

Análisis de fallas recurrentes y propuesta de soluciones para el sistema de bombeo de agua

Analysis of Recurrent Failures and Proposal of Solutions for the Water Pumping System



<http://opn.to/a/5Esna>

Dr.C. Francisco Martínez-Pérez ^{I*}, MSc. Sandra Álvarez-García ^{II}

^IUniversidad Tecnológica de La Habana, Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, CUJAE, Marianao, La Habana, Cuba.

^{II}Empresa para el Cultivo del Camarón, La Habana, Cuba.

RESUMEN: El camarón es un producto de alto valor comercial en el mercado internacional y su producción presenta un notable crecimiento. El soporte principal de este medio de cultivo es el agua. Un agua de buena calidad conlleva al buen crecimiento, supervivencia y buena producción de los camarones. Para lograr que esto ocurra los equipos, que juegan un rol fundamental, son las bombas de agua. Una falla o avería imprevista en estos equipos puede afectar o inclusive comprometer de forma importante la producción. En el presente trabajo se investigaron las causas de las fallas eléctricas, mecánicas y de deficiencias en el mantenimiento ocurridas en las bombas axiales, pertenecientes a la Empresa para el Cultivo del Camarón. Se realizaron procesos de Ingeniería de Mantenimiento y se analizaron aspectos económicos importantes. Finalmente se brindaron recomendaciones para disminuir las fallas y mejorar los aspectos económicos; obteniendo ya, actualmente, algunos beneficios.

Palabras clave: cultivo del camarón, mantenimiento, análisis de fallas, sistema de bombeo, diagnóstico.

ABSTRACT: Shrimp is a product of high commercial value in the international market and its production shows a remarkable growth. The main support of its culture medium is water. Water of good quality leads to good growth, survival and good production of shrimp. To make this happen, the items, which play a fundamental role, are water pumps. An unexpected failure in this equipment can affect or even significantly compromise the production. In the present work the causes of electrical and mechanical failures and deficiencies in the maintenance occurred in the axial pumps, belonging to the Enterprise for the Cultivation of Shrimps were investigated. Maintenance engineering processes was carried out, a SWOT matrix was applied and important economic aspects were analyzed. Finally, recommendations were made to reduce the failures and improve economic aspects; obtaining some benefits already.

Keywords: Shrimp C, Maintenance, Failure Analysis, Pumping System, Diagnosis.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de organismos acuáticos a gran escala es un suceso relativamente reciente aunque a pequeña escala esta actividad ha existido desde tiempos antiguos en varios países, muy probablemente desde los orígenes del pastoreo y de la agricultura.

En las empresas que cultivan el camarón en Cuba, se instalaron, inicialmente bombas axiales

verticales de 24 pulgadas de diámetro, con un caudal equivalente a los 1000 L/s. En el 2012 se instalaron electrobombas más eficientes que permitieran completar las capacidades de bombeo y a la vez sustituir las bombas, anteriormente instaladas, que no poseían los parámetros óptimos de explotación, permitiendo mejoras en el llenado y recambio del agua en los estanques y la posibilidad de sembrar mayores densidades de animales por metro cuadrado.

*Autor para correspondencia: Francisco Martínez Pérez, e-mail: fmartinez@ceim.cujae.edu.cu

Recibido: 19/06/2018

Aceptado: 10/12/2018

Desde la primera puesta en marcha realizada, las nuevas bombas adquiridas presentaron fallas sistemáticas tanto eléctricas como mecánicas.

El objetivo de la siguiente investigación fue, por tanto, identificar las causas de las fallas sistemáticas que se producían en las electrobombas axiales recién adquiridas de las empresas camaroneras y recomendar soluciones para lograr su eliminación o disminución.

MÉTODOS

El presente trabajo conllevó la realización de diferentes tareas de investigación, cuyo procedimiento metodológico, en forma ordenada, son descritas a continuación.

