

TLATEMOANI
Revista Académica de Investigación
Editada por Eumed.net
Año 13, no. 41 – Diciembre 2022.
España
ISSN: 1989-9300
revista.tlatemoani@uaslp.mx

TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DEL ÁRBOL DE LA BOMBA CENTRÍFUGA K-45/30A EN LA REFINERÍA DE CIENFUEGOS

RECOVERY TECHNOLOGY OF TREE ON CENTRIFUGAL PUMP K-45 / 30A OF THE REFINERY OF CIENFUEGOS

AUTORES:

Alberto Álvarez Ramírez
aramirez@ucf.edu.cu
Universidad de Cienfuegos, Carlos Rafael Rodríguez.

Raúl Rodríguez Muñoz
rrodriguez1@gmail.com
Universidad Carlos Rafael Rodríguez.

Alejandro Rafael Socorro Castro
arsocorro@hotmail.com
Universidad Metropolitana, Ecuador.

RESUMEN

Numerosas empresas e industrias de producción y traslado de líquidos emplean disímiles tipos de bombas, entre ellas las bombas centrífugas, tipo de bomba hidráulica que sirve para transformar la energía mecánica de un impulsor o rodete en energía cinética. El árbol de una bomba centrífuga es el soporte de todos los elementos que giran sobre él, transmitiendo además el movimiento que le imparte

el motor. El objetivo del trabajo fue resolver los fallos en el árbol de la bomba centrífuga K45/30^a que posee la función de suministrar una salmuera capaz de suprimir el calcio y el magnesio del agua con la que trabajan las calderas en la Refinería de petróleo Camilo Cienfuegos, en la provincia de Cienfuegos, Cuba. La metodología empleada es de amplio conocimiento a partir de las investigaciones desarrolladas anteriormente, sin embargo, existen distintos métodos de recuperación en correspondencia con las averías o roturas de partes y piezas, lo cual origina profundizar en los estudios. Es por ello, que se parte del análisis técnico de las causas y la valoración económica del desgaste de los muñones en el árbol y determinar que sería factible hacer, disminuyendo el costo económico. Para su recuperación se determina el tipo de material y su dureza, y se realizan procesos tecnológicos como el metalizado y el maquinado lo cual se integra a la tecnología, herramientas y medios necesarios del proceso de recuperación. Como resultado de la revisión bibliográfica se logra caracterizar a la bomba P-52-107 con modelo K-45/30^a y estudiar sus principales fallas durante su funcionamiento. El árbol está conformado por un acero SISI SAE 4140. Este es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser nutrido para darle mayor resistencia a la abrasión. Los fallos más comunes presentados en los arboles de las bombas son por causa de desgastes, que puede definirse como una pérdida de material de la interface de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativamente bajo a la acción de una fuerza. De esta manera la causa del fallo del árbol fue por corrosión que provocó la fuga del flujo de salmuera por el sello mecánico, lo cual ha permitido centrar la atención en mejoras de los mantenimientos. Se logra garantizar la calidad y el alargamiento de su vida útil, mediante el recubrimiento con Proxon 21022 en la zona afectada y evitar fugas de líquidos. Es una aleación específicamente desarrollada para la recuperación dimensional que proporciona un recubrimiento resistente a fricción metal a la oxidación, sus manuales de uso señalan que puede ser empleado en superficies afectadas por corrosión en alojamientos de rodamientos, pistones hidráulicos, prensaestopas y husillos de máquinas herramientas entre otras, cumpliendo con las ideas de reutilizar, reducir, reciclar lo

cual impacta positivamente en el medio ambiente. Se realiza un análisis económico sobre la base de la recuperación realizada, teniendo en cuenta todos los parámetros que intervienen en los gastos directos, así como en los indirectos. El costo de fabricación está compuesto de los costos directos o gastos en los que se incurre en el proceso de producción y los costos indirectos o gastos en los que se incurre en la dirección, organización y servicios colaterales al proceso productivo, por lo que fue factible la propuesta de recuperación.

PALABRAS CLAVE: Bomba centrífuga, Metalizado, Recuperación, Recubrimiento, Árbol, Muñón

ABSTRACT

Numerous companies and industries for the production and transfer of liquids use different types of pumps, including centrifugal pumps, a type of hydraulic pump used to transform the mechanical energy of an impeller into kinetic energy. The shaft of a centrifugal pump is the support of all the elements that rotate on it, also transmitting the movement imparted by the motor. The objective of the work was to solve the faults in the shaft of the K45/30a centrifugal pump, which has the function of supplying a brine capable of suppressing calcium and magnesium from the water used in the boilers of the Camilo Cienfuegos Oil Refinery, in the province of Cienfuegos, Cuba. The methodology used is widely known from the research previously developed, however, there are different recovery methods in correspondence with the breakdowns or breakages of parts and pieces, which originates a deepening of the studies. For this reason, we start from the technical analysis of the causes and the economic valuation of the wear of the trunnions in the shaft and determine what could be feasible to do, reducing the economic cost. For its recovery, the type of material and its hardness are determined, and technological processes such as metallizing and machining are carried out, which is integrated to the technology, tools and necessary means of the recovery process. As a result of the bibliographic review, it is possible to characterize the P-52-107 pump with model K-45/30th and to study its main failures during its operation. The shaft is made of SISI SAE 4140 steel, a medium carbon steel alloyed with chromium

