

Empresas Energéticas.

- Eficiencia energética en los principales sistemas de energía.

-I. Sistemas de bombeo industrial.

CONTENIDO

III.1 Mejora el rendimiento y la eficiencia de su sistema de bombeo a través de la adecuada especificación de la(s) bomba(s), motor(es) y cálculos requeridos para el diseño del sistema.

1. Introducción.

2. Flujo normal y flujo nominal.

2.1. Flujo normal y flujo nominal.

2.2. Cálculos de caída de presión.

2.3. Cálculo de la presión de succión neta NPSH (columna).

2.4. Potencia y eficiencia.

2.5. La presión al cierre de válvula.

3. Especificación de las bombas centrífugas.

- **Proceso de recopilar los datos básicos.**
- **Determinar un valor preliminar de NPSH.**
- **Especificar los materiales deseados de la construcción.**
- **Especifique el equipo (sin sello vs. sello mecánico).**
- **Trabaje en estrecha colaboración con su proveedor y busque orientación con base en la experiencia previa en aplicaciones con un servicio similar.**
- **Clasificar las bombas no- ANSI, Sub- ANSI y ANSI – API.**
- **Especifique la presión y temperatura de diseño.**
- **Especifique los requisitos de motor.**
- **Operación normal.**
- **Selección de la bomba.**
- **NPSH (revisión).**
- **Flujo nominal y presión diferencial.**
- **Material de construcción.**
- **Analizando la curva de la bomba y la eficiencia.**
- **Tipo del sello mecánico.**
- **Motores.**
- **El tamaño de la bomba.**

- **Los códigos de diseño.**
- **Garantía.**
- **Alcance del suministro del equipo auxiliar.**
- **Precio.**

4. Conclusiones.

- **Anexos**

1. Introducción.

El funcionamiento ineficiente de un sistema de bombeo puede ser causado desde su diseño, principalmente por: una inadecuada selección de la bomba, desgaste excesivo de sus componentes, presencia de cavitación por un mal diseño del sistema o prácticas de control de flujo ineficiente. Consecuentemente, esto provocará aumentos en el consumo de energía y en los requerimientos de su mantenimiento.

La determinación del tamaño adecuado para bombas centrífugas durante las etapas iniciales en su especificación requiere de numerosos cálculos y suposiciones (basadas en las buenas prácticas), por lo que en esta sección serán presentados los pasos a seguir para dimensionar bombas centrífugas, así como los criterios y consideraciones técnicas requeridas para el diseño de todo un sistema de bombeo.

2. Dimensionamiento de bombas centrífugas.

2.1. Flujo normal y flujo nominal.

Para definir los flujos normal y nominal, debe consultar el balance de materia y energía de su proyecto. El flujo normal se establece como el flujo al 100% de capacidad del sistema.

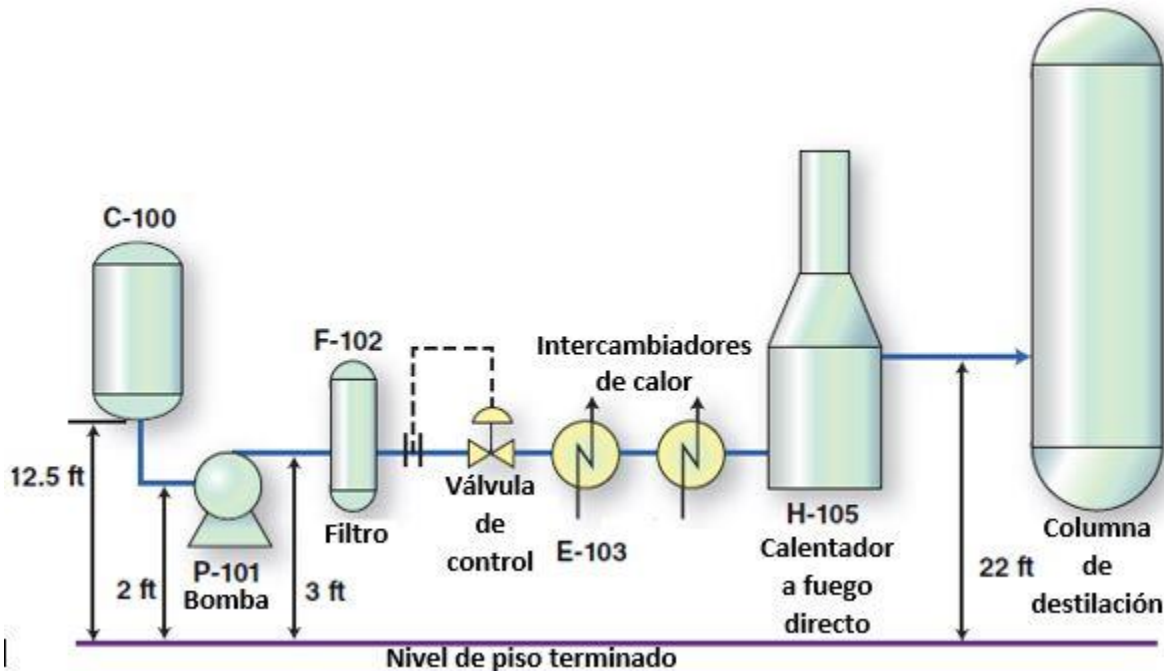
El flujo nominal debe resultar del margen de diseño que se añade al flujo normal (típicamente del orden de 10 a 30% adicional) para dar cabida a posibles aumentos de flujo, en el corto plazo, durante el funcionamiento.

