_{em}}{\eta_m} 100 \quad (9)$$

$$P_{en} = \frac{9,81 \cdot Q_B \cdot \Sigma h_{T_{a-d}}}{\eta_{em}} \quad (10)$$

Donde P_h es la potencia hidráulica (kW); ρ la densidad del agua (kg m^{-3}); g la aceleración de la gravedad en (m s^{-2}); Q_B el caudal descargado por la bomba ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$); H_B la carga total de trabajo de la

bomba (m); P_e la potencia eléctrica (kW); I la corriente eléctrica medida; V el voltaje medido; $\cos(\phi)$ el factor de potencia; P_m la potencia del motor o potencia al freno (kW); n_f el número de fases; η_{em} el rendimiento electromecánico del conjunto motor - bomba; η_m el rendimiento del motor; η_b es el rendimiento de la bomba (%); η_m el rendimiento del motor (%); P_{en} la potencia eléctrica necesaria para compensar pérdidas (kW); $\Sigma h_{T_{a-d}}$ las pérdidas totales de energía por fricción y localizadas (m).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 1](#) se muestran los valores de los parámetros hidráulicos de la bomba durante las evaluaciones realizadas en los años 2020, 2021 y 2022. Se observa que las fluctuaciones se produjeron dentro de los límites indicados en los intervalos siguientes: caudal de bombeo, Q_B [$60,6 - 63,1 \text{ L s}^{-1}$]; carga de bombeo, H_B [$18,0 - 18,7 \text{ m}$]; potencia hidráulica, P_h [$10,7 - 11,5 \text{ kW}$]; tiempo de bombeo, T_B [$2,0 - 3,1 \text{ h}$] y volumen bombeado, V_B [$515,8 - 686,3 \text{ m}^3$].

En la [Figura 2](#) se presenta la relación funcional entre la variable caudal y carga de bombeo, las cuales responden a una modelo potencial con exponente positivo; por lo que la tendencia de la curva es creciente. El coeficiente de determinación R^2 es elevado con valor de 0,9993 y demuestra la capacidad del modelo para simular la carga del equipo en un momento determinado en función del caudal de bombeo. La ecuación matemática que relaciona estas dos variables es:

$$H_B = 0,43 \cdot Q_B^{0,91} \quad (11)$$

Donde H_B es la carga de bombeo (m); Q_B el caudal de bombeo (L s^{-1}).

Estos resultados coinciden con los expuestos por [Brown-Manrique et al. \(2003\)](#) en el análisis de la relación entre los caudales y la carga de trabajo de la bomba en un sistema de riego por surcos con tuberías multicompuertas la cual se ajustó satisfactoriamente a un modelo potencial y permitió su utilización práctica en el mejoramiento de los parámetros de eficiencia y uniformidad.

En la [Figura 3](#) se expone la relación funcional entre la potencia hidráulica y el caudal, las cuales responden al igual que en el modelo anterior a una función de tipo potencial positiva con un alto coeficiente de determinación R^2 de 0,9996.

Similar comportamiento se encontró en el análisis de la relación entre la potencia hidráulica y la carga de bombeo [Figura 4](#) la cual se ajustó favorablemente a la función potencial con un coeficiente de determinación de 0,9998. Las ecuaciones que expresan estas relaciones anteriores son:

$$P_h = 0,0042 \cdot Q_B^{1,91} \quad (12)$$

TABLA 1. Parámetros hidráulicos de la bomba.