and molybdenum of high hardenability and good resistance to fatigue, abrasion and impact. This steel can be nourished to give it greater resistance to abrasion. The most common failures presented in pump shafts are due to wear, which can be defined as a loss of material from the interface of two bodies, when they are adjusted to a relatively low movement under the action of a force. Thus, the cause of the shaft failure was due to corrosion that caused the brine flow to leak through the mechanical seal, which has allowed focusing attention on maintenance improvements. Quality is guaranteed and its useful life is extended by coating the affected area with Proxon 21022 to prevent liquid leakage. It is an alloy specifically developed for dimensional recovery that provides a coating resistant to metal to metal friction and oxidation. Its use manuals indicate that it can be used on surfaces affected by corrosion in bearing housings, hydraulic pistons, stuffing boxes and machine tool spindles, among others, complying with the ideas of reuse, reduce, recycle, which has a positive impact on the environment. An economic analysis is made on the basis of the recovery carried out, taking into account all the parameters involved in direct as well as indirect costs. The manufacturing cost is composed of direct costs or expenses incurred in the production process and indirect costs or expenses incurred in the management, organization and collateral services to the production process, so the recovery proposal was feasible.

KEYWORDS: Centrifugal pump, Metallizing, Reclaiming, Coating, Shaft, Trunnion

INTRODUCCIÓN

En las industrias existen disímiles tipos de bombas tal y como refieren (Cherkasski, 2000) y (Machado, 2019), su utilidad responde al aumento de la presión de un líquido agregando energía al sistema hidráulico y de esta manera desplazar el líquido de un punto de menor presión a otra zona.

La Refinería Camilo Cienfuegos de Cienfuegos S.A, posee la bomba P-52-107, con modelo K-45/30a (figura 1.1) la cual posee la función de suministrar una salmuera en composición formada por (H₂O+NaCl) capaz de suprimir el calcio y el magnesio del agua con la que trabajan las calderas. Como es conocido son

elementos que son de primera necesidad despreciar con el fin de mejorar la calidad del vapor fundamental en el proceso tecnológico. Es por ello que se propicia que estudiantes que laboran en la industria de referencia realicen su tesis en este campo, lo cual sustenta el trabajo acerca de la reparación del árbol de la bomba P-52-107. La función de la Bomba P-52-107 es intervenir en el intercambio de masa durante el proceso de refinación dándole la calidad necesaria al combustible, para despejar fracciones y es fundamental en el sistema contra incendios. Para poder realizar la generación de vapor, se opera con calderas multitubulares con el fin de que los petróleos pesados alcancen la temperatura suficiente para mejorar su fluidez. No se concibe una industria de este tipo sin la presencia del vapor. Por esto es necesario eliminar impurezas alojadas en el agua como las ya mencionadas por lo que este proceso es denominado “Suavizado del agua”.

El árbol de una bomba centrífuga se identifica como el soporte en el que los elementos giran sobre él transfiriendo igualmente el movimiento que le concede el motor. La bomba centrífuga K-45/30a ubicada en la zona de calderas. El árbol de esta bomba presentó una avería en la zona de los cojinetes, por lo que fue necesario determinar las causas de su avería y proponer su recuperación. La metodología aplicada incluye el recubrimiento de la zona afectada con un material de excelentes propiedades adhesivas y de resistencia al desgaste como es el Proxon 21022.

La empresa no cuenta con árboles de repuesto para esta bomba e importarlo supondría un gasto considerable. Por esta razón se propone aplicar la tecnología de recuperación del árbol de la bomba P-52-107 para así alargar su vida útil a partir de sus propiedades mecánicas.

METODOLOGÍA

Para determinar la metodología de recuperación se realizó un amplio estudio y la revisión bibliográfica acerca de la bomba P-52-107, se toma en consideración sus principales características, función, partes y piezas que conforman dicho equipo. También se hace un estudio sobre el árbol de dicha bomba a partir de su método de recuperación. Es por ello que la metodología seleccionada tiene como

sustento estudios anteriores, resultados de investigaciones y su concreción en el empleo de materiales para la recuperación lo cual destaca un diagnóstico tecnológico de las posibles zonas afectadas.

Las bombas centrifugas se emplean en una gran diversidad de industrias por las facilidades que ofrecen para las operaciones y en particular en las industrias químicas y del petróleo. Es por ello que también las ubican en plantas para generar objetos de obra constructiva, la minería y la agricultura. Es importante señalar que también se emplean en el traslado de agua en distintas instancias domésticas. En este sentido, las identificamos en los poblados alejados para asegurar el suministro de agua y disminuir o atenuar dificultades en el abasto de agua por baja presión, incluso se mencionan en el estudio de especialidades de otros campos académicos como la Medicina, por otra parte bombas centrifugas para el trasiego de agua son consideradas en la alimentación de calderas de la industria termoenergética. Se considera entonces que las bombas centrifugas pueden identificarse en variabilidad de tipos atendiendo a sus fines. En tal variedad podemos encontrar las bombas llamadas por algunos expertos como residuales destinadas para el drenaje, las cuales permiten que los sólidos gruesos se muevan a través del sistema ideado junto al agua. En ese orden de diversidad se considera el diseño de bombas llamadas sumergibles, porque trabajan desde dentro y son resistentes al agua a diferencia de las no sumergibles las cuales necesitan protección ante el agua.

Es preciso referir que en la industria existen disímiles tipos de bombas definidos en distintos momentos por los autores (Cherkasski, 2000); (Day, 2016); (Parra y Robles, 2016) y (Qian, Wang, Guo, & Lu, 2016), por ello caracterizamos los tipos de Bombas para asumir sus diferencias y priorizar en el caso de estudio y proponer su recuperación.

