

51

Fecha de presentación: diciembre, 2021

Fecha de aceptación: enero, 2022

Fecha de publicación: marzo, 2022

EVALUACIÓN HIDRÁULICA

DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE MAR HACIA EL BANCO DE PROGENITORES DE CAMARÓN BLANCO LITOPENAEUS VANNAMEI EN LA UEB YAGUACAM

HYDRAULIC EVALUATION OF THE SEAWATER PUMPING SYSTEM TOWARDS THE LITOPENAEUS VANNAMEI WHITE SHRIMP PARENT BANK IN THE YAGUACAM UEB

Yorlan González González¹

E-mail: yorlangg@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5879-0031>

Reinier Jiménez Borges²

E-mail: rjborges@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3430-0322>

Yoisdal Castillo Álvarez³

E-mail: c19773@utp.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8105-6206>

¹ Unidad Estatal de Base YAGUACAM. Cienfuegos. Cuba.

² Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Cuba.

³ Universidad Tecnológica del Perú. Perú.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

González González, Y., Jiménez Borges, R., & Castillo Álvarez, Y. (2022). Evaluación hidráulica del sistema de bombeo de agua de mar hacia el banco de progenitores de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en la UEB Yaguacam. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 428-436.

RESUMEN

El estudio sobre “Evaluación hidráulica del sistema de bombeo de agua de mar hacia el banco de progenitores de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en la UEB Yaguacam”, proviene de considerar que los equipos de bombeo representan el 35 % del consumo total de energía, y que en este caso se manipula una bomba de 53 kW de potencia que se utiliza 11 horas diarias. Para ello se investigaron características técnicas de la bomba y del sistema de tuberías, y se definió el punto de operación a 340 m³/h para una carga de 22,97 m, un rendimiento del 65,9 % y una potencia útil de 21,26 kW. Se determinó, con la utilización del flujómetro ultrasónico PCE-TDS 100, la magnitud de los salideros no deseados, los cuales generan una pérdida promedio de 9,9 % del agua bombeada; que representan un impacto energético de 21 133,5 kWh/año.

Palabras clave: Bomba, punto de operación, sistema de tuberías, banco de progenitores.

ABSTRACT

The study on “Hydraulic evaluation of the seawater pumping system towards the white shrimp *Litopenaeus vannamei* progenitor bank in the UEB Yaguacam” comes from considering that the pumping equipment represents 35 % of the total energy consumption, and that in this case a pump of 53 kW of power is manipulated that is used 11 hours a day. For this, technical characteristics of the pump and the piping system were investigated, and the operating point was defined at 340 m³/h for a load of 22,97 m, an efficiency of 65,9 % and a useful power of 21,26 kW. Using the PCE-TDS 100 ultrasonic flowmeter, the magnitude of the unwanted leaks was determined, which generate average loss of 9,9 % of the pumped water; which represent an energy impact of 21 133,5 kWh/year.

Keywords: Pump, point of operation, piping system, bank of parents.

INTRODUCCIÓN

En la UEB Yaguacam el consumo de energía eléctrica referida a equipos de bombeo representan el 35 % del total de consumo. Algo similar sucede en el resto de las camaroneras del país en donde el bombeo, tanto para recambio como el llenado de tanques tienen un consumo de energía eléctrica promedio superior al 45 % del total.

El poder determinar el punto de operación resulta de mucha utilidad para la toma de decisiones desde el punto de vista energético. El mismo refleja la intercepción de la curva característica de carga de la bomba y del sistema de tuberías (Hansen, et al., 1971; Cengel & Cimbala, 2006; Truesdell & Rajagopal, 2010; Potter, et al., 2012; Massey & Ward, 2018).

El cálculo en sistemas de tuberías se suele complejizar con la aparición de ramificaciones. Los tipos de redes se pueden clasificar como abiertas (ramificadas) o cerradas (malladas). Según Martín (1986), la determinación en ambos casos parte de la formulación matricial a partir de la utilización de la ecuación de Darcy-Weisbach (Streeter, et al., 2000; Brenner, 2012; Munson, et al., 2013; López, et al., 2016). Por otra parte, existen formas analíticas para la determinación de las curvas características de una bomba centrífuga a partir de mediciones directas en el impulsor como el caso de las metodologías de Euler e Izquierdo & Sablón (2018), u otra relativamente sencilla de aplicar como la metodología de Karassik & Carter (1968).