Fecha	Q_B (L s ⁻¹)	H_B (m)	P_h (kW)	T_B (h)	V_B (m ³)
07/01/2020	62,3	18,5	11,3	2,3	515,8
14/01/2020	62,6	18,6	11,4	2,5	563,4
21/01/2020	62,1	18,4	11,2	2,0	447,1
28/01/2020	62,2	18,5	11,2	2,9	649,4
04/02/2020	60,9	18,1	10,8	2,8	613,9
11/02/2021	61,7	18,3	11,1	3,0	666,4
18/02/2021	61,5	18,3	11,0	3,1	686,3
10/03/2021	62,1	18,4	11,2	2,9	648,3
17/03/2021	60,6	18,0	10,7	2,4	523,6
24/03/2021	62,4	18,5	11,3	2,3	516,7
31/03/2022	61,9	18,4	11,1	2,6	579,4
07/04/2022	62,5	18,6	11,3	2,5	562,5
21/04/2022	62,2	18,5	11,2	3,0	671,8
28/04/2022	63,1	18,7	11,5	2,4	545,2
Promedio	62,0	18,4	62,0	2,6	585,0

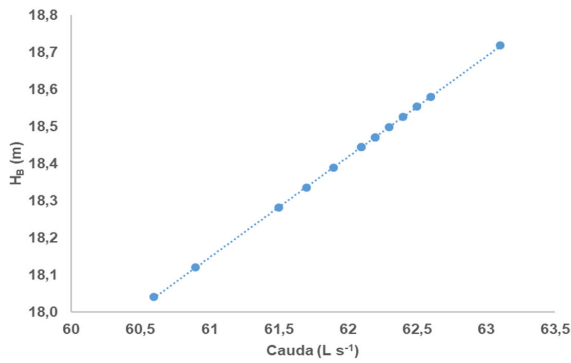


FIGURA 2. Relación funcional entre el caudal y la carga de bombeo.

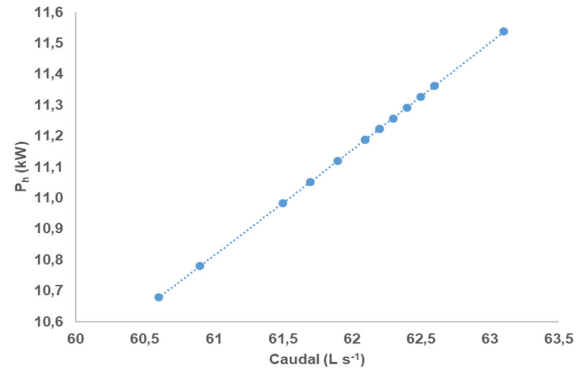


FIGURA 3. Relación funcional entre el caudal y la potencia hidráulica.

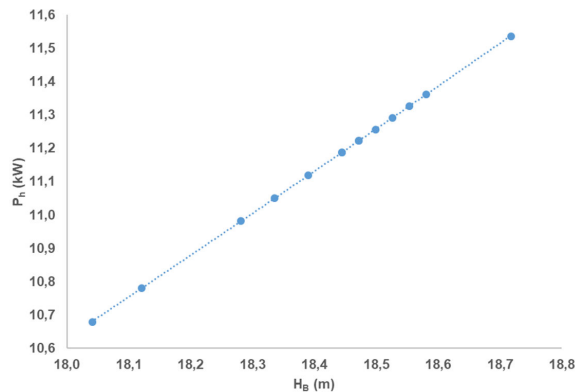


FIGURA 4. Relación funcional entre el cabezal de bombeo y la potencia hidráulica.

$$P_h = 0,023.H_B^{2,10} \quad (13)$$

Donde P_h es la potencia hidráulica (kW), Q_B el caudal de bombeo (L s⁻¹) y H_B la carga de bombeo (m).

Estas ecuaciones pueden utilizarse para el mejoramiento del funcionamiento del sistema de bombeo, debido a que permiten pronosticar el valor de la potencia hidráulica en función del caudal y la carga de bombeo (m). En este sentido [Andrade-Cedeño](#)

(2018) informó que la potencia hidráulica incide en el ahorro de energía y en el incremento de la eficiencia de la bomba, siempre que se logre reducir las pérdidas hidráulicas. Por su parte, [Santos-Azevedo et al. \(2016\)](#) explicó que como la potencia hidráulica es el producto del caudal y la presión diferencial (pérdida de carga), para ahorrar energía es necesario lograr valores elevados de esta potencia mediante el control de ambas variables.