Se consideraron como tareas científicas:

Análisis del estado del arte (en bibliografía actualizada del tema en cuestión)

Para desarrollar el trabajo se realizó un profundo estudio bibliográfico sobre la temática en publicaciones realizadas en Europa por [Stern et al. \(1990\)](#), Asia [Atwood et al. \(2003\)](#); [Boyd y Thunjai \(2003\)](#), América Latina [Arredondo y Ponce \(1998\)](#); [Borja \(2011\)](#) y Estados Unidos de América [Boyd et al. \(2002\)](#); [Atwood et al. \(2003\)](#); así como de otros autores ([Ayers y Westcot, 1976](#); [Tamayo, 1998](#); [Zhu et al., 2004, 2006](#); [Akilov et al., 2009](#); [Barriga, 2011](#); [Assan y Kléber, 2014](#)).

Análisis de criticidad para detectar la empresa con mayores fallas

El análisis de criticidad es la metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para la selección del método de evaluación se tomaron criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis ([Mendoza, 2005](#); [Prat Planas, 2014](#)).

A partir de la distribución geográfica de la Empresa, se planteó como objetivo en el proyecto el realizar un análisis de criticidad para establecer el nivel de jerarquía de las cinco (5) empresas productoras de camarón. De esta manera se obtuvo una orientación certera para el desarrollo

y aplicación del proyecto y se realizó el diagnóstico técnico y de mantenimiento en las camaroneras que resultaron más críticas. Las características generales de estas empresas es que poseen desde 2 hasta 15 bombas axiales verticales de caudal que varía entre 1,0 y 1,2 m³, generalmente instaladas entre 1 y 3 estaciones de bombeo y encargadas de garantizar el agua a los estanques de desarrollo del camarón. En el 93% de las bombas, la energía que usan los motores es la energía eléctrica. En todas las empresas han ocurrido fallas de las bombas.

Las categorías a evaluar en el análisis de criticidad fueron:

- La frecuencia de falla (F.F). Para estimarla se utilizaron los registros de la frecuencia de falla en número de eventos durante el periodo analizado (2012-2016) y se consultaron a los operadores de las bombas.
- Los niveles de producción (NP). Este factor consideró los niveles de producción de camarón de cada empresa.
- Impacto medioambiental (IA). Esta categoría consideró la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al medio ambiente.
- Costos de Reparación (CR). Se consideraron los costos de reparación de las fallas presentadas por las bombas.
- Costos de Reposición de Equipos (CE). Consideró la cantidad de bombas compradas por el proceso inversionista multiplicada por el precio de adquisición de cada una de ellas en el momento en que fueron compradas en el periodo analizado (2012-2016).

La ecuación matemática utilizada para valorar la criticidad fue:

Criticidad = frecuencia x consecuencia según [Mendoza \(2005\)](#), donde la consecuencia se concibió como la suma de todos los factores en los que las fallas tienen un impacto negativo, dando lugar a la [ecuación 1](#).

$$Criticidad = FFx(NP + IA + CR + CE) \quad (1)$$

El resultado obtenido se representó en un gráfico de barras donde en el eje de las ordenadas se situaron las empresas y en el eje de las abscisas las criticidades,

Diagnóstico técnico a partir del análisis de:

- a. Instalación de analizadores de redes para realizar mediciones de los parámetros eléctricos.
- b. Lectura del nivel de vibraciones de los motores.
- c. Chequeo de excentricidad y de la deformación permanente por flexión de ejes.

Para conocer la naturaleza de los problemas mecánicos y eléctricos que ocurrieron en las bombas, se realizaron mediciones de los parámetros síntomas de las mismas.

- a. Instalación de analizadores de redes para realizar mediciones de los parámetros eléctricos.

Las bombas instaladas poseen arrancadores suaves para manejar el arranque de los motores eléctricos. La calidad del suministro o más específicamente, una perturbación de la calidad del suministro, se define en general como cualquier cambio en el suministro dígase tensión, corriente o frecuencia que interfiere con el funcionamiento normal del equipo o componente eléctrico ([Horsley, 2009](#)).

A partir de esta definición los parámetros medidos fueron las tensiones de alimentación y consumo de corriente de los motores eléctricos y en el funcionamiento mecánico se realizaron mediciones del nivel de vibraciones de las bombas y se midió la alineación de los ejes de las mismas.