En particular, las bombas reciprocantes generan un desplazamiento considerado como positivo, esto debido a su posibilidad de lograr un trasiego definido de líquido durante el movimiento del pistón a través del recorrido en la camisa. Siguiendo a (Cherkasski, 2000) no todo el líquido llega obligatoriamente a la tubería para su descarga ocasionado por las fugas o debido precisamente al

acomodo de los denominados pasos de alivio para disminuirles. Desechando tales casos el volumen del líquido transportado en un desplazamiento del pistón o émbolo dará como resultado que es igual al producto del área del pistón por la longitud de la carrera o desplazamiento total.

Las bombas rotatorias se consideran igualmente con desplazamiento positivo, poseen una carcasa o alojamiento con los pistones, aspas, levas, segmentos, engranes, la tornillería entre otros elementos de la unidad. En lugar de elevar o movilizar el líquido tal y como ocurre en las bombas centrifugas y a diferencia de una bomba de pistón, la bomba rotatoria desplaza un flujo continuo. Aunque generalmente se les considera como bombas para líquidos viscosos, las bombas rotatorias no se limitan a este servicio solo, pueden trasladar casi cualquier líquido que esté libre de sólidos abrasivos; lo cual incluye la presencia de sólidos duros en el líquido si una chaqueta de vapor alrededor de la caja de la bomba los puede mantener en condición fluida.

Insistimos que una característica esencial es que las bombas centrifugas se consideran como una bomba hidráulica dado que permiten transformar la energía mecánica de un impulsor o rodete en energía cinética. Es decir, la bomba centrifuga destaca precisamente porque convierte la energía con la que es accionada, en este caso mecánica, en energía hidráulica. De manera que las bombas centrifugas por esta característica y aplicación en diferentes campos de la industria de la sociedad necesitan ser adaptadas por lo que entonces podemos identificar los diferentes diseños que atiendan una finalidad distinta. Una variedad precisamente podría ser que las llamadas bombas residuales (de drenaje), las cuales admiten que algunos sólidos gruesos se desplazarán junto al agua a través del sistema.

En el caso estudiado que aquí se plantea diferenciamos que las bombas centrifugas se utilizan ampliamente en diversas industrias. Son sus características técnicas y bondades las que han reforzado su utilización en las refinerías de petróleo e industria química. Las mismas con diferentes modelos que hemos señalado son utilizables en las plantas para construcción de elementos de edificaciones, el caso de la agricultura y el caso de minería. En la figura 1 presenta

una vista externa de una bomba recíproca. Y como hemos explicado también se emplean para asegurar el suministro de agua en comunidades y disminuir los problemas o dificultades con la poca presión de traslado del líquido. En el modelo que mostramos de la figura 1 se ajusta también al ya mencionado uso de las bombas centrífugas en el suministro de líquido a las calderas o en el manejo de aguas denominadas residuales.



Figura 1. Bomba P-52-107, con modelo K-45/30 a. Fuente: Metallurgist 's Handbook / Part # 2, 1965.

Partes y piezas de la bomba P-52-107

De acuerdo con la figura 1 la bomba P-52-107 de modelo K45/30a siguiendo su caracterización externa y robustez presenta múltiples piezas que requieren la comprensión del lugar que, por eso en la siguiente figura 2 se puede ver el plano de despiece de la bomba pp.52-107 y en la tabla 1 la numeración de las piezas. Toda información ayudó a comprender su funcionamiento y posibles fallas.

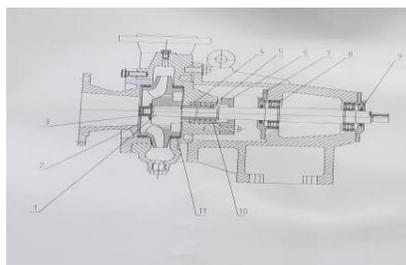


Fig. 2. Plano de despiece de la bomba P-52-107. Fuente: Metallurgist 's Handbook / Part # 2, 1965.

En la tabla 1 aparecen enumeradas las piezas del plano de despiece de la bomba P-52-107. Fuente: Metallurgist 's Handbook / Part # 2, 1965. La numeración de la tabla permite comprender el orden de despiece y la ubicación del árbol.

Tabla1. Piezas del plano de despiece de la bomba P-52-107.

Número	Denominación	Cantidad
1	árbol	1
2	impelente	1
3	Tuerca del impelente	1
4	empaquetadura	1
5	Camisa de empaquetadura	1
6	Prese	1
7	Tapa de rodamiento	2
8	Rodamiento	1
9	Tapa de rodamiento	1
10	Empaquetadura	1
11	Aro de desgaste	1

Entre las posibles fallas y más frecuentes encontramos la corrosión caracterizada en los trabajos (Zamora y Viedma, 2016) respecto a las tuberías, proyectando los efectos negativos, lo cual reduce la vida útil de las partes y piezas. En este sentido, (Kuritz, Camponogara y Marques, 2017) señalan que puede haber también fallas múltiples que ocurren por las características del líquido que moviliza la bomba por eso fue conveniente estudiar cuando estamos en presencia de la corrosión. Es importante señalar que el funcionamiento puede estar caracterizado como turbina o como bomba que es el caso sin embargo la presencia del fenómeno de la corrosión puede ocurrir en los dos casos

Corrosión en los árboles de las bombas de salmuera.

