

Predicción para el reemplazamiento de bombas

Luis E. Vallés, Leonard España, Carlos Serrato

Centro de Investigaciones de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, E-mail: lapredim@uc.edu.ve

Resumen

En la actualidad las bombas centrífugas se encuentran en cualquier empresa independientemente de su razón social, y en muchas de éstas son equipos críticos de algún proceso. Siendo el impulsor de una bomba centrífuga parte fundamental de ésta y de su funcionamiento, conocer el comportamiento de éste a través de su vida útil es como conocer el comportamiento de la misma bomba. En el presente trabajo se realizó el estudio del desgaste en el impulsor de una bomba centrífuga marca KSB, modelo ETA – 32-200. Dicho estudio se basó en un ensayo que representó todas las características que posee un sistema de bombeo en el que dicha bomba puede ser empleada, con una variante que permitió acelerar el desgaste en el impulsor, mezclando agua con arena al 5% en peso. Con esto y un monitoreo continuo el ensayo arrojó dos resultados muy importantes. La curva característica que muestra la relación entre el caudal y la altura en relación al desgaste, posee una tendencia a la baja. El factor de utilización se comporta de manera lineal y responde a la siguiente ecuación: $FU = 2 \cdot 10^{-5} \cdot T$.

Palabras clave: Desgaste, bomba centrífuga, factor de utilización, impulsor, vida útil.

Pump replacement predictions

Abstract

At the present time centrifugal pumps can be found in any company independently of the company main objective, and often these pumps are key equipments of some process. The impeller is known as a fundamental part in the centrifugal pump operation, and to know its useful life performance is also knowing the pump behavior. In this work, a study of the impeller wear of a centrifugal pump KSB, model ETA-32-200, was realized. This study was based on a test considering all the features in a pumping system, with an additional feature (mixing water with sand 5% in weight) that allowed us to accelerate the impeller wear. With this situation and a continuous checking, the test yielded two very important results. The characteristic curve that shows the relationship between the flow and the height in relation to the wear describes a drop tendency. The impeller's utilization factor behaves linearly and responds to the following equation: $FU = 2 \cdot 10^{-5} \cdot T$.

Key words: Wear, centrifugal pump, used factor, impeller, useful life.

1. INTRODUCCIÓN

Durante toda la historia de la humanidad el hombre siempre ha tenido la necesidad de saber cuándo y porqué van a suceder ciertos eventos, esto con el propósito de poder estar preparado y poder planificar las acciones para controlar lo que se debe hacer antes, durante y después de que sucedan dichos eventos. Hoy en día la situación sigue siendo la misma, tanto a nivel del hogar como industrial.

Allí la importancia de conocer en que momento van a fallar equipos físicos, en este caso, conocer el momento en que va a fallar el impulsor de una bomba centrífuga sería de mucha utilidad para cualquier usuario de éstas, debido al papel tan fundamental que juegan estos equipos en diversos procesos industriales.

El desgaste es un fenómeno inevitable, que se presenta en todos los equipos que poseen movimiento.

Desde el ser humano hasta cualquier arreglo de piezas que trabajen en conjunto formando una máquina, va a existir desgaste, en más o menos proporción en algunas piezas pero siempre afectando directamente tanto la eficiencia como la funcionalidad del equipo, debido a esto el desgaste se convierte en un parámetro de estudio muy importante e interesante [1].

Por esto, estudiar el desarrollo del desgaste en el impulsor de una bomba a través de su vida útil sería de gran utilidad tanto para los fabricantes como para los usuarios de éstas, ya que como consecuencia de este estudio se podría suministrar información útil en relación a cómo, dónde y de qué manera afecta el desgaste de dicho elemento a la funcionalidad de la bomba centrífuga [2]. Ahora bien, el estudio del desgaste en el impulsor de una bomba centrífuga, implicaría la parada de la bomba para realizar observaciones visuales además de las mediciones que son necesarias realizar para poder llevar un registro de dicho desgaste [3].