El flujo nominal debe ser definido generalmente por el usuario. Si no, considere 10% para bombas de servicio normal y 20-30% para las de servicio crítico, tales como bombas de reflujo en columnas de destilación, de alimentación a reactores y calentadores a fuego directo y otras de alimentación a equipos que juegan un papel crítico en todo el proceso.

2.2. Cálculos de caída de presión.

En estos cálculos se determina la presión de succión y presión diferencial del sistema a condiciones de flujo nominal, es decir, la condición de operación máxima esperada. Como ejemplo, refiérase al cálculo # 1 (discutido más abajo) y a la Figura 1 para realizar el dimensionamiento de una bomba.

Figura 1. Este esquema muestra un sistema de bombeo para los cálculos de diseño referidos en el ejemplo 1. Considere una distancia de 2 ft entre la tubería de succión y el nivel de referencia y 3 ft de distancia entre la descarga de la bomba y el nivel de referencia.



Nota: Estos valores deben ser confirmados cuando la selección de bomba se haya realizado.

2.3. Cálculo de la presión de succión neta NPSH (columna).

Habitualmente, en la industria, cuando se desea adquirir una bomba, se utiliza el término NPSH (*Net Positive Suction Head*) que es la carga neta de aspiración positiva. Es decir, es la presión disponible en la tubería de succión de la bomba para que el flujo entre a la misma.

Durante las primeras etapas del proyecto, el diseño de la planta aún no está establecido. Por lo tanto, el NPSH disponible para la(s) bomba(s) no puede ser calculado con certeza. Sin embargo, por programa de ejecución del proyecto y los plazos de entrega de los equipos es conveniente llevar a cabo su diseño preliminar. El NPSH juega un papel muy importante durante la selección de la bomba y puede afectar significativamente su costo y operación confiable si se especifica una bomba con NPSH requerido igual o mayor al disponible por el sistema.

El objetivo es calcular un valor de NPSH preliminar y proporcionarlo a los vendedores de bombas para obtener una retroalimentación inicial.

Esto permite a ambas partes determinar si una bomba con un NPSH especificado puede adquirirse o no, ser suministrada con algunas modificaciones en el arreglo de distribución de la planta, o se tendrá que seleccionar una bomba con requerimientos más bajos de NPSH. Con base en la retroalimentación del proveedor, modifique el diseño para tener un margen de diseño entre el NPSH disponible y el requerido. Un margen de diseño de 3 a 4 pies es ampliamente aceptado por estándares en la industria. Ver ejemplo, en Cálculo No. 2, para el cálculo de NPSH (disponible).

2.4. Potencia y eficiencia.

En las primeras etapas del proyecto, se tendrá que proporcionar la potencia preliminar al ingeniero eléctrico para los cálculos de carga. A partir de la presión diferencial nominal, calcule la potencia hidráulica requerida (ver ejemplo de Cálculo No. 1), usted debe asumir una eficiencia de la bomba, la cual puede estimar entre el 50 y el 60% (dependiendo del tamaño del equipo deseado); a partir de aquí se estima el tamaño de la bomba y su actuador (motor). Este valor obtenido es normalmente suficiente para el cálculo de la potencia durante las etapas iniciales de su proyecto.

2.5. La presión al cierre de válvula.

La presión de cierre es requerida para determinar el rango de presión de diseño del sistema y del equipo; entre estas, definir el rango de las bridas de entrada y salida de la bomba. Hay varias maneras de calcular la presión al cierre. Un método más conservador utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Presión diferencial} \times 1.25 + \text{presión máxima de succión}$$

