

## Estudio y propuestas de solución para fallos recurrentes en bombas centrífugas horizontales

Jesús Cabrera - Gómez, Franklin Guanipa - Atacho

Recibido el 26 de mayo de 2010; aceptado el 6 de julio de 2010

### Resumen

La necesidad de ejecutar la investigación está dada por los fallos recurrentes que están presentando las bombas centrífugas horizontales que interrumpen el proceso de la planta de alquilación y al impacto económico asociado a los fallos que han tenido un elevado costo por acciones de mantenimiento preventivas y reactivas, en adición a los costos asociados por pérdida de oportunidad. Se llevó a cabo un estudio para establecer las causas que originan los reiterados fallos ocurridos en el sistema de bombeo. Como resultado del trabajo realizado, se identificaron oportunidades de mejora de la disponibilidad de los activos estudiados por la vía del incremento de la vida útil de los sellos mecánicos y finalmente se propuso un programa de acciones correctivas al que debe darse seguimiento y que debe tributar a la solución permanente de los problemas identificados.

**Palabras claves:** mantenimiento de equipos rotatorios, fallos recurrentes, confiabilidad operacional, análisis de causa raíz, bombas centrífugas horizontales

### Study and proposal of solutions to recurrent failures in horizontal centrifugal pumps.

#### Abstract

The necessity of making the research outlined in this paper is given by recurrent failures in a set of horizontal centrifugal pumps. These failures interrupt the operating process in an alkylation plant and generate a great negative economic impact because of incrementing maintenance costs and opportunity losses. A study was carried out in order to establish the main causes of repeated failures in the pumping system. As a result, several improvement opportunities of availability of pumps were identified by increasing the useful life of their mechanical seals. Finally, a corrective action program was proposed in order to provide permanent solutions to identified problems.

**Key words:** maintenance of rotating equipment, recurrent failures, operational reliability, root cause analysis, horizontal centrifugal pumps.

## 1. Introducción.

Una unidad de alquilación tiene como propósito fundamental producir componentes del alto octanaje para la mezcla de gasolina, además de producir butano y propano como productos laterales [11]. La planta de alquilación objeto de estudio aporta alrededor de 1.220.000 USD diarios solamente por la producción de alquilato y el paro de cualquiera de sus sistemas afecta a la producción de forma parcial y total en la mayoría de los casos. Además, un fallo de estos equipos representa una condición de alto riesgo para los trabajadores, los activos de la planta y para el medio ambiente, debido a que el fluido de trabajo en la mayoría de las bombas es ácido fluorhídrico (HF), que es un ácido altamente corrosivo [6].

Para el periodo en estudio (enero de 2005 a julio de 2009), se generaron elevados costos, asociados a los fallos repetitivos ocurridos en los sistemas de bombeo. Durante este lapso se presentaron y registraron 57 de estos eventos. El incremento evidente en la frecuencia de fallos en 2 de las bombas, se tradujo en la ocurrencia de paros simultáneos en los trenes de bombeo. Estos sistemas constan de 18 bombas centrífugas horizontales que están instaladas en paralelo, contando con una sola bomba de respaldo [7].

El fluido manejado por las bombas es también sumamente tóxico y por tal razón las bombas poseen cuatro pares de sellos: dos pares interno (Plan API-32) y dos pares interno-externo (Plan API-53). La Figura 1 muestra una representación esquemática de las bombas estudiadas [5].