Como es sabido, para una empresa donde se utilicen bombas centrífugas, no es factible el hecho de sacar de operación una bomba para realizar observaciones y mediciones de algún elemento que la componga, ya que normalmente dichas empresas utilizan las bombas para procesos críticos y además que este tipo de investigaciones no forma parte de su razón social. Por otro lado, las empresas que fabrican las bombas centrífugas no tienen estimado un presupuesto para la realización de este tipo de investigaciones. Debido a esto, se hizo necesaria la realización de un banco de pruebas que permitirá el trabajo de una bomba centrífuga Marca KSB Modelo ETA 32-200 en condiciones normales, para de esta manera realizar un ensayo que consistiera en monitorear las variables y operaciones del sistema, mientras va ocurriendo el desgaste en el impulsor, así como la forma en que progresa el desgaste en dicho componente.

2. METODOLOGÍA

Debido a su gran importancia, el conocer con certeza el factor de utilización del impulsor de una bomba centrífuga se convierte en un adelanto bastante significativo, al disminuir los niveles de incertidumbre en cuanto a la vida remanente del componente, lo que traería como consecuencia una disminución favorable en los costos de mantenimiento [4].

Ahora, para comprobar las condiciones reales de trabajo, tanto funcionales como dimensionales del impulsor de una bomba centrífuga en función del desgaste durante su vida útil, se hace necesario el diseño de un ensayo (banco de prueba), que permita monitorear las variables involucradas en el proceso de desgaste de dicho componente. Como todo proceso de desgaste este está directamente relacionado con la vida útil del componente y a su vez con el factor de utilización del impulsor.

Cuando se hace referencia a las variables involucradas en el proceso de desgaste, es bueno hacer una clasificación de estas en dos grupos llamados: variables causas y variables consecuencias. Las variables causas se van a definir como aquellas encargadas en producir el desgaste o que ayudan a que este se produzca, por otro lado las variables consecuencias son aquellas que están afectadas por el hecho de que ocurra el desgaste.

Por lo tanto, las variables causantes del desgaste no son más que la velocidad de rotación de la bomba, el fluido y las propiedades de dicho fluido, por otro lado las variables consecuencias son los valores de caudal y disponibilidad requeridos por el usuario para algún determinado proceso. A lo que se quiere llegar a través de este trabajo es relacionar estos dos tipos de variables para así determinar el factor de utilización del impulsor de la bomba centrífuga en estudio.

Sin duda alguna que el proceso de desgaste del impulsor en condiciones normales de trabajo sería un tanto complicado monitorearlo porque habría que trasladarse al sitio donde está el equipo, colocar una serie de instrumentos para conocer las condiciones de las variables involucradas, así mismo se tendría que hacer con un equipo totalmente nuevo para determinar el comportamiento durante toda su vida útil de trabajo. Lo antes expuesto es parte del porqué se hace necesario el diseño de prueba, además es necesario el diseño de un procedimiento que permita llevar a cabo dicho proceso de desgaste en un espacio físico donde se puedan instalar los equipos de bombeo y trabajen bajo condiciones reales, pudiendo ser monitoreados desde el momento en que comienzan a trabajar hasta el final de su vida, de esta manera se obtendrían regularmente datos reales de trabajo para luego establecer las conclusiones pertinentes.

Para determinar el factor de utilización real del impulsor de una bomba centrífuga se realizará inicialmente el diseño de un banco de prueba para bombas centrífugas, el cual consta de dos (2) bombas centrífugas con las mismas características, las cuales se pondrán en funcionamiento individualmente en un circuito cerrado de succión y descarga, como se ve en la Figura 1, con las mismas condiciones en cuanto al requerimiento del sistema se refiere, ya que el diseño del banco de prueba contemplará el mismo tipo de tubería tanto en la succión como en la descarga, el mismo número de accesorios y la misma altura de elevación en ambos casos, pero diferentes características del fluido a manejar en cada una de ellas [5]. Una bomba va a manejar agua limpia y la otra bomba va a manejar agua con una concentración específica de arena (mezcla).