El objetivo principal de esta investigación consiste en presentar las curvas características de la bomba y el sistema de tuberías que permitan al centro en estudio obtener información para una posible toma de decisiones desde el punto de vista energético. Además se presentan las pérdidas asociadas a salideros de agua en el sistema.

El sistema trasiega agua de mar hacia 14 estanques de cultivo, agrupados en dos baterías con igual cantidad (figura 1).

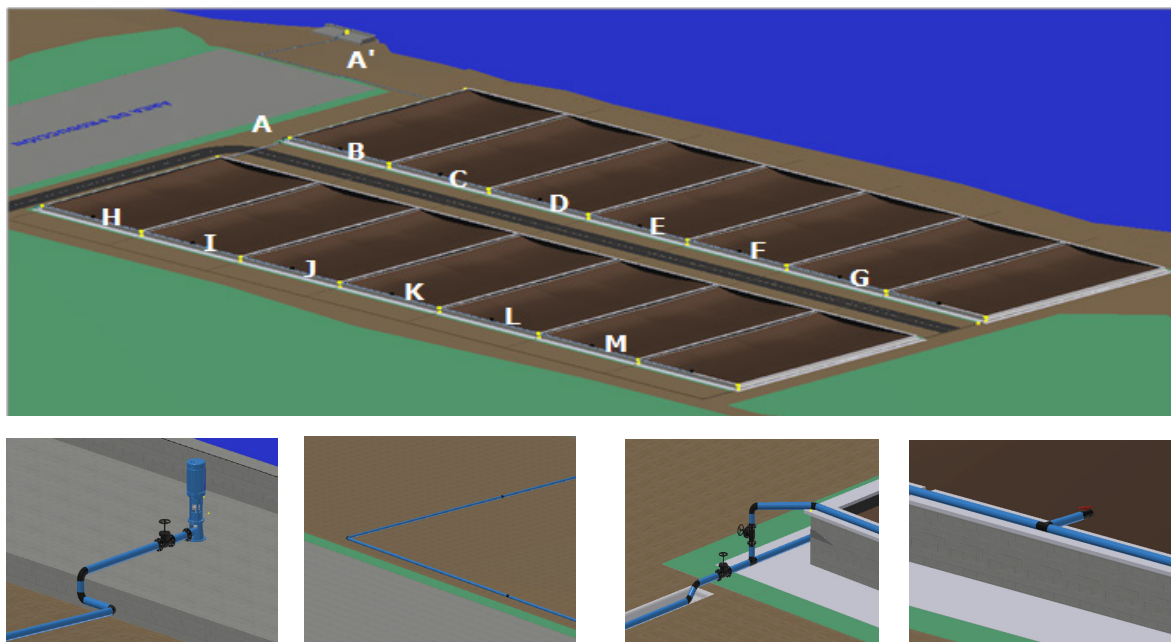


Figura 1. Sistema de bombeo de agua de mar hacia el banco de progenitores y vistas ampliadas del sistema.

A pesar de que el sistema de bombeo es utilizado para el llenado de los estanques, su manejo está dado para satisfacer los requerimientos biológicos de la especie, elemento no abordado en el presente artículo. La frecuencia de uso se encuentra alrededor de las 11 horas diarias, a partir de la indicación de la dirección de la Empresa para el Cultivo de Camarón (ECCAM), que plantea su puesta en funcionamiento a las 10:00 PM y su parada a las 9:00 AM; aunque en los días que se necesita llenar algún estanque se usa en otros horarios.

El sistema se encuentra construido de tuberías de PVC y posee 919,3 m de longitud, distribuidos en 196 m en el tramo AA', 303,5 m desde el punto A hasta el estanque 7, y 419,8 m desde el punto A hasta el estanque 14. La tabla 1 muestra las dimensiones geométricas del sistema.

Tabla 1. Dimensiones geométricas del sistema hidráulico.