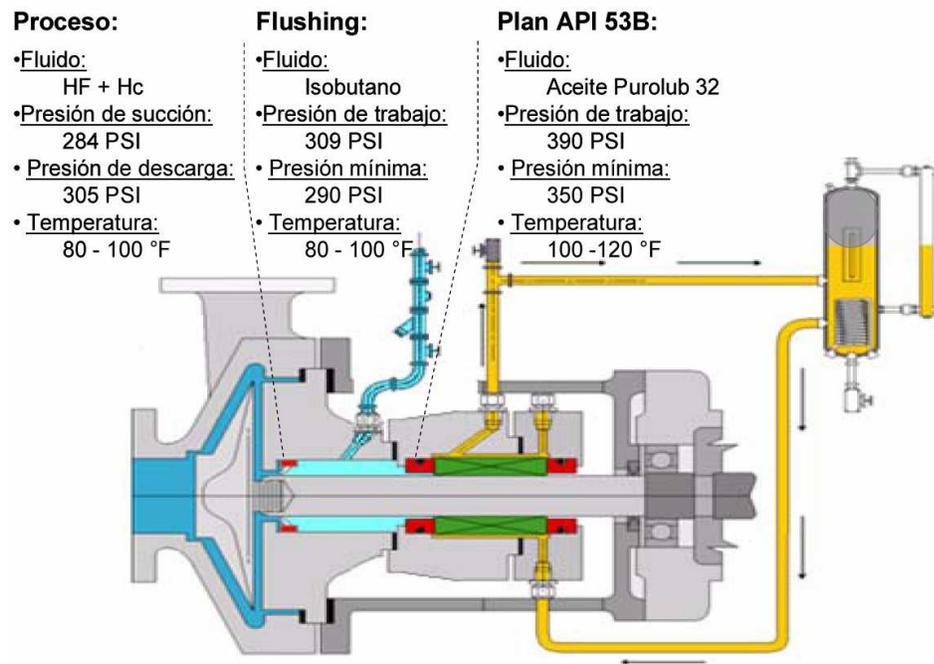


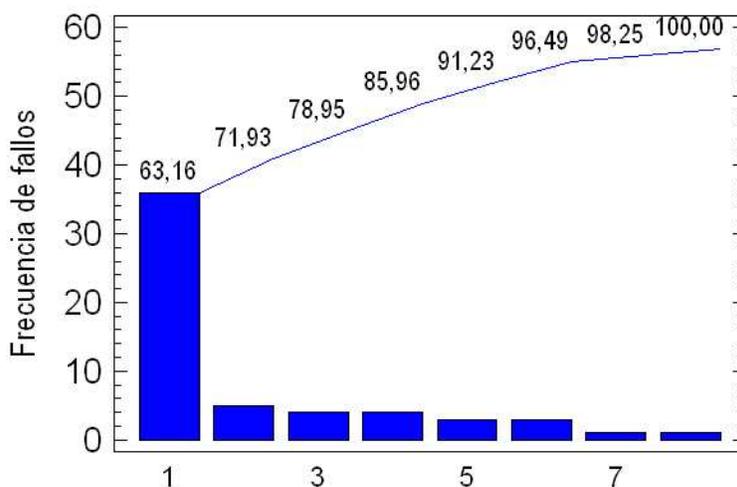
Figura 1. Esquema de las bombas estudiadas y disposición de los sellos.

## 2. Caracterización de la situación relativa a los fallos en las bombas

Los fallos presentados durante el período que abarcó el estudio así como las causas registradas, son los que se resumen en la Tabla 1. La Figura 2 muestra el Diagrama de Pareto elaborado con la información disponible sobre los fallos [3].

**Tabla No. 1.** Fallos en las bombas estudiadas.

No.	Causa registrada	Frecuencia	%	% acumulado
1	Fuga de producto por sello mecánico	36	63,16	63,16
2	Daños en elementos que conforman la junta entre casco y cabezote	5	8,77	71,93
3	Formación de fluoruro en partes internas de la bombas	4	7,02	78,95
4	Desbalance	4	7,01	85,96
5	Partes desprendidas dentro de la bomba (impulsor y aro)	3	5,27	91,23
6	Desalineación	3	5,26	96,49
7	Rodamientos dañados	1	1,76	98,25
8	Holgura excesiva	1	1,75	100
Total de fallos		57		



**Figura 2.** Diagrama de Pareto obtenido con los fallos registrados.

Del análisis realizado se observa claramente que la fuga de producto por sello mecánico es, por amplio margen, el principal problema que afecta a las bombas estudiadas. Estudios similares al que se acaba de mostrar se realizaron para los costos de mantenimiento, tanto a nivel de sistema de bombeo como a nivel de bomba, lo que permitió identificar, no sólo los principales modos de fallo que están afectando la disponibilidad de las bombas, sino también cuales son las bombas donde existe la mayor recurrencia de problemas.