Para realizar las mediciones de los parámetros eléctricos se instaló un analizador de redes AR-5 Circutor, programado para obtener los datos por un período de tiempo de una semana. La programación consideró la recepción de los parámetros tensión y corriente de consumo bajo condiciones normales de trabajo de las bombas, (tensión nominal del motor, con un valor de 460 V de corriente alterna $\pm 5\%$, especificados por el fabricante; desequilibrio de fases, empleando la Norma NEMA MGI.1993 ([Tiwari y Bhardwaj, 2014](#)) y el IEEE según [Oqueña y Ciro \(2003\)](#), donde se utiliza la [ecuación 2](#) para calcular el porcentaje de desbalance entre fases.

También se midió el estado del desbalance de la tensión tomando la diferencia entre la tensión más alta y más baja de las tres fases de alimentación. Este número no debió exceder el

4% de la tensión más baja, otro parámetro programado para medir con el analizador fue el factor de potencia. Este último aunque no es un parámetro síntoma de los equipos analizados si constituye un indicador de la eficiencia energética de las estaciones de bombeo. En las instalaciones industriales, donde la carga está asociada principalmente a grandes motores de inducción se genera un factor de potencia atrasado, por esta razón resulta necesario compensar la carga inductiva con carga capacitiva, además de realizar modificaciones o acciones para que los motores operen en condiciones de carga adecuadas (75% al 100%, según el Sistema Internacional (SI)), para manejar el factor de carga total del mismo y de la instalación ([Campos, 2010](#)).

- b. Lectura del nivel de vibraciones de los motores.

Para ello se utilizó la aplicación de un vibrómetro digital, el que consta de una escala de 12 niveles de vibraciones que van desde la escala Instrumental I: vibraciones perceptibles solo por animales hasta la escala XII Cataclísmico: destrucción total ([Chen et al., 2017](#)). Los valores de vibraciones obtenidos fueron comparados con el permitido por el fabricante que plantea que debe estar en el entorno de la escala II ([Chen et al., 2017](#)). Las mediciones se tomaron en la base del plato superior de anclaje y en la base de anclaje con la base de concreto. Con el nivel de vibraciones del equipo, se pudo tener idea de cómo el equipo se encuentra anclado, o ajustado en el acoplamiento motor -bomba o la alineación motor-sistema de transmisión.

- c. Chequeo de excentricidad y de la deformación permanente por flexión de ejes.

Los acoples flexibles resuelven problemas de desalineación axial y angular, cargas súbitas entre otros. También reduce potencialmente las vibraciones ([Penkova, 2007](#)).

Para verificar este aspecto se utilizó un pie de rey, calibrador. Esta herramienta de medición permite saber la distancia que se requiere entre ejes en el plano vertical y horizontal en milímetros para poder llevar a centro el eje motor y el eje de la bomba. Los parámetros obtenidos se compararon con las especificaciones ofrecidas

$$\text{Porcentaje de desbalance} = \frac{\text{máxima desviación de voltaje respecto al voltaje promedio}}{\text{voltaje promedio}} \cdot 100 \quad (2)$$

por el fabricante en el manual de las bombas (Penkova, 2007). Otro aspecto que se comprobó fue la de los ejes con respecto a sus puntos de apoyo. Para realizar esta medición se utilizó un calibrador tipo reloj o comparador de carátula.

Diagnóstico de la actividad de mantenimiento a partir del análisis de los datos obtenidos de:

- Recorrido e inspección visual realizada.
- Recopilación de información contenida en órdenes de trabajo y expedientes de los equipos.
- Aplicación de encuestas a técnicos y operadores de los equipos de bombeo.
- Análisis del histórico de fallas que tuvieron lugar en los equipos de bombeo
- Identificación de las causas de las fallas de los equipos de bombeo.