Parámetros geométricos	Tramo AA'	Tramo A hasta Estanque 7	Tramo A hasta Estanque 14
Longitud tubería (m)	196	303,5	419,8
Diámetro exterior (m)	0,205	0,197	0,197
Espesor (m)	0,010	0,010	0,010
Variación de altura (m)	4,5	1,2	1,8

En el sistema existe una válvula de compuerta ubicada posterior a la bomba y dos válvulas de igual tipo a la entrada de las dos baterías de estanques. De acuerdo a los factores k extraídos de Dodge & Thompson (2017), se obtienen que Σk es de 29,26 m.

Existen tramos de tuberías con iguales cantidades de válvulas y accesorios, por lo que se plantea la igualdad de la Σk .

$$\Sigma k_{B1} = \Sigma k_{C2} = \dots = \Sigma k_{M13} = 1,47 \text{ m}; \Sigma k_{G7} = \Sigma k_{M14} = 1,33 \text{ m}; \Sigma k_{BC} = \Sigma k_{CD} = \dots = \Sigma k_{LM} = 0,28 \text{ m}$$

Identificados como nodos los puntos A', A, B hasta M; debe cumplirse la ley general de los nodos en la que *“la suma neta de flujos que concurren en un nodo deber ser igual a cero”* (Toledo, 2016). Por lo que, se generan 13 ecuaciones como nodos existentes, ver sistema de ecuaciones 1.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{AA'} \\ Q_{AB} \\ Q_{BC} \\ \vdots \\ Q_{LM} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_{13} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Q_{AH} \\ Q_{BC} \\ \vdots \\ Q_{14} \end{bmatrix}$$

Ecuación 1. Sistema de ecuaciones matriciales para la solución del sistema

De forma general en cada tramo de tubería debe cumplirse (ecuación 2):

$$h = \Delta Z + RQ^2$$

Ecuación 2. Pérdida de carga por tramo de tubería.

Las cargas expresadas en forma matricial y en términos de carga necesaria, quedan descritas como plantea el sistema 2a. Este sistema es indeterminado desde el punto de vista algebraico, debido a que posee 40 ecuaciones y 54 incógnitas; y donde h y Q son conocidas.

$$\begin{bmatrix} h_{AA'} \\ h_{AB} \\ h_{AH} \\ h_{BC} \\ \vdots \\ h_{LM} \\ h_{M13} \\ h_{M14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Z_{AA'} \\ \Delta Z_{AB} \\ \Delta Z_{AH} \\ \Delta Z_{BC} \\ \vdots \\ \Delta Z_{LM} \\ \Delta Z_{M13} \\ \Delta Z_{M14} \end{bmatrix} + [R_{AA'} \quad R_{AB} \quad R_{AH} \quad R_{BC} \quad \dots \quad R_{LM} \quad R_{M13} \quad R_{M14}] \cdot \begin{bmatrix} Q_{AA'}^2 \\ Q_{AB}^2 \\ Q_{AH}^2 \\ Q_{BC}^2 \\ \vdots \\ Q_{LM}^2 \\ Q_{M13}^2 \\ Q_{M14}^2 \end{bmatrix}$$

Ecuación 2a. Ecuación de carga expresada de manera matricial.

Al sustituir Q_{AB} hasta Q_{LM} , en función de los flujos que entran a los estanques Q_1 hasta Q_{14} , se logra reducir el número de incógnitas hasta 40; quedando el sistema **2b** como un sistema determinado.

$$\begin{bmatrix} h_{AA'} \\ h_{AB} \\ h_{AH} \\ h_{BC} \\ \vdots \\ h_{LM} \\ h_{M13} \\ h_{M14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,5 \\ 1,2 \\ 1,8 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + [1052,74 \ 273,48 \ 1003,49 \ 283,31 \ \dots \ 283,31 \ 129,46 \ 377,41]$$

$$\begin{bmatrix} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14})^2 \\ (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7)^2 \\ (Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14})^2 \\ (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7)^2 \\ \vdots \\ (Q_{13} + Q_{14})^2 \\ Q_{13}^2 \\ Q_{14}^2 \end{bmatrix}$$

Ecuación 2b. Ecuación de carga expresada de manera matricial simplificada.