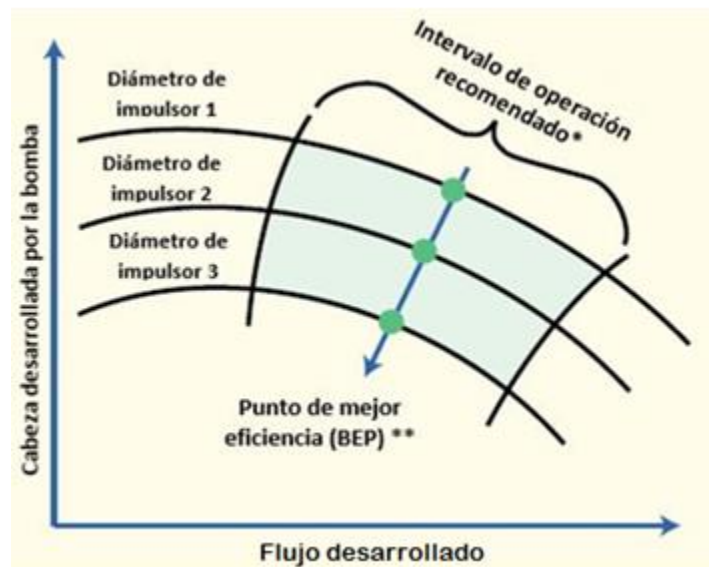
La presión máxima de succión se calcula por:

$$\text{La presión de ajuste de la válvula de seguridad (PSV)} \times 10 - 21\% \text{ de acumulación} + \text{carga estática basada en el nivel alto del líquido.}$$

Si un usuario no dispone de información como la presión de ajuste de la PSV en las primeras etapas del proyecto, un planteamiento simple para calcular la cabeza al cierre se hace con la siguiente fórmula:

$$\text{Cabeza diferencial nominal} \times 1.2$$

Figura 2. En esta gráfica se observa la curva de funcionamiento de una bomba, se muestra el punto de mejor eficiencia (BEP) y el rango recomendado de operación, el cual es de ayuda durante la selección de la bomba. Note que el área sombreada representa el rango de operación para diferentes tamaños de impulsor.



*El rango recomendado de operación está entre 70-120% del flujo correspondiente al BEP.

**El BEP es un punto sobre la curva, es único para cada bomba, y es suministrado por el fabricante.

3. Especificación de las bombas centrífugas.

Los siguientes pasos deben llevarse a cabo durante la especificación de las bombas centrífugas:

Proceso de recopilar los datos básicos

Llene la hoja de datos de la bomba con la siguiente información básica: presión de succión, presiones de descarga normal y nominal, flujo normal y flujo nominal, las propiedades del fluido, tales como la densidad, la viscosidad y presión de vapor a temperatura de operación.

Determinar un valor preliminar de NPSH

Consulte los cálculos de NPSH que se presentan al final de este documento (ejemplo de Cálculo No. 2).

Especificar los materiales deseados de la construcción

Esto lo debe definir el usuario final o un especialista en materiales, quien está involucrado en el proyecto y es responsable de especificar la metalurgia apropiada del equipo.

Especifique el equipo (sin sello vs. sello mecánico)

Las bombas de accionamiento magnético, sin sello, son deseables para muchas aplicaciones, ya que eliminan la necesidad de los sellos mecánicos y así se elimina el riesgo inherente de fugas y el mantenimiento asociado con dichos sellos. Sin embargo, las bombas sin sello también tienen inconvenientes, tales como una incapacidad para manejar partículas grandes en el fluido de proceso y en otras aplicaciones; una presión diferencial relativamente alta requiere un par elevado, lo cual puede estar más allá de las capacidades de la bomba sin sello.

Confíe en la experiencia del usuario final con respecto a usar un diseño de bomba con o sin sello. Considere una bomba sin sello para líquidos inflamables, tóxicos y corrosivos. Por ejemplo, muchas instalaciones utilizan bombas selladas tradicionales para el bombeo de agua y bombas sin sello para el bombeo de ácidos y álcalis y otros líquidos corrosivos.

Trabaje en estrecha colaboración con su proveedor y busque orientación con base en la experiencia previa en aplicaciones con un servicio similar

Si una bomba sin sello no está disponible, considere el uso de un sello mecánico doble para reducir al mínimo el riesgo de fugas. Confíe en la experiencia de los vendedores, así como en la selección del sello mecánico más apropiado para su servicio. Proporcione a los vendedores tantos datos de proceso como usted disponga, para asegurar la selección adecuada de sello para su servicio.

Clasificar las bombas no- ANSI, Sub- ANSI y ANSI – AP.

En última instancia, las selecciones de bombas centrífugas específicas deben estar basadas en los requerimientos de los usuarios finales, las condiciones del proceso y los incrementos de los costos en este orden: no- ANSI, sub- ANSI, ANSI y API, donde las bombas no- ANSI tienen el más bajo costo. Una bomba no-ANSI generalmente tiene aplicación en los pequeños tamaños donde se maneja un servicio menos crítico, tal como el bombeo de agua a presión y temperatura relativamente bajas. Una bomba ANSI se utiliza generalmente en aplicaciones con tamaños relativamente grandes (por ejemplo, más de 10 HP) en servicios con químicos o hidrocarburos.

