

Empresas Energéticas

- Sistema de bombeo industrial

II. Optimización de los sistemas de bombeo

CONTENIDO

- 1. Introducción a los sistemas de bombeo.**
- 2. Fundamentos de un sistema de bombeo.**
- 3. Tipos de bombas.**
- 4. Componentes de un sistema de bombeo.**
- 5. Tipos de control en el sistema.**
- 6. Curvas características de bomba y sistema.**
- 7. Directrices para la optimización del sistema.**
 - 7.1 Benchmark en sistemas de bombeo.**
- 8. Directrices para mejorar la eficiencia en:**
 - 8.1 Sistemas de bombeo existentes.**
 - A. Cambios en los requerimientos de bombeo.**
 - B. Evalúe su actual sistema de bombeo.**
 - B.1 Evaluar las tendencias de producción.**
 - B.2 Revisar el sistema de bombeo (actividades por el equipo de inspección).**
 - B.3 Eficiencia del sistema de bombeo.**
 - C. Analice su sistema de bombeo.**
 - C.1 Punto de mejor eficiencia de la bomba (BEP).**
 - C.2 Optimizar la configuración de las tuberías.**
 - 8.2 Sistemas de bombeo nuevos.**
- 9. Obtener la aprobación del Proyecto.**

1. Introducción.

La economía en el sector industrial, las limitaciones de la oferta de energía a nivel mundial y la conservación del medio ambiente serán temas permanentes durante las próximas décadas.

A medida que los precios de la energía aumentan, los fabricantes de bombas han respondido a la importancia de producir equipos más eficientes. Los métodos tradicionales para la especificación y compra de bombas, tuberías, válvulas, accesorios y controladores para los sistemas de bombeo, han dado lugar a un menor costo inicial, es decir, minimizan la inversión del capital. Sin embargo, estos sistemas suelen generar un mayor consumo de energía, aumentos innecesarios en los costos de operación y de mantenimiento, debido a que experimentan cambios en sus requerimientos de bombeo en el tiempo.

Una organización que incorpora acciones de eficiencia energética en sus sistemas de bombeo puede aumentar sus beneficios, la eficiencia en su producción y avanzar con mejoras importantes en sus ganancias, lo cual es necesario para la supervivencia de un negocio a largo plazo.

A continuación, se presentan las directrices recomendadas para que un sistema de bombeo a nivel industrial pueda ser evaluado y analizado para identificar las oportunidades de mejora en su eficiencia energética.

2. Fundamentos de un sistema de bombeo.

Los sistemas de bombeo comúnmente son diseñados para satisfacer las necesidades de otros sistemas cómo: la transferencia de fluidos en un proceso productivo, en el intercambio de calor, distribución de agua para enfriamiento, aguas residuales, entre otros. Los sistemas de bombeo son generalmente clasificados como de circuito cerrado o de circuito abierto.

En los sistemas de circuito cerrado, el fluido se recircula por caminos establecidos, mientras que en los sistemas de circuito abierto tiene entradas y salidas específicas, llevando los fluidos desde un punto a otro.

En los primeros, las pérdidas por fricción del sistema de tuberías y equipos son las cargas dominantes. Los segundos, con frecuencia, tienen importantes requerimientos de cabeza estática debida a la elevación y a las necesidades de presurización en tanques.

3. Tipos de bombas.

Cerca de 40 diferentes tipos de bombas a nivel industrial han sido reconocidas y clasificadas ampliamente en dos categorías, que están relacionadas con la forma en que agregan energía al fluido de trabajo:

- las bombas de desplazamiento positivo y
- las roto-dinámicas, también conocidas como centrífugas.

Las bombas de desplazamiento positivo se caracterizan por un volumen de desplazamiento fijo. Sus flujos son directamente proporcionales a la velocidad de su impulsor.

Las bombas centrífugas son las más comunes y tienen una relación variable entre su flujo y presión la cual se describe mediante una curva de comportamiento (curva característica), ésta representa gráficamente las variaciones de presión en función del flujo manejado.

4. Componentes de un sistema de bombeo.

Los equipos que integran estos sistemas son:

- bombas,
- motores,
- tuberías y
- válvulas.

Otros componentes incluyen:

- filtros,
- tamices, e
- intercambiadores de calor.

Para evaluar un sistema de bombeo en que debe considerarse la interacción entre estos componentes, y no enfocarse sólo a la bomba, este planteamiento se conoce como “enfoque por sistemas”. Las bombas y su sistema deben tratarse y diseñarse como una sola entidad, tanto para garantizar un funcionamiento correcto, como también para lograr un bombeo y aprovechar los beneficios de bombear con una mejor eficiencia energética.