En la (Figura 5) se expone la relación funcional entre el tiempo y el volumen en un equipo instalado para el bombeo de agua en un sistema de riego por surcos. La relación encontrada responde a un modelo potencial con alto coeficiente de determinación de 0,9933 como se muestra en la ecuación siguiente:

$$V_B = 227,74.T_B^{0,98} \quad (14)$$

Donde V_B es el volumen bombeado por el equipo de bombeo (m^3) y T_B el tiempo de bombeo durante el evento de riego (s).

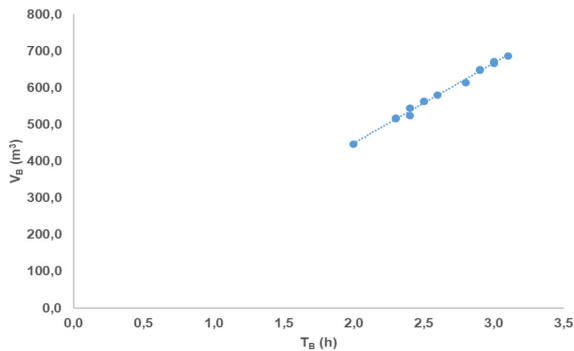


FIGURA 5. Relación funcional entre el tiempo y el volumen de bombeo.

Desarrollo de funciones para la construcción de curvas características

En este trabajo se presentan dos funciones cuadráticas desarrolladas con fines de construir las curvas características de una bomba centrífuga en condiciones de explotación, las cuales se dedujeron a partir de las consideraciones expuestas por Hernández-Ramírez *et al.* (2019) para la modelación matemática del coeficiente de corrección de la carga de bombeo y los criterios de Gavilánez-Luna (2019) ampliamente utilizados en la estimación de las pérdidas de carga mediante la ecuación de Hazen Williams.

A partir de lo anterior, el problema planteado se encauzó hacia la adaptación de procedimientos analíticos derivados de la mecánica de fluidos con el propósito de obtener los parámetros fundamentales de una bomba que funciona en la extracción de agua subterránea para el riego por gravedad, los cuales varían en relación con los nominales ofrecidos por los fabricantes; debido a que su determinación se realiza bajo condiciones controladas en laboratorios especializados. Las ecuaciones encontradas son:

$$H_B = 18,34 - 0,0001Q_B^2 \quad (15)$$

$$\eta = 1,33Q_B + 0,0005Q_B^2 \quad (16)$$

$$H_{sist} = 11,0 + 0,00003Q_B^2 \quad (17)$$

Donde H_B es la carga de bombeo (m), Q_B el caudal de bombeo (Ls^{-1}), η la eficiencia de la bomba (%) y H_{sist} la carga del sistema (m).

Estas ecuaciones permiten predecir las curvas características de la carga y eficiencia de la bomba; así como del sistema (Figura 6). Trabajos similares han sido desarrollado por diferentes autores como Martínez Valdés y Riaño-Valle (2018); Martínez Valdés y Riaño Valle (2019); Valencia-Ochoa *et al.* (2020); Peñaloza y Tolentino-Eslava (2022), los cuales lograron determinar los coeficientes de las curvas características que el paso fundamental para la elaboración de la parte gráfica.

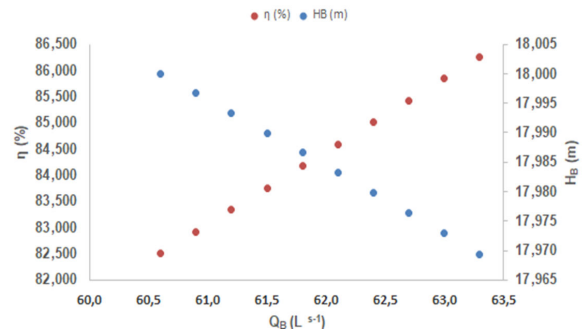


FIGURA 6. Curva característica de la bomba en condiciones de explotación.