La calidad del mantenimiento y de la forma de operar una instalación industrial tiene su reflejo en el estado técnico en que se encuentra en cada momento. De esta forma, si el personal de operaciones y el de mantenimiento trabajan de forma óptima, la planta se mantendrá en buen estado durante la vida útil estimada inicialmente, incluso mucho más tiempo. En cambio si alguna de estas áreas no está gestionada correctamente, la instalación se resentirá, disminuyendo la fiabilidad, la disponibilidad y la vida útil (Green et al., 2009).

Los expedientes revisados fueron los de los equipos de bombeo, las áreas recorridas fueron las estaciones de bombeo y talleres de mantenimiento de las empresas seleccionadas. Las encuestas se aplicaron al personal vinculado directamente con el área de mantenimiento en dichas empresas. Se aplicó la evaluación del mantenimiento fabril, enfocando dicha evaluación hacia la actividad de bombeo.

Para diagnosticar la actividad mantenimiento se emplearon algunas de las metodologías existentes para auditar la Gestión de Mantenimiento expuestas en el Modelo para auditar de PDVSA (Green et al., 2009). Las mismas se basan en cuestionarios y evaluaciones para ser aplicados a todo el personal de la Organización mantenedores, jefes de grupo, directores funcionales, así como la evaluación in situ del mantenimiento.

Se aplicaron encuestas a todo el personal escogido lo que permitió obtener información y una visión del comportamiento de la función mantenimiento, mediante la realización de las preguntas impresas en el cuestionario aplicado (Green et al., 2009).

Procesamiento de los datos

La información recolectada se evaluó cualitativa y cuantitativamente. Para realizar el análisis cualitativo, se tomaron anotaciones derivadas de la observación directa y del estudio de documentos, las mismas permitieron posicionar los factores escogidos en cada una de las etapas de madurez correspondiente de la matriz MCM. Para validar estas anotaciones se compararon con los resultados de las encuestas y de la evaluación del mantenimiento realizado cuantitativamente. Para la evaluación cuantitativa se utilizó un sistema de puntos que se otorgó a cada una de las categorías analizadas y se comparó con los puntos base. Posteriormente se calculó la relación entre ambos dando al final una calificación en % que dependió del puntaje obtenido [Tabla 1](#).

TABLA 1. Evaluación del Sistema de Mantenimiento Fabril

De 90 a 100%	Excelente
De 80 a 89.9%	Bueno
De 70 a 79.9%	Regular
De 60 a 69.9%	Malo
Menos de 60%	Pésimo

Análisis del histórico de fallas que han tenido lugar en los equipos de bombeo

Para analizar el histórico de las fallas se revisaron las bitácoras de las bombas, con las horas de bombeo de cada una y los reportes de fallas realizados por los operadores de las bombas. Una vez revisadas las bitácoras, se clasificaron las fallas presentadas atendiendo a las características de las mismas en fallas eléctricas o mecánicas. Las fallas mecánicas representaron un porcentaje alto en el número total de fallas. Incluyen todo tipo de desperfecto por fabricación y fatiga por esfuerzo. Una vez clasificadas las fallas ocurridas en mecánicas o eléctricas se procedió al análisis de las causas de cada una, teniendo en cuenta la documentación revisada, los manuales del fabricante y los

resultados obtenidos en el diagnóstico técnico y de mantenimiento.

A continuación se dictaron las recomendaciones pertinentes para disminuir las causas de las fallas presentadas.

RESULTADOS OBTENIDOS

Análisis de criticidad para detectar la empresa con mayores fallas

Los que participaron en el análisis de criticidad fueron cinco (5) Especialistas Principales de Tecnología y Producción e Ingenieros Mecánicos y Eléctricos con más de 10 años de experiencia.

Los resultados obtenidos para los indicadores de mayor impacto se muestran a continuación:

- La frecuencia de falla obtenida del análisis de los históricos de las empresas arrojó un total de averías debido a fallas ocurridas durante el periodo 2012 al 2016 ascendente a 24, de ellas 12 averías mecánicas y 12 averías eléctricas. Por otra parte se observa que en la empresa Cultisur ocurrieron 11 averías para un 48% del total y en la empresa Calisur ocurrieron 8 para el 35% del total ocurrido.

