



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	72/ 205

P-1

ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS.

1. OBJETIVOS

- IDENTIFICAR LOS DISTINTOS TIPOS DE BOMBAS QUE HAY EN LA PLANTA PILOTO.
- OBTENER LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.
- OBTENER LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN ARREGLO EN SERIE Y UN ARREGLO EN PARALELO DE DOS BOMBAS CENTRÍFUGAS.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

En las plantas químicas, por las necesidades de los procesos que se llevan a cabo en ellas, frecuentemente se requiere del transporte de diversos materiales “como los fluidos”, a distintos lugares y en gran variedad de tipos de flujos, por lo que es necesario utilizar ciertos dispositivos que proporcionen la energía necesaria para transportar a los diversos materiales. Para los líquidos se usan las bombas, para los gases los compresores, ventiladores y sopladores y para los sólidos los transportadores mecánicos. Los fluidos líquidos y gases se transportan a través de tuberías y accesorios de control y cambio de dirección, en la soportería correspondiente. Todo equipo que mueve a un fluido agrega energía a éste. El incremento de energía se usa para: aumentar la presión a un recipiente, aumentar su velocidad o para llevar el fluido de una altura a otra mayor.

Al seleccionar una bomba para un trabajo o fin específico, el ingeniero debe tomar en cuenta algunos factores, como los que se enumeran a continuación:

- a) Naturaleza del fluido a transportar, por ejemplo: corrosividad, incrustación, toxicidad, temperatura, punto de inflamación, presión de vapor, viscosidad,



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	73/ 205

densidad (ρ) o gravedad específica (γ o Sp. Gr.), sólidos en suspensión, etc.

- b) Rango de capacidad o caudal del equipo y capacidad requerida de la bomba en la descarga.
- c) Condiciones de potencia o cabeza en la succión y en la descarga.
- d) Tipo de servicio: continuo o intermitente.
- e) Lugar de operación de la bomba: espacio disponible, espacio requerido, a prueba de agua y humedad.
- f) Diseño.

➤ Clasificación de las bombas

Las bombas, en general, pueden clasificarse en dos grupos principales: de desplazamiento positivo (Tabla 1) y centrífugo (Tabla 2) y estos a su vez en varios subgrupos, como se muestra en las tablas siguientes:

Tabla 1. Bombas de Desplazamiento Positivo

Desplazamiento positivo	Reciprocantes	Pistón
		Embolo
		Diafragma
	Rotatorias, de posición	Engranes
		Tornillos
		Lóbulos
	Diseño especial	Pistón con volumen
		Variable



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	74/ 205

Tabla 2. Bombas Centrífugas

Centrífugas	Diseño interno del impulsor	Voluta difusora
		Turbina
		Propela
	Posición	Eje vertical
		Eje horizontal
	Posición de succión	Superior
		Inferior
		Abierto
	Tipo de impulsor	Semiabierto
		Cerrado
		Radial
	Dirección de la carga	Axial
	Acoplamiento con el motor	Flecha
		Banda
		Cadena

➤ Bombas de desplazamiento positivo

❖ Reciprocantes

Este tipo de bomba agrega energía, a un volumen definido de fluido, por medio de un pistón, émbolo o diafragma. Los principios de la dinámica de los fluidos son de poca importancia, ya que el flujo del fluido se determina por la geometría de la bomba. Por cada golpe del elemento desplazante, una cantidad definida de fluido se descarga desde la bomba y la cantidad depende solamente del volumen de la cámara que contenga al elemento desplazante y al número de veces que se desplace a través de la cámara. La descarga del líquido es pulsante y puede ser disminuida utilizando un amortiguador de pulsaciones.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	75/ 205

❖ Rotatorias

Este tipo de bomba puede caracterizarse por el método de admitir y descargar el fluido. A diferencia de las bombas reciprocantes, las cuales dependen de válvulas de retención para el control de entrada y descarga, la bomba rotatoria atrapa una cantidad de líquido y lo mueve hasta el punto de descarga. Las bombas rotatorias pueden manejar casi cualquier líquido libre de abrasivos y son especialmente adecuadas para fluidos de alta viscosidad.

Estos dispositivos descargan a capacidad casi constante contra todas las presiones, dentro del límite de diseño de la bomba. El flujo de descarga varía directamente con la velocidad del dispositivo mecánico que se encuentra dentro de este tipo de bomba. La descarga es libre de pulsaciones, particularmente en el caso de la de engranes.