Desgaste por abrasión:

Se considera como la reducción de material de la superficie en contacto por superficies denominadas duras o en superficies de coincidencia, o también en superficies duras las cuales pueden presentar un desplazamiento con respecto a la superficie desgastada. De manera que las denominadas partículas duras, se ubican entre las dos superficies las cuales se desplazan entre sí y se podrían incrustar sobre las superficies generando el efecto señalado. Es conveniente aclarar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o ante la existencia de un fluido o líquido.

Desgaste por ludimiento:

Es una tipología de desgaste el cual se presenta ante el movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, tal y como sucedió con el árbol y el rodamiento de la bomba en cuestión que estamos señalando en el estudio con posible relación determinada por las altas vibraciones.

Fricción:

La fricción es el contacto físico que tienen las piezas una con otra. En este caso, se puede decir que el eje se le forma una cintura, y esto sucede por falta de mantenimiento adecuado, falta de lubricación o el mal uso de los mismos, además, puede que se deba a la colocación de collarines en mal estado sobre los cuales gira dicho eje.

La corrosión resulta de la reacción electroquímica (oxido-reducción) entre dos materiales, o de un material y su ambiente, generando su deterioro. La corrosión es provocada por el flujo masivo de electrones generado por las diferencias entre sustancias químicas. La corriente de electrones se produce cuando existe diferencia en los potenciales. Existen dos partícipes en este intercambio de electrones, por un lado, la sustancia que los emite (o cede) se muestra como un ánodo y se oxida, y la otra que les recibe y se comporta como un cátodo en la cual se comprueba la reducción. Sin lugar a dudas en el proceso del bombeo, la corrosión se identifica como un grave problema; el cual puede derivar

en averías, tiempos muertos, accidentes y, a su vez, pérdidas millonarias tal y como señala (Schweitzer, 2010). En el caso de la salmuera es un fluido altamente corrosivo al entrar en contacto con el aire tiende a cristalizarse es un fenómeno que genera de por sí mismo problemas de funcionamiento si algún componente se encuentra dañado, lo cual se agrava en el caso de los sellos de bombas centrifugas convencionales o en el caso de las empaquetaduras, produciendo pérdidas imprevistas. La corrosión también impacta en el resto de los componentes por lo que se debe velar si poseen componentes de acero inoxidable o resistente a la abrasión que provoca la salmuera en su estado cristalizado.

Sellos mecánicos

Las bombas poseen en su composición sellos mecánicos cuya función es unificar los sistemas o mecanismos, reduciendo al mínimo la fuga de los fluidos a través de las holguras, separaciones o claros entre eje y la carcasa, conteniendo la presión y por lógica evitar el ingreso de materiales contaminantes.

En un sello mecánico se identifica una zona estática y una zona dinámica. La zona dinámica o rotativa es la que gira en conjunto con el eje. Allí se encuentra la pista rotativa. La zona estática es la que queda sujeta a las partes fijas del equipo y en donde se aloja la pista estacionaria. Las pistas de un sello mecánico trabajan entre sí: una gira sobre la otra. Ambas deben ser planas y libres de irregularidades. Los sellos mecánicos tienen tres puntos de sellados: el sello primario (entre las pistas); el sello secundario (los O'rings dinámicos); por último, las juntas u O'rings estáticos (Reshetov, 1985) y (Rodrigues, 2012) y posteriormente confirmado por (Serrano et al., 2018). Desde el anterior planteamiento fue necesario listar las causas más probables de fallas en los sellos mecánicos aun cuando han sido sustituidos durante los mantenimientos.

Las causas más probables de fallas prematuras son:

- ✓ Diseño y selección inadecuado del sello.
- ✓ Instalación incorrecta del sello.
- ✓ Mala operación, falta del mantenimiento requerido o funcionamiento

inadecuado de los sistemas auxiliares del sello, tales como lubricación y fluido.

- ✓ Problemas inherentes al sistema de bombeo, como inestabilidades hidráulicas.
- ✓ Cambio en las condiciones de servicios, respecto a las especificadas en el diseño.

Profundizar en el análisis causal fue el primer paso para asumir un posicionamiento en la recuperación dentro de las hipótesis se destaca la causa sugerida en la mala operación, no por manipulación sino consideraciones respecto a l fluido y los mantenimientos por eso la metodología incluye la observación de las zonas afectadas y si se cumplió con la selección adecuada de la bomba, es decir verificar sus requisitos de funcionamiento respecto al fluido y concentraciones de la salmuera capaz de suprimir el calcio y el magnesio del agua con la que trabajan las calderas en la Refinería de petróleo Camilo Cienfuegos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de los diferentes tipos de bombas consistió en caracterizar su funcionamiento y posibles causas de rotura para de ser necesario encontrar similitudes en las formas de reparación tal y como se describe a continuación:

En la industria existen disímiles tipos de bombas (Skerkassky, 2000.):

- ✓ Bomba centrífuga
- ✓ Bomba rotatoria.
- ✓ Tornillo recíprocante

Las bombas recíprocantes:

De acuerdo con (Skerkassky, 2000) son unidades de desplazamiento positivo descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de carrera. Sin embargo, no todo el líquido llega

necesariamente al tubo de descarga debido a escapes o arreglo de pasos de alivio que puedan evitarlo. Despreciando éstos, el volumen del líquido desplazado en una carrera del pistón o émbolo es igual al producto del área del pistón por la longitud de la carrera.