Sin embargo, algunas bombas ANSI pueden estar limitadas para una presión de carcasa máxima. Para una presión de carcasa mayor, el usuario podría no tener elección y considerar una bomba hecha por el propio fabricante o bien una bomba API. Las bombas API tienden a ser considerablemente más caras que las bombas ANSI, ya que se utilizan generalmente en servicios de hidrocarburos que implican altas temperaturas y muy altas presiones. Tales bombas son ampliamente utilizadas en servicio de refinería.

Especifique la presión y temperatura de diseño

Especificar la presión y temperatura de diseño de la bomba con base en las condiciones de diseño del recipiente donde esta succiona, podría ser el planteamiento más fácil. Sin embargo, debe comprobarse que no existan posibles cambios de condiciones que puedan justificar un aumento en la presión y temperatura de diseño, tales como una nueva corriente de proceso que entre en la succión de la bomba o un modo de funcionamiento diferente en el proceso.

Especificar los requisitos del motor

El suministro de nivel de tensión de corriente requerida (460 / 4160 / 13200 V, etc.), debe ser suministrada por el usuario final. A su vez, se tiene que especificar las áreas peligrosas, de acuerdo con la clasificación de zonas, donde se localizarán los motores eléctricos, así como la temperatura nominal del motor. Consulte la clasificación eléctrica de áreas peligrosas. La temperatura nominal del motor debe provenir de la utilización final. Esta se basa en la temperatura de auto-ignición más baja de los componentes involucrados en el proceso. Tenga en cuenta que en la mayoría, una clasificación del motor hasta T3A está disponible sin ningún costo adicional, sin embargo, el costo aumenta considerablemente si se especifica un motor con una clasificación de T4 o superior.

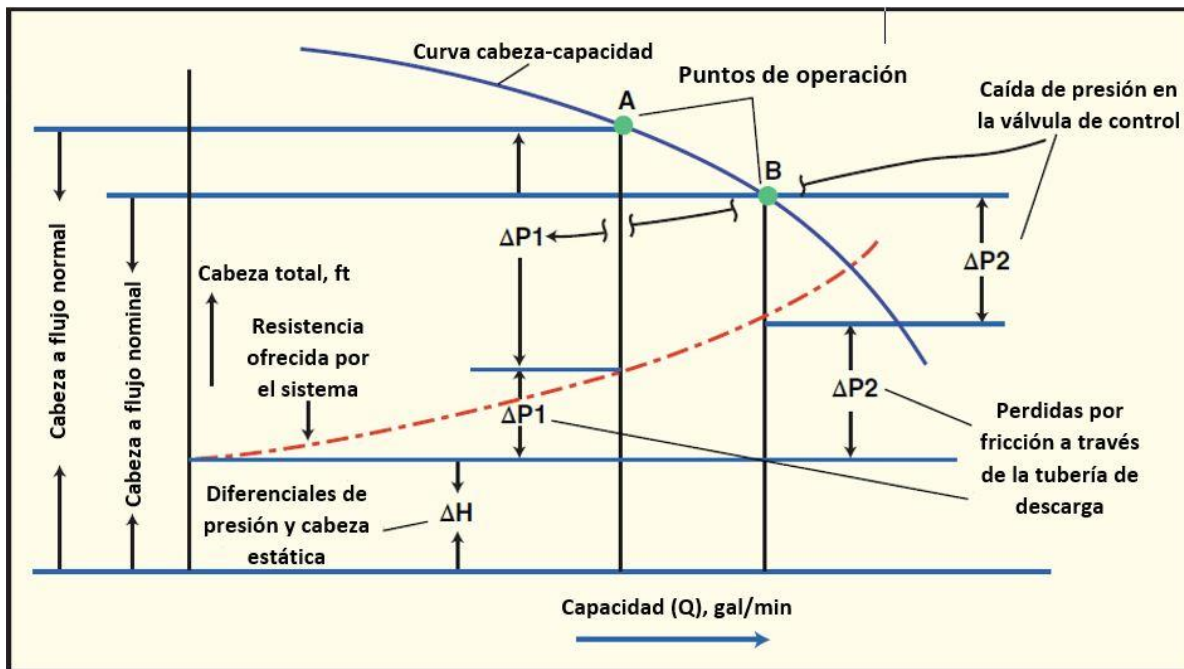
Posteriormente, se tiene que especificar si desea un motor de velocidad fija o con accionamiento de velocidad variable. Si está controlando el flujo de la bomba con un controlador de velocidad, entonces usted debe seleccionar un inversor de corriente, motor de velocidad variable de servicio invertido. Sin embargo, tenga en cuenta que si hay una válvula de control en la descarga de la bomba, entonces debe utilizar un motor de velocidad fija.

Operación normal

Debido a que el flujo en operación normal es menor que el flujo nominal, la bomba tratará de desarrollar más columna. En este escenario, la válvula de control comenzará a cerrar provocando más caída de presión (consumiendo más energía potencial). Esto tendrá el efecto de mover el punto de operación de la bomba, hacia atrás, siguiendo la curva característica (del punto B al punto A, de la Figura No. 3).