❖ Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son ampliamente usadas en la industria de proceso, debido a la simplicidad de su diseño, bajo costo inicial, así como de mantenimiento y flexibilidad de aplicación. En una bomba centrífuga el líquido penetra a través de una unión de succión, concéntrica con el eje que es de una pieza y gira a gran velocidad, llamada impulsor o rodete. El rodete está provisto de álabes radiales que son solidarios con el mismo impulsor. El líquido circula hacia afuera por los espacios que existen entre los álabes y abandona al impulsor con una velocidad mucho mayor que la de entrada al mismo. El líquido que sale periféricamente del impulsor se recoge en una carcasa en espiral, llamada voluta y sale de la bomba a través de una conducción tangencial de descarga. En la voluta, la carga de velocidad del líquido procedente del impulsor se convierte en carga de presión. El fluido recibe energía del impulsor, que a su vez se transmite al mismo mediante el par de un eje rotatorio, generalmente es accionado mediante una conexión directa a un motor de velocidad constante.

Existen muchos otros tipos de diseños de bombas, además de la sencilla máquina de voluta. Un tipo muy común emplea un rodete de doble succión, que



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	76/ 205

toma el líquido por ambos lados del rodete. Por otra parte, el impulsor puede ser abierto, cerrado o reforzado. En los manuales y libros sobre bombas centrífugas y especialmente en los catálogos de las casas constructoras se encuentran diversos tipos, tamaños y diseños.

❖ Características de una bomba

Para seleccionar una bomba se necesita conocer las características de ésta, como son:

❖ Capacidad

Se define la capacidad de una bomba como la cantidad de fluido manejado por unidad de tiempo.

La capacidad de la bomba se debe identificar, con la temperatura de operación para determinar la potencia y los efectos de viscosidad.

❖ Presión

En los problemas de bombas, generalmente se consideran tres tipos de presión: absoluta, manométrica y de columna. Se usa un cuarto término, vacío, cuando se opera debajo de la presión atmosférica, pero no es un término de presión positiva, en el mismo sentido como en los tres primeros términos.

❖ Presión total o Cabeza total

Es la presión disponible de descarga de una bomba como cambio de una energía mecánica de entrada a energía cinética y potencial. Esto representa la energía total dada al líquido por la bomba. Se expresa en el sistema inglés como TH y FPSH, en pies de líquido bombeado a una presión dada en HP. La presión o cabeza producida por una bomba es independiente del fluido que esté bombeando y es por lo tanto la misma que para cualquier fluido que se bombee a una velocidad de rotación y caudal o capacidad dada.



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	77/ 205

La cabeza total desarrollada por la bomba se compone de la diferencia entre la cabeza estática, la cabeza de presión y la cabeza de velocidad más las pérdidas de cabeza por fricción: a la entrada y salida, para la succión y descarga de una bomba, ver las Figuras 1 y 2. En la Figura 1, se muestra la ecuación (1).

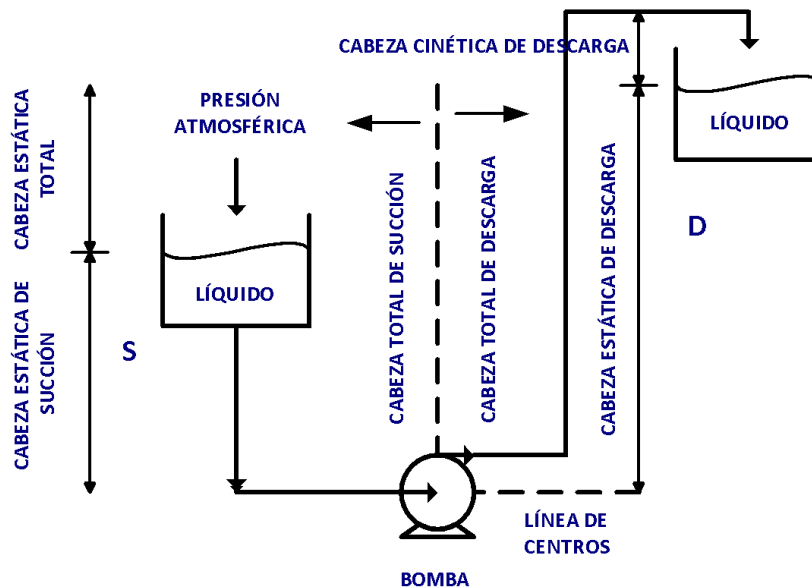


Figura 1. Sistema característico de una bomba.