La figura 2 muestra las curvas características del sistema para diferentes condiciones, a partir de suponer una distribución uniforme de flujo a la entrada de todos los estanques y evaluando en el sistema de ecuaciones **2b**.

Condición 1. Estanques del 1-7 abiertos (batería 1) y del 8-14 cerrados (batería 2).

Condición 2. Estanques del 1-7 cerrados y del 8-14 abiertos.

Condición 3. Todos los estanques abiertos.

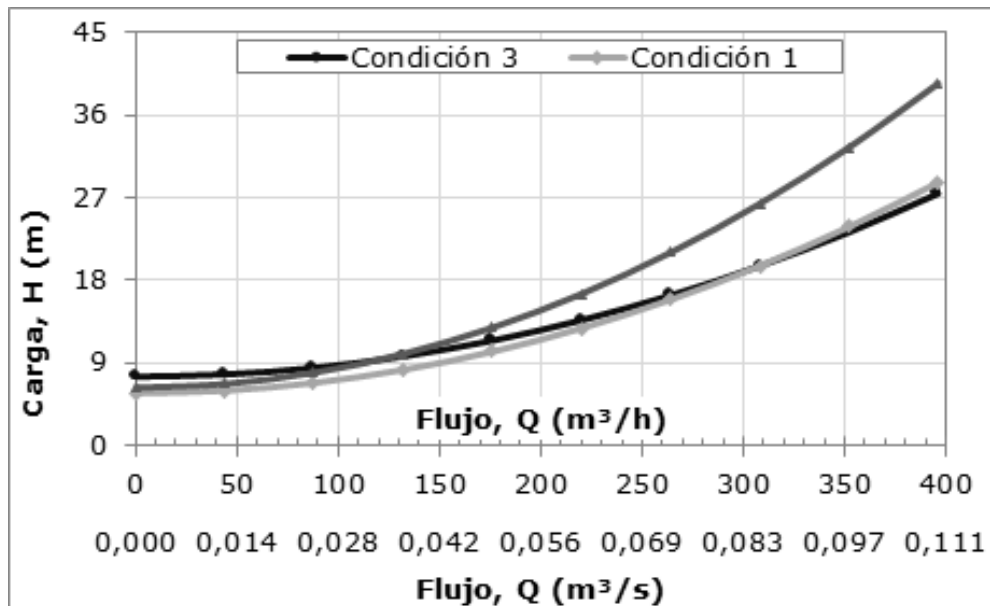


Figura 2. Curvas características del sistema para diferentes condiciones de flujo.

Las mayores pérdidas al circular más de 130 m³/h por el tramo AA' ocurren para la condición 2, debido al aumento de las pérdidas friccionales. Las menores pérdidas ocurren cuando se trasiegan cantidades inferiores a 310 m³/h para la

condición 1. Cuando el flujo a la salida de la bomba es de 352 m³/h, las menores pérdidas se producen para la condición 3; en este caso, las pérdidas entre la condición 3 y la condición 2 son superiores a 9 m.

1. Determinación de las curvas características de la bomba centrífuga KSB ITUR 20800 ZARAUZT BEV-1226/2

La bomba KSB ITUR 20800 ZARAUZT BEV-1226/2, mostrada en la figura 3, es una bomba centrífuga con el eje en posición vertical. El país de fabricación es España. Los años de producción y montaje fueron en el 2000 y 2004, respectivamente; el resto de sus datos técnicos se muestran en la tabla 2.

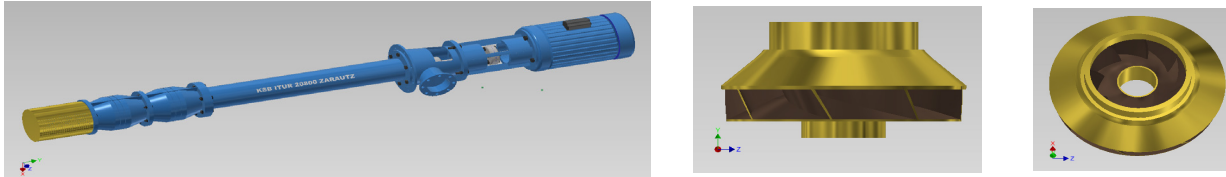


Figura 3. Vista isométrica de la bomba centrífuga KSB ITUR 20800 ZARAUZT BEV-1226/2 y uno de sus impelentes.

