

¿SON CONFIABLES LAS BOMBAS CENTRIFUGAS?

Autores: Isaac Blustein y Martín Vidmar.

Colaboró: Luis De Letis

Empresa: Techint Ingeniería y Construcción

Correos electrónicos: teisb@techint.com - mrvidmar@techint.com - tealud@techint.com

Sinopsis

Una de las máquinas que se encuentran en una refinería en mayor **cantidad y variedad** son, sin lugar a dudas, las bombas centrífugas.

Todo proceso que se desarrolla en la refinería tiene alguna o varias bombas centrífugas en su proceso de producción. Esto de por sí es un factor determinante para que se preste atención al comportamiento y fundamentalmente a la confiabilidad de estos equipos.

El objetivo del trabajo es conocer y analizar algunas características de las bombas centrífugas que no siempre son conocidas por quienes definen sus condiciones de operación, las seleccionan y/o por quienes las operan en las refinerías; incluso en otras plantas de proceso donde estas máquinas son utilizadas en cantidades significativas.

En primera instancia se definirán aquellos datos característicos que inciden en los temas a desarrollar en el trabajo, para una mejor comprensión de los mismos: puntos característicos, operación en serie y en paralelo, caudales mínimos con origen en diferentes causas, etc.

Como todo proceso de producción, en las refinerías se requiere disponer de una cierta variabilidad en las condiciones de operación. Esto se aplica básicamente a los caudales transportados y en algunos casos también a otros parámetros operativos. Para ello, se analizarán diferentes formas de regular los parámetros de operación, ventajas y desventajas, así como su incidencia en la confiabilidad de las bombas.

Como puntos destacados se analizarán las consecuencias de operar las bombas centrífugas en condiciones posibles pero no confiables por efectos adversos: recirculación, cavitación, consumo de energía, vida útil de rodamientos y sellos mecánicos.

Se considerarán las formas más convenientes de interconectar y poner en funcionamiento a las bombas de un determinado proceso, a fin de obtener la mayor seguridad de operación.

Introducción:

Una bomba es una máquina que convierte energía mecánica en energía hidráulica en la forma de presión, para un determinado caudal.

Particularmente las bombas centrífugas lo hacen imprimiendo una mayor velocidad al fluido por medio de un rotor que gira dentro de una cámara, para luego transformar esa energía cinética en energía potencial en la forma de presión.

Una misma bomba centrífuga puede operar bajo condiciones de caudal y presión bastante diferentes, pero esas condiciones de operación tienen varias limitaciones y condicionamientos.

Un gráfico que ilustra las posibilidades de una bomba centrífuga típica se muestra en la Figura 1. Se ve que la misma bomba podría operar con caudales desde 0 hasta un máximo y a cada caudal le corresponde una diferencia de presiones entre succión y descarga.

Puesto que el comportamiento de las bombas centrífugas es el mismo para cualquier líquido siempre que su viscosidad sea baja, en lugar de referir a diferencias de presión, nos referiremos en adelante a altura de líquido, ya que la presión depende de la densidad del fluido. O sea, una determinada bomba generará la misma altura para un determinado caudal, con agua o con hidrocarburo liviano, pero el incremento de presión en agua será mayor que con el hidrocarburo. La potencia requerida también será mayor con agua que con hidrocarburo, debido a esa diferencia de densidad.

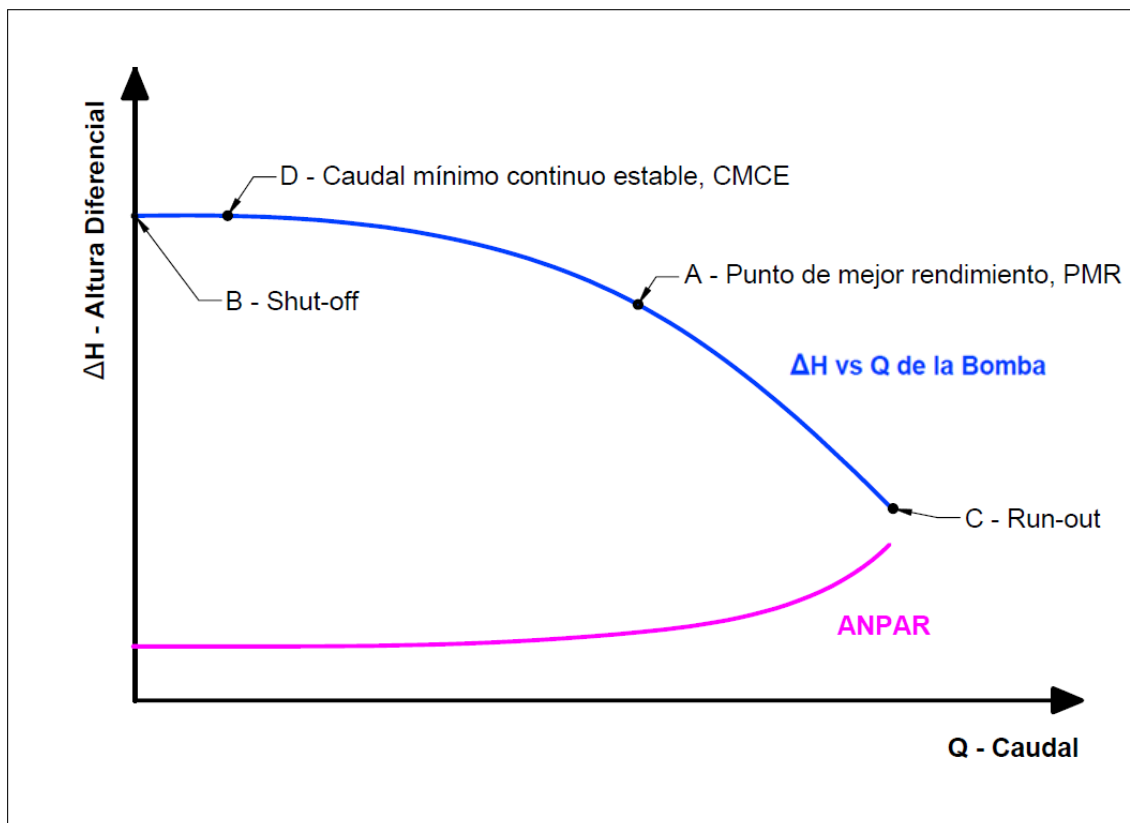


Figura 1.

En la Figura 1 se indican algunos puntos característicos de las bombas centrífugas. Ellos son:

A: Punto de mejor rendimiento: Es la condición en la cual el rendimiento total en términos de energía es el más alto en toda la extensión de la curva de operación. En rigor, es la condición de caudal y altura para la cual ese tamaño y tipo de bomba fue diseñado.

B: Shut-off o Caudal cero: Es la condición en la cual la descarga de la bomba está totalmente bloqueada y no circula líquido a través de la misma. Se puede ver que, a pesar de tener su descarga bloqueada, la altura generada, y la presión en consecuencia, no exceden un valor máximo definido.

C: Run-out o Caudal máximo: Es la condición de máximo caudal al cual se debe operar la bomba. Está limitado, como se verá un poco más adelante por razones de vibración y de ANPA (Altura Neta Positiva de Aspiración).

D: Caudal Mínimo Continuo Estable (CMCE): En rigor existen varias limitaciones para el caudal mínimo recomendado que implican valores diferentes. Son:

- Caudal mínimo térmico: La transformación de energía producida en la bomba genera ineficiencias que se convierten en calor. Hay un caudal mínimo en el cual la ineficiencia es grande y el poco fluido circulante no logra refrigerar el equipo, generando un aumento inaceptable de temperatura.

- Caudal mínimo hidráulico: Como los impulsores se diseñan para operar en el PMR (Punto de Mejor Rendimiento) al operar con caudales muy bajos se generan zonas de baja presión y otras de alta, dando como resultado la recirculación en la boca del impulsor. Esto produce vaporización local en las zonas de baja presión e implosión de las burbujas en las zonas de alta presión, dañando severamente los impulsores (este fenómeno de vaporización y represurización que es conocido como cavitación, se verá más adelante).

- Caudal mínimo mecánico: El fluido que sale de los impulsores genera sobre éstos una reacción que es finalmente transmitida al eje de la bomba. Esa fuerza radial es mínima en el PMR y crece notablemente a medida que el caudal se reduce alejándose del PMR; también crece a caudales mayores que el PMR. La carga radial, al producir una deformación del eje más significativa, implica una menor vida de los rodamientos y una desalineación de las caras del sello mecánico y su consecuente deterioro acelerado.

Por otra parte, las irregularidades en los conductos hidráulicos generan un nivel de vibración en las bombas que también es mínimo en el PMR y crece a medida que el caudal se aleja del PMR hacia valores menores y mayores.

- Caudal mínimo abrasivo: En el bombeo de líquidos que contienen partículas abrasivas, éstas son llevadas en el interior de la masa líquida por su velocidad. A caudales reducidos las partículas entran en contacto más frecuente con las paredes internas de la bomba, generando un mayor desgaste por abrasión.

Estos factores limitan el caudal mínimo que debemos admitir en la operación de las bombas centrífugas.

Generalmente los proveedores definen un CMCE (Caudal Mínimo Continuo Estable) que es el caudal más bajo al que podemos operar la bomba en forma continua. Abarca a los que se mencionaron más arriba.

Altura Neta Positiva de Aspiración

El ANPA es la altura total, medida en términos absolutos, existente en la succión de una bomba, descontada la tensión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo. Inciden otros factores que son de muy limitada influencia en el valor final de ANPA.

Se definen dos valores de ANPA: El ANPAD (ANPA Disponible) es el valor que la instalación mantendrá de acuerdo a las condiciones de succión que surgen del diseño del sistema aguas arriba de la bomba. El ANPAR (ANPA Requerido) es el que necesita cada bomba para operar satisfactoriamente. Una curva de ANPAR típica es representada en la Figura 1.

En la Figura 2 se muestran otros parámetros que habitualmente acompañan a la curva característica de caudal-altura. La curva A es la característica de altura en función del caudal, como se vio en la Figura 1. La curva B muestra la variación del rendimiento de la bomba en función del caudal para la velocidad y diámetro de impulsor correspondiente. La curva C muestra la variación de la potencia mecánica absorbida en función del caudal. El ANPA requerido por la bomba en cuestión está representado en la Figura 1.

La misma Figura 2 muestra también la gráfica de vibraciones en función del caudal, que como se ve son mínimas en el PMR y crecen para caudales mayores y menores. En función de los valores de vibraciones se define una zona preferida de operación y una zona admisible donde las vibraciones son algo mayores pero todavía aceptables.