Los otros componentes principales de los sistemas de bombeo típicos también tienen un gran efecto sobre la eficiencia del sistema. La selección de motores eléctricos eficientes y apropiadamente dimensionados es de vital importancia, junto con el uso de variadores de velocidad cuando sea conveniente. Las configuraciones apropiadas de las tuberías de entrada y salida también son indispensables para la operación eficiente del sistema. Adicionalmente, resulta imprescindible la selección y operación adecuada de las válvulas, especialmente las de estrangulamiento o las de derivación (*bypass*).

5. Tipos de control en el sistema.

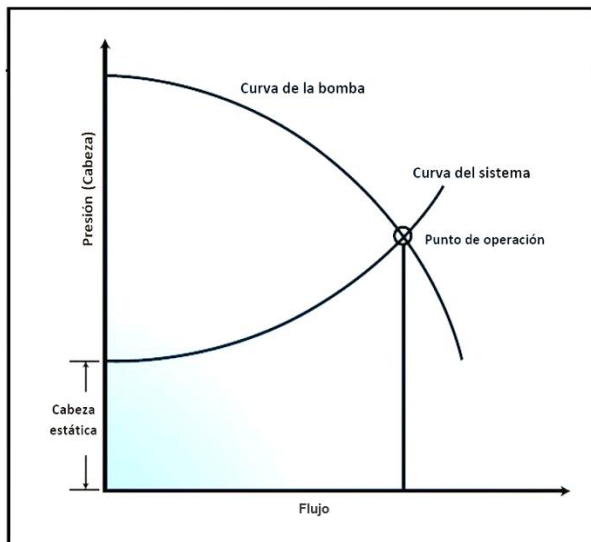
Los principales métodos para controlar el flujo en sistemas de bombeo son:

- el control de velocidad de las bombas,
- arreglos de múltiples bombas,
- válvulas de derivación (*bypass*) y
- válvulas de estrangulamiento.

El tipo más adecuado de control de velocidad depende del tamaño del sistema y su arreglo, así como las propiedades del fluido, entre otros factores. Los arreglos de derivación (*bypass*) permiten que el fluido fluya alrededor de un componente del sistema, pero a expensas de la eficiencia energética, ya que la potencia utilizada para recircular cualquier fluido se desperdicia. Las válvulas de estrangulamiento restringen el flujo del fluido a expensas de la caída de presión a través de las válvulas.

6. Curvas características de bomba y sistema.

Una curva característica de una bomba es una representación gráfica que describe el funcionamiento de la misma para un rango de flujos. Del mismo modo, la curva de un sistema representa gráficamente la operación de un sistema dado de tuberías.



La representación gráfica de la interacción de un sistema con la operación de una bomba se puede observar en la Figura 1, donde el eje "x" es el flujo y el eje "y" es la cabeza (presión). La intersección de la curva de la bomba y la del sistema es el punto de operación.

Figura 1. En esta gráfica se observa la curva característica de las bombas centrífugas, la cual describe el comportamiento hidráulico de la misma mediante una relación de flujo y de presión variable.

Del mismo modo, la curva del sistema representa gráficamente el funcionamiento de un sistema dado de tubería. El punto de intersección de ambas curvas es el punto de operación del sistema.

La Figura 1 muestra que al aumentar la presión del sistema se reducirá el flujo. Si la presión se eleva hasta cierto punto, el flujo puede aproximarse a cero, una condición que debe evitarse. Para permitir incrementos de presión imprevistos, los diseñadores a menudo seleccionan una bomba sobredimensionada. La consecuencia de esto es que el sistema funcionará con un flujo excesivo o deberá estrangularse la línea (tubería) mediante una válvula, en consecuencia, aumentará el consumo de energía, los requerimientos de mantenimiento y disminuirá la vida útil de la bomba.

7. Directrices para la optimización del sistema.

La aplicación de un “planteamiento sobre la optimización total de sistemas” ha mostrado avances significativos en la identificación de oportunidades de mejora, tanto para sistemas existentes como para nuevos. Por lo que las directrices recomendadas para desarrollar este planteamiento serán tratadas a continuación, además de otras consideraciones y criterios necesarios para lograr este objetivo¹.

