

Altura neta positiva de aspiración de una bomba

Víctor Yepes Piqueras

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Catedrático de Universidad

Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil

Universitat Politècnica de València

Cuando una bomba se instala en seco con una tubería de aspiración, se debe verificar que no se produce **cavitación**. Se trata de un fenómeno termodinámico por el que el agua se vaporiza al reducirse la presión absoluta por debajo de la presión de vapor del líquido. Este fenómeno depende del líquido y puede aparecer en cualquier punto o situación de la instalación: bombas, válvulas, codos, etc.

Si la bomba trabaja con una aspiración excesiva, la presión a la entrada de la bomba puede llegar a alcanzar la presión parcial de vapor del agua. En ese momento se desprenden burbujas de vapor que, al recuperarse la presión, implosionan violentamente (la implosión puede producirse a presiones de 10000 bares) provocando graves daños en la bomba y sus instalaciones, pues deteriora las paredes y superficies. Si se produce cavitación, la eficiencia de la bomba desciende radicalmente, las vibraciones asociadas con la creación y destrucción de las burbujas destruyen las máquinas y las conducciones, y el oxígeno liberado las corroe. La cavitación produce un ruido característico parecido al de arena deslizándose por una superficie metálica. Si la bomba funciona en estas condiciones durante cierto tiempo se puede dañar.

Recordemos que la **tensión de vapor** es la presión que ejerce la fase gaseosa o vapor sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico. Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.

Una bomba puede succionar líquido hasta una altura tal que no produzca cavitación en la instalación de una bomba, por lo que es importante analizar esta situación. La **altura de aspiración** es la distancia vertical entre la superficie libre del líquido a aspirar y el eje de la bomba, y equivale a la columna de líquido que equilibre la presión atmosférica.

Esta magnitud disminuye al aumentar la densidad y la temperatura del líquido y también con la altura sobre el nivel del mar. Para agua pura a 4°C, la altura teórica máxima de aspiración sería de 10,33 m, que sería la altura de la columna de líquido que puede equilibrar la presión atmosférica. Sin embargo, la realidad nos demuestra que la altura de aspiración práctica queda reducida a 6,5 m a 4°C y al nivel del mar. Por ejemplo, a 100°C, la altura de aspiración sería nula.

Por ello, la altura de aspiración se encuentra limitada por la suma de la longitud de aspiración más las posibles pérdidas de carga, más la altura debida a la velocidad del líquido en las inmediaciones de la bomba. Además, se deben sumar las pérdidas por temperatura y altura sobre el nivel del mar (ver Tabla 1).

Altura sobre el nivel del mar (en m)	Altura perdida para la aspiración (en m)	Temperatura del agua (en °C)	Altura perdida para la aspiración
0	0	10	0,125
100	0,125	15	0,173
200	0,250	20	0,236
300	0,375	25	0,320
400	0,500	30	0,430
500	0,625	35	0,570
600	0,750	40	0,745
700	0,870	45	0,970
800	0,990	50	1,250
900	1,110	55	1,600
1.000	1,220	60	2,040
1.100	1,330	65	2,550
1.200	1,440	70	3,160
1.300	1,550	72	3,450
1.400	1,660	74	3,770
1.500	1,770	76	4,100
1.600	1,880	78	4,450
1.700	1,990	80	4,800
1.800	2,090	82	5,220
1.900	2,190	84	5,650
2.000	2,290	86	6,120
2.200	2,490	88	6,620
2.400	2,680	90	7,150
2.600	2,870	92	7,710
2.800	3,050	94	8,310
3.000	3,230	96	8,950
3.500	3,650	98	9,600
4.000	4,060	100	10,330

Tabla 1.- Influencia de la altitud y de la temperatura sobre la aspiración (Díaz del Río, 2007)

Por tanto, para un correcto funcionamiento de la bomba y evitar la cavitación, se debe comprobar que existe una presión mínima a la entrada del rodete. Para realizar dicha comprobación, se debe definir el concepto de “**altura neta positiva de aspiración**” (*Net Positive Suction Head, NPSH*).

NPSH se define como la diferencia de presión del líquido en el eje del impulsor de la bomba y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Se trata de una presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar la cavitación. NPSH es una medida de la carga referida al punto de entrada de la bomba en valor absoluto, menos la carga de vaporización. Teóricamente, este valor es constante para una bomba dada y un caudal dado.

Se define, por tanto, el **NPSH disponible** como un valor en función de la instalación e independiente del tipo de bomba, y se determina de la siguiente forma:

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = \frac{P_a}{\gamma} - H_a - H_f - \frac{T_v}{\gamma}$$

donde P_a es la presión atmosférica en el depósito de aspiración, H_a es la altura geométrica de aspiración, H_f son las pérdidas de carga en la aspiración, T_v es la tensión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo y γ es el peso específico del líquido. Resulta evidente que es preferible un bombeo que garantice el máximo NPSH disponible.