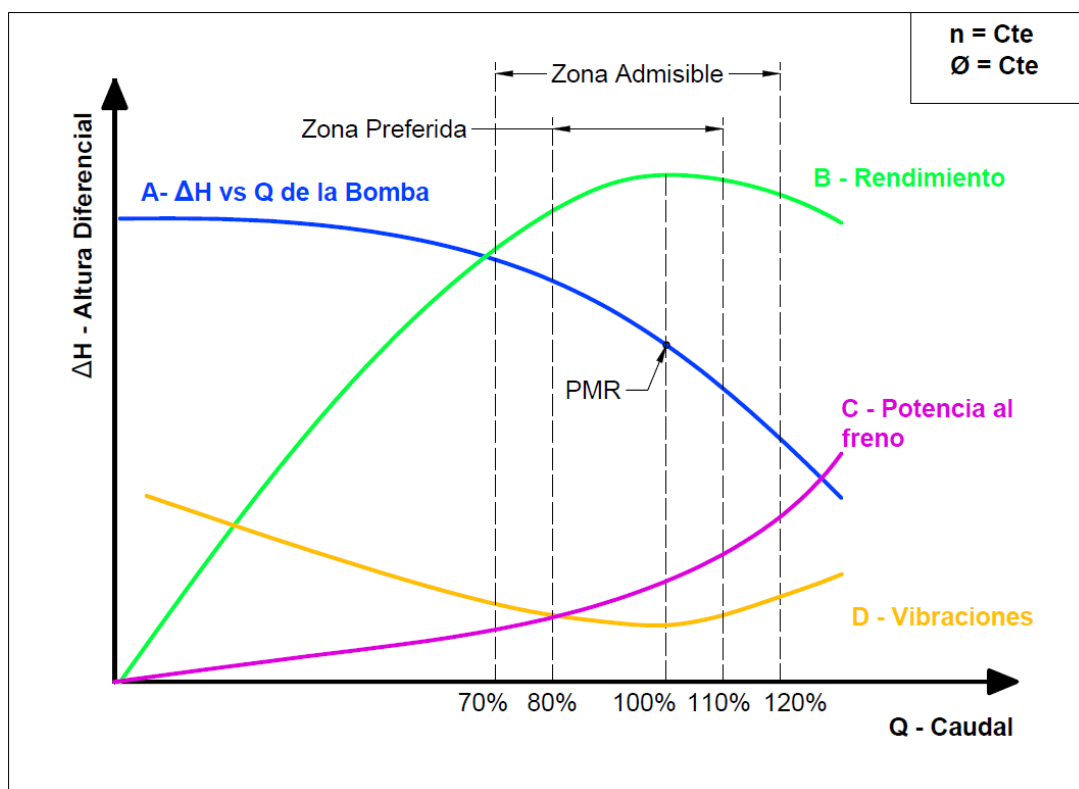


Figura 2.

Desarrollo:

Si bien, como está dicho más arriba, una bomba centrífuga puede operar en condiciones de caudal y altura muy diferentes, en su instalación final operará en un punto único definido por el sistema en el cual la bomba está instalada.

En la Figura 3 se muestra la curva característica de una bomba centrífuga y la curva de un posible sistema. Todo sistema tiene dos componentes principales: altura estática y altura dinámica; la primera es la altura geométrica o diferencia de presiones que debe vencer la bomba (y que no dependen del caudal que circule) y la segunda es la pérdida de carga de esa instalación (dependiente del cuadrado del caudal aproximadamente).

La bomba operará en el punto de cruce de ambas curvas, como se indica en la figura, donde se muestra el caudal en que operará y la altura correspondiente, necesaria en el sistema para que circule ese caudal.

Un determinado modelo y tamaño de bomba tiene la posibilidad de ser seleccionada para operar, no solamente a lo largo de su curva característica, sino en una gama más amplia de caudales y alturas tal como se muestra en la Figura 4.

En dicha figura se muestran curvas “congruentes” que se corresponden a diferentes diámetros de un mismo modelo de impulsor. De acuerdo a los valores particulares de caudal y altura requeridos por el cliente, se elige un diámetro de impulsor que formará parte del producto final.

En la misma figura están indicadas las líneas de rendimiento constante, el cual va disminuyendo a medida que el punto de operación se aleja del PMR.

Lo expresado más arriba corresponde a una determinada velocidad de rotación de las bombas. El campo de utilización se extiende también por variación de dicha velocidad. Las curvas de una misma bomba operando a diferentes velocidades son similares a las vistas para diferentes diámetros de impulsores (Ver Figura 14).

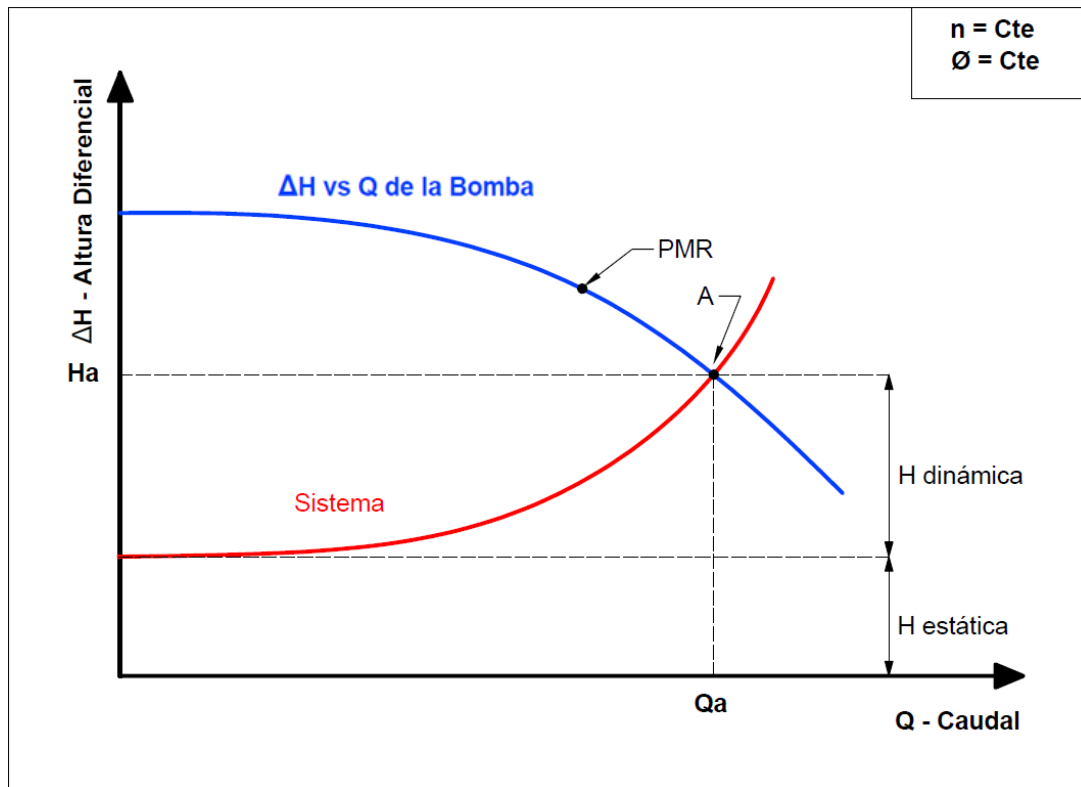


Figura 3.

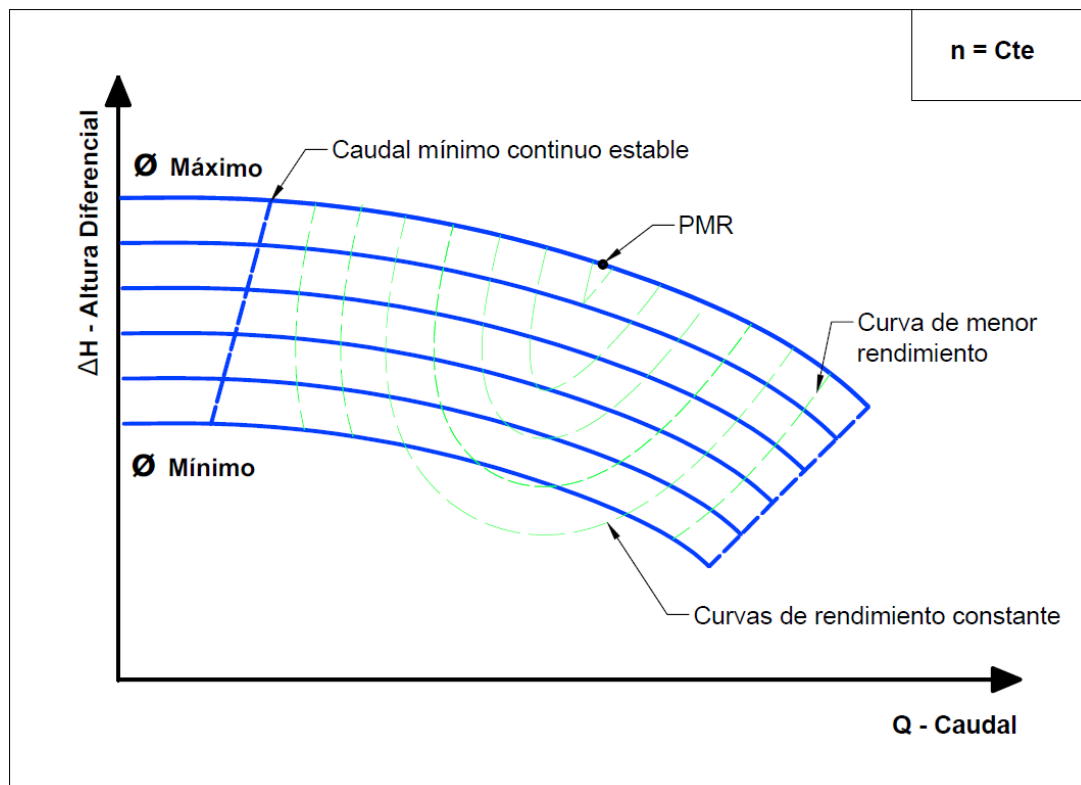


Figura 4.