La curva carga-caudal, la eficiencia de la bomba para el punto de operación del sistema, las pérdidas locales y el estado técnico de la unidad de bombeo son los principales factores que influyen en el consumo de energía y en el comportamiento de las eficiencias energética e hidráulica de un sistema de bombeo; por tal motivo, es imprescindible el control periódico de los indicadores técnico-económicos para lograr su explotación eficaz y eficiente (Barreda-Trujillo, 2012).

CONCLUSIONES

Los resultados de las evaluaciones de los parámetros hidráulicos de una bomba que suministra agua a un sistema de riego por surcos mostraron fluctuaciones dentro de los límites esperados para las variables caudal, carga, potencia hidráulica, tiempo de bombeo y volumen bombeado. Además, se encontró una relación funcional del tipo potencial entre el caudal y la carga de bombeo, así como entre la potencia hidráulica y el caudal y la carga de bombeo. Estas relaciones pueden utilizarse para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo y lograr un ahorro de energía y un incremento de la eficiencia de la bomba. También se desarrollaron funciones cuadráticas para la construcción de curvas características de la bomba en condiciones de explotación, lo que permitirá predecir las curvas características de la carga y eficiencia de la bomba y del sistema en general. El control periódico de los indicadores técnico-económicos es fundamental para lograr una explotación eficaz y eficiente de un sistema de bombeo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ-SEVILLA, I.; BROWN-MANRIQUE, O.; DEL CID-COLINDRES, E.P.: “Estimación de variables hidrológicas mediante modelos de regresión en la cuenca del río Suchiate, Guatemala”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(3): 22-29, 2017, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.
- AMADOR-VILARIÑO, J.L.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, J.B.; BROWN-MANRIQUE, O.: “Nuevo enfoque para el análisis energético-económico en la selección de las conductoras de impulsión”, *Revista de Ciencia y Tecnología*, (33): 1-10, 2020, ISSN: 1851-7587, Publisher: SciELO Argentina.
- ANDRADE-CEDENO, R.J.: “Gestión Energética de una Estación de Bombeo mediante el uso del Control Estadístico de Procesos. Estudio de Caso: Acueducto “La Esperanza”-Refinería del Pacífico”, *Revista Politécnica*, 40(2): 7-18, 2018, ISSN: 1390-0129, Publisher: Escuela Politécnica Nacional.
- ÁVILA-GONZÁLEZ, E.; RÍOS-HERNÁNDEZ, A.; MOREJÓN-MESA, Y.; CAMPOS-CUNÍ, B.: “Evolución histórica de las fuentes energéticas empleadas en el abasto de agua y riego agrícolas”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1): 47-57, 2021, ISSN: 2227-8761.
- BARREDA-TRUJILLO, Á.U.: “Método práctico de obtención de potencia y eficiencias de unidades de bombeo en operación”, *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 33(3): 86-97, 2012, ISSN: 2788-6050, e-ISSN: 1680-0338.
- BROWN-MANRIQUE, O.; ARTEAGA-TOBAR, R.E.; COMPANIONI, J.L.: “Estimación de caudales y carga de presión en tuberías de riego perforadas con el uso de funciones estadístico-matemáticas”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 24(1): 37-42, 2003, ISSN: 1680-0338, Publisher: Editorial Universitaria de la República de Cuba.
- GAVILÁNEZ-LUNA, F.: “Incidencia de la presión sobre el coeficiente de rugosidad C de Hazen-Williams”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5): 214-225, 2019, ISSN: 2007-2422, Publisher: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, DOI: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-08>.
- HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, G.; SEGOVIA, A.M.; SALAZAR, E.; BELTRAN-REINA, R.; PINO-TARRAGÓ, J.C.: “Modelación matemática del coeficiente de corrección de carga del bombeo de hidromezcla laterítica/Mathematical modeling of the coefficient of load correction of the pumping of hydromixtures lateritic”, *Dyna*, 86(208): 19, 2019, ISSN: 0012-7353, Publisher: Universidad Nacional de Colombia, DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72006>.
- MARTÍNEZ VALDÉS, Y.; RIAÑO-VALLE, F.: “Deducción analítica de las curvas características de las bombas rotodinámicas en paralelo”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1): 112-126, 2018, ISSN: 1680-0338.
- MARTÍNEZ VALDÉS, Y.; RIAÑO-VALLE, F.: “Deducción analítica de las curvas características de las bombas: variación de rpm y diámetro”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(3): 101-115, 2019, ISSN: 1680-0338.
- PEÑALOZA, M.A.; TOLENTINO-ESLAVA, R.: “Curvas características de una bomba centrífuga como recurso didáctico (Characteristic Curves of a Centrifugal Pump as a Didactic Resource)”, *Pistas Educativas*, 43(141), 2022, ISSN: 2448-847X.
- PERELLADA-GAMIO, M.R.; ALBELO-MARTÍNEZ, M.: “Análisis de la gestión energética en la Empresa Elementos de Riego para la agricultura”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(2): 68-73, 2020, ISSN: 2306-1545, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.
- PINEDA-ORTIZ, J.C.; CHICA-ARRIETA, E.L.: “Métodos numéricos para el desarrollo de una turbina hidrocíntrica tipo Gorlov”, *Revista UIS Ingenierías*, 19(3): 187-206, 2020, ISSN: 1657-4583, Publisher: Universidad Industrial de Santander.
- SANTOS-AZEVEDO, M.S.; LEÓN-BENÍTEZ, C.A. de; CABRAL-LEITE, J.; PÉREZ-ABRIL, I.: “Procedure to energetic analysis of centrifugal pumping systems: Procedimiento para el análisis energético de sistemas de bombeo centrifugos”, *Dyna*, 83(199): 114-117, 2016, ISSN: 0012-7353, DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n199.55945>.
- TORNÉS-OLIVERA, N.; AJAYI, O.O.; GÓMEZ-MASJUAN, Y.; GUERRERO-ALEGA, A.: “Eficiencia de aplicación máxima del agua y longitud del surco en función de los caudales”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1): 23-27, 2016, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.
- TORNÉS-OLIVERA, N.; GÓMEZ-MASJUAN, Y.; MYOR-ROBLES, E.; BROWN-MANRIQUE, O.: “Determinación de la eficiencia hídrica y energética en el riego localizado, bajo condiciones protegidas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(1): 46-55, 2020, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.
- VALENCIA-OCHOA, G.; ACEVEDO-PEÑALOZA, C.; DUARTE-FORERO, J.: “Desarrollo de una metodología para la predicción de curvas características en bombas periféricas”, *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(2): 54-61, 2020, ISSN: 2346-030X, DOI: <https://doi.org/10.15649/2346030X.756>.