En todos los casos estos comportamientos anormales de los componentes eléctricos o mecánicos imposibilitaron la operación correcta de las bombas.

- Los niveles de producción (NP) se obtuvieron de los registros estadísticos de la Dirección de producción de las Empresas, pudiéndose constatar en los mismos que, en el período analizado, se obtuvo una producción total ascendente a 21 009.10 t. La empresa más significativa fue Calisur que aporta el 41% de la producción, seguida de Cultisur que aporta el 28% de la producción total del periodo analizado.

- El impacto medioambiental (IA) consideró la posibilidad de alteraciones al medio ambiente producto de las averías ocurridas. De todas las bombas instaladas, solo tres poseen motores diesel, las cuales pudieran ser fuente de contaminación ambiental en caso de fallas.

- Los costos de reposición de equipos (CE) se obtuvieron de las estadísticas del proceso inversionista. Durante el período 2012-2016 fueron repuestos por inversión 25 equipos de bombeo. De ellos 22 electrobombas y 3 motobombas diesel.

- Por último los costos de reparación (CR) asociados a las fallas fueron extraídos de los balances y órdenes de trabajo. Si se realiza un análisis cuantitativo se puede apreciar que los mismos representan un 4% del valor total de adquisición de las bombas.

El número de niveles otorgado a cada criterio, así como el peso de la puntuación se referenció del artículo de PDVSA, el equipo se auxilió también de los informes y balances de las Empresas durante el periodo analizado.

Con los datos obtenidos y la guía se obtuvo la siguiente tabla de criticidades mostrada en la [Tabla 2](#):

TABLA 2. Resultados del cálculo de criticidad

UEB	FF	NP	CE	CR	IA	Criticidad
Cultizaza	1	6	4	5		15
Cultisur	6	9	6	25	35	450
Sanros	1	4	2	3		9
Guajaca	1	4	1			5
Calisur	4	12	6	25	35	312

Conclusión preliminar

Dos UEB se consideran más críticas para el proceso productivo, la UEB Cultisur y la UEB Calisur. Por ende el diagnóstico técnico y de mantenimiento, así como el análisis de las fallas ocurridas a las bombas de agua se llevó a cabo en esas empresas.

Diagnóstico Técnico

Mediciones eléctricas

- UEB Cultisur.

Los voltajes promedios se comportan por encima del valor nominal recomendado por el fabricante que es $460 \pm 5\%$, o sea máximo 483 VAC y también están fuera de los márgenes establecidos según la norma cubana NC 365:2009.

En estas estaciones de bombeo el voltaje cayó a niveles que están en el límite por debajo del valor recomendado por el fabricante $460 \pm 5\%$, en este caso 437 VAC. Esto sucedió al estar conectadas más de tres bombas en las dos estaciones de bombeo lo que elevó el consumo de los transformadores y produjo la caída de voltaje. En estas estaciones de bombeo no existía desbalance entre las fases.

- UEB Calisur.

En esta estación de bombeo, el nivel de la fase 2 se desfasa con respecto a las otras dos.

Se empleó la [ecuación 2](#) obteniéndose el desbalance siguiente:

$$\text{Porcentaje de desbalance} = [(448 - 437)/448] \times 100\% = 2,46\%$$

Se tomaron los valores mínimos

$$V1 = 406 \text{ V}$$

$$V2 = 384 \text{ V}$$

$$V1 - V2 = 22 \text{ V igual al } 6\% \text{ de } V2$$

Por lo que se puede afirmar que en esta estación de bombeo existe un desbalance de fase mayor que el permitido por las normas vigentes. La causa es que a una de las líneas de alta tensión del sistema trifásico estaba conectada a la red monofásica de un poblado ubicado en el área perimetral de la estación de bombeo.

A partir del análisis de las facturas de la empresa eléctrica donde se apreció que tanto la UEB Calisur como Cultisur incurrieron en pagos por penalizaciones por bajo factor de potencia durante los años 2014 hasta 2016.