Selección del tamaño de bomba para un servicio:

Definido el producto a bombear, el caudal y sus características de presiones y temperaturas, debemos elegir el tamaño de bomba más adecuado. Dentro de las alternativas, la condición de caudal y altura deben estar lo más próxima posible al PMR. La norma API 610 establece dichas limitaciones definiendo una zona preferida de operación donde debería estar, preferentemente, el punto de operación y una zona admisible de operación donde las condiciones no son las ideales pero son aceptables para el funcionamiento. Los valores de estos límites dependen del tipo de bomba, del nivel de energía, etc.

Seleccionar u operar las bombas fuera de esos márgenes tendrá consecuencias que llevarán con el tiempo, al deterioro de partes críticas y por lo tanto nos encontraremos con bombas no confiables.

Márgenes en condiciones de operación:

Es práctica habitual que para seleccionar el tamaño de una bomba se defina un margen en el caudal y en la altura, por encima de las condiciones previstas de operación, para definir las condiciones de diseño o de selección del tamaño de la bomba. En aquellos casos donde existe cierta incertidumbre sobre las condiciones en que va a operar una bomba, es habitual tomar márgenes de seguridad mayores, si bien esta práctica no es nada recomendable, como se verá a continuación.

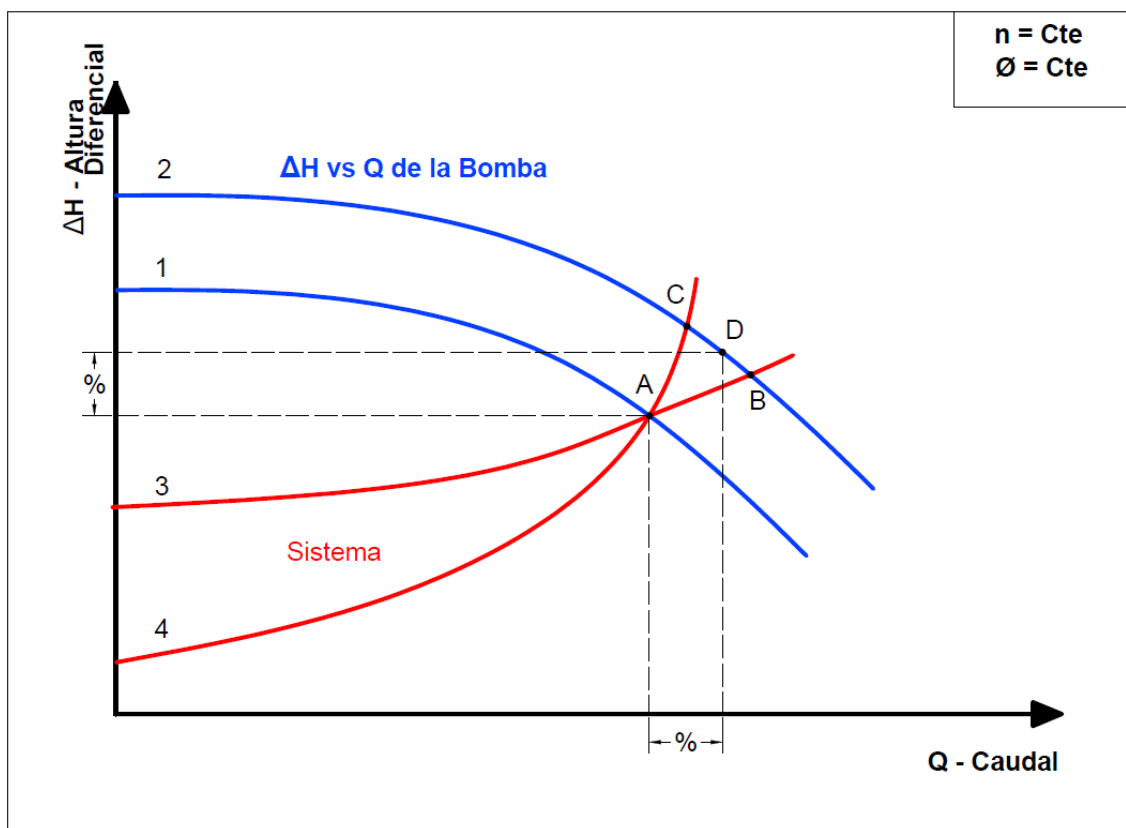


Figura 5.

Veamos la Figura 5 en donde el punto A es la condición de operación normal prevista para esa bomba y la curva 1 es la curva que debería tener dicha bomba para que, en conjunto con el sistema existente, opere en las condiciones previstas. Se han indicado en la figura dos alternativas de sistemas, uno con mayor preponderancia de la altura estática (curva 3) y otro más influenciado por la altura dinámica (curva 4).

Sin embargo, se ha seleccionado la bomba, con margen en caudal y en altura, para las condiciones del punto D resultando la curva 2 la de la bomba que se seleccionará para esas condiciones.

Dado que el sistema es siempre el mismo, el punto real de operación será el B o el C, según cuál sea el sistema en el cual estará instalada la bomba.

Como se ve en la figura, la bomba operará a un caudal y una altura mayor a la esperada con respecto a las condiciones del punto A. Vemos en las Figuras 1 y 2 que operar a mayor caudal implica que la bomba absorberá más potencia y tendrá un ANPAR mayor.

La mayor potencia implica un mayor costo para el usuario, no solamente el costo permanente de mayor energía eléctrica sino también un costo inicial aumentado en motor, interruptor, cableado, etc.

El mayor ANPAR implica un menor margen con el ANPAD lo cual habrá que verificar en cada caso si dicho margen no se reduce hasta límites inaceptables o riesgosos por sus efectos que veremos a continuación.

Como se ve en la Figura 1 el ANPAR crece notoriamente en los mayores caudales, mientras que el ANPAD disminuye por la mayor fricción en la línea de succión (ver Figura 16).

A medida que se reduce el margen entre ambos valores de ANPA y como consecuencia la presión en la succión de la bomba se aproxima a la tensión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo, se va produciendo con mayor intensidad un fenómeno denominado “cavitación”. Consiste en la vaporización de burbujas de fluido en la zona de menor presión a la entrada del impulsor y la posterior implosión de las mismas en la primera parte de los álabes por aumento de la presión del fluido. Estas implosiones generan un significativo deterioro de los álabes del impulsor, removiendo material de los mismos llegando hasta su total destrucción (Ver Figura 7).

La remoción irregular de material en el componente rotante principal de las bombas, genera, a su vez, desbalanceo del rotor de la bomba y como consecuencia niveles de vibración por encima de los admisibles. Las vibraciones a su vez, son causa de movimiento irregular de las caras de los sellos mecánicos lo que genera su rápido deterioro y las consecuentes pérdidas de fluido.

También dichas vibraciones producen un mayor desgaste de los rodamientos o de los cojinetes hidrodinámicos, según sea el tipo utilizado.

Como conclusión de esta práctica de tomar márgenes excesivos en la determinación de las características operativas de las bombas surgen problemas a mediano o largo plazo que pueden atribuirse a una baja confiabilidad de las bombas centrífugas, pero cuya causa es un error en el proceso de selección.

Sobredimensionamiento de una bomba:

Cuando se requieren bombas de bajo caudal y/o baja altura suele suceder que los fabricantes que se consultan no disponen de bombas cuyo PMR se aproxime a dichas condiciones de operación y entonces ofrecen bombas de mayor capacidad para servicios que no la requieren.

En la Figura 6 se muestra una condición A que corresponde al caudal/altura que se necesita. El fabricante nos ofrece una bomba que opera entre el diámetro máximo y el mínimo indicados y que tiene su PMR donde se muestra.

Esta selección tiene diversos riesgos que implican deterioros en el tiempo, algunos más próximos que otros.

A diferencia del caso analizado anteriormente, acá no habrá problemas de ANPA ya que a bajos caudales el ANPAR es más bajo que en el PMR. Admitiendo que nos referimos a bombas con una curva de potencia/caudal creciente con el caudal (algunas no son así), la potencia absorbida por esa bomba será más baja que en el PMR, pero el rendimiento total de dicha bomba es significativamente peor (ver Figura 2). Esto significa que de la energía consumida una parte menor se convertirá en potencia hidráulica útil y una parte mayor serán pérdidas que terminarán en calor.

Otra característica de las bombas centrífugas es la fuerza que el fluido ejerce sobre los impulsores sobre todo en las bombas de voluta, pero que existe también en menor medida en las bombas con difusor.

Esa “carga radial” se aplica finalmente sobre el eje de la bomba produciendo deformación del mismo. Dicha flexión produce una desalineación de las caras de los sellos mecánicos y por lo tanto un progresivo deterioro de los mismos. A su vez la deformación del eje de la bomba puede hacer que los anillos rozantes rotativo y estacionario se acerquen demasiado entre sí, con el riesgo de roce o peor, de engranadura.

La magnitud de esa carga radial varía con el caudal como se ve en la misma Figura 6, lo cual lleva a que la carga que soportarán los rodamientos será mayor cuanto más nos alejemos del PMR. Mayor carga significa menor vida útil de rodamientos y de sellos.

Como regla general, se debe evitar sobredimensionar las bombas centrífugas ya que, a caudales reducidos, se incrementan las cargas sobre los cojinetes y se produce un efecto de recirculación en los impulsores (que se verá a continuación) que genera cavitación, reduciendo la confiabilidad de los equipos.