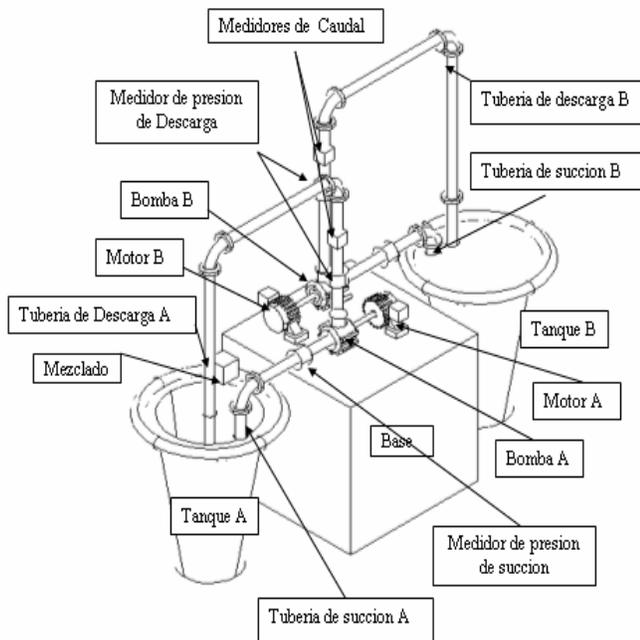


Figura 1. Diagrama de montaje del banco de pruebas de bombas centrífugas.

Las bombas a utilizar en este ensayo son dos equipos marca KSB, modelo ETA 32-200, los cuales fueron seleccionados luego de realizar un análisis entre un gran número de bombas con la colaboración de la empresa KSB venezolana, ya que dichos equipos están diseñados para manejar fluidos no viscosos y son usados por un gran número de empresas en diversos

procesos, además de tener un rango de utilidad bastante alto por las características que poseen [6], [7].

Inicialmente, se determinarán las condiciones de trabajo de ambas bombas por medio de la construcción de sus curvas características y una vez terminado el ensayo se comprueban las posibles tendencias que tengan dichas curvas de funcionamiento luego del desgaste del impulsor.

Seguidamente, el impulsor de la bomba A, (ver Figura 1), se desmontará, se medirá su valor de masa así como también sus dimensiones físicas con la finalidad de tener datos para realizar comparaciones entre los valores obtenidos durante los periodos de inspección a fin de que el ensayo refleje el comportamiento de dichos valores a lo largo de toda la vida útil del componente. Se procederá a ensamblar el impulsor de la bomba A, según las especificaciones y los procedimientos del fabricante para continuar nuevamente con el ensayo.

Se le dará inicio al ensayo y después de pasado un nuevo período de tiempo, se detendrá dicho ensayo para proceder a desarmar nuevamente la bomba A y así determinar los valores dimensionales y de masa anteriormente mencionados. Esta operación se realizará con una cierta regularidad acortando el tiempo entre desarmes a medida que el ensayo se va llevando a cabo ya que los cambios en las variables se harán más notorios (Ver Figuras 2 y 3).

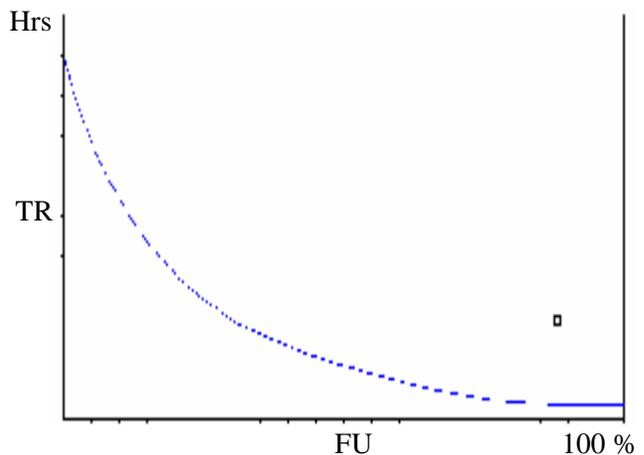


Figura 2. Tiempo de reparación vs. factor de utilización del impulsor de la bomba.

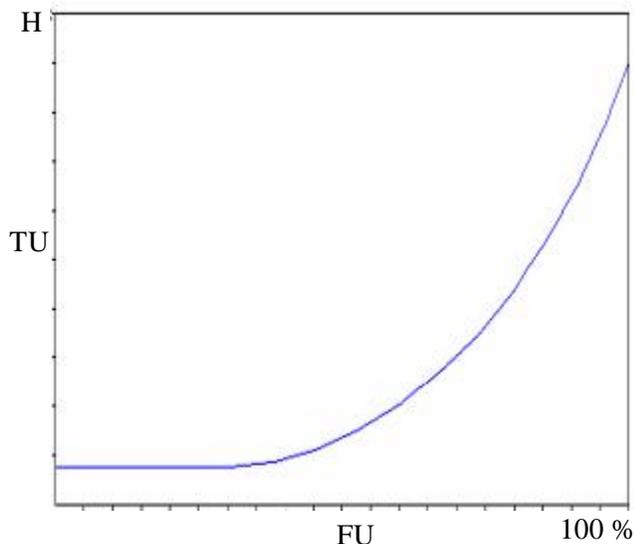


Figura 3. Tiempo de uso vs. factor de utilización del impulsor de la bomba.