Conclusiones preliminares

Generalizando estos resultados se puede concluir que:

1. En la estación de bombeo 1 de Cultisur los voltajes de suministro están por encima de lo recomendado por el fabricante.
2. En la estación de bombeo 2 y 3 de Cultisur los voltajes de suministro caen drásticamente al conectarse más de 3 bombas, hasta niveles por debajo de lo recomendado por el fabricante.
3. En las estaciones de bombeo 1 y 2 de Calisur existe un desbalance de fase mayor que el recomendado por el fabricante y el permitido por la norma cubana.
4. Ambas UEB pagaron importantes penalizaciones a la Empresa Eléctrica por el bajo factor de potencia en sus estaciones de bombeo.

Medición de vibraciones

Del análisis realizado, se extrajeron las siguientes conclusiones preliminares:

- En la Estación 1 de Cultisur las vibraciones mostradas indican niveles un poco fuertes y muy fuertes en las bombas que tienen motor eléctrico horizontal. La causa fundamental, que resalta de

la inspección visual realizada es el estado de los acoples flexibles. En el caso de la bomba que mostró niveles de vibración en la escala VI muy fuertes, el acople flexible estaba totalmente deteriorado.

- En el caso de la tercera bomba de la Estación de bombeo 1 cuya medición mostró un nivel moderado de vibraciones, la causa se debió a que esta bomba se había instalado recientemente en un foso donde existía acumulación de sedimentos sin la limpieza previa establecida. Una vez que la bomba trabajó durante 24 horas, se realizó la medición nuevamente y se comprobó que el nivel de vibraciones disminuyó a la categoría de leve.

- En ninguna de las tres estaciones de bombeo existe malla filtrante a la entrada de las estaciones, lo cual es causa de que las basuras que circulan por los canales de abasto lleguen a las bombas ocasionando obstrucciones, vibraciones y daños mecánicos.

- En la UEB Calisur se percibió la vibración de la bomba en la Estación 1 como un poco fuerte debido a la presencia de sedimentos en el foso donde fue instalada la bomba. En este caso no se pudo seguir operando la bomba hasta conseguir limpiar el foso y volver a medir, por los problemas eléctricos descritos en el epígrafe anterior.

- En la Estación 2 de la UEB Calisur se observaron niveles de vibraciones en la escala VI del vibrómetro digital. La causa que se deriva de la inspección visual para este caso son las malas condiciones constructivas de la propia estación.

- En la Estación de bombeo 3, el vibrómetro registró vibraciones en el orden de moderada a un poco fuerte siendo la causa de este nivel de vibraciones el hecho de que las bombas no estaban ancladas como lo recomendó el fabricante.

Diagnóstico de mantenimiento

Se recorrieron y evaluaron 6 estaciones de bombeo de las dos UEBs.

Al recorrer las estaciones de bombeo de Calisur y Cultisur se pudo observar el estado de deterioro constructivo de las mismas. Es relevante el mal estado de la estación de bombeo 2 de Calisur donde la corrosión y la falta de mantenimiento provocaron la pérdida de la

cubierta de cemento y la exposición al salitre del acero de las estructuras o pilotes.

También en el recorrido por las estaciones de Cultisur se pudo observar el mal estado de los canales de distribución eléctricos, los cuales están al nivel del vial por donde circulan los tractores y carretas y continuamente se llenan de fango, piedras, vegetación, etc. con el consiguiente enterramiento y deterioro de los cables eléctricos.

Otro aspecto importante observado en la UEB Calisur fue que el anclaje de las bombas en las estaciones 2 y 3 no estaba realizado según el diseño del fabricante.

En la UEB Cultisur se pudo observar que las estaciones de bombeo no poseen filtros o mallas de contención de basura en la entrada de las estaciones. Estas mallas se deben colocar en el canal de modo que la basura sea contenida en un sitio antes de que el agua llegue a las bombas. Cuando el canal no tiene rejillas, las basuras llegan hasta las bombas y con el tiempo obstruyen la rejilla de control de las mismas con graves consecuencias para su funcionamiento

Por último durante los recorridos y la inspección visual se pudo observar que algunos de los cajones de descarga de las estaciones de bombeo, tanto de Calisur como de Cultisur están demasiado altos, con un nivel por encima de la tubería de descarga, lo que provoca un sobreconsumo de corriente en las bombas y por ende ineficiencia energética.