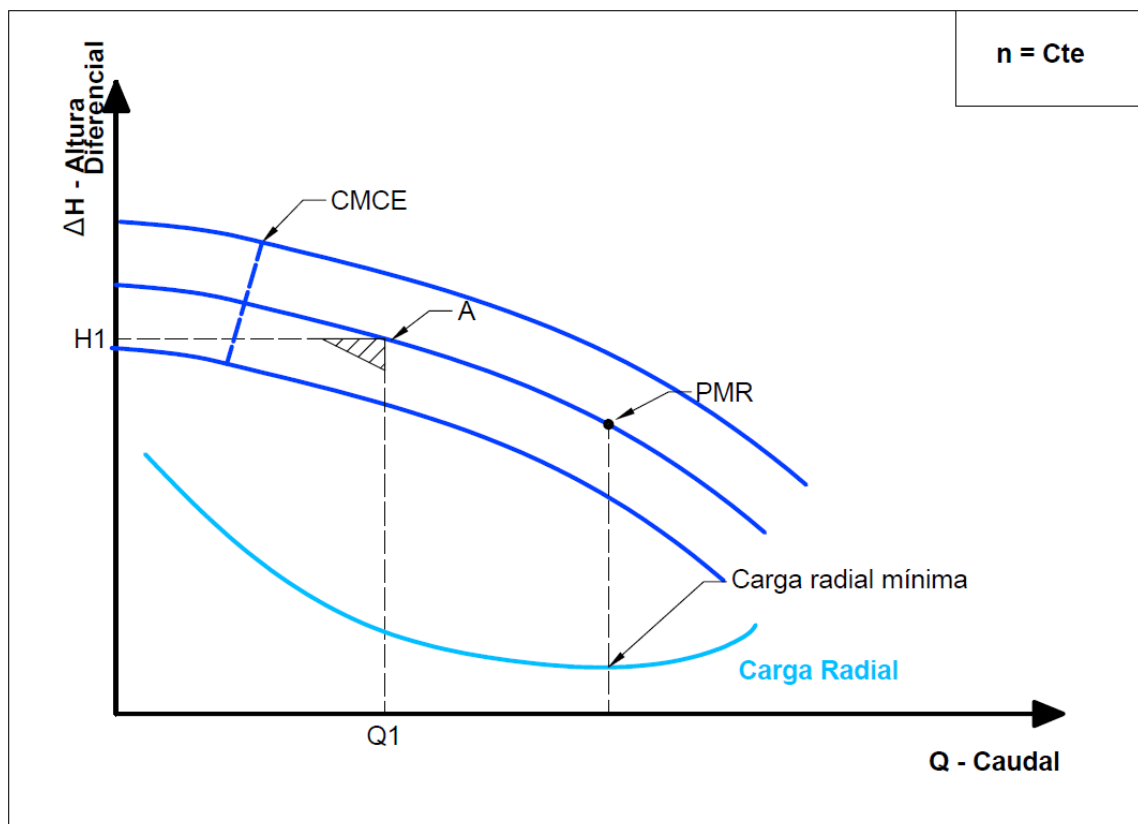


Figura 6.

Recirculación:

Otro fenómeno que se produce cuando una bomba es seleccionada en esta zona de operación es la recirculación, la cual también se incrementa a medida que nos alejamos del PMR. Lo que sigue es una explicación de este fenómeno no siempre bien conocido por los usuarios.

La recirculación en las bombas centrífugas es una inversión del flujo en los bordes de la entrada o de la salida de los impulsores. Todos los impulsores muestran una condición de recirculación en succión y/o una en descarga para cierto caudal específico y, dependiendo del tamaño y velocidad de la bomba, los efectos pueden ser sumamente destructivos para la vida de los impulsores.

Las bombas centrífugas están diseñadas para un determinado caudal, una altura diferencial y una velocidad. Operando en esas condiciones (que son las del PMR) el flujo dentro del impulsor es estable y en la dirección prevista. Cuando la bomba es llevada a operar a caudales diferentes, dentro de la bomba y fundamentalmente en la entrada y salida de los impulsores, se produce un reflujo localizado que provoca oscilaciones de presión y otros efectos perjudiciales.

El fenómeno de la cavitación en el caso de la recirculación, se debe a que en una misma zona del impulsor se generan corrientes en el sentido del flujo y en sentido contrario al mismo. Las corrientes de alta velocidad cruzadas generan vórtices en esas zonas donde la presión baja hasta vaporizar parte del fluido bombeado. Finalmente, al encontrar zonas de mayor presión, las burbujas colapsan removiendo parte del material de los álabes, de donde surge el nombre de cavitación, la cual va acompañada de ruido y vibración (Ver Figura 7).

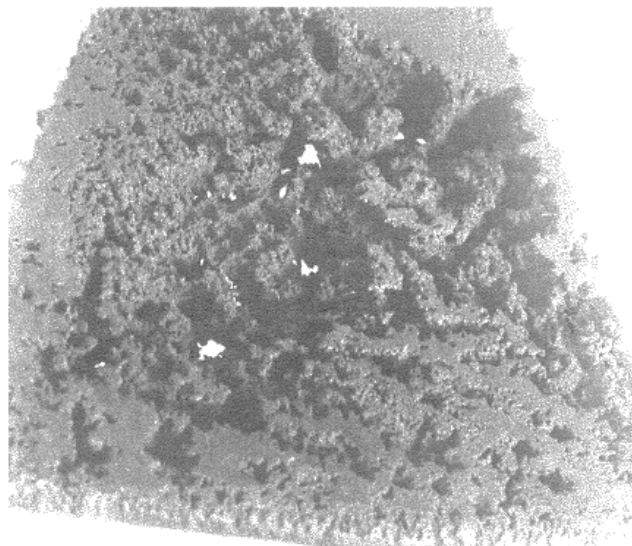


Figura 7.

La recirculación en descarga es fácilmente identificable ya que se visualizan los efectos de la cavitación en la cara de presión de los álabes en la zona de descarga, en los discos del impulsor, en la lengua de la voluta o en la entrada de los álabes del difusor. Ver Figura 8.

La recirculación en succión se reconoce por los efectos de la cavitación que inician en la cara de mayor presión de los álabes a la entrada del impulsor (ver figura 9). Para visualizar esta cara generalmente es necesario valerse de un espejo ya que es la cara no visible directamente de los álabes en la succión. Ver Figura 10.

Los efectos de la recirculación en descarga pueden definirse como sigue:

- Daño por cavitación en la cara de presión de los álabes en la descarga del impulsor.
- Movimiento axial del eje con o sin daño al cojinete de empuje.

- Rotura o falla de los discos del impulsor en la descarga del mismo.
- Fallas del eje en el extremo no motriz para las bombas de doble succión o multietapa.
Daño por cavitación en la lengua de la voluta o de la entrada de los álabes del difusor.

Los efectos de la recirculación en succión pueden definirse como sigue:

- Daño por cavitación en la cara de presión de los álabes en la succión del impulsor.
- Daño por cavitación en los álabes estacionarios de la succión.
- Ruido chisporroteante irregular o variable, a diferencia del ruido chisporroteante uniforme generado por ANPA inadecuado.
Inestabilidad en la succión (surge).

La recirculación aparece, en general, en las zonas de caudales bajos alejados del PMR. En la Figura 11 se muestra un diagrama típico en bombas comerciales, donde se muestra la aparición de la recirculación en succión y en descarga.

ANPA inadecuado:

La cavitación por ANPA inadecuado, si bien produce efectos similares, no tiene el mismo origen. Esto puede inducir al error en la evaluación de un fenómeno de origen diferente pero con similares consecuencias. Cuando el ANPAD es insuficiente frente al requerido, la presión del fluido va reduciéndose por fricción a medida que ingresa a la bomba y se acerca al impulsor; finalmente la masa fluida es acelerada en la entrada del impulsor, este aumento de velocidad genera una caída de presión adicional que produce la vaporización del fluido y cuando el impulsor imprime una mayor presión al fluido esas burbujas implotan generando la cavitación.

La cavitación por ANPA inadecuado se visualiza porque inicia en la cara de baja presión de los álabes en la entrada del impulsor.

En ambos casos, la cavitación por recirculación y por ANPA inadecuado, destruye totalmente el espesor de los álabes si el fenómeno progresa en el tiempo.

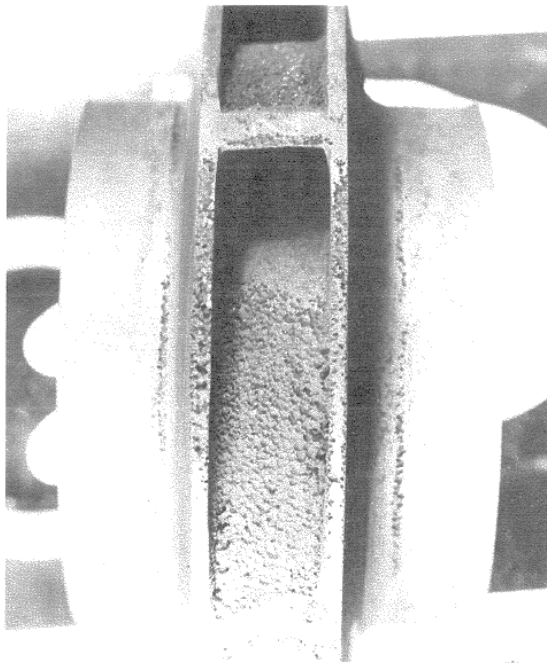


Figura 8.

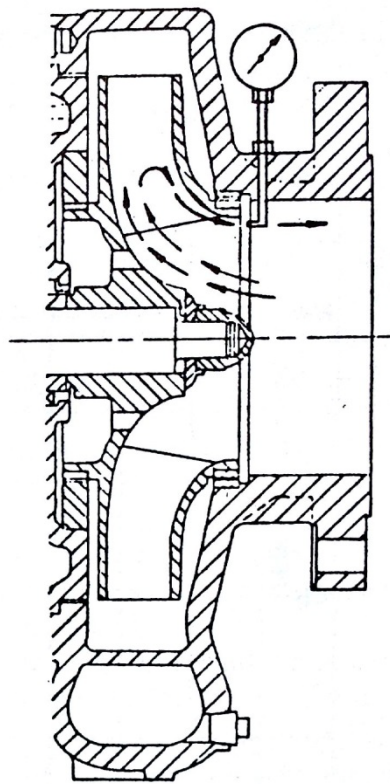


Figura 9.

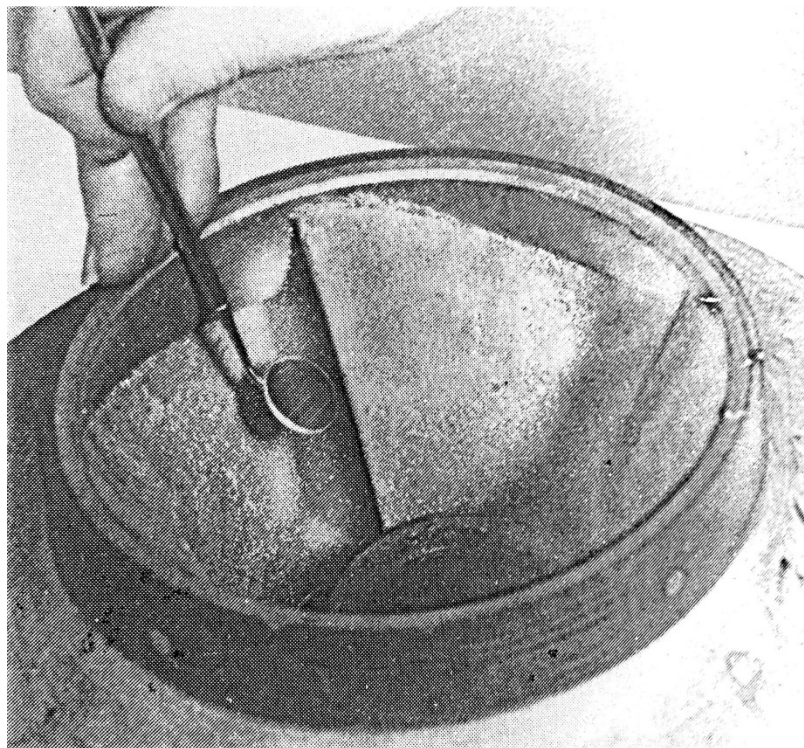


Figura 10.