Seguidamente se procederá a vaciar toda la información en una base de datos a desarrollar y con esto se llegará las conclusiones respectivas acerca del comportamiento del desgaste del impulsor en este tipo de bombas centrífugas y de cómo se puede predecir el comportamiento de dicho componente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Lo que caracteriza una bomba centrífuga son sus curvas de funcionamiento, las cuales son suministradas por el fabricante al momento de adquirirse el equipo. Como cumplimiento de uno de los objetivos específicos de este trabajo, se realizó el levantamiento de las curvas de funcionamiento cada sesenta (60) horas aproximadamente para llevar un historial de lo que sucedió con el estado funcional de la bomba (Figura 4).

Es importante mencionar que el procedimiento para obtener las curvas que aquí se muestran fue el siguiente:

1. Se levantó la curva inicial de la bomba A (prueba), antes de comenzar el ensayo.
2. Se levantaron las curvas características de la bomba A cada vez que falló la carcasa lo cual sucedió aproximadamente cada sesenta (60) horas.

3. Las curvas levantadas se realizaron con carcasas nuevas y sellos nuevos, de manera de aislar el efecto que produce el desgaste de estos dos componentes en dichas curvas.

En la Figura 4 se puede observar el comportamiento de la curva de funcionamiento caudal vs. altura. Dicho comportamiento tiene una tendencia hacia la baja, lo cual era de esperarse, debido al desgaste presente en el impulsor.

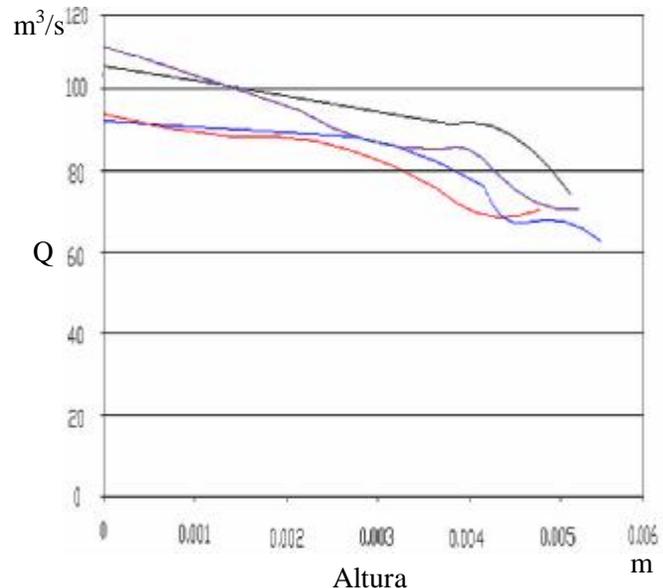


Figura 4. Curva de funcionamiento de la bomba centrífuga, caudal vs. altura.

Otro de los objetivos de este trabajo es el de conocer el comportamiento del desgaste del impulsor de la bomba centrífuga en estudio a través del tiempo, para de esta manera asociar dicho desgaste con cada una de las curvas características realizadas a lo largo del ensayo, por esto se realizaron mediciones de las dimensiones físicas del impulsor y de esta manera conocer como varían.

Ahora bien, es importante conocer las dimensiones del impulsor para el momento en que dicho impulsor no debe seguir en funcionamiento, ya que aisándolo del resto de los componentes de la bomba, este ofrece una eficiencia muy por debajo de la eficiencia para la cual fue diseñado. Un ejemplo de los datos tomados cada vez que se realizaron mediciones de las dimensiones físicas del impulsor se encuentran en las Figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