Las bombas rotatorias:

Generalmente son unidades de desplazamiento positivo, consisten de una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones, levas, segmentos, tornillos, etc., que operan con un claro mínimo. En lugar de "aventar" el líquido como en una bomba centrífuga, una bomba rota y a diferencia de una bomba de pistón, la bomba rotatoria descarga un flujo continuo. Aunque generalmente se les considera como bombas para líquidos viscosos, las bombas rotatorias no se limitan a este servicio sólo. Pueden manejar casi cualquier líquido que esté libre de sólidos abrasivos. Incluso puede existir la presencia de sólidos duros en el líquido si una chaqueta de vapor alrededor de la caja de la bomba los puede mantener en condición fluida (Skerkassky, 2000).

Las bombas centrífugas:

Es un tipo de bomba hidráulica que sirve para transformar la energía mecánica de un impulsor o rodete en energía cinética o de presión de flujo incomprensible. Por lo tanto, la bomba centrífuga convierte la energía con la que es accionadas, en este caso mecánica, en energía hidráulica. Las bombas centrífugas se identifican en diferentes diseños según su finalidad. Una variedad son las bombas llamadas residuales o de drenaje, las cuales permiten que los sólidos gruesos se desplacen por medio del agua a través del sistema. Otro tipo o diseño de las bombas como ha sido estudiado son los sumergibles y que resisten bajo determinadas condiciones el agua, lo cual no ocurre con otras bombas que no son sumergibles debiendo protegerse del agua.

Las bombas centrífugas se muestran como necesarias en distintas industrias lo cual se confirmó en el estudio. En sentido general se pudo resolver que las

bombas centrífugas favorecen los avances productivos en la industria química y en casos como el estudiado en las refinerías de petróleo. Igualmente como se ha reiterado en plantas para la construcción de industria constructiva, la minería y la agricultura. Las bombas centrífugas se diferencian por su función, tipo de fluido y porque poseen diferentes tipos usos:

Bomba centrífuga de turbina helicoidal

Estas fueron pensadas para el bombeo de productos que contengan partículas sólidas, con especial cuidado durante el proceso de trasvase. Especiales para la industria alimenticia y enológica

Bomba de anillo líquido

Han sido diseñadas para el trasiego de fluidos limpios, que no contengan partículas sólidas en suspensión. Pueden trabajar con un gran abanico de productos de distintos sectores de la industria

Bomba de rodete flexible

Están especialmente pensadas para el tratamiento de productos viscosos o de una densidad elevada

Bomba de engranaje

Estas se caracterizan por su robustez y su fiabilidad. De última generación resultan ideales para el manejo de productos viscosos tanto en la industria química como alimenticia

Bombas lobulares

Son bombas de un gran rendimiento industrial, hechas de acero, también están especialmente pensadas para el tratamiento de productos viscosos. Una de las bombas de más calidad.

Bomba de calidad progresiva

Este es un modelo perfecto para dar soluciones a productos y aplicaciones que requieren ser tratados con presiones muy altas.

Bombas peristálticas

Tienen la particularidad de no maltratar los fluidos que trabajan, ya que no hay partes mecánicas que entren en contacto con líquidos en ningún momento. Se utilizan en la industria alimentaria para el tratamiento de jugos, salsa, pulpas o vinos.

Causas más comunes de las fallas de bombas centrífugas

En las bombas centrífugas se presentan varias fallas las cuales pueden llegar a dejarla sin trabajar (Skerkassky, 2000):

- ✓ La bomba no desarrolla ninguna presión y no genera flujo.
- ✓ La bomba genera alguna presión, pero no bombea el líquido.
- ✓ La bomba desarrolla menos flujo del esperado.
- ✓ La bomba consume mucha potencia.
- ✓ La bomba vibra.
- ✓ Los rodamientos poseen poca duración.

Análisis y determinación de las causas que originan la fuga en sellos

La determinación de las causas que originan la fuga en los sellos se realizó teniendo en cuenta los preceptos del funcionamiento. Se realizaron estudios teóricos (Romero, Pérez y López. 2018) acerca del funcionamiento de las Bombas operando como turbinas; (Rojas, Vergel y Orjuela, 2021) en la aplicación de modelos de turbulencia generalmente utilizado para el estudio de las bombas centrífugas; (Lima, Silva, y Stopa. 2015) en cuanto a los análisis y accionamientos para identificar los funcionamientos; (Fernández, 2015) en lo referente a la forma de mover el flujo de líquido como penetra y circula en la bomba, así también

analizando algunos casos de marcas en los que se especifica características del funcionamiento (GoulpsPumps,2020). Las búsquedas adecuadas se centran en ordenar la información sobre los fallos de todas formas posibles dentro del campo científico y visualizando también que la disponibilidad de información se puede identificar en resultados de otras investigaciones y estudios. De manera que con el apoyo de los técnicos que participan en los procesos de operación de los equipos y en particular se pudo registrar información, otros grupo de técnicos son los de mantenimiento de vital importancia porque supone que sus actividades están vinculadas a la sustentabilidad y vida útil de las bombas, de esta manera se pudo desarrollar lo que llamamos el árbol lógico de eventos con los posibles fallos. De tal manera que las fuentes de información se asumen de los resultados de los análisis de fallos del sistema de bombeo, el historial de paradas y arrancadas de las bombas, comportamiento histórico de los parámetros operacionales y los datos técnicos de los equipos.

Un punto importante de información son las inspecciones técnicas a los sistemas en estudio para evaluar su funcionalidad. Se registraron por escrito los testimonios de la brigada de mantenimiento y operadores de experiencia en la Planta y del sistema en particular se conformó un perfil de información. De acuerdo con (Kuritza, Camponogara, Marques et al., 2017) el mantenimiento debe ser seguido muy de cerca para solucionar a tiempo los cambios de sellos y otras partes de la a Bomba pero pueden ocurrir fallas por imprevistos. Por otra parte (Rodrigo et al., 2018) destacan los efectos que generan los sedimentos lo que podría estar vinculado a lo ocurrido en la Bomba, esto si tenemos en cuenta los efectos de suministrar una salmuera en composición formada por (H₂O+NaCl) capaz de suprimir el calcio y el magnesio del agua con la que trabajan las calderas.