Aquí, se notará que la diferencia de presión a flujo nominal es de 38 psig (especificado por el diseñador) y 83.5 psig es para el flujo normal. La diferencia entre estos dos valores es el exceso de carga dinámica entre el flujo normal - flujo nominal. La relación entre la cabeza-capacidad de flujo en la curva de bombas y la relación de la resistencia del sistema de tubería se muestra en la Figura No. 3.

Figura 3. Esta gráfica muestra la relación (curva característica) entre la cabeza-capacidad de una bomba y la resistencia del sistema de tuberías (pérdidas por fricción). También muestra la caída de presión a través de la válvula de control a flujo normal y nominal.



Nota: La caída de presión a través de la válvula de control es menor a flujo nominal que a uno normal.

La caída de presión a través de la válvula de control no debe ser incluida como parte de las pérdidas de carga dinámica. La brecha entre la curva de capacidad flujo-cabeza (flujo-carga) y la curva de resistencia del sistema está disponible para el estrangulamiento de la válvula de control (caída de presión a través de la válvula). La caída de presión en la válvula a flujo normal es mayor que a flujo nominal. Mientras las pérdidas de carga dinámica en la tubería aumentan a mayores flujos (flujo nominal), la caída de presión en la válvula disminuye. A mayores flujos, la válvula tiene que abrir más y permitir un mayor flujo con menor resistencia.

Los diseñadores deben de valorar la importancia de especificar la correcta caída de presión para la válvula de control a diferentes condiciones de flujo, para asegurar un diseño eficiente del sistema de bombeo. Si un sistema no está bien especificado, nunca será capaz de controlar el flujo y tampoco proporcionará un flujo adecuado a la cabeza requerida. La eficiencia será baja y la bomba consumirá más energía de la requerida.

También es aconsejable instalar una válvula que de preferencia sea de globo en la descarga de la bomba para permitir el estrangulamiento y a su vez, ajustar el flujo y la presión de descarga. Debe considerarse que la instalación de una válvula de globo provocará una caída de presión constante, debe tomarse en cuenta durante los cálculos de pérdida de la cabeza.

En última instancia, los cálculos de la caída de presión en la válvula de control a flujo normal y nominal deben ser avalados por el ingeniero instrumentista, quien es responsable de la especificación y dimensionamiento de las válvulas de control para su proyecto.

Selección de la Bomba

Durante esta etapa del proyecto, se debe de estar recibiendo cotizaciones por parte del proveedor, con base en las especificaciones de las bombas que usted le haya proporcionado. Si bien las diversas propuestas de bombas variarán en su costo, una bomba más cara no necesariamente significa que sea la mejor para el trabajo. Para evaluar la competencia de las cotizaciones de manera justa, es necesario el desarrollo de una hoja de cálculo, en la cual se consideren todos los criterios de selección. Es recomendable que asigne puntos a cada elemento que cumpla con sus especificaciones.

NPSH, revisión

Se debe revisar el NPSH (requerido), de la hoja de datos de la bomba, proporcionado por el vendedor y cuestionarse lo siguiente:

¿Qué tan cerca está del valor estimado de NPSH disponible?

¿Puede funcionar esta bomba, si se presenta un aumento de NPSH disponible?

Un NPSH suficiente es un parámetro clave en la selección de la bomba, y que un NPSH insuficiente frecuentemente da como resultado la cavitación de la bomba.

La cavitación se produce cuando se forman burbujas de vapor en áreas de baja presión estática dentro de la bomba y avanzan hacia los álabes del impulsor donde la presión es alta. En esta área, las burbujas se colapsarán rápidamente y su fuerza producida al romperse erosionan los álabes del impulsor; esto dará como resultado picaduras en forma progresiva en el impulsor de la bomba. Como regla práctica, se requiere un margen aceptable entre NPSH (disponible) y NPSH (requerido) para garantizar la confiabilidad de la bomba. Un margen mínimo de 3 - 4 pies es una buena práctica ampliamente aplicada.

Debido a que el requerimiento del NPSH aumenta con el incremento del flujo, es importante tener en cuenta el flujo máximo esperado cuando se especifique el margen aceptable de NPSH.

Flujo nominal y presión diferencial

Analice todas las cotizaciones para ver si cumplen con el valor especificado de flujo y presión diferencial.