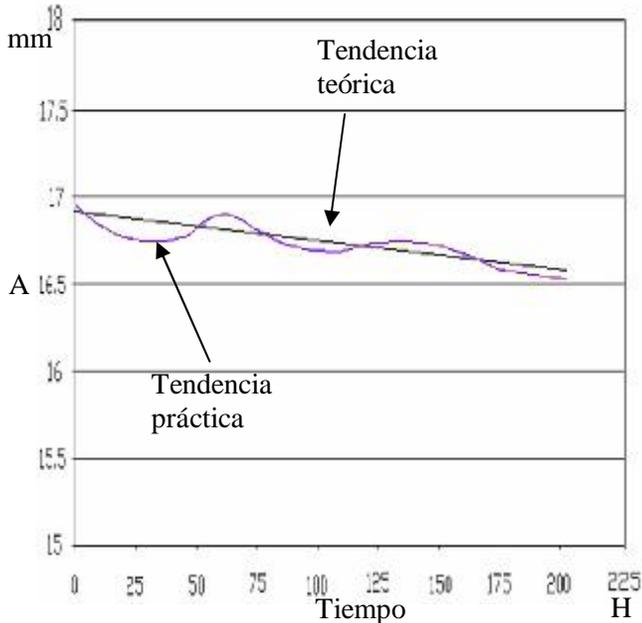


Figura 5. A vs. Tiempo. A: ancho total del impulsor.

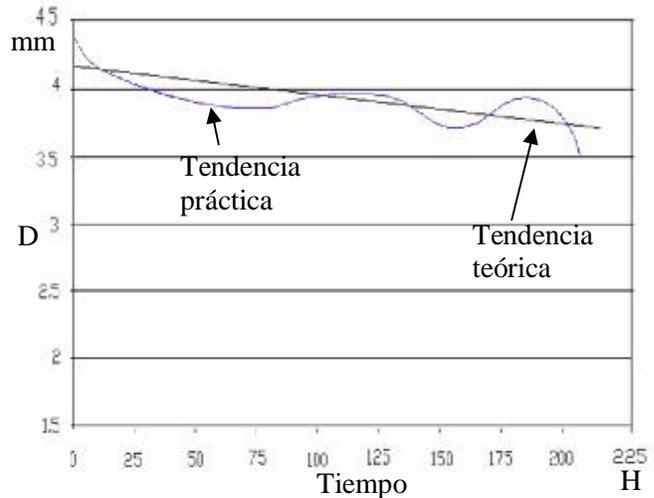


Figura 7. D vs. Tiempo. D: espesor de la tapa posterior del impulsor.

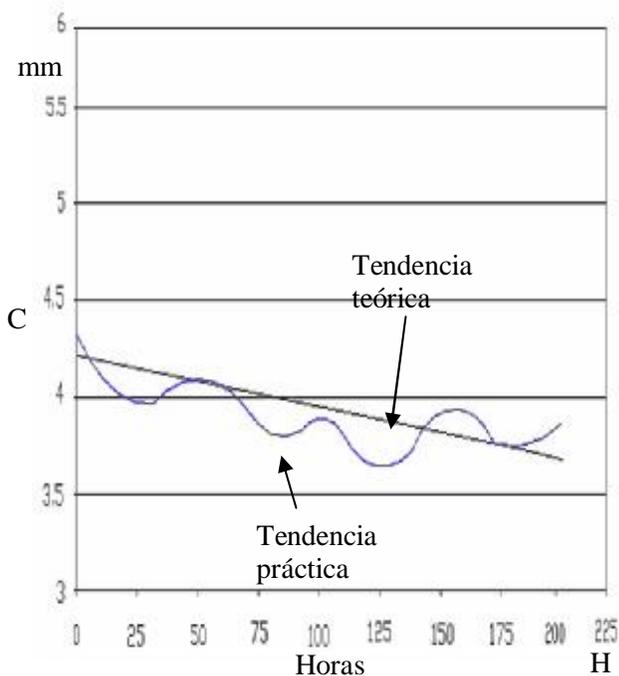


Figura 6. C vs. Tiempo. C: espesor de la tapa anterior del impulsor.

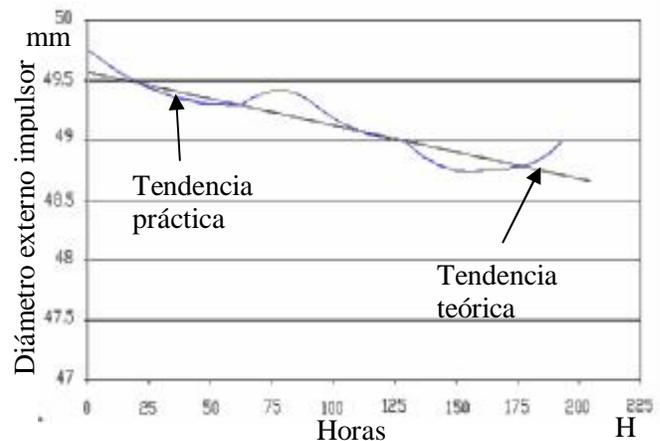


Figura 8. Do Ext vs. Tiempo.