De esta manera la observación y diagnóstico reafirma que la fuga por el sello mecánico se pudo considerar como el principal problema que afectó a las bombas en este caso objeto de la investigación. Investigaciones similares a esta, fueron efectuadas para determinar el costo de mantenimiento, destacando los relacionados con el nivel de sistema de bombeo, así mismo también en lo

relacionado con el nivel de la bomba. La información permitió identificar no solo las principales formas en que ocurren los fallos que están afectando la disponibilidad de las bombas, sino también cuáles son los modelos de bombas donde existe la mayor recurrencia de roturas y desgastes.

En el árbol se desarrolló la corrosión de acuerdo con (Schweitzer, 2006). Es decir, la corrosión ordinaria o simple, es un proceso que se denomina por el autor anterior como redox en particular por el cual los metales se oxidan por medio del oxígeno O₂, en presencia de humedad. La imagen siguiente muestra la zona de la corrosión del árbol de la bomba P-52-107 que falló.



La figura 3. Corrosión existente en el árbol de la bomba (fuente elaboración propia)

Como es conocido el oxígeno en estado gaseoso puede ser un agente oxidante que en la mayoría de los metales se identifican como agentes potenciales de reducción menores que este, por lo tanto, son fácilmente oxidables idea que parte de los trabajos de (Schweitzer, 2010). Obsérvese la supresión en la zona donde ocurre la fuga, puntualizando esto se realizó un estudio de las distintas formas de recuperación. Dado el coste y beneficio se consideró el metalizado para el logro de la recuperación de la zona afectada.

Método de metalizado.

Metalizar: Cubrir con una capa de metal una superficie determinada para protegerla del medio ambiente o para aumentar el diámetro de una pieza para su

recuperación. Mecánica.

Metalizado: Acción de metalizar.

El metalizado por proyección se caracteriza por no alterar la estructura metalográfica de la pieza en este caso por tratarse de un proceso metalúrgicamente frío que no altera la estructura cristalina de la pieza. El área a recubrir es perfectamente posible de delimitar evitando la metalización de zonas no deseadas que generen después otro daño a la pieza. De manera que en la micro porosidad obtenida se promueve la formación de una película lubricante más estable siempre que sea pequeña. El metalizado es un proceso que tiene varios modos de aplicación dependiendo del material a recuperar, el diámetro de la pieza y teniendo en cuenta de cuál de estos sería más factible para el trabajo a realizar. Pero existen distintas formas de metalizado que complejizan el método aun cuando se cumple con el método de recuperación los cuales trataremos en el presente apartado; el de metalización por proyección a alambre. Este tipo de metalizado es cuando se funde el material suministrado en forma de alambre en una torcha de oxígeno – acetileno, formando pequeñas partículas que son proyectadas a gran velocidad por una corriente de aire comprimido.

Las aplicaciones más frecuentes son:

- Recubrimientos anticorrosivos (zinc, aluminio, aceros inoxidable)
- Reparación de ejes (aceros) y bancadas (babbit)
- Aplicaciones anti-fricción (bronces, molibdeno)
- Conductividad eléctrica (cobre).

Por su parte el otro método metalización por arco eléctrico, es el proceso utiliza la diferencia de potencial existente entre dos alambres del material de aporte con avance simultáneo y a velocidad controlada para fundirlo.

Una corriente de aire comprimido a muy alta velocidad genera las partículas que serán proyectadas a la superficie.

Las aplicaciones más frecuentes son:

- Aumento de dureza superficial (aceros inoxidables)
- Recubrimiento de costuras (metales anticorrosivos)
- Aumento de conductividad eléctrica.

El tercer método se denomina metalización por proyección a polvo. Consiste en la fusión de partículas suministradas en forma de polvo que ingresan al interior de una antorcha de oxígeno – acetileno y son proyectadas por propio efecto de la dinámica de la combustión. Este proceso tiene como aplicación fundamental el endurecimiento superficial de zonas que sufren fricción y abrasión. Muchas aplicaciones admiten una fusión posterior para aumentar la densidad del recubrimiento.

Método de Recuperación seleccionado debe evitar las complicaciones anteriores y ser más económico, se apoya en pasos similares pero con un aporte material distinto. Explicamos entonces en que consiste el método de recuperación.

El método de recuperación consta de tres fases

- ✓ Preparación del metal base
- ✓ Revestimiento
- ✓ Maquinado final
- ✓ Selección del material de aporte para el recubrimiento y maquinado

En el momento de escoger el material para la deposición, en función de la recuperación del árbol de la bomba, se debe tener en cuenta que posea una dureza similar. Si no se le va a dar un tratamiento térmico posterior. Por esto se escoge un material con excelentes propiedades adhesivas y de resistencia al desgaste, ya que el espacio a rellenar es de poco espesor. Al visualizar la tabla 2 podemos identificar las propiedades del Proxon 21022 que es el material seleccionado y por otra parte la Tabla 3 muestra cuales son las características del recubrimiento Proxon21022.

Tabla 2. Propiedades y aplicación del Proxon 21022. Fuente: (Manual Castodyn Ds 8000).