7.1 Benchmark en sistemas de bombeo.

La creación de puntos de referencia o de comparación “*benchmark*” es una práctica muy útil para determinar parámetros de operación claves en un sistema. La creación de puntos de referencia es una herramienta muy valiosa para:

- ✓ Rastrear el funcionamiento de un sistema o
- ✓ Para identificar problemas y determinar la efectividad de las alteraciones en el mismo.

Un punto de referencia práctico en estos sistemas es **la energía específica**, que es una métrica útil de considerar al evaluar las combinaciones del tipo de bomba, modelo y configuración del sistema de bombeo. La *energía específica* es la *potencia consumida por unidad de volumen* del fluido bombeado. Esta es determinada midiendo el flujo entregado en el sistema durante un período de tiempo y el cálculo de la energía consumida durante el mismo período.

Esta métrica toma en cuenta todos los factores que influyen en la eficiencia de una instalación, no solo la de la bomba. La energía específica también toma en cuenta dónde está operando la bomba en su curva cuando entrega el flujo en ese sistema particular. Por consiguiente, esta métrica es de gran utilidad para supervisar y controlar de manera óptima su rendimiento energético. De esta manera, por ejemplo, puede lograrse que una bomba con menor eficiencia de diseño consuma menos energía que una de mayor eficiencia, simplemente por la forma en que sus características se han ajustado al sistema en cuestión.

Otra ventaja de utilizar la energía específica como una métrica es que permite realizar comparaciones aproximadas entre instalaciones de bombeo similares.

¹ Si usted está interesado en establecer un planteamiento para la optimización de un sistema de bombeo específico, puede solicitar una asesoría al personal técnico de la Conuee a través de nuestra página web “Solicitud de asesorías técnicas”, cuyo vínculo es: <https://www.conuee.gob.mx/asesorias/registro.jsp>

8. Directrices para mejorar la eficiencia en:

- **Sistemas existentes**
- **Sistemas nuevos**

8.1 Sistemas de bombeo existentes.

La optimización de un sistema es el procedimiento de identificar, entender y eliminar de manera efectiva las “pérdidas” al suministrar la potencia requerida, mientras que se reduce el consumo de energía y mejora la confiabilidad en los sistemas de bombeo.

Los sistemas ineficientes de bombeo (véase “síntomas de un sistema ineficiente”) deben ser investigados, dando prioridad a los de altos consumos de energía o con altos costos de mantenimiento, así como los que se encuentran en condiciones críticas para la operación del proceso o servicios auxiliares.

Síntomas de un sistema de bombeo ineficiente.

La clave para mejorar la eficiencia de los sistemas de bombeo existentes es su optimización. Para iniciar este proceso, identifique las situaciones típicas de un sistema de bombeo ineficiente tales como las mostradas en la siguiente lista:

1. Las válvulas de control de flujo que están altamente estranguladas.
2. Regulación de flujo en líneas con derivación (recirculación del fluido).
3. Procesos de tipo discontinuo en los que una o más bombas operan continuamente durante cada lote.
4. Frecuentes ciclos de encendido y apagado de una bomba en un proceso continuo.
5. Presencia de ruido por cavitación, ya sea en la bomba o en otro lugar del sistema.
6. Un sistema de bombas en paralelo con el mismo número de bombas siempre en operación.
7. Un sistema de bombas que ha sufrido un cambio en su función, sin modificación.
8. Un sistema de bombeo sin medición de flujo, presión o potencia.

Una vez que los sistemas de bombeo ineficientes han sido seleccionados tendrán que ser evaluados y analizados de manera detallada para determinar los requerimientos reales del sistema.

A. Cambios en los requerimientos de bombeo.

Con sistemas de bombeo existentes, los requerimientos de servicio pueden cambiar frecuentemente después de mejoras significativas en el proceso de la planta y equipo.

Las soluciones para cambios en los requerimientos de servicio dependen de la dirección del cambio. Si los requerimientos de cabeza y flujo del sistema disminuyeron con la instalación del equipo más eficiente para el proceso, entonces la búsqueda de soluciones será similar a aquellas para una bomba sobre-dimensionada. Si los requerimientos de servicio aumentaron, entonces la búsqueda de soluciones puede dirigirse a las siguientes situaciones:

- Incremento en el tamaño de la bomba. En esta situación, antes de buscar un aumento de su tamaño para alcanzar el BEP (mejor punto de eficiencia, por sus siglas en inglés – refiérase al rubro C.1), primero debe considerarse el sistema de tuberías y si alguna mejora en su eficiencia puede lograrse mediante su re-arreglo o, en última instancia, incrementar el tamaño de la tubería para dar cabida a un menor tamaño de bomba y operarla más cerca de su BEP.
- La configuración de la tubería del sistema debe ser evaluada para esta y otras oportunidades de optimización. Una configuración adecuada incluirá un tramo recto de tubería que conduce a la bomba para asegurar una velocidad uniforme del fluido al entrar en esta. Deflectores o algún otro medio para "alinearse" el flujo, se deben de usar cuando esto no es posible. Además, la tubería de succión debe ser de tamaño suficiente para reducir al mínimo las pérdidas por fricción.
- Otros componentes del sistema existente también deben ser considerados. Las válvulas de control de tamaño incorrecto pueden crear excesivas caídas de presión a través de las mismas, ya que diversos tipos de válvulas tienen diferentes coeficientes de pérdida. Cuando válvulas de estrangulamiento o líneas de derivación (*bypass*) son utilizadas para controlar el flujo, debe llevarse a cabo un análisis para determinar los medios más eficaces de control de flujo.

B. Evalúe su actual sistema de bombeo.

El mejor método para evaluar y mejorar su sistema de bombeo es hacer una revisión, considerando todo el sistema.

Hay dos planteamientos generales para evaluar los sistemas de bombeo existentes:

- El primero consiste en la observación de la operación del sistema de bombeo.
- El segundo se basa en recolectar datos del sistema y realizar cálculos detallados, usando una herramienta adecuada que modele o simule el sistema de bombeo.

El primer enfoque se basa en observaciones del sistema; el segundo trata la creación de un modelo preciso sobre el flujo y cabeza del sistema, dentro del modelo. El observar la operación del sistema a través de un periodo de tiempo permite al operador ver cómo se comporta el sistema actual en un rango de condiciones de operación.

En muchos casos, los requerimientos de operación del sistema limitan el rango de condiciones de operación que pueden ser exploradas.

Mediante el desarrollo de este modelo, una comparación puede hacerse entre la curva de resistencia del sistema y las curvas características de la bomba para determinar el punto de operación de la bomba. Independientemente del planteamiento adoptado, el objetivo es obtener una imagen clara de cómo opera el sistema y sus componentes, así como, ver donde pueden hacerse mejoras para optimizar el funcionamiento del sistema. *Estos dos planteamientos deben considerarse para la evaluación de su sistema de bombeo existente.*

B.1 Evaluar las tendencias de producción

Una evaluación de las tendencias de producción incluye hacer preguntas tales como:

- ¿Qué flujos de diseño y cabeza del sistema son actualmente necesarios para el proceso de producción?
- ¿Dónde son necesarios?
- ¿Cuándo es necesario (en qué horario o evento)?
- ¿Por qué es necesario?
- ¿Qué flujo de diseño y cabeza del sistema podría requerirse en el futuro?

Las respuestas a estas preguntas, combinadas con una inspección del sistema de bombeo como se describe más adelante en la sección B.2, podrán identificar:

- Dónde se utiliza el fluido en el sistema de bombeo.
- Si todos los usos son eficaces o si algunos se desperdician o son innecesarios.
- Los requerimientos máximos de bombeo actuales y en un futuro.
- La variación de requerimientos de bombeo actuales y en un futuro.

B.2 Revisar el sistema de bombeo; equipo de inspección (actividades):

- Recopilar datos para definir la configuración del sistema de bombeo (referirse a la **Figura 2**).
- Investigar los costos de energía y estimar el costo de operación de la bomba.
- Recopilar la información de datos de placa de la bomba y su motor, así como, determinar la velocidad de operación y el número de etapas de la bomba.
- Documentar los tiempos de operación y medir o tomar nota del flujo de diseño actual con el tiempo para desarrollar perfiles que describan el funcionamiento de la bomba.
- Medir las presiones a la succión y descarga de la bomba.
- Determinar el flujo y cabeza máximos del diseño del sistema y sus variaciones.
- Identificar el fluido que está siendo bombeado, su temperatura, viscosidad, concentración de sólidos y tamaño de partícula, densidad o gravedad específica y otros datos necesarios para utilizar el software que simulará el sistema de bombeo.
- Obtener las curvas características del sistema, flujo de diseño contra cabeza (si son disponibles por el fabricante de las bombas) para evaluar los puntos de diseño y operación del sistema de bombeo.