Alexander Hernández-Rodríguez. Ing. Hidráulico, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: alexanderh@unica.cu

Oscar Brown-Manrique. Dr.C., Prof. Titular, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: obrown@unica.cu

Beatriz Melo-Camaraza. Ing. Hidráulica, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Departamento de Ingeniería Hidráulica, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: beatrizmc@unica.cu

Gisel Guerra-Hernández. M.Sc., Prof. Auxiliar, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: gisel@unica.cu

Yaily Beltran-Perez. M.Sc., Especialista Principal, Cooperativa de Producción Agropecuaria 8 de Marzo, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: yailybeltran@gmail.com

Maiquel López-Silva. Dr.C., Prof. Titular, Universidad Ricardo Palma, Perú, e-mail: maiquel.lopez@urp.edu.pe

Los autores de este trabajo declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTORES: **Conceptualización:** A. Hernández, O. Brown. **Curación de datos:** O. Brown, A. Hernández, G. Guerra, B. Melo. **Investigación:** O. Brown, A. Hernández, Y. Beltran. **Metodología:** O. Brown, Y. Beltran, M. Lopez. **Supervisión:** O. Brown, A. Hernández. **Validación:** O. Brown, A. Hernández, Y. Beltran. **Redacción, borrador original:** O. Brown, Y. Beltran, B. Melo. **Redacción, revisión y edición:** O. Brown, A. Hernández, Y. Beltran.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)