Designación	Aleación	Aplicación	Propiedades
Proxon 21022 (version mejorada).	Ni-Al-Mo	Aleación de recargue de protección y reconstrucción que resiste al desgaste por abrasión y ludimiento a la fricción metal-metal. Pistones hidráulicos, ejes, etc.	190-220 HV10- Recomendada preferiblemente para sustratos de contenido medio de carbono.

Tabla 3. Características del recubrimiento Proxon 21022. Fuente: (Manual Castodyn Ds 8000).

Aporte térmico	Bajo
Maximo espesor	2(5)
Área de aportación	Media- alta
Microporocidad	5 al 15%
Adherencia	Buena , microdifusión
Tasa de deposición	Media-alta
Rendimiento	Medio-alto
Inversión de equipos	Bajo

Por lo que se ha podido definir de sus características técnicas no tiene límite de espesor lo cual es muy favorable para el caso, presenta una buena resistencia a la corrosión, fricción y abrasión. Otra característica a destacar es su excelente maquinabilidad es que los depósitos pueden contener pocos óxidos duros los cuales puedan dañar las superficies de contacto. El Proxon 21022 es un polvo maquinable de un solo paso que produce consistentemente recubrimientos de alta calidad con un mínimo de dependencia técnica del operador, se puede aplicar mediante los systems 2000 y 3000 o con Sistemas Roto Tec y plasma convencional no transferido sistemas de arco, no se requiere una capa de unión por separado, como su base fundamental es el níquel se puede mecanizar con un mínimo de desgaste de la herramienta. Es una aleación específicamente desarrollada para la recuperación dimensional que proporciona un recubrimiento resistente a fricción

metal metal a la oxidación, sus manuales de uso señalan que puede ser empleado en superficies afectadas por corrosión en alojamientos de rodamientos, pistones hidráulicos, prensaestopas, husillos de máquinas herramientas etc, cumpliendo con las ideas de reutilizar, reducir, reciclar lo cual impacta positivamente en el medio ambiente. En este caso se sugirió mecanizados utilizando herramientas de carburo con forma D, k68 y velocidades de giro bajas en el rango de 50 a 80 pies de superficie por minuto. Se puede desbastar a 0,004 pulgadas por revolución de alimentación cruzada con alimentación de 0,010 a 0,0030 pulgadas El acabado se puede realizar a menos de 0,004 pulgadas por revolución de alimentación cruzada con alimentación de menos 0,005 pulgadas.

Análisis económico

Por último, se realiza un análisis económico sobre la base de la recuperación realizada, teniendo en cuenta todos los parámetros que intervienen en los gastos directos, así como en los indirectos. Se denomina costo de fabricación a la combinación de los costos directos o gastos relacionados con el proceso de producción y por otro con los costos indirectos o gastos en los que se incurre tanto en la dirección, organización como en los servicios colaterales al proceso productivo.

- **Materiales:** relaciona todos los materiales a consumir en el proceso productivo exceptuando los combustibles.
- **Salario:** Es la suma de todos los salarios de los operarios y técnicos que laboran en el proceso al cual se le adiciona las vacaciones (Salario x 0,090905) y la seguridad social (Salario x 0,14).
- **Energía:** Gastos en energía ya sea eléctrica o de otro tipo. En los cálculos realizados los gastos en energía se calcularon multiplicando la mitad de la potencia de cada máquina en kW por el tiempo en horas en que se utilizó la misma y este producto a su vez por la tarifa eléctrica correspondiente.
- Los gastos indirectos se estimaron como el 30% de los gastos directos.

Además, se presenta un análisis en porciento de la factibilidad de la

recuperación.

Total, de gastos

Gastos Directos = Gastos en Materiales + Gastos en Salarios + Gastos de Energía

Gastos directos= 31.14 + 24.6+ 1.8

Gastos directos=57.54\$

Total, de gastos indirectos

Los gastos indirectos son aquellos en el que incurre la empresa producto de las gestiones de dirección, administración, servicios generales, transporte de personal, iluminación, etc. Los cuales hay que sumárselos a los gastos de producción. Estos se estiman como regla en un 30 %de los gastos directos.

Gastos Indirectos = 0,3 x G.D

Gastos Indirectos= 0.3 x57.54\$

Gastos Indirectos =17.26\$

Costo de fabricación total

El costo de fabricación es definitivamente la suma de los gastos directos más los indirectos, o sea:

Costo de Fabricación Total = G.D + G.I

Costo de Fabricación Total=57.54\$ + 17.26\$

Costo de Fabricación Total=74.8\$

Comprobación entre el costo de fabricación y el costo de importación.

Costo de Fabricación Total = 74.8\$

Costo de Importación = 350usd

Teniendo en cuenta que la recuperación representa en 21.3% de la del costo de importación total es evidente la factibilidad de la misma.

Por tanto, costo de la recuperación del árbol de la bomba P-52-107 es de 74.8\$. Por otra parte, la importación de dicha pieza desde otro país va a tener un costo más elevado que si fuera hecha en Cuba. Se comprobó que recuperando el árbol se ahorra alrededor de un 21.3% del costo de importación cumpliendo con las necesidades de ahorro para el país.

Por tanto, las características del proceso se pueden numerar de la siguiente manera:

Se determina que la causa de fallo del árbol de la bomba P-52-107 fue por corrosión debido a la fuga del flujo de salmuera por el sello mecánico.

Se propone una tecnología de recuperación para el árbol de la bomba P-52-107 por medio de un metalizado.

El proceso de recuperación llevado a cabo demostró la factibilidad de su aplicación porque logró ahorrar 350usd a la empresa y al país que representa un valor considerable.