### **Análisis de las causas que originan la fuga en sellos**

La investigación de las causas que originan la fuga en los sellos se condujo atendiendo a los preceptos de la herramienta “Análisis de la causa raíz” [2]. Se realizaron las indagaciones pertinentes para recopilar la

información sobre los fallos en todos los soportes disponibles y con el apoyo de varias personas con participación activa en los procesos de operación y mantenimiento, pudiéndose desarrollar un árbol lógico de eventos de fallo [8]. Fuentes de información importante fueron 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 [7]. Se realizaron inspecciones técnicas a los sistemas en estudio para evaluar su funcionalidad. Se tomaron en cuenta los testimonios de mantenedores y operadores de experiencia en la Planta y en este sistema en particular.

Para la elaboración del árbol lógico, se establecieron diferentes niveles de hipótesis, siendo cada una de ellas investigada con un nivel de detalle suficiente para permitir su aceptación o descarte, según el caso [4]. Los niveles de hipótesis establecidos se resumen en la Tabla 2, en tanto la construcción del árbol lógico se presenta de manera simplificada en la Figura 3.

**Tabla 2.** Niveles de hipótesis a considerar para la construcción del árbol lógico.

Nivel	Criterio	Hipótesis valoradas
I	Potenciales puntos de fuga de un sello mecánico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuga por sellantes secundarios.</li> <li>2. Fuga entre las caras de sellado primario.</li> <li>3. Fuga por sellantes terciarios.</li> <li>4. Fuga debido a daño en los herrajes.</li> </ol>
II	La fuga entre las caras de estos sellos se produciría si ocurriera...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La simple apertura de las caras.</li> <li>2. La distorsión de alguna de las caras.</li> <li>3. La fractura de alguna de las caras.</li> <li>4. Un ataque químico al material de las caras.</li> <li>5. La vaporización del aceite de barrera.</li> <li>6. El desgaste prematuro del anillo primario.</li> <li>7. Un diseño inadecuado del sello mecánico.</li> </ol>
III-a	En la apertura se puede observar...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presencia de partículas extrañas en Plan API 53B.</li> <li>2. Desplazamiento axial del eje por cargas axiales.</li> <li>3. Mal montaje del sello en el equipo.</li> <li>4. Atascamiento del sello.</li> <li>5. Desgaste de las caras de sellado primario.</li> </ol>
III-b	El desgaste prematuro está asociado a...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrasión de las caras del sello.</li> <li>2. Mal montaje del sello en el equipo.</li> </ol>
IV	La presencia de partículas extrañas se vincula a...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reservorio de aceite contaminado.</li> <li>2. Contaminantes provenientes del mismo aceite.</li> <li>3. Sólidos producto de la corrosión de las tuberías.</li> <li>4. Contaminación de la barrera con isobutano.</li> <li>5. Contaminación de la barrera con HF.</li> </ol>

Para la mejor comprensión del árbol lógico presentado en la Figura 3 se ha empleado la siguiente simbología:

- Sombreadas en verde, las hipótesis validadas.
- Sombreadas en rojo, las hipótesis rechazadas.
- Sombreadas en amarillo, las hipótesis que no han podido ser validadas ni rechazadas y que deben seguir siendo investigadas.

Como puede apreciarse del análisis realizado, la presencia de partículas extrañas aparece por diferentes "vías" como raíz física de los problemas en los sellos. Se pudo comprobar que la presencia de estas partículas está asociada a errores humanos en la manipulación del aceite de barrera durante el proceso de llenado del reservorio y a problemas organizacionales que hacen posible el escenario en el que tienen lugar tales errores humanos.