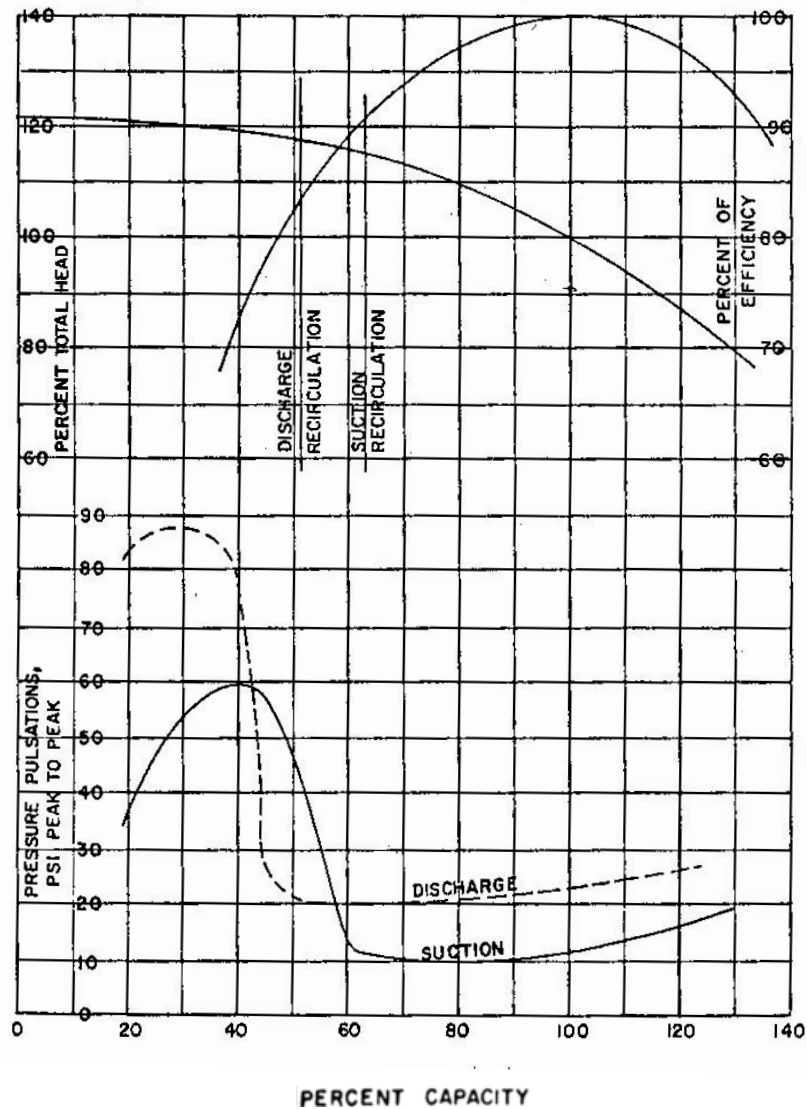


Figura 11.

Variación de las condiciones de operación:

En algunas aplicaciones hay condiciones de operación que no son constantes en el tiempo; esto puede variar por características propias del proceso, por desgastes normales por el uso o por cambios en el diseño general de la planta y por lo tanto el proceso en el cual la bomba está involucrada.

En aquellos procesos que requieren una variación de caudal dentro de valores que la misma bomba puede manejar, una opción es la instalación de una válvula de control en la descarga. En este caso lo que se produce lo vemos reflejado en la Figura 12. La bomba que operaba en el punto A pasará a operar en el punto B, lo cual implica que, si bien la potencia absorbida será menor, el rendimiento también lo será, suponiendo que ambos puntos de operación están a la izquierda del PMR. El paso del punto B al punto A implica, a la inversa, un mejor rendimiento pero mayor potencia absorbida. Los límites para estos ajustes de caudal son el CMCE y el run-out. Otra posibilidad de regulación es la recirculación a la succión, como se muestra en la Figura 13. En este caso la bomba operará siempre en la misma condición, pero parte del caudal será derivado al sistema de succión

(depósito o similar). De esta forma estamos consumiendo más potencia de la necesaria sin ninguna compensación. La única limitación a este sistema de regulación es el progresivo aumento de la temperatura del fluido que no debe exceder los límites pre-establecidos. De ser necesario, se instalará un enfriador en el ramal de retorno al depósito de succión.

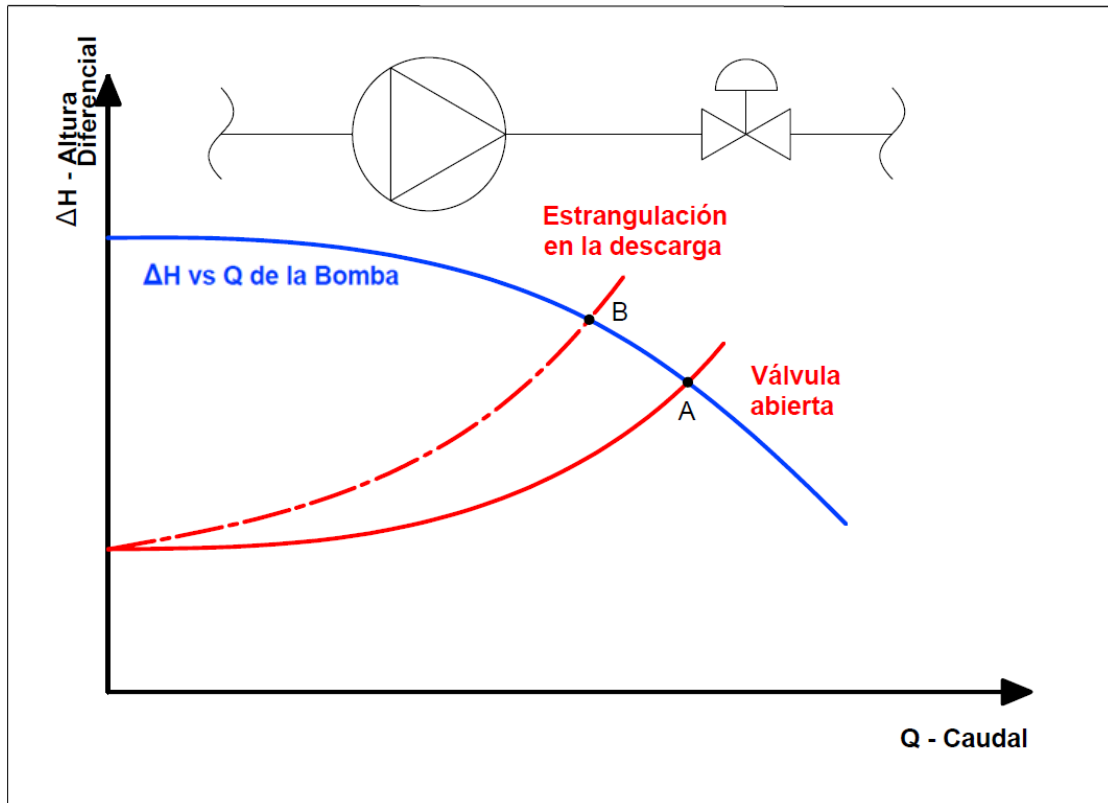


Figura 12.

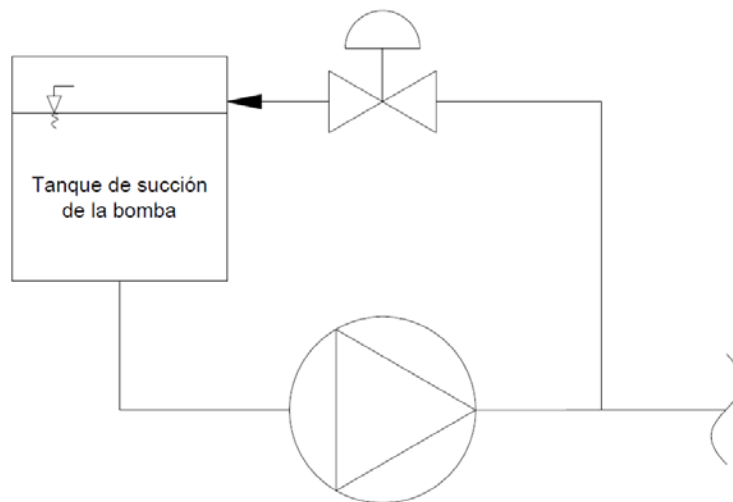


Figura 13.

La forma más razonable de regular caudal y presión, desde el punto de vista de la operación, es la variación de la velocidad de rotación de la bomba. La Figura 14 muestra un punto A de operación a una determinada velocidad y varias otras posibilidades de condiciones de operación que se obtienen con la variación de la velocidad de la bomba. Esta es la forma más económica ya que en cada condición de operación utilizaremos solamente la energía necesaria para esa condición. Los límites posibles son, en este caso, la velocidad máxima y mínima tanto de la máquina motriz como de la bomba misma, además de las limitaciones que ya se analizaron de caudal mínimo y máximo.