CONCLUSIONES

Como resultado de la revisión bibliográfica se logra caracterizar a la bomba P-52-107 con modelo K-45/30^a y estudiar sus principales fallas durante su funcionamiento. En este sentido, se confirman los planteamientos de (Zamora & Viedma, 2016) respecto a la utilización de este tipo de bombas a expensas del aumento en los requisitos de potencia o de mantenimiento, así como también (De Souza et al. 2021) en particular en cuanto a los fenómenos de corrosión que ocurren en las bombas centrífugas. De esta manera la causa del fallo del árbol fue por corrosión que provocó la fuga del flujo de salmuera por el sello mecánico, lo cual ha permitido centrar la atención y mejoras en los mantenimientos.

Se logró un proceso de recuperación con factibilidad en el ahorro por concepto de aplicación del metalizado en el árbol de la bomba P-52-107 en alrededor del 21,3% del costo de importación.

REFERENCIAS

- Day, I. J. (2016). Stall, surge, and 75 years of research. *Journal of Turbomachinery*, 138(1), 011001.
- De Souza, L. H. M., Bezerra, D. J., Peres, S., Rocha, N. M. S., Caetano, G. L., & Oliveira, T. de A. (2021). Análise de corrosão por cavitação em bombas centrífugas numa torre de resfriamento / Cavitation corrosion analysis in centrifugal pumps in a cooling tower. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 60556–60577. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-437>
- Fernández Díez, P. (2015). Bombas centrífugas: Curvas características. *Bombas Centrífugas y Volumétricas*, 1–123. https://kupdf.net/download/bombas-centrifugas-2-deg-ed-enrique-carnicer-royo-amp-concepcion-mainar-hasta_58b9d38fe12e89f553add374_pdf
- Machado, G. (2019). Selección y aplicaciones industriales de bombas. *Mecánica de Fluidos. Ingeniería en Movimiento de Fluidos*.
- Qian, Z., Wang, F., Guo, Z., Lu, J. Performance evaluation on an axial-flow pump with adjustable guide vanes in turbine mode. *Renewable Energy* 99 (2016) 1146-1152. https://www.researchgate.net/publication/311210607_Performance_evaluation_of_an_axial-flow_pump_with_adjustable_guide_vanes_in_turbine_mode
- Reshetov, D. (1985). *Elementos de máquinas*: Editorial Pueblo y Educación. p.637.
- Rodrigues, Alexandre José. Estudo de causas de falhas em selos mecânicos de bombas centrífugas para circulação de óleo térmico. 2012. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. <http://hdl.handle.net/11449/120812>
- Rodrigo O. P. Serrano, Ana L. P. de Castro, Edwin A. M. Rico, Maria A. Pinto, Edna M. de F. Viana y Carlos B. Martinez (2018). Abrasive effects of sediments on impellers of pumps used for catching raw water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n9p591-596>
- Rojas Suarez, J. P., Vergel Ortega, M., y Orjuela Abril, S. (2021). Investigaciones con CFD aplicadas a bombas centrífugas. *Revista Boletín Redipe*, 10(9), 515–525.

<https://doi.org/10.36260/rbr.v10i9.1458>

Romero Marrero, L., Pérez-Sánchez, M., y López Jiménez, P. A. (2018). Estimación de las curvas características de operación de sistemas de impulsión operando como turbinas a partir de su curva motriz trabajando como bomba. *Ingeniería Del Agua*, 22(1), 15.

<https://doi.org/10.4995/ia.2018.7938>

Schweitzer, P.A. (2010). *Fundamentals of Corrosion - Mechanisms, Causes and Preventive Methods*. Taylor & Francis Group, LLC: USA.

[https://www.academia.edu/14723665/Fundamentals_of CORROSION Mechanisms Causes and Preventative Methods](https://www.academia.edu/14723665/Fundamentals_of_CORROSION_Mechanisms_Causes_and_Preventative_Methods)

Schweitzer, P.A. (2006). *Paints and Coatings - Applications and Corrosion Resistance*. Taylor y Francis Group, LLC: USA.

<https://www.routledge.com/Paint-and-Coatings-Applications-and-Corrosion-Resistance/Schweitzer-PE/p/book/9781574447026>

Cherkasski, V.M. (2000). *Bombas, Ventiladores, Compresores*. <https://es.scribd.com/document/516787670/Bombas-Ventiladores-Compresores>

<https://es.scribd.com/document/516787670/Bombas-Ventiladores-Compresores>

Kuritz J, Camponogara G, Marques M et al. (2017). Dimensionless [curves](#) of centrifugal pumps for water supply systems: development and case study. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170018>

<https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170018>

Lima, C., Silva, V., y Stopa, M. (2015). Detecção de Cavitação em Bombas Centrífugas Operando com Controle de Velocidade em Malha Fechada. XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 1–6.

<https://www.mendeley.com/catalogue/caf851ca-49e3-3e5f-bc37-8d3d6b6ad58b/>

Zamora Parra, B y Viedma Robles, A. (2016). Máquinas hidráulicas teoría y problemas. Escuela técnica superior de ingeniería industrial. Universidad Politécnica de Cartagena.

<https://repositorio.upct.es/handle/10317/5476>

GouldsPumps. (2020). Guía para la selección de bombas centrífugas. Como Especialista En Materiales Resistentes a La Corrosión y Al Desgaste, Rheinütte Pumpen Es Líder En Conocimientos Específicos En Muchas Áreas. , 3, 1–40.

https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Pump%20Selection%20Guide/PumpSelectionGuide_LA_ES.pdf?ext=.pdf