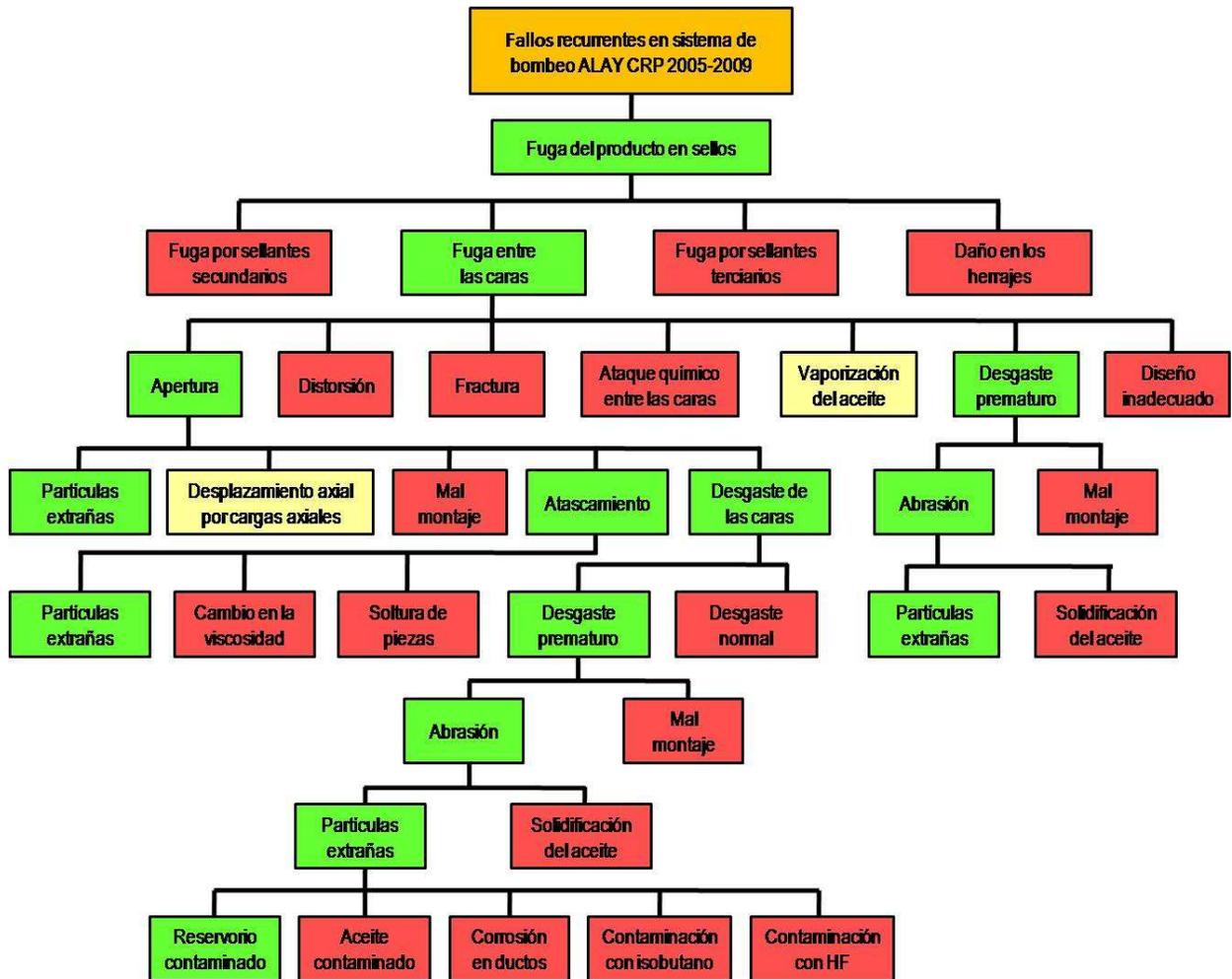


Figura 3. Árbol lógico elaborado para identificar causas de fuga en sellos.