Material de construcción

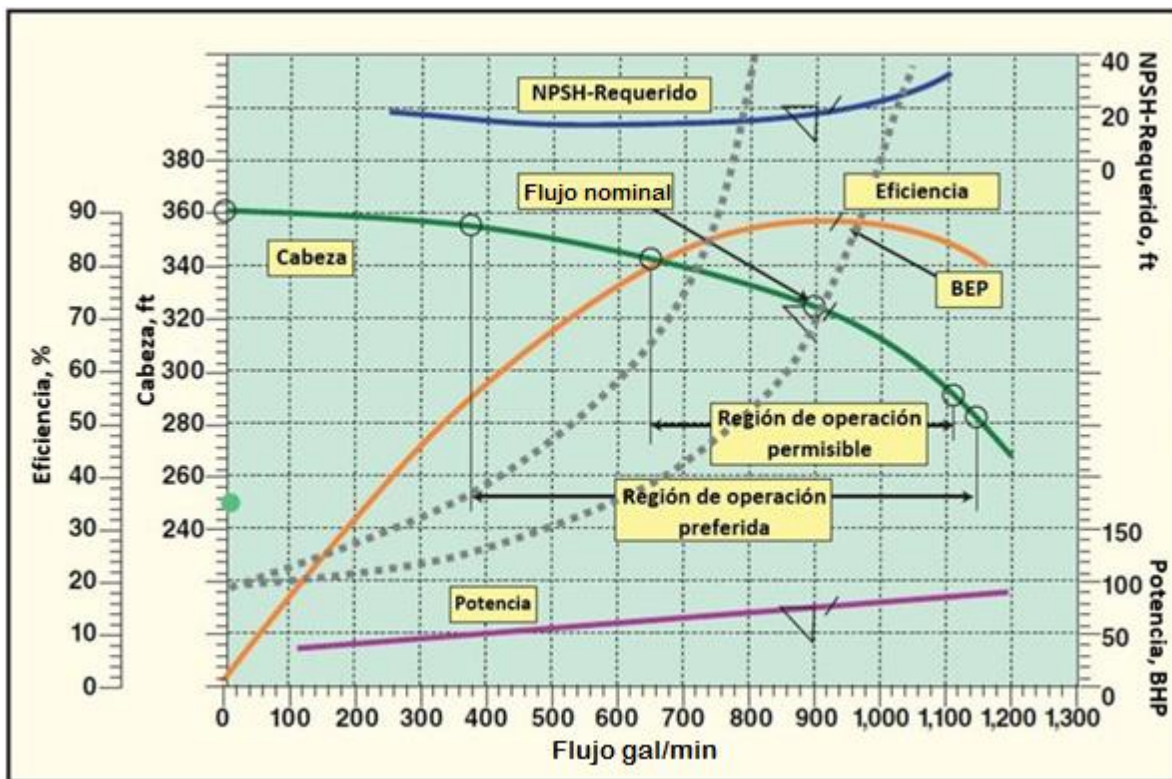
Esto cumple con el material especificado por usted. Consulte las especificaciones de tuberías de acuerdo con las bases de diseño del proyecto.

Analizando la curva de la bomba y la eficiencia

La eficiencia de la bomba es un valor muy importante a considerar. Algunos vendedores pueden cotizar una bomba más grande que lo requerido. En tal caso, la eficiencia de la bomba se reducirá. Los diseñadores han notado que una bomba con mayor eficiencia, incluso un 10%, puede ahorrar miles de pesos en costos de energía durante la vida útil de la misma.

Es una buena práctica examinar varios diagramas de rendimiento de bombas a diferentes velocidades para evaluar si un modelo satisface los requisitos de manera más eficiente que otro. Siempre que sea posible, seleccione una velocidad de bomba más baja, ya que esto reducirá el desgaste y deterioro de las piezas giratorias. La eficiencia se encuentra en la curva de la bomba proporcionada por el proveedor. Consulte la Figura No. 4, donde se encuentra la relación entre la eficiencia y flujo. Esta figura también muestra la relación entre el flujo volumétrico, la cabeza, el NPSH y la potencia al freno de la bomba.

Figura 4. Esta figura muestra la relación entre el flujo y la cabeza, potencia, eficiencia y NPSH. Note que la curva del NPSH tiene forma de tazón indicando que los requerimientos de NPSH se incrementan con el flujo. Asegúrese de analizar este valor con precaución y seleccionar un NPSH (requerido) que corresponda al flujo nominal.



Cada bomba tiene un punto de máxima eficiencia “BEP”, el cual es la combinación de flujo - cabeza que corresponde a la más alta eficiencia. La región de operación preferida está entre el 70 y 120% del valor del flujo BEP (ver Figura No. 2), aunque la mayoría de los usuarios requieren que el flujo nominal se encuentre entre el 80% y 110% del BEP. La región de operación permitida varía de bomba a bomba y es definida como el rango de flujo dentro del cual las vibraciones no exceden los límites establecidos por el Instituto Americano del Petróleo (API)¹.