$$H = h_D - h_S = \frac{P_D - P_S}{\rho} \quad (1)$$

Donde

H : Cabeza total, m

h_D : Cabeza de descarga, m

h_S : Cabeza de succión, m

P_D : Presión de descarga, m, donde P/γ

P_S : Presión de succión, m donde P/γ



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	78/ 205

$$\gamma: \text{Peso específico}, \frac{Kg}{(s^2 * m^2)} = \rho \times g$$

$$\rho: \text{Densidad del fluido}, Kg/m^3$$

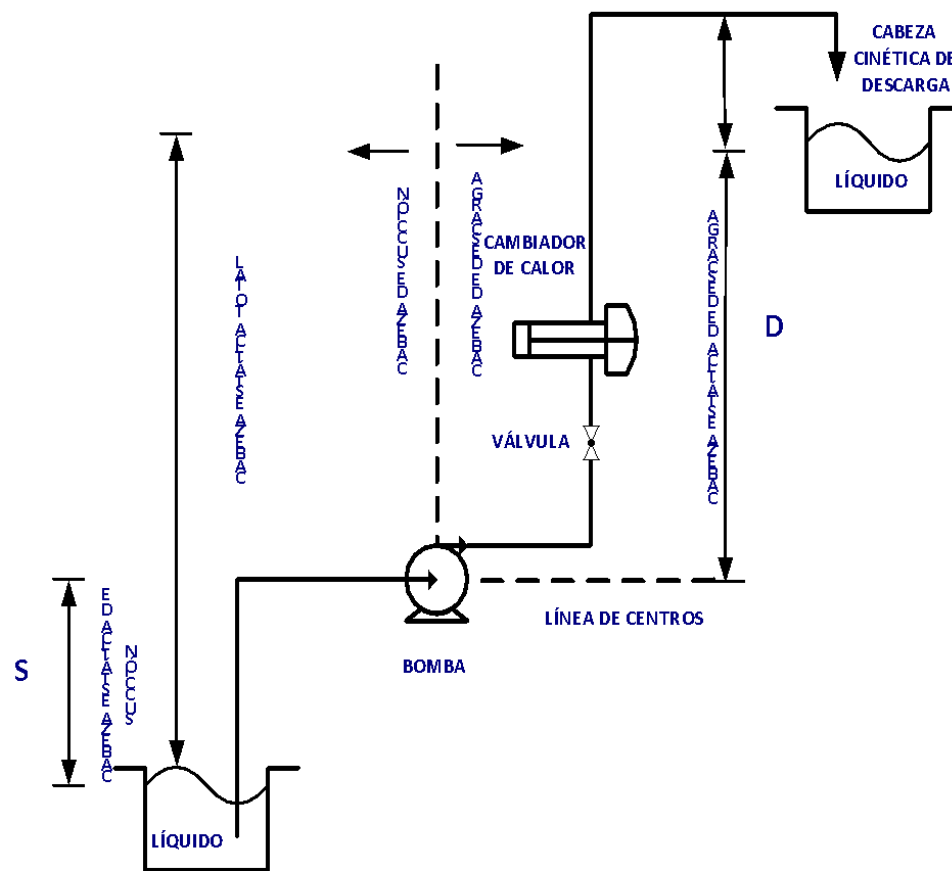


Figura 2. Sistema característico de presión de una bomba entre tanques, con un intercambiador de calor



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	79/ 205

❖ Cabeza de succión

Es la diferencia de elevación entre el líquido en el lado de la succión y la línea de centros de la bomba (más la cabeza de velocidad). Note que la cabeza de succión es positiva cuando el líquido se encuentra arriba de la línea de centros y decrece cuando se incrementan las pérdidas por fricción en la tubería de succión, ver Figura 3.

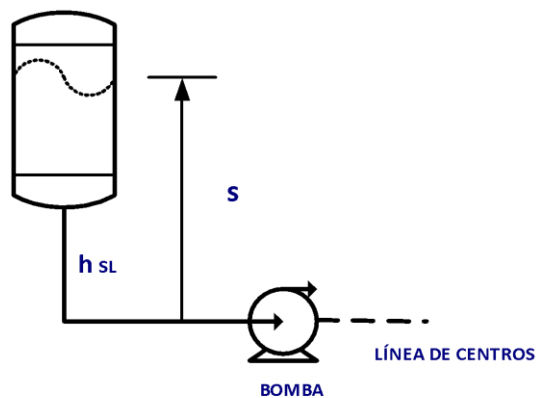


Figura 3. Sistema Característico de Carga de una Bomba en la Presión de Succión (ecuación 2.)

$$h_S = S - h_{SL} + P \quad (2)$$

Dónde:

h_S : Cabeza de succión, m

S : Elevación de líquido sobre la línea de centros, m

h_{SL} : Pérdidas por succión en la tubería de succión, m

P : Presión en el recipiente, donde P/γ

γ : Peso específico, $\frac{Kg}{(s^2 * m^2)} = \rho \times g$

P1



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	80/ 205

La cabeza de succión es negativa cuando el nivel del líquido se encuentra debajo de la línea de centros o cuando la presión en el recipiente está abajo de la presión atmosférica, ver Figura 4.