Tabla 2. Datos proporcionados por el fabricante en la chapa de la bomba.

Modelo-Tamaño	BEV-1226	Flujo (m ³ /h)	216
Número de etapas	2	Carga (m)	45
No. de Serie	6034631	Frecuencia (rpm)	1770

En el Expediente Técnico, no se cuenta con el valor de la eficiencia para su punto de diseño y tampoco con las curvas características de la bomba. Además, a partir de otras revisiones bibliográficas no fue posible contar con dichas curvas.

Generalmente un usuario de bombas centrífugas que desea determinar las características de funcionamiento, tiene una gran fuente de información de la que se pueden determinar estos datos (Kane & Levinson, 1985; Schetz, 1999):

1. Una copia de la orden con la que se compró esa bomba.
2. La placa de la bomba. Esta placa generalmente lleva el número de serie de la fábrica de bombas, la designación del tipo del fabricante y las condiciones de servicio nominales, incluyendo la velocidad de operación.
3. La placa del impulsor motriz de la bomba. Si se ha perdido esa placa una medida directa en el impulsor dará la velocidad de operación.

Las metodologías más utilizadas en la determinación de las curvas características de la bomba se conocen como: Metodología de Karassik & Carter (1968), Metodología Clásica de Euler, y Metodología de Izquierdo & Sablón (2018). Para la aplicación de las dos últimas metodologías tratadas son necesarios datos geométricos del impelente (figura 4a y figura 4b), así como la representación vectorial (figura 4c).

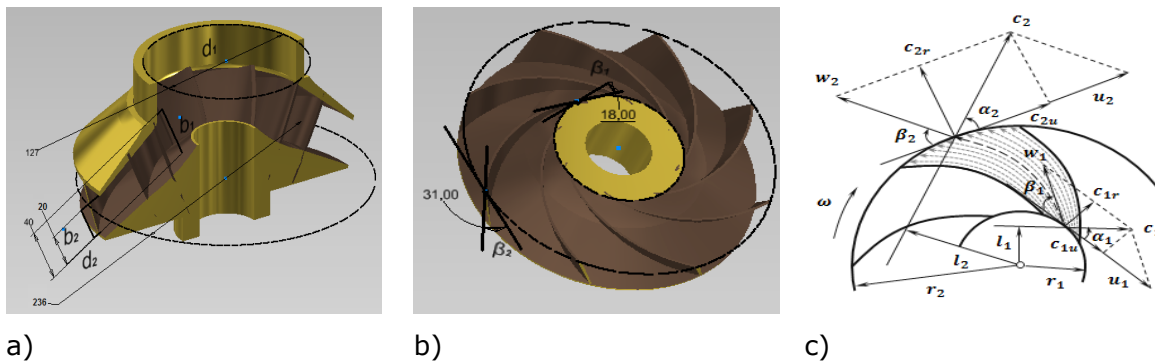


Figura 4. Dimensiones acotadas (a y b) y representación vectorial de la corriente del líquido a través del impelente (c).

Fuente: Nekrasov (1980).

De forma gráfica se tienen estas curvas, en donde la carga para las metodologías de Karassik & Carter (1968); e Izquierdo & Sablón (2018), son semejantes y ambas pueden ser empleadas para cálculos ingenieriles de mediana precisión.