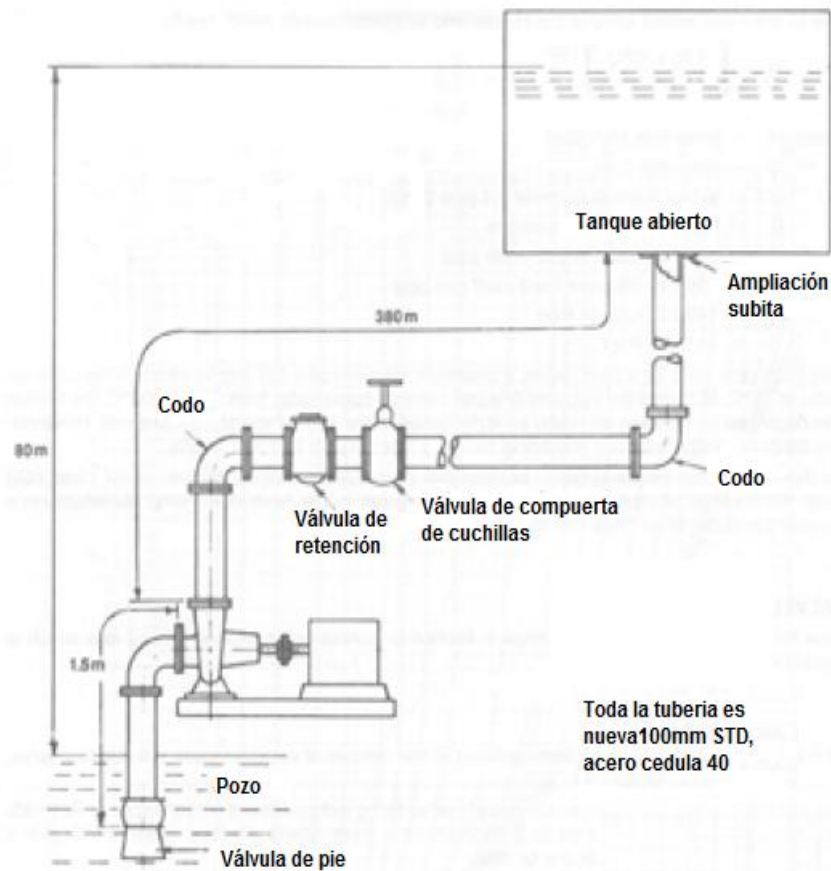


Figura 2. Ejemplo de detalles de registro para una configuración de tuberías del sistema de bombeo.

- Busque arreglos que estén asociados con la operación ineficiente de la bomba, incluyendo:
 - ✓ Válvulas de control con estrangulación excesiva para suministrar un flujo fijo o variable.
 - ✓ Sistemas de bombeo con regulación de flujo en la derivación (bypass)
 - ✓ Bombas que pueden estar sobre-dimensionadas y que operan en una condición de gran estrangulamiento o con grandes flujos en una derivación (bypass).
 - ✓ Sistemas de bombeo que operan con grandes variaciones de flujo y presiones.
 - ✓ Aplicaciones de bajo flujo y altas presiones en los usuarios finales.
 - ✓ Un cambio en la configuración del sistema de bombeo a partir de las condiciones de diseño iniciales podría modificar la curva de resistencia del sistema original.

- Tome en cuenta las condiciones de mantenimiento que están asociadas con la operación ineficiente de la bomba, que incluyen:
 - ✓ Bombas con altos requerimientos de mantenimiento.
 - ✓ Ruido en la bomba debido a cavitación o recirculación interna.
 - ✓ Desgaste en el impulsor de la bomba y carcasa que aumenten los espacios entre las partes fijas y móviles.
 - ✓ Un desgaste excesivo en anillos y rodamientos.
 - ✓ Ajuste inadecuado de los empaques que causa fricción en la flecha de la bomba.
 - ✓ Ruido en las válvulas de control debido a un estrangulamiento excesivo.
 - ✓ Medición de la eficiencia de la bomba.

B.3 Eficiencia del sistema de bombeo.

La eficiencia del sistema incluye la eficiencia de la bomba, motor y otros componentes del sistema, como se describe en el diagrama de la Fig. 3.