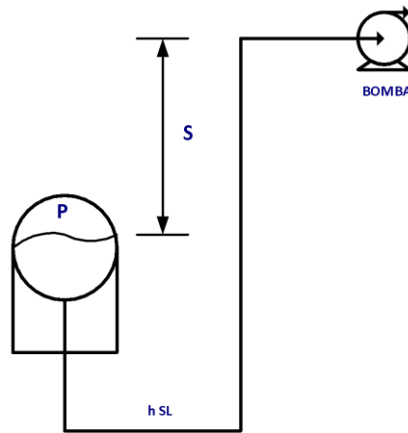


Figura 4. Sistema de Succión negativa de una bomba.
(Ecuación 3)

$$h_s = -S - h_{SL} + P \quad (3)$$

Dónde:

h_s : Cabeza de succión, m.

$-\frac{S}{\gamma}$: Presión negativa o disminución de cabeza sobre la línea de centros, m

h_{SL} : Desgastes por fricción, m

P: Presión en el recipiente, m

γ : Peso específico, $\text{kg}/(\text{s}^2 * \text{m}^2)$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	81/ 205

❖ Cabeza de descarga

La cabeza de descarga de una bomba es la cabeza medida en la brida de descarga (manométrica o absoluta) y se compone de los mismos factores básicos anteriormente mencionados:

- Cabeza estática
- Pérdidas por fricción a través de tubos, accesorios, contracciones, expansiones, en entradas y salidas de equipos,
- Presión final en el sistema.

Algunos sistemas de descarga de tanques cerrados y abiertos se muestran en las figuras 5 y 6.

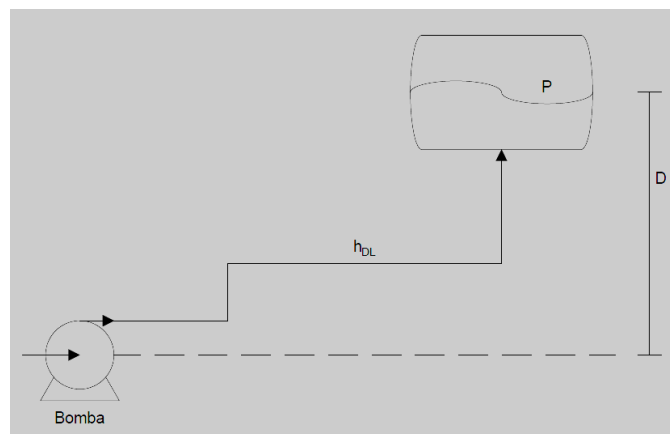


Figura 5. Representación de la cabeza estática y presión final del sistema.

Y sus ecuaciones son:

$$h_D = D + h_{DL} + P \quad (4)$$

$$h_D = D + d_{DL} \quad (5)$$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	82/ 205

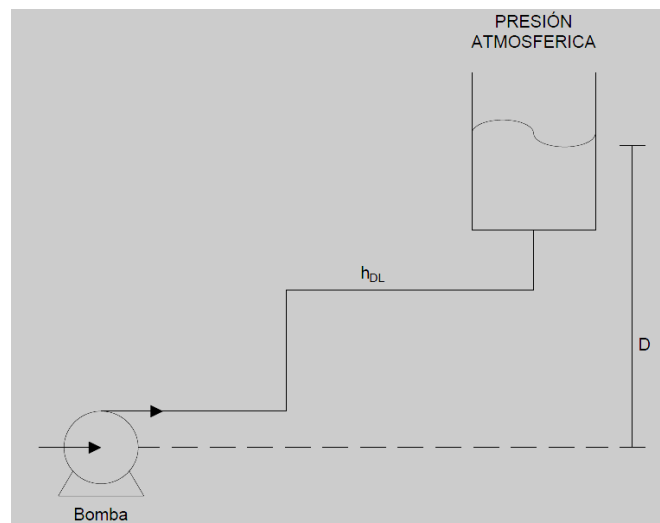


Figura 6. Diagrama de cabeza estática y presión de descarga atmosférica.