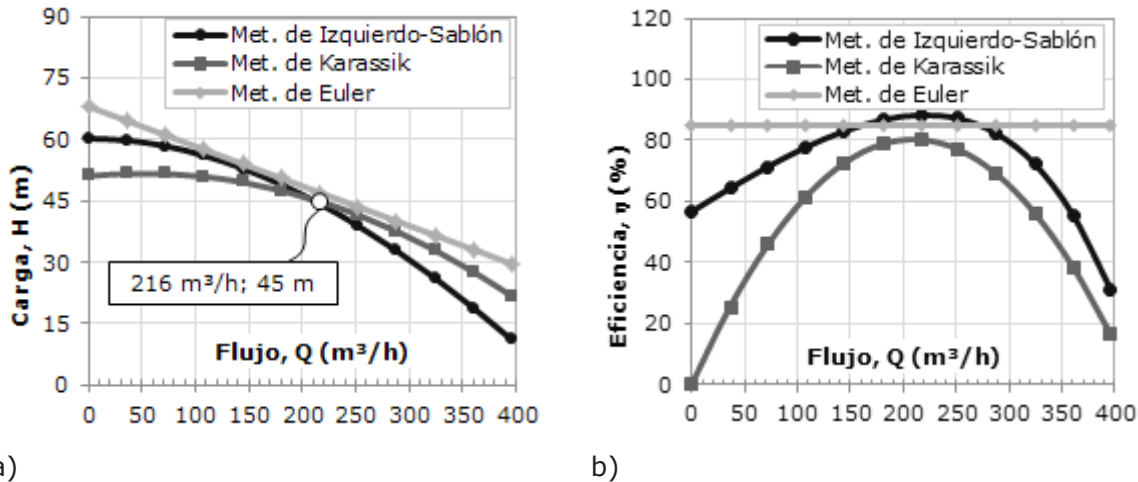


Figura 5. Errores de forma gráfica en las características de carga (a) y rendimiento (b) entre la metodología propuesta por Euler, Karassik & Carter (1968); e Izquierdo & Sablón (2018).

Determinación del punto de operación del sistema

El punto de intersección entre la curva característica de la bomba y la curva característica del sistema, es el denominado punto de operación. Es decir, este es un punto en el que existe un equilibrio entre la potencia suministrada por la bomba y la potencia consumida por el sistema de tuberías.

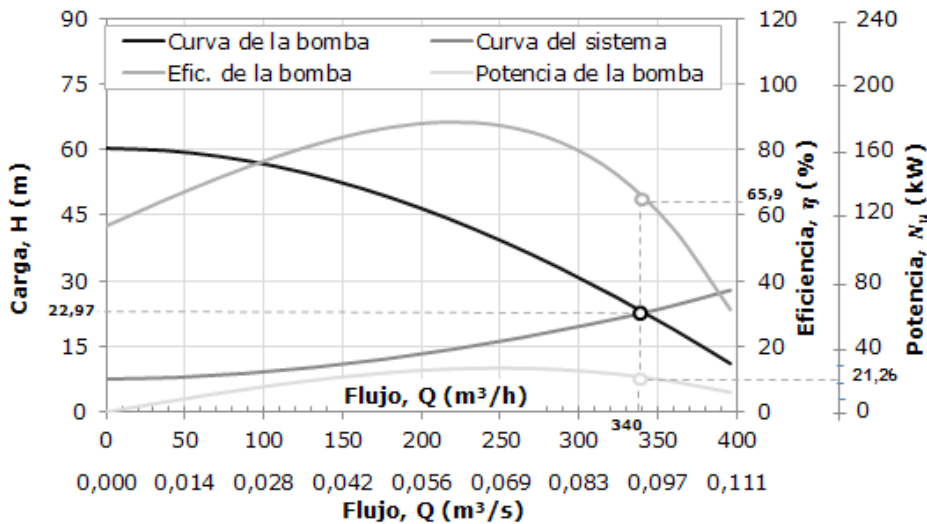


Figura 6. Punto de operación.

El punto de operación se encuentra a 340 m³/h para una carga de 22,97 m, un rendimiento del 65,9 % y una potencia útil de 21,26 kW.

Por otra parte, los valores reales de flujo fueron obtenidos con la utilización del flujómetro ultrasónico mostrado en la figura 7. En este equipo uno de los parámetros a configurar para una medición adecuada es el tipo de fluido, el resto se encuentran relacionados con características de la tubería como son: diámetro exterior, espesor de la pared y material.



Figura 7. Flujómetro digital por ultrasonido PCE-TDS 100.

Los valores de flujo obtenidos en la zona AA', mostrados en la tabla 3 y denotados como , demuestran la veracidad en la utilización del sistema de ecuaciones 2b puesto que son aproximadamente iguales al valor del flujo obtenido en el punto de operación de la figura 6.