Consulte la Figura No. 3, para el rango de operación recomendado. La región sombreada representa el rango de operación, que se discutió en el párrafo anterior. Tenga en cuenta que, en esta figura, hay tres curvas para tres tamaños diferentes de impulsor proporcionados por el proveedor de la bomba. Durante la selección de un impulsor, es una buena práctica seleccionar una bomba con un impulsor que pueda aumentarse de tamaño, ya que esto permitirá a futuro aumentar la cabeza y la capacidad.

Tipo del sello mecánico

Al evaluar las cotizaciones de los proveedores, asegúrese de que está comparando "manzanas con manzanas". Por ejemplo, algunos vendedores pueden haber cotizado un sello mecánico doble, mientras que su requerimiento fue el de un simple sello. Si esto ocurre pregunte al vendedor la razón de este suministro para revisar el presupuesto

Motores

Compruebe el tamaño del motor y si ha sido dimensionado con carrera completa de salida (*full run-out*), lo que significa que el motor debe estar dimensionado para que la bomba entregue su flujo máximo. El rango de temperatura del motor y la clasificación de áreas eléctricas indicados por el proveedor deben cumplir con sus requerimientos especificados.

El tamaño de la bomba

Compruebe la dimensión de la bomba a partir de las cotizaciones recibidas. Si el espacio es reducido, podría considerarse una bomba en línea o de alta velocidad, o bien de una etapa contra otra de etapas múltiples.

Los códigos de diseño

La bomba cotizada cumple con sus códigos de diseño especificados, tales como API, ANSI y así sucesivamente.

Garantía

Al evaluar las diferentes opciones, verifique la garantía del funcionamiento del equipo por el fabricante, la disponibilidad de asistencia del proveedor durante el arranque en el sitio y si estas se encuentran especificadas en la solicitud de cotización.

¹ American Petroleum Inst. (API), “Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemicals and Natural Gas Industries,” 10th Ed., API Standards 610 (ISO 13709), Washington, D.C.

Alcance del suministro del equipo auxiliar

Asegúrese de que la cotización incluya el suministro de todos los accesorios necesarios, tales como lubricación - enfriadores de aceite, tuberías de interconexión entre los enfriadores e instrumentos, tales como interruptores de flujo en las líneas de agua de enfriamiento, etc. Asegúrese de comparar todas las cotizaciones sobre la misma base.

Precio

Antes de seleccionar una bomba en particular, asegúrese de que está comparando "manzanas con manzanas", ya que diferentes vendedores pueden tener cotizaciones con diferentes opciones de bomba en diferentes estilos, con diferentes disposiciones de sellos, utilizando diferentes supuestos y así sucesivamente.

4. Conclusiones

Es muy importante la estrecha coordinación con el proveedor de la bomba y el desarrollo de un conocimiento sólido sobre los pasos esenciales para cumplir con los requerimientos de potencia en su proceso durante el diseño de bombas y su selección dentro del sistema de bombeo. Mediante la comprensión de los conceptos de flujo, cabeza, presión de succión (NPSH) y el entendimiento de las curvas características de la bomba, usted estará en el camino correcto para diseñar y seleccionar la bomba más adecuada que cumpla con todos los requerimientos de potencia de su proceso.

Anexos

Ejemplo de cálculo sobre el dimensionamiento de un sistema de bombeo

Considere el esquema del sistema de bombeo que se muestra en la Figura 1. Un fluido con una presión de vapor de 45.9 psia a una temperatura de operación de 430 ° F con una viscosidad de 0,5 Cp, se bombea a un flujo normal de 2.000 gal / min. La gravedad específica es 0,7 y la presión de entrega es de 100 psig. La presión de operación de la columna "C-100" es 30 psig. La presión atmosférica en sitio es 14.5 psia. Asumiendo un flujo nominal de 2,400 gal / min (1,2 veces el flujo normal).

Note que dos tipos de cálculos se deben realizar para calcular la potencia -- uno a flujo normal y otro para calcular la carga estática nominal. La caída de presión a través de filtros, intercambiadores de calor, medidores de flujo (placas de orificio) y horno serán tomadas a partir de información real de los proveedores de estos equipos.

Si las cotizaciones de los proveedores aún no están disponibles durante el dimensionamiento de la bomba preliminar, entonces deben hacerse suposiciones sobre la base de interacción con las otras disciplinas. Por ejemplo, es bueno suponer una caída de presión de 10 psig a través de intercambiadores de calor o una caída de presión de 5-10 psig a través de un filtro. La caída de presión a través de un recipiente lleno de catalizador debe calcularse utilizando la ecuación de Ergün. Estos valores de caída de presión serán determinados cuando se tenga el diseño del equipo

final y sus valores se utilicen para definir el dimensionamiento final de la bomba, durante la fase de ingeniería de detalle, con el propósito de revisar la presión diferencial nominal y potencia al freno nominal.