Donde

D: Elevación de descarga, m

h_{DL} : Pérdidas por fricción, m

P: Presión de descarga. m

Esta ecuación se aplica también a los sistemas representados en las Figuras 3, 4,5 y 6, donde es importante analizar las posiciones de los tanques y los puntos de referencia 1 y 2 entre los cuales se está realizando el balance de energía de la bomba(s). De acuerdo con la primera Ley de la Termodinámica, aplicada en la Ecuación de Bernoulli que es:

$$\frac{V^2}{2} + P + \rho \times g \times z = constante \quad (6)$$

La ecuación se realiza aplicando las siguientes suposiciones:

- ❖ La viscosidad (fricción interna) es nula,
- ❖ El caudal se mantiene constante



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	83/ 205

- ❖ El fluido es incompresible, $\rho = \text{constante}$,
- ❖ Se aplica bajo una línea de corriente, como el flujo de agua en una tubería.

Esta ecuación se puede presentar como la suma de la energía dinámica, y otra estática como constante.

La primera Ley de la Termodinámica es un balance de energía entre los límites de un volumen de control dado, por lo que permite expresar los intercambios energéticos a lo largo de una corriente de fluido, como son las pérdidas por fricción que restan energía a las bombas o ventiladores que dan mayor energía al fluido. La presentación general de la Ecuación de Bernoulli, sin considerar las pérdidas por fricción entre dos puntos de referencia es:

$$\frac{V_1^2}{2 \times g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \times \frac{g}{g_c} + W_f = \frac{V_2^2}{2 \times g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \times \frac{g}{g_c} \quad (7)$$

Reagrupando los términos, se encuentra el trabajo de bombeo:

$$W_f = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \times g} + Z_2 - Z_1 = T \quad (8)$$

En las siguientes secciones los términos se analizarán mejor, con la descripción de términos y de sus unidades que en las secciones de trabajo de bombeo y potencia hidráulica.

❖ Trabajo de bombeo

El trabajo que se debe proporcionar a un sistema para llevar un cierto gasto de fluido a una cierta altura y distancia, por medio de la tubería, recibe el nombre de trabajo de bombeo. Este trabajo suele llamarse también cabeza total de una bomba. En el Sistema Internacional (SI) se expresa en metros de líquido.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	84/ 205

❖ Potencia hidráulica

Es el trabajo requerido para cambiar a un líquido de posición, presión y velocidad a otra posición, posición, presión y velocidad en un tiempo dado, existen distintas formas de expresar la potencia hidráulica, a saber, por las ecuaciones:

$$P_h = \tau * L \quad (9)$$

$$P_h = H * Q * \rho \quad (10)$$

$$P_h = \Delta P * Q \quad (11)$$

Dónde:

P_h : Potencia hidráulica, watts

τ : Trabajo de bombeo, m

L : Gasto másico, kg/s

H : Cabeza total, m

Q : Gasto volumétrico, m³/hr o L/hr

ρ : Densidad del fluido, g/cm³

ΔP : Presión de descarga menos presión de succión, m.

❖ Cabeza Neta de Succión positiva, NPSH

La cabeza neta de succión positiva (NPSH), que debe estar por arriba de la presión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo, es la presión absoluta disponible en la brida o acoplamiento de succión de la bomba y es una consideración muy importante que hay que hacer en la selección de una bomba que maneje líquidos cerca de su sitio de ebullición o líquidos de altas presiones



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	85/ 205

de vapor.

Si la consideración de los valores del NPSH se ignora, la bomba

puede ser inoperativa en el sistema o puede limitar el límite de uso y llegar a presentar problemas de operación y costo. El significado del NSPH es asegurar suficiente cabeza de líquido a la entrada del impulsor de la bomba. La ecuación que representa al NSPH es:

$$NSPH = \mp S + (P_a - P_v) - h_{SL} \quad (12)$$

Dónde:

NSPH: Cabeza neta de succión positiva, m.

S: Elevación del líquido sobre la línea de centros, m.

P_a : Presión absoluta en el recipiente, presión en el recipiente, donde P/γ .

P_v : Presión de vapor del líquido, donde P/γ .

h_{SL} : Pérdidas por fricción, m.

ΔP : Presión en el recipiente, donde P/γ .

γ : Peso específico, $\text{kg}/(\text{s}^2 * \text{m}^2)$.

➤ Curvas características de una bomba

El comportamiento de una bomba centrífuga se puede expresar convenientemente por tres curvas, Figura 7:

- Presión o cabeza (H) contra caudal o capacidad (Q),
- Potencia (P) contra caudal o capacidad (Q),
- Eficiencia (E) contra caudal o capacidad (Q).