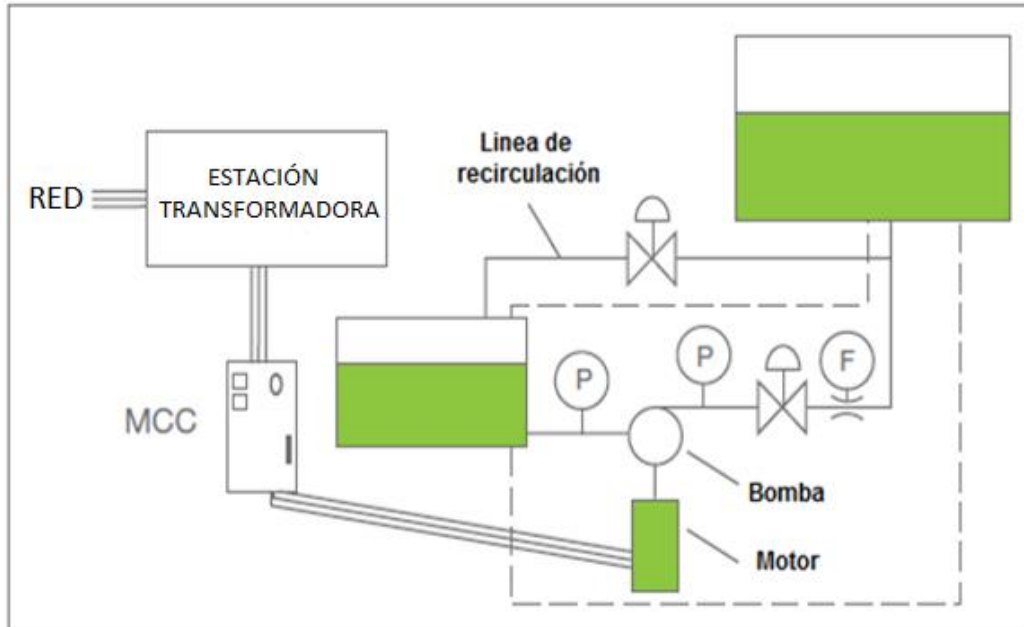


Figura 3. Cálculo de la eficiencia de un sistema de bombeo

$$\eta_{sis} = \frac{Q_{req} \times H_{req} \times SG}{4600 \times P_e}$$

Donde: Q_{req} = flujo de diseño requerido (Lt/min)

H_{req} = Cabeza de la bomba requerida (m)

SG = Gravedad específica del líquido bombeado

P_e = Potencia eléctrica suministrada (HP)

η_{sis} = Eficiencia del sistema

4600 = Factor de conversión².

² Factor de conversión: 1 horsepower (Hp) = 746 watts = 0.746 kw = 4,600 (lt-m)/min.

<http://www.cdph.ca.gov/certlic/occupations/Documents/Opcert/ConversionSheetWDandWTPage1.pdf>

C. Analice su sistema de bombeo.

El método más común para analizar el sistema actual es usar un *software* de diseño de sistemas de bombas. Este usará los datos de las propiedades del fluido, la configuración del sistema de bombeo y datos suministrados por los fabricantes de bombas para determinar las pérdidas por fricción, generar las curvas de resistencia del sistema y suministrar un listado de bombas convenientes. Si no cuenta con *software* por parte del fabricante de bombas, usted puede disponer de la secuencia de cálculo utilizada para este objetivo, mientras se lanza la herramienta de cálculo electrónica en este sitio.

Mediante el desarrollo de un modelo del sistema, la curva de resistencia del sistema y las curvas características de la bomba pueden ser traslapadas para determinar los puntos actuales de operación de la bomba para el rango de requerimientos del sistema. Esto, a su vez, permite hacer una comparación entre el rango de los puntos de operación respecto al punto de mejor eficiencia “BEP” (*Best Efficiency Point*) (refiérase a la siguiente sección).

C.1 Punto de mejor eficiencia de la bomba (BEP).

Cada bomba centrífuga tiene un BEP en el cual su eficiencia de operación es la más alta y sus cargas de rodamiento radiales son más bajas. En el punto BEP o cerca de este, una bomba opera de forma más efectiva en términos de eficiencia energética y mantenimiento.

En aplicaciones prácticas, operar una bomba continuamente en su BEP no es posible, debido a que los sistemas de bombeo generalmente tienen cambios en los requerimientos de flujo y cabeza del sistema. Sin embargo, el seleccionar una bomba con un BEP que esté cerca del rango de operación normal del sistema puede dar como resultado importantes ahorros en costos de operación, incluyendo la reducción del consumo de energía.

El comportamiento de una bomba se describe típicamente por un gráfico que representa la presión generada por la bomba (medida en términos de la cabeza) contra el flujo. Una curva de funcionamiento para una bomba centrífuga típica se muestra en la Figura 4.