Evaluación económica

Para realizar la evaluación económica se tomaron tres resultados fundamentales:

Costo de las reparaciones por las averías imprevistas.

El costo de reparación de las averías ascendió a 105 318.06 pesos en reparar averías que constituyen aproximadamente el 4% del valor total de adquisición de todas las bombas. De ellos 39 800 pesos corresponden a reparaciones de las averías por fallas mecánicas. De los diagnósticos realizados y del análisis de las causas de las fallas se concluyó que no se cumplieron las recomendaciones del fabricante y se violaron las frecuencias del mantenimiento preventivo, lo cual hubiera evitado la ocurrencia de las fallas y por ende el gasto de reparación. El efecto negativo está dado también en el hecho de que las

bombas sufrieron daños mecánicos considerables cuando aún no se ha amortizado su valor de adquisición, lo que conlleva al incremento del costo del activo.

Análisis del factor de potencia.

Del análisis del factor de potencia efectuado se pudo apreciar que tanto las UEB Calisur como Cultisur pagaron penalizaciones por bajo factor de potencia en sus estaciones de bombeo. Esta situación se revierte en el 2017 ya que se realizó la importación de bancos de capacitores de 50 kV a finales del 2016 y se instalaron en las estaciones de bombeo que aún están habilitadas. Por otra parte se solicitó al suministrador que las pizarras de control de las últimas 9 bombas importadas, trajeran incorporado el banco de capacitores para compensar la carga inductiva. El resultado final demuestra que fue factible realizar la compra de los capacitores y las pizarras pues el gasto total fue menor en 46 065.51 pesos equivalente a lo que se pagó por penalización en los últimos tres años y se observó una bonificación de 15 000 CUP inmediatamente de haberse realizado los cambios recomendados.

Evaluación económica del cajón de descarga.

Como se puso de manifiesto durante la inspección visual los cajones de descarga provocan ineficiencia en el bombeo por la altura que deben vencer las bombas para verter el líquido en el reservorio. Durante las mediciones eléctricas, se pudo comprobar que las bombas asociadas a un cajón de descarga entero consumían 20 A más que las bombas cuyo cajón ya estaba modificado. Tomando como valor de pago por kW a la empresa eléctrica el vigente, llegando a la conclusión de que se pueden ahorrar aproximadamente 5 896.00 pesos mensuales si se realizara la modificación al resto de los cajones de descarga de las UEB analizadas.

CONCLUSIONES

- Con la realización de este trabajo se dio cumplimiento al objetivo general del mismo, ya que se identificaron las causas de las fallas presentadas en las electrobombas axiales y se dictaron recomendaciones para lograr su disminución.
- Se pudo determinar que las causas de las fallas mecánicas que ocurrieron en las

electrobombas axiales se deben a la inexistencia de un mantenimiento organizado, eficiente y desarrollado sobre la base de un costo competitivo, lo cual garantizará la funcionalidad de las mismas. En el caso de las fallas eléctricas la causa fundamental fue la mala calidad de la energía de suministro.