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	86/ 205

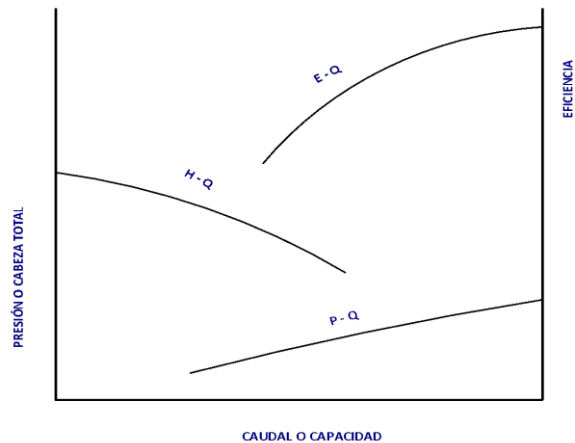


Figura 7. Curvas características de una bomba.

➤ **Bombas en serie**

Algunas veces, en un proceso es ventajoso o económico usar un sistema con dos o más bombas acopladas en serie para alcanzar la presión de descarga deseada. En esta situación el caudal se ve limitado por la bomba que maneje el menor gasto y a su velocidad de operación. La presión o cabeza total de descarga de la última bomba es la suma de las presiones de descarga individuales. Para bombas idénticas, el caudal total es la de una de las bombas y la presión o cabeza de descarga de la última bomba es la suma de las cabezas individuales de cada bomba actuando como una sola unidad simple. Así, para dos bombas idénticas la cabeza de descarga total es dos veces la presión o cabeza de una de las bombas al flujo de diseño, ver la figura 8:



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	87/ 205

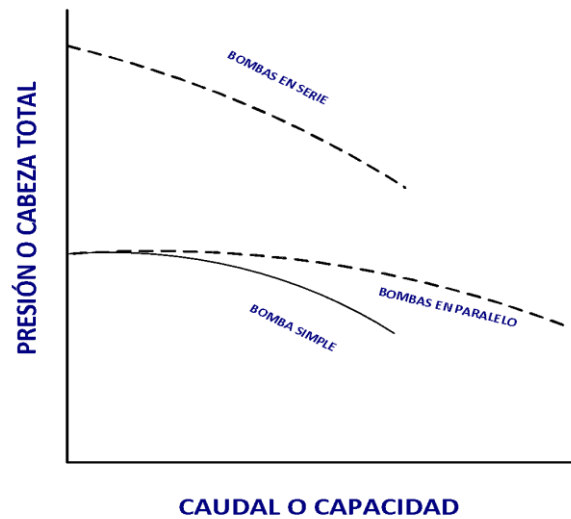


Figura 8. Curvas características en diferentes arreglos de bombas.

Cuando por necesidad de operación se quiere tener una presión de descarga elevada a un gasto constante se colocan un sistema de bombas en serie como se muestra en las Figuras 9 a, b y c.

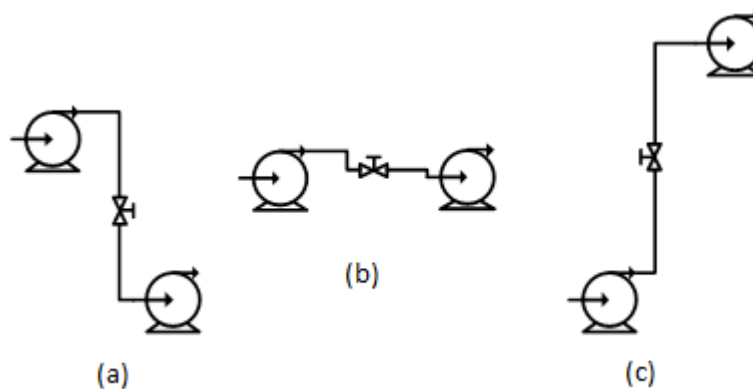


Figura 9. Diferentes arreglos de bombas conectadas en serie.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	88/ 205

➤ Bombas en paralelo

Las bombas se operan en paralelo para dividir el caudal o capacidad entre dos o más bombas más pequeñas preferentemente, para no usar una bomba más grande, o para proporcionar un caudal adicional a un sistema de poco caudal, o por otras razones. La figura 10 ilustra la curva de operación de dos bombas idénticas acopladas en paralelo, cada bomba maneja su caudal a las condiciones de presión o cabeza de su diseño. En el arreglo en paralelo de dos o más bombas de las mismas o diferentes curvas características, el caudal de cada bomba se suma, a la siguiente, para obtener la distribución de caudal total. Cada bomba no tiene que manejar el mismo caudal; pero cada una operará sobre su propia curva característica y debe distribuir la presión o cabeza requerida. En un punto común de unión en la descarga de todas las bombas, la presión o cabeza será la misma para cada bomba, sin importar su flujo.