Tabla 3. Valores de flujo para las distintas zonas de medición.

Zonas de medición de flujo	Mediciones de flujo (m ³ /h)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	341	356	360	344	361
	172	184	161	160	183
	151	132	138	155	150
	144	130	133	121	132
	115	130	133	121	132
	102	105	101	94	101
	64	91	93	67	82
	54	62	66	34	43
	25	34	51	0	25
	126	118	133	129	128
	101	96	115	124	107
	101	64	92	118	77
	81	64	37	41	68
	43	47	31	31	56
	0	10	9	11	17

A partir de estas mediciones y aplicando el sistema de ecuaciones 1 se tienen los flujos que ingresan a cada estanque.

En este análisis no se considera el impacto provocado por erróneas operaciones de acuerdo al punto de operación, puesto que se necesitan las mediciones de voltaje de línea, corriente de línea y factor de potencia.

2. Determinación de salideros no deseados

Los salideros de agua asociados a cada medición, se producen en el tramo de tuberías AA', y a la entrada de cada batería de estanques, tal y como se muestra en la figura 8.



Salida de la bomba

Entrada de bat del 1 al 7

Entrada de bat del 8 al 14

Figura 8. Imágenes de salideros de agua en el sistema.

Las mediciones se realizaron a la salida de la bomba, a la entrada de cada batería y en las zonas intermedias entre las válvulas de entrada a cada estanque (Tabla 4).

Tabla 4. Valores del flujo de fuga, .

	Mediciones de flujo (m ³ /h)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	17	40	61	29	28

El valor más crítico se tiene para la medición No. 3 con un 17 % de pérdidas (61 m³/h); o sea del flujo trasegado por la bomba de 360 m³/h fueron ingresados al banco de progenitores 299 m³/h.

Para valores promedio del flujo trasegado por el sistema de 352,4 m³/h y flujo de fuga de 35 m³/h se obtiene un 9,9 % de pérdidas de agua en salideros no deseados. De acuerdo a la demanda de energía del sistema de 583 kWh/día, este tanto por ciento representa una pérdida de 57,9 kWh/día (21 133,5 kWh/año)

CONCLUSIONES

La UEB Yaguacam cultiva progenitores de camarón blanco *Litopenaeus Vannamei* en 14 estanques de agua de mar; que es recibida a través de una bomba vertical con una potencia de 53 kW, mediante un sistema de tubería de PVC con una longitud de 913,3 m.

Aplicando las ecuaciones que rigen el sistema ramificado de tuberías se determinó la curva característica, definiéndose que las mayores pérdidas se producen cuando se bombea solo hacia la batería 2; y con la utilización de los métodos de Karassik & Carter (1968); e Izquierdo & Sablón (2018), y la teoría de Euler se determinaron las curvas características de la bomba centrífuga KSB ITUR 20800 ZARAUTZ BEV-1226/2.

El punto de operación del sistema de tubería y el equipo de bombeo se encuentra a 340 m³/h para una carga de 22,97 m, un rendimiento del 65,9 % y una potencia útil de 21,26 kW.

Con el uso del flujómetro digital por ultrasonido PCE-TDS 100 se determinó la magnitud de los salideros no deseados, los que muestran como promedio un valor de 9,9 %; que representan un impacto energético de 21 133,5 kWh/año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brenner, H. (2012). Fluid mechanics in fluids at rest. *Physical Review E*, 86(1).
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fundamental Mechanics of Fluids*. Vol. I. University of Nevada.
- Dodge, R. A., & Thompson. M. J. (2017). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill Interamericana.
- Hansen, A. G., Rodríguez, H. C., Olague, J. B., & Aldape, G. E. (1971). *Mecánica de fluidos*. Limusa-Wiley.
- Izquierdo, R., & Sablón, L. E. (2018). Desarrollo de un modelo de cálculo para la determinación de las curvas de trabajo de la bomba centrífuga ПБ160/40. *Ciencia & Futuro*, 8(1).

Kane, T. R., & Levinson, D. A. (1985). Dynamics, theommmK.
R. (2010). An introduction to the mechanics of fluids.
Springer Science & Business Media.