- Se pudieron emitir 21 recomendaciones para la disminución o eliminación de las 35 fallas determinadas.
- El análisis económico demostró que si se hubieran ejecutado los mantenimientos preventivos y las recomendaciones del fabricante se hubiera dejado de gastar un aproximado de 105 300.00 pesos en reparar averías que constituyen aproximadamente el 4% del valor total de adquisición de todas las bombas. También en el análisis económico se pone de manifiesto que si se realizaran las modificaciones recomendadas a los cajones de descarga la empresa se ahorraría mensualmente alrededor de 5 896.80 pesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKILOV, O.E.; YOUSAF, W.; LUKJAN, S.X.; VERMA, S.; HASAN, T.: "Optimization of topical photodynamic therapy with 3, 7-bis (di-n-butylamino) phenothiazin-5-ium bromide for cutaneous leishmaniasis", *Lasers in surgery and medicine*, 41(5): 358-365, 2009, ISSN: 0196-8092.
- ARREDONDO FIGUEROA, J.L.; PONCE PALAFOX, J.T.: *Calidad del agua en acuicultura: conceptos y aplicaciones*, 1998.
- ASSAN, N.; KLÉBER, J.: *Mejoramiento de la Producción y Productividad, para la Cría de Camarón en Cautiverio.*, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, B.S. thesis, 2014.
- ATWOOD, H.L.; YOUNG, S.P.; TOMASSO, J.R.; BROWDY, C.L.: "Survival and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity and mixed-salt environments", *Journal of the World Aquaculture Society*, 34(4): 518-523, 2003.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.: *Calidad del agua para la agricultura*, Inst. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1976.
- BARRIGA, H.R.: *Grandes sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua.*, Universidad Politécnica de Madrid/2011, Master's Thesis, 2011.
- BORJA, A.: "Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad", *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, 18(1-4): 41-49, 2011, ISSN: 0074-0195.
- BOYD, C.E.; THUNJAI, T.: "Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States", *Journal of the World Aquaculture Society*, 34(4): 524-532, 2003, ISSN: 0893-8849.
- BOYD, C.E.; THUNJAI, T.; BOONYARATPALIN, M.: "Dissolved salts in water for inland low-salinity shrimp culture", *Global Aquaculture Advocate*, 5(3): 40-45, 2002.
- CAMPOS, J.: *otro; Corrección del factor de potencia y control de demanda*, Inst. Universidad del atlántico-Universidad del Occidente, Colombia, 2010.
- CHEN, D.; FISCH, A.; WESTON, J.; BORDES, A.: "Reading wikipedia to answer open-domain questions", *arXiv preprint arXiv:1704.00051*, 2017.
- GREEN, J.E.F.; OVENDEN, N.C.; SMITH, F.T.: "Models of motion of a single fluid through a branched network with moving walls", *J. Engrg. Math*, 64: 353-365, 2009.
- HORSLEY, J.S.T.: "Los Siete Tipos de Problemas en el Suministro Eléctrico", *American Power Conversion*, 2009.
- MENDOZA, R.H.: "El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional", *Club de Mantenimiento*, 2005.
- OQUEÑA, Q.; CIRO, E.: "Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción", *El hombre y la máquina*, (20-21), 2003, ISSN: 0121-0777.

PENKOVA VASSILEVA, M.: “Mantenimiento y análisis de vibraciones”, *Ciencia y sociedad*, 2007, ISSN: 0378-7680.

PRAT PLANAS, M.: “Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de una impresora digital industrial”, 2014.

STERN, S.; DANIELS, H.; LETELLIER, E.: “Tolerance of post larvae and juvenile *Penaeus vannamei* to low salinity”, En: *Abstracts, World Aquaculture*, vol. 90, p. 73, 1990.

TAMAYO, A.M.: “Camarón blanco en agua dulce: una nueva opción”, *II Simposium Internacional de Acuicultura. Mazatlán, Sinaloa, México*, 206-212, 1998.

TIWARI, R.; BHARDWAJ, A.: “Analysis of Induction Motor with die cast rotor”, *Analysis*, 2(6), 2014.

ZHU, C.; DONG, S.; WANG, F.; HUANG, G.: “Effects of Na/K ratio in seawater on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*”, *Aquaculture*, 234(1-4): 485-496, 2004, ISSN: 0044-8486, E-1873-5622.

ZHU, C.-B.; DONG, S.-L.; WANG, F.: “The interaction of salinity and Na/K ratio in seawater on growth, nutrient retention and food conversion of juvenile *Litopenaeus vannamei*”, *Journal of Shellfish Research*, 25(1): 107-112, 2006, ISSN: 0730-8000.

Francisco Martínez Pérez, Associate Professor, Universidad Tecnológica de La Habana, Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, CUJAE, Marianao, La Habana, Cuba. E-mail: fmartinez@ceim.cujae.edu.cu

Sandra Álvarez García, E-mail: esptecnico@eccam.alinet.cu

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

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/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.