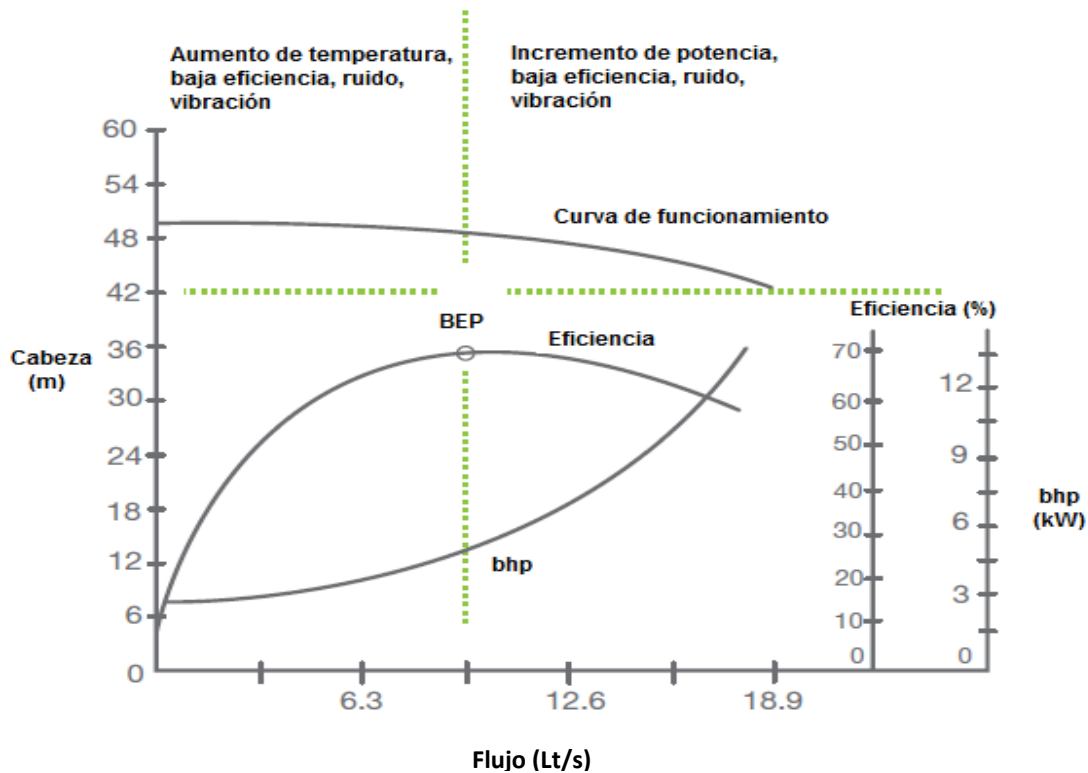


Figura 4. Curvas de funcionamiento de una bomba centrífuga.

Leyendo la Figura

En la Figura 4, el BEP de esta bomba, que opera a 9.45 Lt/s y 36 m de cabeza diferencial, está alrededor de un 70% de eficiencia, y esta consume cerca de 13.5 kW. Los efectos probables de una bomba operando a flujos más bajos que el BEP (situados, a la izquierda de la línea punteada) son: una baja eficiencia, ruido, vibración y la reducción de su vida útil debido al incremento de las cargas radiales en los rodamientos y al aumento de temperatura por la disipación de la energía creada por la baja eficiencia.

En el otro sentido de la curva, cuando una bomba opera a flujos más altos del BEP (situados a la derecha de la línea punteada), los efectos son: baja eficiencia, incremento en el requerimiento de potencia, ruido, vibración y, a su vez, la reducción de la vida útil de la bomba debido al incremento de las cargas radiales en los rodamientos.

C.2 Optimizar la configuración de las tuberías

La optimización de la configuración de las tuberías se puede hacer durante el diseño inicial de un sistema de bombeo o cuando se realicen modificaciones debido a los cambios en sus requerimientos. Las etapas claves para optimizar la configuración de las tuberías del sistema son:

- Determinar el diámetro apropiado de la tubería para maximizar las velocidades de flujo mientras se minimizan las pérdidas debidas a la fricción.
- Diseñar un arreglo de tuberías que minimice las caídas de presión evitando curvas bruscas, expansiones y reducciones, manteniendo la tubería lo más recta posibles.
- Seleccionar válvulas y accesorios con bajas pérdidas por fricción. En la determinación del tamaño óptimo de la tubería, los siguientes factores deben ser tomados en cuenta:
 1. El costo inicial de la tubería, el cual es mayor para diámetros de tuberías más grandes.
 2. El costo de bombear un fluido es menor para diámetros más grandes, debido a la menor pérdida por fricción.