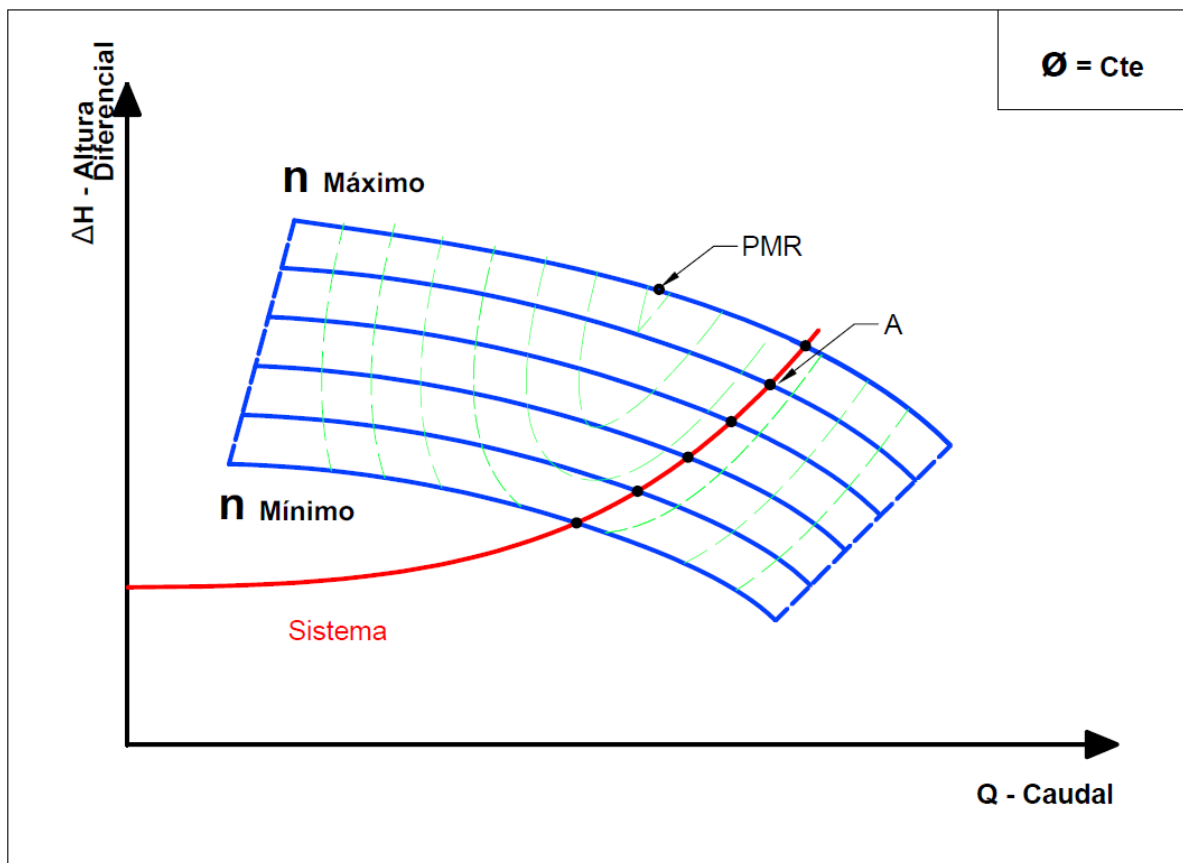


Figura 14.

Si se requiere una condición nueva de operación en una bomba existente, además de las mencionadas más arriba, también puede mantenerse la velocidad constante original y reemplazar el impulsor de la bomba por otro de mayor diámetro. Este cambio tiene dos limitaciones importantes:

- Cada bomba admite un diámetro máximo de impulsor el cual no se puede superar; el impulsor original debería haberse seleccionado de un diámetro menor que el máximo para permitir ese ajuste futuro, como lo requiere la norma API 610.
- El mayor diámetro llevará la bomba a operar con mayor caudal y/o mayor altura y en ambos casos la potencia absorbida será mayor; debe verificarse la bomba misma y la máquina motriz por si admiten transmitir esa mayor potencia.

Bombas en paralelo y en serie:

Un recurso usual en instalaciones críticas, donde debe asegurarse la continuidad de la operación con un mínimo de caudal garantizado, es instalar varias **bombas en paralelo** para cubrir el caudal nominal requerido. Normalmente a las bombas previstas para el caudal de operación, se agrega una más en stand-by como reserva para mantenimiento. Esta disposición hace que, si alguna de las bombas operativas se detiene por falla u otro motivo, hasta arrancar la bomba en stand-by y se recupere el caudal original, el conjunto sólo habrá disminuido el caudal entregado en una fracción del caudal total. La determinación de la cantidad de bombas operativas es un compromiso entre esa fracción y el costo de instalación.

Esta distribución en varias bombas en paralelo sirve, a su vez, para regular el caudal del conjunto deteniendo o arrancando alguna de las bombas operativas. En la Figura 15 se muestra un caso sencillo de 2 bombas operando en paralelo para cubrir el caudal total requerido por el proceso.

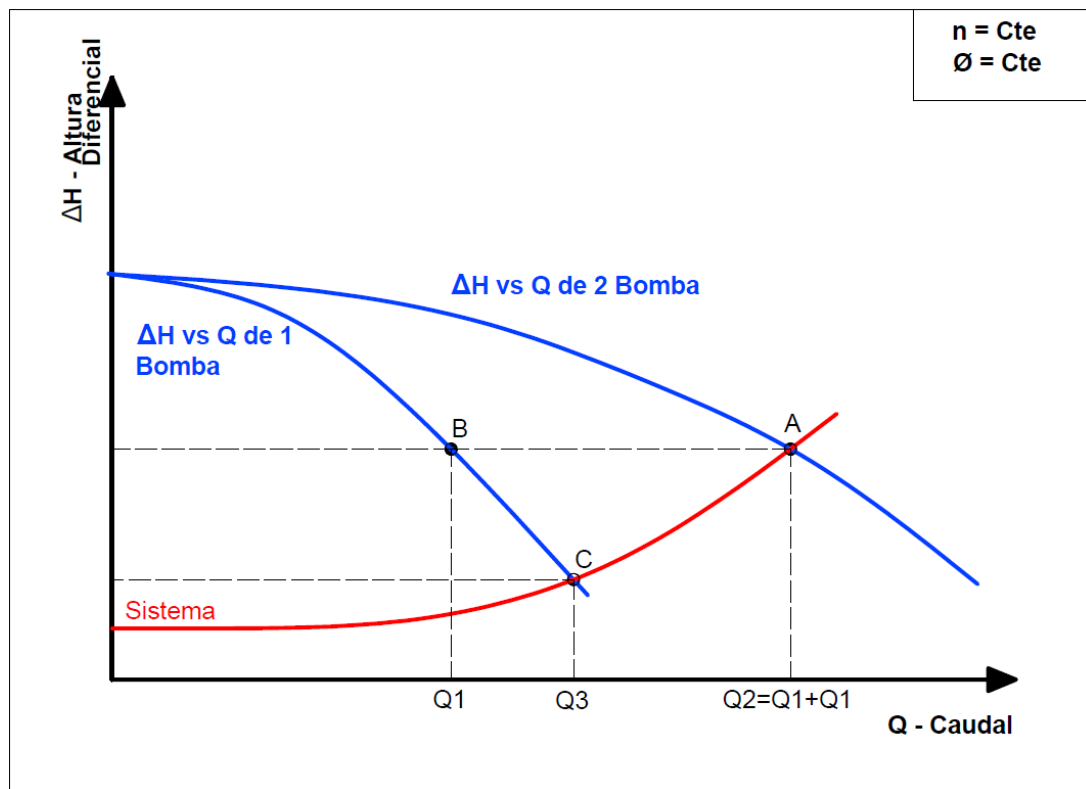


Figura 15.

El sistema es el indicado con la curva de color rojo. La curva que intercepta al sistema en el punto C es la curva de una sola bomba y la que intercepta al sistema en el punto A es la curva de dos bombas operando en paralelo; esta última se obtiene generando puntos con la misma altura que una sola bomba pero duplicando el caudal correspondiente.

La condición de operación a pleno caudal es el punto A con dos bombas operando. Al operar una sola bomba en ese sistema, el punto de operación será el C; se ve que cuando se agrega una segunda bomba en operación, el caudal total no se duplica sino que es bastante menor, dependiendo de las curvas de las bombas y del sistema mismo.

Otro hecho importante a tener en cuenta es que, si estando operando dos bombas en paralelo una de ellas se detiene por falla u otras razones, la bomba que se mantiene en operación pasará a funcionar del punto B al punto C, lo cual implica varios riesgos. El punto C es una operación a caudales mayores que el normal que implican

una mayor potencia absorbida, un mayor ANPAR y mayores vibraciones. Todos estos son riesgos que hay que prever en la selección de las bombas adecuadas para operar en paralelo, si se desea mantener la confiabilidad de las mismas.

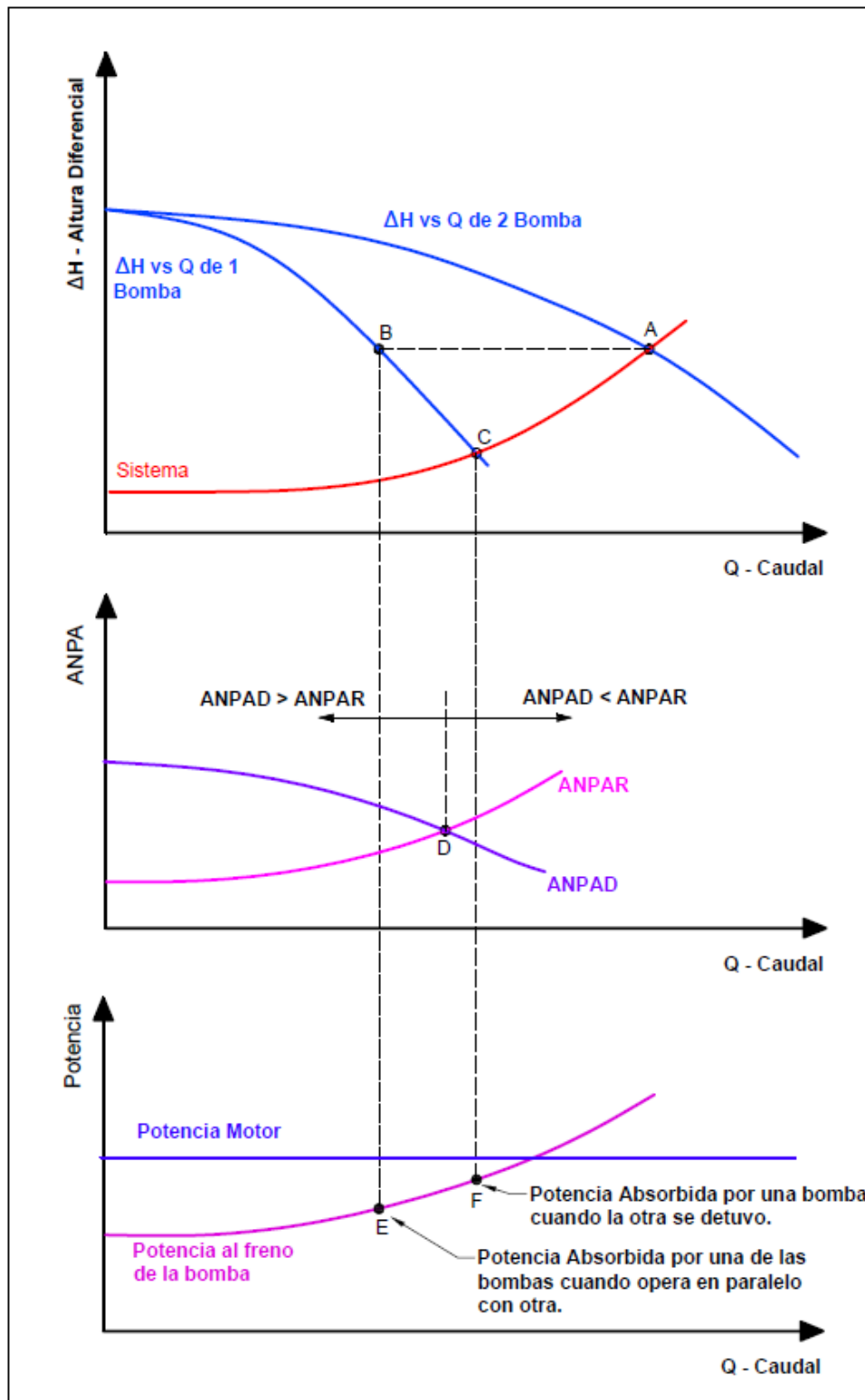


Figura 16.