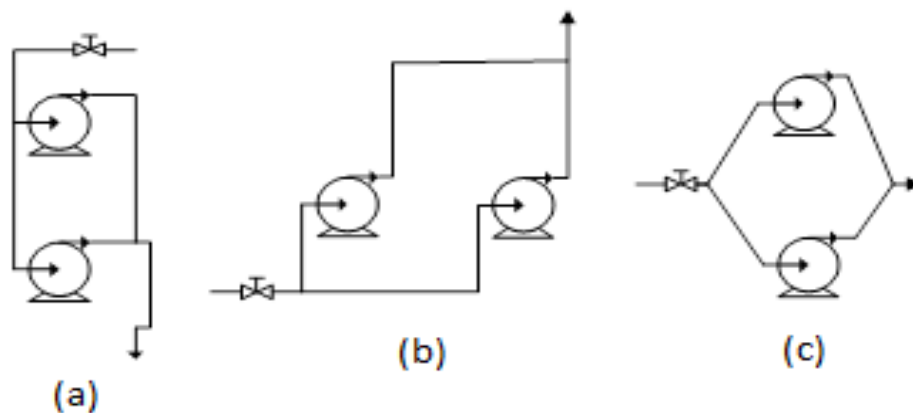


Figura 10. Diferentes arreglos de bombas en paralelo.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	89/ 205

3. MATERIALES Y REACTIVOS

3.1. MATERIAL

- 1 flexómetro
- 1 cronómetro

3.2. EQUIPO

- Sistema de flujo de fluidos de metal con la tubería, válvulas de control, accesorios e instrumentos.

3.3. SERVICIOS

- Electricidad
- Agua de línea de servicios generales
- Agua de la torre de enfriamiento

3.4 MATERIAL BÁSICO

- Pueden requerirse etiquetas o plumón para marcar

4. PROCEDIMIENTO

❖ Calibración de los rotámetros

- 1.- Familiarizarse con el equipo, ver Anexo 1. Cerrando todas las válvulas.
- 2.- Llenar con agua el tanque correspondiente al rotámetro que se va a calibrar, identificando su altura y volumen estimado con el indicador de nivel visible.
- 3.- Alinear (abrir) válvulas del equipo para reciclar el flujo de agua al mismo tanque.
- 4.- Controlar el flujo con la válvula de *globo* correspondiente al rotámetro que se está calibrando, de acuerdo con el número de vueltas completas o fracciones que puede dar el maneral de la válvula.
- 5.- Cerrar la válvula de recirculación al mismo tanque, y abrir simultáneamente la válvula de alimentación al otro tanque. Esperar que el flotador del rotámetro se estabilice, fijando un eje horizontal de referencia al flotador.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	90/ 205

- 6.- Medir con un flexómetro o una cinta métrica flexible el cambio de nivel de líquido en el tanque donde llega al fluido, midiendo el tiempo con un cronómetro los cambios de nivel, de manera continua, los resultados son registrados en la *Tabla 3*. *Se registra el % de escala del rotámetro*, para cada bomba.
- 7.- Durante la operación de calibración de los rotámetros se debe vigilar que el nivel del tanque de donde está succionando el líquido la bomba, no baje a menos de un tercio de la altura total visible. Cuando el nivel de este tanque de succión llegue al límite, se apaga la bomba y se regresa el fluido del tanque de descarga al de succión por medio de la otra bomba.
- 8.- Se realizan por lo menos de cuatro a cinco pruebas a diversas aperturas de la válvula de *globo*. La calibración se debe realizar por lo menos tres veces.
- 9.- El análisis de los Resultados obtenidos de las mediciones individualmente se presentarán posteriormente en la *Tabla 2*.

❖ Uso de las bombas individualmente

- 1.- Una vez calibrados los rotámetros se procederá a determinar las variables del comportamiento de las bombas individualmente, presentados en la *Tabla 1*.
- 2.- Se alinea el sistema para usar cualquiera de las dos bombas y se recircula el fluido al mismo tanque que está alimentando a la bomba que se está usando.

Hacer lo mismo con la otra bomba.

- 3.- Las variables que se usarán son: Para cada % de caudal o gasto leído en el rotámetro calibrado se lee la presión de descarga en el manómetro a su salida.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	91/ 205

Los datos obtenidos para cada bomba, BC-1 o BC-2 y se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Presentación de los datos individuales de las bombas

BC-1					BC-2				
% Escala	P. descarga	S	P	P°_v	% Escala	P. descarga	S	P	P°_v

❖ Uso de las bombas en serie

Haciendo uso del Anexo 1, en donde puede observarse como alinear el sistema para llevar el fluido de un tanque a otro, se opera:

1. Llenar el tanque TA-1.
2. Alinear el equipo para que las bombas trabajen en serie y para que recircule el fluido al TA-1, abriendo V-5, V-9, V-12, V-20, V-22, V-23 y V-3.
3. Arrancar la bomba BC-1 e inmediatamente después la BC-2, regular el flujo con V-3.
4. Leer el flujo, la presión de descarga de la bomba BC-1 y BC-2.
5. Cuando se tengan los suficientes datos apagar las bombas simultáneamente y cerrar todas las válvulas.