Desafortunadamente, los diseñadores pueden pasar por alto los costos de la energía por el uso de tuberías pequeñas, enfocándose más bien reducir la inversión del capital. Con respecto a las válvulas, la selección de un tipo particular de válvula es guiada por los requerimientos de servicio. Por ejemplo, las válvulas de globo son usualmente seleccionadas debido a su bajo costo y su sencillez. Sin embargo, estas válvulas tienen un coeficiente de pérdida de flujo relativamente alto debido a la trayectoria de este a través de la válvula.

Al realizar todas las actividades anteriormente expuestas, usted podrá contar con la visión energética actual de su sistema de bombeo, las condiciones con las que fue diseñado y las problemáticas energéticas que existen en sus componentes para cubrir los requerimientos actuales de bombeo.

Por consiguiente, deberá de consultar ahora las alternativas de mejora que se ofrecen en estos sistemas, conocidas como “las mejores prácticas”, con el propósito de ajustar los consumos de energía demandados por estos sistemas de acuerdo con el requerimiento de bombeo. Las mejores prácticas son presentadas en otro documento en esta misma sección.

8.2 Sistemas de bombeo nuevos

El diseño y la selección de los nuevos sistemas proporcionan la oportunidad de optimizar los costos de ciclo de vida a mínimos valores, incluyendo la energía, mantenimiento y otros costos. Existen oportunidades significativas sobre el ciclo de vida a través del dimensionamiento óptimo de la tubería.

La selección del tipo y tamaño de la bomba, de su impulsor, así como la velocidad de operación impactarán en el punto de funcionamiento de la misma y, a su vez, determinarán su BEP.

El tamaño de la tubería, materiales, accesorios correspondientes y otros componentes influyen en la resistencia del sistema, como también en la curva y punto de funcionamiento del mismo. Por consiguiente, estos materiales deben ser seleccionados considerando los costos del ciclo de vida, especialmente porque son las partes más difíciles de cambiar en el futuro.

Además de lo anterior, debe considerarse que la corrosión, la abrasión o la acumulación de sólidos pudieran presentarse en la tubería, alterando los diámetros efectivos de la misma. Las válvulas, juntas y otros componentes también están sujetos a desgaste, por lo que se tendrá un impacto degradante en el circuito de control del sistema.

Por lo tanto, es necesario realizar una adecuada especificación y selección de sus componentes y considerar los criterios recomendados para un diseño óptimo. Para esto, usted puede referirse al documento dispuesto en esta sección³.

A continuación, serán expuestas algunas observaciones y recomendaciones para lograr la aprobación de un proyecto de mejora en estos sistemas.

³ Mejora del rendimiento y eficiencia del sistema de bombeo a través de la adecuada especificación de sus componentes.

9. Obtener la aprobación del Proyecto.

Mostrar el análisis de los beneficios financieros de un proyecto de optimización de un sistema de bombeo no siempre es suficiente para asegurar la aprobación de un proyecto dado. Para poder asegurar su aceptación, el desarrollador del proyecto debe hacer lo siguiente:

- Buscar soporte de un miembro clave de la administración antes de continuar con algún proyecto.
- Obtener aportes del personal del departamento para identificar las prioridades corporativas actuales.
- Comenzar con proyectos simples para incrementar las probabilidades de éxito.
- Crear un resumen escrito o propuesta que pueda identificar claramente las opciones con los mayores beneficios netos.

Asimismo, considerar los beneficios que pueden lograrse de la optimización de un sistema de bombeo, como son:

- Incremento de la productividad
- Reducción de los costos de producción

Mejorar:

- la calidad del producto
- la capacidad de uso
- la confiabilidad
- la seguridad del trabajador

Estos beneficios deben ser documentados en alguna presentación o propuesta al personal de administración. Existe literatura industrial que puede ser de mucha ayuda y apoyo en el convencimiento de la administración sobre las oportunidades disponibles.

Cuando la administración es renuente a aprobar el proyecto basándose en riesgos percibidos o falta de conocimiento con estos proyectos, puede también ser una ayuda hacer referencia del estudio de casos documentados de proyectos exitosos implementados en otras instalaciones.

Bibliografía:

- Robert Asdal, "Hydraulic Institute and Pumps Systems Matter", *Chemical Engineering Case Studies, from various sources, published by Pump Systems Matter*. www.pumpsystemsmatter.org
- *Best Practice Guide 249: Energy Savings in Industrial Water Pumping Systems, prepared by ETSU for the Department of Environment, Transport and Regions, US, September 1998*