En la Figura 16 se muestran dos bombas iguales operando en paralelo. Normalmente las bombas operarán en el punto A, como se indicó más arriba y cada una de las bombas operará en el punto B. En estas condiciones se ve que cada una de las bombas estará operando a la izquierda del punto D donde el ANPAD es **mayor** que el ANPAR.

Cuando una bomba se detiene por cualquier motivo y queda una sola operando contra el mismo sistema, la bomba operativa intercepta al sistema en el punto C y en este caso el ANPA quedará a la derecha del punto D donde el ANPAD es **menor** que el ANPAR; la bomba no debe operar en esta condición.

En la misma Figura se ve que la potencia absorbida por la bomba remanente en operación crece desde el punto E hasta el punto F, por lo cual debe verificarse que no se exceda la potencia disponible en el motor.

La verificación del ANPA y de la potencia del motor son indispensables en la selección de bombas en paralelo.

A fin de obtener la operación más estable y segura, es conveniente que las curvas de las bombas que operen en paralelo sean lo más parecidas posible entre sí; un valor típico es fijar una diferencia no mayor al 5%. Además, la altura a shut-off debe ser no menos que un 10% mayor que la altura en el caudal nominal, a fin de asegurar la estabilidad de la operación.

Si se pone a operar en paralelo dos o más bombas iguales la curva del conjunto será como se mostró más arriba. Mientras que si se ponen en paralelo dos bombas diferentes, como se ve en la Figura 17, la curva del conjunto será la ABC.

En esta condición la operación es la de las dos bombas entre el punto B y el C. Pero para los caudales menores, la altura generada por la bomba AD es mayor que la generada por la bomba EF y por lo tanto el conjunto seguirá la curva de la bomba AB, quedando la bomba EF con su descarga bloqueada, en shut-off.

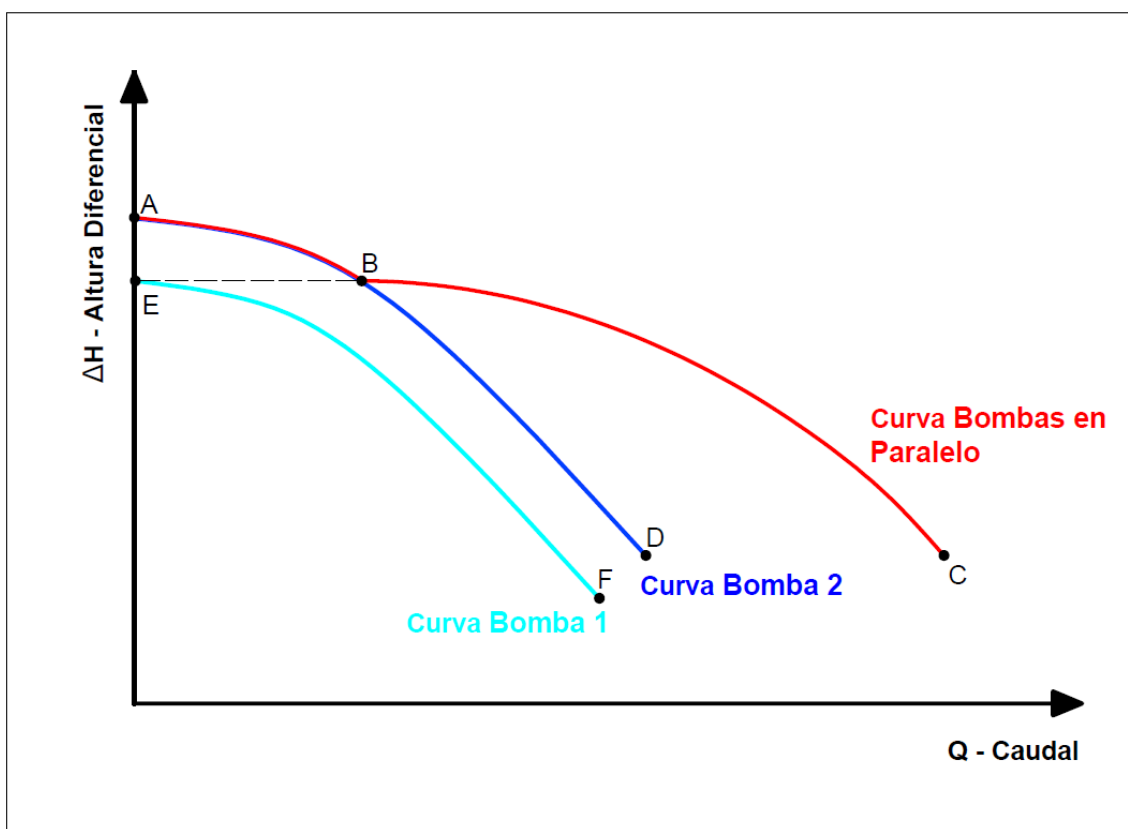


Figura 17.

Otra combinación no tan usual de las bombas, es la instalación de dos bombas en serie; con esto se obtiene una mayor presión para el mismo caudal bombeado. Este recurso tiene cierto sentido en una modificación de una instalación existente, ya que en un nuevo diseño es preferible utilizar bombas multietapa, más simples y confiables que con bombas separadas.

A fin de no encontrarse con sorpresas desagradables en este tipo de instalaciones, hay que tener en cuenta algunos factores:

La bomba de segunda etapa, no sólo tiene que generar la altura necesaria sino que su construcción debe ser adecuada para soportar, no sólo la presión de descarga, sino también la presión de succión que generará la bomba de primera etapa. La presión de succión interesa para la selección de los materiales y espesores de pared de la zona de succión de la bomba; pero también interesa para la selección o verificación del cojinete de empuje de la bomba ya que la mayor presión de succión genera un mayor empuje axial en el eje, sobre todo en las bombas de una etapa y una mayor presión de cierre en el sello mecánico.

Variación en el tiempo:

En algunas aplicaciones, los fluidos forman depósitos o incrustaciones en el interior de las cañerías y sus accesorios. Eso produce una mayor pérdida de carga en el sistema, pasando la curva del mismo de la curva 1 a la curva 2 (Ver Figura 18). Al moverse el punto de operación de la bomba de ese sistema del punto A al punto B, el efecto es una reducción en el caudal bombeado; la mayor altura que genera la bomba es absorbida por la mayor pérdida de carga del sistema. En este caso el menor caudal no es consecuencia de que la bomba se haya deteriorado, sino que el causante es el sistema mismo.

Pero hay casos donde el desgaste normal de los componentes de las bombas también genera una disminución del caudal. En la Figura 19 se muestra el punto A que es el original de operación en la curva 1 de la bomba. El sistema es siempre el mismo, pero en la bomba se produce, con el tiempo, un desgaste de las partes rotante y estacionaria que tienen un movimiento relativo constante. No se trata de un desgaste por rozamiento metal con metal (que es anormal) sino por erosión del fluido que pasa por los intersticios a gran velocidad.

Ese desgaste aumenta el caudal perdido por recirculación interna de las bombas y convierte la curva 1 en la curva 2, disminuyendo el caudal neto bombeado al sistema.

Ese desgaste se puede minimizar seleccionando materiales adecuados para esas partes de las bombas y con un mantenimiento preventivo adecuado.

Para minimizar los esfuerzos mecánicos y eléctricos (cuando aplica) durante el arranque de las bombas, se procura siempre ponerlas en marcha con un mínimo de potencia requerida. En la gran mayoría de las bombas, como ya se ha visto más arriba, la potencia es mínima con caudal cero y es máxima al máximo caudal. Pero existen algunas bombas cuya curva de potencia es inversa: es máxima a caudal cero y se reduce a medida que el caudal aumenta.

Es por eso que la mayoría de las bombas debe ponerse en marcha con la válvula de descarga cerrada o parcialmente cerrada; si se inicia con válvula cerrada, ésta debe abrirse rápidamente una vez en marcha, sobre todo en bombas de alta energía a fin de evitar el funcionamiento a caudal cero. En muchos de esos casos se utiliza una recirculación que asegura un caudal mínimo y evita la operación a shut-off. Una alternativa es instalar en la descarga una válvula de retención y mantener la descarga abierta antes de arrancar la bomba. En esta alternativa la bomba arranca a caudal cero hasta que genere una presión igual a la presión aguas debajo de la retención, donde abrirá la misma y entregará el caudal que el sistema requiera.

En todos los casos la válvula de succión siempre tiene que estar abierta antes de arrancar la bomba.