Los cálculos de dimensionamiento de una bomba también proporcionan datos de caída de presión a través de la válvula de control, en condiciones de flujo normal- y nominal. Especifique la caída de presión a través de la válvula de control a flujo nominal, siguiendo la regla ampliamente aceptada, es decir, el 25% de la pérdida de presión de cabeza dinámica a flujo nominal. En este caso, la pérdida de cabeza dinámica a flujo nominal es de 151 psig (la suma de las caídas de presión a través de filtros, intercambiadores de calor, hornos, placas de orificios y las pérdidas de línea). Por lo tanto, la presión diferencial (caída de presión) a través de la válvula de control en este escenario y a flujo nominal, es de 38 psig)

Nota: Si la caída de presión calculada a través de la válvula de control es inferior a 10 psig, utilice un valor mínimo de 10 psig para la válvula de control a flujo nominal.

Cálculo No.1

Tabla 1. Muestra los resultados del dimensionamiento de una bomba, en el cual se calcularon presión de succión y la presión diferencial nominal.

Nota: Para ver detalles sobre el cálculo, referirse a la memoria de cálculo sobre el dimensionamiento de un sistema de bombeo anexa a este documento.

Tabla 1. Dimensionamiento de la bomba, hoja de cálculo para determinar la presión a la succión y la presión diferencial nominal (cálculo #1)		
	Condición de flujo nominal	Condición de flujo normal
Presión a la succión		
	30	30
Cabeza estática = 10.5 pies (ft × densidad relativa / 2.31), psi	3.2	3.2
Pérdidas en la línea de succión, psi	0.3	0.3
Presión a la succión de la bomba, psig	$(30 + 3.2) - 0.3 = 32.9$	$(30+3.2) - 0.3 = 32.9$
Presión a la descarga		
Presión desarrollada, psig	100	100
cabeza estática = 19 ft (ft × densidad relativa / 2.31), psi	5.8	5.8
Pérdidas en la línea, psig	33	23
Caída de presión en la válvula de control, psig	38	83.5
Caída de presión en el filtro, psig	14.4	10
Caída de presión del intercambiador de calor 1, psig	14.4	10
Caída de presión del intercambiador de calor 2, psig	14.4	10
Caída de presión en el horno, psig	72	50
Caída de presión en la placa de orificio, psig	2.88	2
Contingencia, psig	10	10
Presión diferencial, psig		
Presión a la descarga, psig	$= 100 + 5.8 + 33 + 14.4 + 14.4 + 14.4 + 72 + 2.88 + 38 + 10 = 305$	$= 100 + 5.8 + 2 + 3 + 10 + 10 + 10 + 50 + 2 + 83.5 + 10 = 305$
Presión mínima en la succión, psig	32.9	32.9
Presión diferencial total de la bomba, psig	272	272
Cabeza de la bomba (psi × 2.31 / densidad relativa)	900	900
Potencia hidráulica = gal/min × cabeza de la bomba (ft) × densidad relativa / 3,960 , HP	382	318
Eficiencia a 3,600 rpm, %	60	60
Potencia mecánica = Potencia hidráulica / eficiencia, HP	637	530

Cálculo No. 2 (NPSH)

Tabla 2. La presión estática disponible en la succión de entrada de la bomba = (presión de operación del recipiente + cabeza de succión) – pérdidas de cabeza en la tubería de succión a flujo nominal.

Los resultados del cálculo se muestran en la tabla 2.

Nota: Para ver detalles sobre el cálculo, referirse a la memoria de cálculo sobre el dimensionamiento de un sistema de bombeo anexa a este documento.

Tabla 2. cálculos para obtener el NPSH (Cálculo #2)	
Presión atmosférica, psia	14.5
Densidad relativa (SG), adimensional	0.7
Presión original (Presión del tanque), psig	30
Cabeza estática = 10.5 ft (nota 1)	$(10.5/2.31) \times 0.7 = 3.18$ psig
Pérdidas de la línea de succión, psig	0.3
Presión de succión en la brida de entrada a la bomba, psia	$= 30 + 3.18 - (0.3) = 32.88 + 14.5 = 47.38$ psia
Presión de vapor, psia	45.9
Cabeza neta positiva de succión (NPSH) = presión de succión - presión de vapor, psia	$47.38 - 45.9 = 1.48$ psia
NPSH disponible, ft	$= 1.48 \times 2.31 / 0.7 = 4.89$
Nota 1: La cabeza estática es medida del nivel mínimo del tanque a presión al centro de la línea de la succión de la bomba o de la boquilla del fondo del tanque al centro de la línea de succión de la bomba. Este último es el método más conservador.	

Bibliografía:

- https://cdn2.hubspot.net/hub/55271/file-14603304-pdf/docs/prox-svers_pressure_drop_bulletin.pdf
- WEG, Motors Specification of Electric Motors, Capitulo 9 Explosive Atmosphere
- Chemical Engineering www.che.com February 2013, Sizing Specifying and Selecting Centrifugal Point, Asif Raza.