Tal y como está especificado, los valores de A, C y D, se refieren al ancho total del impulsor, al espesor de la tapa anterior del impulsor y al espesor de la tapa posterior del impulsor respectivamente, estos valores, sumados a los valores de diámetro interno del ojo del impulsor (Do_{Int}) y diámetro externo del ojo del impulsor (Do_{Ext}), forman los valores más resaltantes al momento de evaluar las características físicas de dicho componente. El comportamiento de estos valores se puede observar en las Figuras 5, 6, 7, 8 y 9.

Es notable el cambio sufrido por los tres valores mostrados en las Figuras 5, 6, 7 y (que son A, C y D respectivamente) ya que los mismos guardan una similitud en la velocidad de desgaste a medida que estos fueron ocurriendo. Por otra parte, los valores de Do_{Ext} y Do_{Int} mostrados en las Figuras 8 y 9,

guardan entre sí una gran similitud en relación a la velocidad en que se fueron generando pero que por el contrario, en relación con los primeros tres valores (A, C y D) poseen una diferencia palpable que permite afirmar que los valores de diámetro interior y exterior del ojo del impulsor son valores críticos en cuanto al desgaste que ocurre en el impulsor de la bomba centrífuga en estudio.

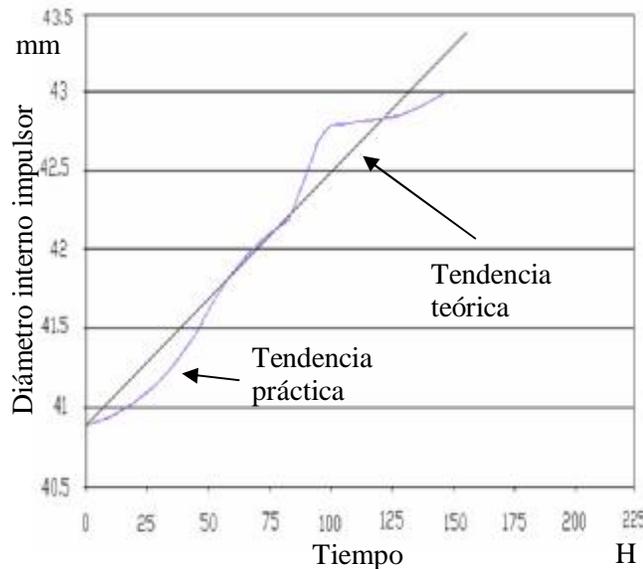


Figura 9. Do Int vs. tiempo.

Los valores expresados en la Figura 10 de (w, x, y, z) son los valores de profundidad que existen entre la periferia del diámetro del impulsor y el álabe a lo largo de este.

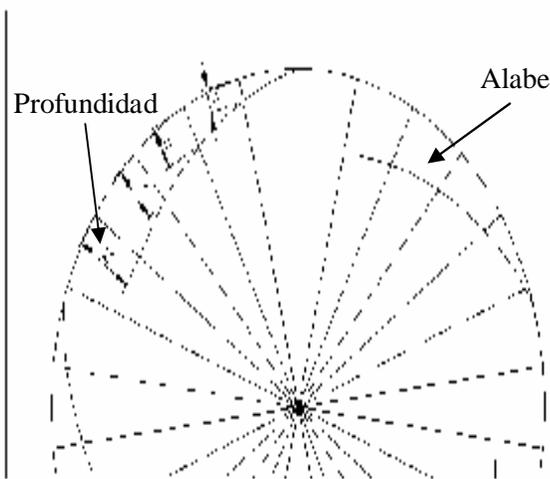


Figura 10. Profundidad de la zona de acceso a los alabes.