### Identificación de oportunidades de mejora de la disponibilidad

Sobre la base de la investigación realizada y la nueva información disponible, se identificaron las siguientes oportunidades de mejora de la disponibilidad para el sistema de bombeo de la planta de alquiler, por la vía del incremento de la vida útil de los sellos mecánicos:

- Suministro controlado y seguro del aceite al reservorio, lo que conllevaría un proyecto de modificación al que habrá que hacerle un análisis de la relación costo/beneficio.
- Desarrollar un procedimiento para asegurar la forma adecuada de agregar el aceite al reservorio.
- Instruir convenientemente al personal que ejecuta la tarea para evitar la contaminación del aceite durante su manipulación.
- Reevaluar las aplicaciones de los planes API presentes en las bombas centrífugas horizontales con el fin de realizar las modificaciones necesarias para el funcionamiento adecuado de los sellos mecánicos y el alargamiento de su vida útil.
- Adecuación tecnológica de los sistemas de sellado de las bombas centrífugas horizontales, lo cual permitirá aumentar la disponibilidad de las bombas que manejan productos contaminantes y tóxicos, e incrementar los niveles de seguridad del personal y las instalaciones [9], [10].

### **3. Propuesta de acciones correctivas**

A partir de la identificación y el análisis de causas efectuado, resulta conveniente proponer las siguientes acciones:

#### **I. Para la presencia de partículas extrañas en el reservorio:**

- Generar procedimientos para la limpieza y el llenado del reservorio, los cuales deben incluir los intervalos para cada labor y avisos operacionales, tomando en consideración además que los mismos puedan ser homologados hacia sistemas similares.
- Proporcionar entrenamiento sobre los procedimientos de limpieza y llenado del reservorio al personal involucrado, haciendo énfasis en las consecuencias de no ejecutar estas actividades correctamente. Este entrenamiento y/o capacitación debe ser considerado como un plan formal, en donde el avance en las destrezas sea adecuadamente controlado y conduzca a mejores responsabilidades y oportunidades de desarrollo personal [1].
- Garantizar la ejecución de los procedimientos generando un plan de aseguramiento de la calidad que así lo certifique.
- Realizar adecuación del diseño de la tapa del reservorio para el suministro de aceite, eliminando la necesidad de destaparlo durante su llenado, con el propósito de minimizar el riesgo de entrada de partículas extrañas al mismo.
- Realizar una limpieza inicial al reservorio para asegurar las buenas condiciones del sistema desde el comienzo de la ejecución de las recomendaciones.

#### **II. Para la operación del Plan API 53B:**

- Determinar detalladamente el estado actual de la instrumentación de las bombas y sus sistemas auxiliares. Basado en los resultados, realizar las sustituciones o acondicionamientos requeridos e incluir en los recorridos de planta rutinarios la inspección del estado y funcionamiento de esta instrumentación. Esto garantiza el monitoreo de las condiciones y variables del proceso, permitiendo a su vez la validación o descarte de la hipótesis sobre vaporización del aceite.
- Divulgar a todo el personal de planta, las condiciones, tanto óptimas como límites, de funcionamiento de las bombas y el sistema auxiliar de sellado, a fin de delegarles la toma de decisiones oportunas que garanticen el buen funcionamiento del mismo. Establecer vías de comunicación que aseguren el trabajo en equipo entre el personal de operaciones, mantenimiento y asesores.
- Ejecutar una limpieza inicial de las tuberías al Plan API 53B, incluyendo el reservorio de este último. Esta limpieza debe repetirse cada vez que ocurra un fallo en la presión de cualquiera de los sistemas o que se sospeche de la contaminación del aceite de barrera.

#### **III. En función de validar o rechazar las hipótesis pendientes (ver Figura 3):**

- “Desplazamiento del eje de la bomba debido a cargas axiales”. Asegurarse que los trabajos en el taller de bombas cumplen con las indicaciones y las especificaciones del fabricante. Se deben verificar las medidas y estado de las partes después de un fallo. Estudiar con detenimiento el problema de la operación de los equipos en régimen de bajo flujo.
- “Vaporización del aceite de barrera”. Con la ejecución de las recomendaciones referidas a la instrumentación y monitoreo continuo, se obtienen las lecturas confiables de las variables que validarán o descartarán esta hipótesis.