Los datos obtenidos un arreglo de bombas en serie se presenta en la Tabla 1

Tabla 2. Presentación de datos de bombas en serie.

% Escala	P. descarga BC-1	P. descarga BC-2



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	92/ 205

❖ Arreglo de las bombas en paralelo.

1. Llenar el tanque TA-1.
2. Alinear el equipo para que las bombas trabajen en paralelo y para que recircule el fluido al tanque TA-1, abriendo las siguientes válvulas: V-3, V-5, V-9, V-10, V-19, V-20, V-21, V-22 y V-23.
3. Arrancar las bombas BC-1 y BC-2-
4. Regular el flujo de las bombas con V-11 y V-13, hasta que las presiones en los manómetros sean aproximadamente iguales, cuando esto suceda, leer el valor de las presiones en los manómetros y de los flujos en los rotámetros,
5. Cuando se tengan los suficientes datos apagar las bombas simultáneamente y cerrar todas las válvulas.

En la Tabla 3, se llenan los valores experimentales de las bombas en paralelo

Tabla 3. Presentación de datos de bombas en arreglo en paralelo.

% Escala del R-1	% Escala del R-2	P. descarga BC-1, Kg/cm ²	P. descarga BC-2, Kg/cm ²

Observaciones y recomendaciones importantes.

Al principio de cualquiera de las actividades mencionadas, todas las válvulas deberán estar cerradas y solamente se abrirán aquellas que sean necesarias, por ello es importante que los alumnos que realicen una actividad experimental en este equipo identifiquen las válvulas.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	93/ 205

5. TRATAMIENTO DE DATOS

- Para cada bomba utilizada individualmente se presentarán los resultados obtenidos experimentalmente en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de las mediciones de las bombas individuales.

BC-1					
Q	P. Succión	P. Descarga	$\otimes P$	H	NSPH
BC-2					
Q	P. Succión	P. Descarga	$\otimes P$	H	NSPH

- Con los datos obtenidos en el inciso anterior se construirá para cada bomba las siguientes curvas:
- Cabeza total en metros H vs Caudal en m^3/min o Capacidad de flujo en GPM/min
- Potencia en watts vs Caudal en m^3/min o Capacidad de flujo en GPM/min
- Para las bombas alineadas en serie se reportan los resultados de los datos como se presentarán en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de las mediciones en arreglo en serie

Q	P . Succión, BC-1	P. Descarga, BC-2	$\otimes P$	H, m



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE
PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	94/ 205

- Con los datos obtenidos en el inciso anterior se construirá para cada bomba las siguientes curvas:
- Cabeza total en metros H vs Caudal en m^3/min o Capacidad de flujo en GPM/min
- Potencia en watts vs Caudal en m^3/min o Capacidad de flujo en GPM/min
- Para las bombas alineadas en paralelo se reportan los resultados de los datos como se presentarán en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de las mediciones de bombas en paralelo.

Q, BC-1	Q, BC-2	(BC-1+ BC-2)	Succión, BC-1	Succión, BC-2	Descarga, BC-1

Descarga, BC-2	$\otimes P$, BC-1	$\otimes P$, BC-2	H, BC-1, m	H, BC-2, m

- Con los datos obtenidos en el inciso anterior se construirá para cada bomba las siguientes curvas:
- Cabeza total en metros H vs Caudal en m^3/min o Capacidad de flujo en GPM/min.
- Potencia en watts vs Caudal en m^3/min o Capacidad de flujo en GPM/min.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 6º SEMESTRE



Código	Fecha de emisión	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML01	07/12/2018	1	95/ 205

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Progress in pumps / New York (1989) *Chemical engineering*. McGraw-Hill.
2. Mejia Jaramillo, Iván, (1987) *Instalación de bombas centrifugas* / México: CECSA.
3. Luszczewski i Kudra, Antoni, (2004) *Redes industriales de tubería: bombas para agua, ventiladores y compresores: diseño*.
4. Shames, I. (1995) *“La mecánica de los fluidos”* Ed. McGraw Hill
5. Streeter, V. (1989) *“Mecánica de los fluidos”* Ed. McGraw Hill.