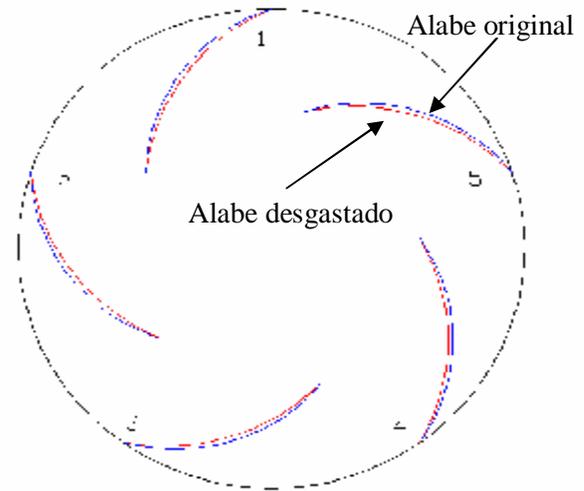


Figura 11. Estado del perfil de los alabes.

En la Figura 11, se puede observar el desgaste que ocurrió en las zonas de los álabes anteriormente mencionadas, una línea representa la parte superior del álabe en su estado inicial, por otra parte la otra línea muestra el estado de los alabes después de doscientas (200) horas de trabajo bajo las condiciones del ensayo.

De igual manera para representar de forma más clara la pérdida de material que ocurrió en el impulsor se realizó la gráfica mostrada en la Figura 12, que muestra la relación entre la pérdida de peso y el tiempo de trabajo que tuvo el impulsor, la pérdida final fue de 132,4 gramos después de doscientas (200) horas, lo que implica una pérdida de peso del 5% respecto a su peso original (2632,2 gramos).

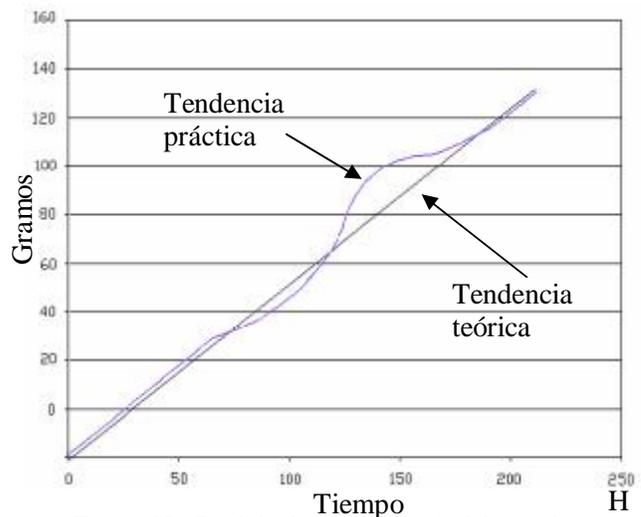


Figura 12. Pérdida de peso a través del impulsor.

Ahora bien, estas gráficas muestran el comportamiento de las dimensiones del impulsor, donde el desgaste, es aproximadamente proporcional al tiempo, por ello es posible aproximarlas a una recta, lo que es de mucha utilidad para conocer el estado del impulsor en determinado momento.

4. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

Luego de culminado el ensayo y con los resultados obtenidos se puede decir que debido a que el desgaste en el impulsor de la bomba en estudio tuvo un comportamiento lineal, de pendiente constante, la razón de desgaste también presenta un valor constante. Dicho valor se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{d}{t} \quad (4.1)$$

donde:

d : desgaste medido en gramos perdidos [gr].

t : tiempo en el que ocurrió el desgaste [H].

r : razón de desgaste [gr/H].

Dicha relación se obtiene de la gráfica mostrada en la Figura 12. Para las condiciones del ensayo se puede obtener una razón de desgaste con los siguientes valores:

$$r_{(ENSAYO)} = \frac{132,4g}{200h} = 0,662gr/H$$

donde: 132,4 gramos representan la pérdida final después de doscientas (200) horas.

Ahora bien, para determinar la velocidad del desgaste del impulsor en estudio trabajando bajo condiciones normales (agua limpia) se utiliza una relación de la única variable que diferencia el ensayo de dichas condiciones como lo es la concentración de mezcla con la que trabajó la bomba en estudio. Dichas concentraciones se relacionan de la siguiente manera para así obtener la razón del desgaste a la condición de concentración con la que se este trabajando:

$$r_{(REAL)} = \frac{\% real}{\% ensayo} \cdot r_{(ENSAYO)} \quad (4.2)$$

$\% real$ = concentración de arena real de trabajo.

$\% ensayo$ = concentración de arena en el ensayo.