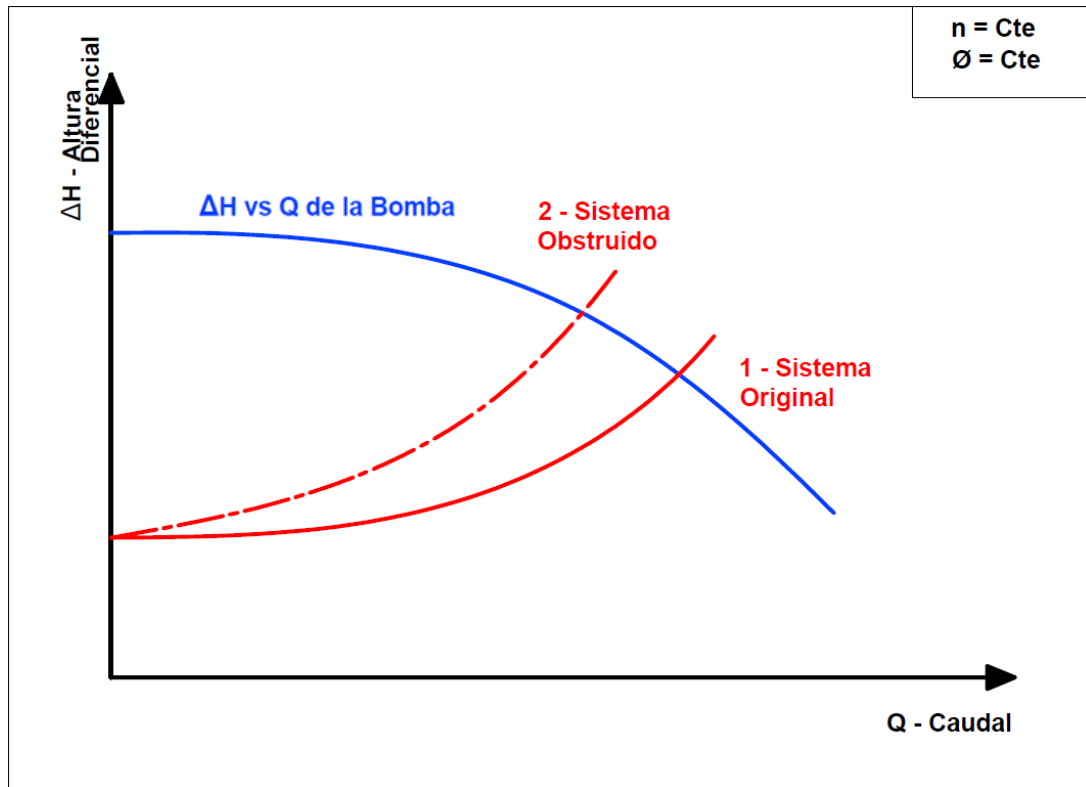


Figura 18.

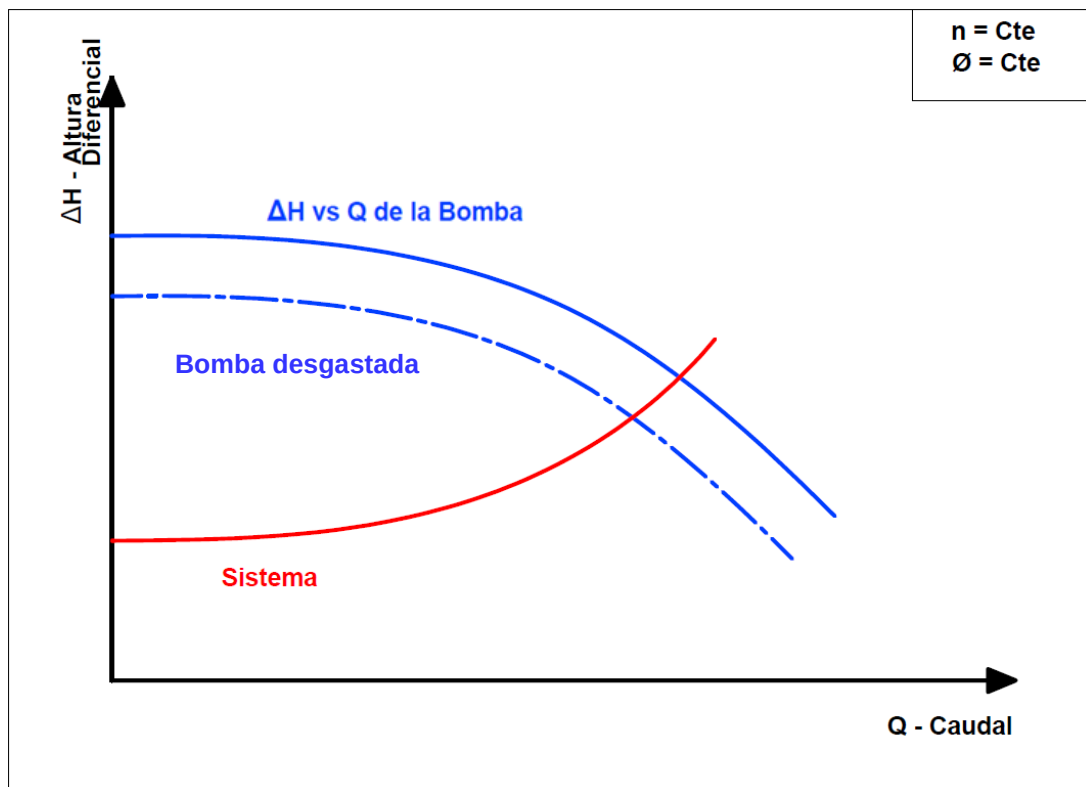


Figura 19.

Precalentamiento:

Cuando se bombean fluidos a alta temperatura y en el sistema hay bombas que deben arrancar automáticamente o en un corto tiempo, hay que evitar el choque térmico entre la bomba a temperatura ambiente y el fluido que está a alta temperatura.

La razón por la cual esto es necesario preverlo es, por un lado, el riesgo de fisuras en el material y por otro la diferente dilatación de los componentes de las bombas. Los dos componentes principales de una bomba centrífuga, el rotor y la carcasa, tienen un comportamiento térmico diferente porque los impulsores tienen paredes delgadas y por lo tanto toda su masa incrementará la temperatura muy rápidamente. En cambio la carcasa que tiene paredes significativamente más gruesas, demorará más en que toda su masa alcance la alta temperatura. En consecuencia, el rotor dilatará más rápido que la carcasa durante el arranque de la bomba y esto puede producir el engrane de las partes rotantes (internas) contra las estacionarias (externas).

Por esa razón se hace necesario precalentar de manera permanente la bomba que está en stand-by a una temperatura muy próxima a la temperatura del fluido de bombeo, de modo de reducir el choque térmico.

Esto se logra haciendo recircular una pequeña parte del fluido desde el colector de descarga hacia la bomba en stand-by, a través de la misma y hacia el colector de succión. De esta forma se logra una total confiabilidad en la operación con fluidos de alta temperatura.

Selección de una bomba centrífuga:

Se ha visto más arriba que existen muy diversas razones para seleccionar una bomba centrífuga que podría operar en condiciones que la convertirían en un problema en lugar de ser una solución. Eso no implica baja confiabilidad en este tipo de equipos, sino que una bomba centrífuga debe ser seleccionada y operada en condiciones que se correspondan con su diseño. Por ese motivo la mejor opción al seleccionar una bomba centrífuga no es necesariamente la más barata sino la que nos dará una mayor vida útil.

Es muy importante tener bien definidas las características del fluido a bombear, las cuales deben verificarse in-situ para evitar cambios que puedan haberse producido desde la especificación hasta la instalación y puesta en marcha. La selección de la metalurgia adecuada de los componentes de una bomba centrífuga y sus sellos mecánicos se hace considerando las propiedades teóricas del fluido a bombear teniendo presente el contenido de sólidos disueltos y en suspensión, trazas de compuestos que definan servicios corrosivos o especiales como H₂S, etc. Las propiedades reales, particularmente durante los procesos de puesta en marcha, pueden diferir de las previstas y encontrarnos con inconvenientes que poco tienen que ver con la confiabilidad del equipo sino con cuestiones transitorias “off-design”.

Cuando recibimos varias ofertas para una determinada aplicación debemos analizar cuidadosamente muchos aspectos del funcionamiento de los equipos ofrecidos. Citamos a continuación los más comunes:

- Cumplimiento de las condiciones de servicio solicitadas: Caudal, Altura, ANPAR vs ANPAD.
- Ubicación del punto de operación en relación al PMR. Alejamiento del caudal mínimo continuo estable.
- Compatibilidad de los materiales constructivos con el fluido a bombear.
- Velocidad de operación. A mayor velocidad de operación la bomba y el motor son más económicos pero la baja velocidad mejora el ANPAR y alarga la vida útil, así como una mayor velocidad acerca los posibles problemas de cavitación y genera mayor esfuerzo en los componentes mecánicos.
- Potencia absorbida y/o rendimiento de la bomba ofrecida.
- Características eléctricas en relación a la clasificación del área donde se instalará.

- Nivel de ruido garantizado.
- Altura a shut-off y su relación con la altura nominal requerida, que nos permitirá verificar si la máxima presión que puede alcanzar la bomba es compatible con el diseño de la cañería de descarga.
- Máxima potencia que puede absorber la bomba comparada con la disponible en el motor de accionamiento.
- Características y materiales del sistema de sellado del eje de la bomba.
- Ensayos de verificación ofrecidos por el fabricante.

Conclusión:

Las bombas centrífugas son máquinas muy confiables y de muy larga duración en todas las instalaciones industriales, siempre que se las seleccione adecuadamente y se las opere en las condiciones en que esa selección fue prevista.

La versatilidad en las posibles condiciones de operación de las bombas centrífugas puede llevar a considerar que pueden operar libremente en cualquier condición, incluso las más variadas. Esto puede generar rápidos deterioros en estos equipos que lleven a considerarlos de muy baja confiabilidad. Se ha visto que no es así: bien seleccionadas y operadas dentro de los parámetros admitidos, son equipos muy duraderos y sumamente confiables.

Asimismo, durante la puesta en marcha de las plantas, en que se somete a estos equipos a frecuentes arranques y paradas, operación fuera de los parámetros requeridos, etc. también se producen efectos adversos que, si no son debidamente controlados, pueden generar condiciones que aparenten ser una baja confiabilidad de las bombas y en realidad son situaciones totalmente anormales las cuales no necesariamente fueron previstas.

Bibliografía:

- Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural gas Industries - API 610 11th edition
- Centrifugal and Axial Flow Pumps – A. J. Stepanoff.
- Pump Handbook – I. J. Karasik, W. C. Kruttsch, J. P. Messina

CV de los autores:

Isaac Blustein

Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad Nacional de Buenos Aires en 1963.

Trabajos en: Camea, Worthington Argentina, Techint (actual).

Posición actual: Especialista en equipos rotativos.

Martin Rodolfo Vidmar

Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad Nacional de Buenos Aires en 2014.

Trabajos en: PSA Peugeot-Citroen, Techint (actual).

Posición actual: Ingeniero Jr. en equipos mecánicos.