#### 4. Conclusiones.

Como aspectos conclusivos relevantes se plantean los siguientes:

1. La fuga de producto en los sellos es el principal problema que origina indisponibilidad de las bombas centrífugas horizontales de la planta de alquiler, incrementando significativamente los costos de mantenimiento por este concepto, en adición a las pérdidas por producto dejado de procesar.
2. La identificación y análisis de causas de problemas en los sellos mecánicos arrojó como resultados:
  - a. Que la raíz física de los problemas está asociada a la presencia de partículas extrañas en el aceite de barrera por contaminación del reservorio.
  - b. Que la contaminación del aceite de barrera está condicionada por errores humanos durante el proceso de manipulación del aceite y llenado del reservorio.
  - c. Que subsisten, como raíces latentes, problemas organizacionales que favorecen la comisión de los errores antes apuntados.
3. El estudio y análisis detallado de toda la información disponible permitió identificar oportunidades de mejora de la disponibilidad de los activos estudiados por la vía del incremento de la vida útil de los sellos mecánicos.
4. El programa propuesto de acciones correctivas, al que debe darse seguimiento, debe tributar a la solución permanente de los problemas identificados.

#### 5. Referencias.

1. **ACOSTA, H.** Diagnóstico y evaluación de la gestión de mantenimiento. La Habana. Cuba: CUJAE, 2006.
2. **CABOLLA, J.** Elementos para la realización del análisis de la causa raíz. La Habana, CUBA: CUJAE, 2006.
3. **DEL CASTILLO, A.** Estadística, fiabilidad, riesgo y calidad en el mantenimiento. La Habana, CUBA: CUJAE, 2005.
4. **GUANIPA, F.** Estudio y propuestas de solución para fallos recurrentes en las bombas centrífugas horizontales críticas de la planta de alquiler Amuay. Tesis presentada en opción al Título de Master en Ingeniería Mecánica. Mención Mantenimiento, UNEFM. Punto Fijo, Julio de 2009.
5. **MCNAUGHTON, K.** Bombas. Selección, uso y mantenimiento. México: McGraw- Hill / Interamericana de México, S.A. de C.V, 1992.
6. **PDVSA.** Información del proceso. CRP-Amuay. En Manual de operación, unidad de alquiler ALAY 2000, cap. 2,
7. **PDVSA.** Manual del proceso de mantenimiento de rutina, niveles de mantenimiento, CRP-Amuay 2005. p.
8. **LATINO, R.** "Calidad del proceso y análisis de causa raíz, partes 1, 2 y 3". Reliability Center, Inc, México. Febrero de 2001, [Consultado el: 20 de Marzo de 2009]. Disponible en: [www.reliability.com](http://www.reliability.com)
9. **Productos, cierres mecánicos.** [Consultado el: 29 de Junio de 2009].Disponible en: [www.johncrane.com](http://www.johncrane.com)
10. **Proyectos.** [Consultado el: 10 de Julio de 2009].Disponible en: [www.inelectra.com](http://www.inelectra.com)
11. **Acerca de PDVSA.** [Consultado el: 14 de Julio de 2009].Disponible en: [www.pdvsa.com](http://www.pdvsa.com)

#### Jesús Cabrera Gómez<sup>1</sup>, Franklin Guanipa Atacho<sup>2</sup>

1. Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento. CEIM.

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" – CUJAE

Calle 114 #11901 e/119 y 127. Marianao. La Habana. CP 19390. Cuba

E-Mail: [jcabrera@ceim.cujae.edu.cu](mailto:jcabrera@ceim.cujae.edu.cu)

2. Centro de Refinación Paraguaná. Estado de Falcón. Venezuela

E-Mail: [guanipa.franklin@gmail.com](mailto:guanipa.franklin@gmail.com)