Debido a que la concentración de arena en el agua en condiciones normales de trabajo es de aproximadamente 0,02% y utilizando la ecuación anterior se tiene que:

$$r_{(REAL)} = \frac{0,02 \cdot 0,662gr/H}{5} = 0,002468gr/H$$

Ahora bien, con la información anteriormente suministrada y debido a que el comportamiento del desgaste a una concentración específica es lineal, la tasa de desgaste se puede determinar de la siguiente forma.

$$r\% = \% \cdot 0,1324gr/H \quad (4.3)$$

donde:

$r\%$ = tasa de desgaste a una concentración específica.

$\%$ = concentración a la que se desea conocer la velocidad de desgaste.

5. CÁLCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

El factor de utilización se determina basándose en la siguiente ecuación:

$$FU = \frac{TR}{TT} \quad (5.1)$$

Siendo:

TR = Tiempo real.

TT = Tiempo total.

Donde el tiempo real es el tiempo de trabajo y el tiempo total es el tiempo total de vida del impulsor. Ahora bien para determinar el tiempo total de vida del impulsor se tomó una relación entre el tiempo de vida del impulsor en el ensayo y la concentración de arena en el agua, tanto del ensayo como de las condiciones normales de trabajo de la bomba centrífuga en estudio. En el ensayo se determinó que para las condiciones de concentración de 5% en peso, el impulsor tiene una vida útil de doscientas (200) horas, por lo tanto, para una condición de trabajo normal de 0,02% se obtiene una relación de tiempo total de vida de cincuenta mil (50000) horas.

De manera que es posible generar una relación entre la concentración y la vida útil del componente la cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$VU = \%^{-1} \cdot 1000 \quad (5.2)$$

Por último, el factor de utilización queda expresado de la siguiente manera:

$$FU = \frac{TR}{50000} = 2 \cdot 10^{-5} TR \quad (5.3)$$

Con esta relación se puede determinar el factor de utilización del impulsor de la bomba centrífuga marca: KBS, modelo: ETA 32-200 para un momento dado, simplemente con sustituir TR por el tiempo de trabajo de dicho impulsor. Lo que permite a la empresa fabricante de estos equipos establecer un factor de utilización máximo, de manera de poder ofrecer una garantía más amplia del impulsor en estudio.

6. CONCLUSIONES

El factor de utilización real del impulsor de la bomba está en función del tiempo de uso y responde a la ecuación:

$$FU = 2 \cdot 10^{-5} \cdot T \quad (6.1)$$

La vida útil del impulsor en estudio se relaciona con la concentración de partículas en suspensión de la siguiente manera:

$$VU = \%^{-1} \cdot 1000 \quad (6.2)$$

La razón de desgaste del impulsor en estudio se relaciona con la concentración de partículas en suspensión de acuerdo a:

$$r\% = \% \cdot 0,1324 gr / H \quad (6.3)$$

La empresa fabricante de los equipos de bombeo en estudio puede ofrecer una mayor garantía del impulsor de la bomba centrífuga.

El desgaste en el impulsor de la bomba, representado por la pérdida de material posee un comportamiento lineal y descendiente.

La tasa de desgaste del impulsor de la bomba, en condiciones normales de trabajo es de

0,002648 gr/H.

La curva característica que muestra la relación entre Caudal y Altura de la bomba, posee una tendencia hacia la baja.

La holgura entre el impulsor y la carcasa en el área del ojo de succión aumenta de manera proporcional por efecto del desgaste.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Neumann, B. "The Interaction Between Geometry and Performance of a Centrifugal Pump". Page-bros. LTD, New York. Año 1991.
- [2] Tyler, Hicks. "Bombas su Selección y Aplicación". Editorial Continental S.A. 19na Edición. México 1985.
- [3] Karassik, Igor y Carter, Roy. "Bombas Centrífugas". Editorial Continental S.A. 5ta Edición. México. 1975.
- [4] Avallone, E. y Baumeister III, T. "Manual del Ingeniero Mecánico". Editorial Mc. Graw Hill. 9na Edición. México, 1992.
- [5] Mills, Anthony S. "Transferencia de Calor". Editorial McGraw/Hill. Colombia. 1999.
- [6] Hydraulic Institute. "Hydraulic Institute Standards" 12ª Edición U.S.A 1969.
- [7] Kenneth, McNaughton . "Bombas Selección, uso y mantenimiento". Editorial McGraw Hill. México. 1992.