En funcionamiento habitual, el régimen del flujo es turbulento, por lo que las pérdidas de fricción en la tubería de aspiración se pueden expresar con la ecuación empírica de Darcy-Weisbach:

$$h_{ta} = \frac{8 \cdot f \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \cdot Q^2$$

donde f es el factor de fricción, L es la longitud de la tubería de aspiración, D el diámetro de la tubería y Q el caudal.

Del mismo modo, la suma de las pérdidas en accesorios instalados en el tramo de aspiración será la siguiente:

$$h_{acc} = \sum K_{acc} \cdot Q^2$$

donde K_{acc} es un coeficiente determinado de forma empírica para cada tipo de punto singular.

Con lo que podemos expresar las pérdidas de carga a lo largo de la tubería de aspiración de la siguiente forma:

$$H_f = \left(\frac{8 \cdot f \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} + \sum K_{acc} \right) \cdot Q^2 = K \cdot Q^2$$

De esta forma, se puede expresar la definición del NPSH disponible como sigue:

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = \left(\frac{P_a}{\gamma} - H_a - \frac{T_v}{\gamma} \right) - K \cdot Q^2$$

Los términos del paréntesis son independientes del caudal y se encuentran definidos para una instalación concreta, pues la presión atmosférica depende del lugar, de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo y de la altura de aspiración.

En la Figura 1 se puede comprobar que la altura NPSH disponible decrece parabólicamente con el caudal.

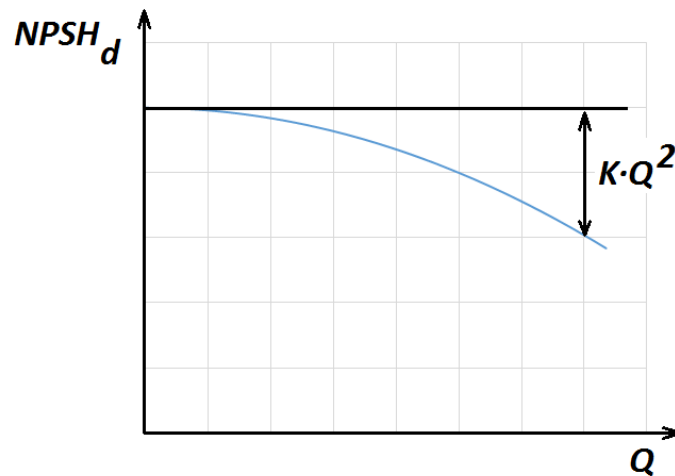


Figura 1. Variación de NPSH disponible con el caudal

El NPSH disponible debe ser mayor o igual que el **NPSH requerido**, que es un dato básico y característico de cada tipo de bomba, variable según el modelo, tamaño y condiciones de servicio, y que es un dato que debe facilitar el fabricante. Varía según su caudal y su número de giros. La determinación del NPSH requerido de una bomba se lleva a cabo en un banco de ensayos con instalación de agua en circuito cerrado. La Figura 2 muestra la curva del NPSH requerido de una bomba comercial. Es una función de tipo parabólico, con un valor mínimo a partir del cual crece.

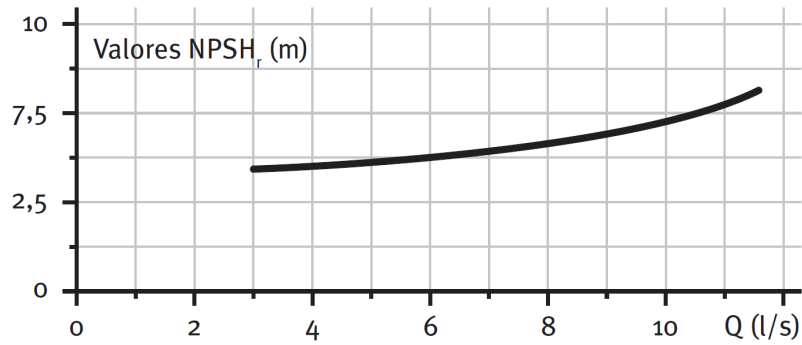


Figura 2. Variación típica de NPSH requerido de una bomba comercial. Guía técnica de selección de equipos de transporte de fluidos (IDEA, 2012)

Para el caso extremo de bombeo de fluidos a su temperatura crítica, el NPSH requerido es uno, pues el volumen ocupado por la fase líquida y el vapor saturado sería el mismo, y al pasar de una fase a otra no existirá variación de volumen y, por tanto, golpeteo.

Cada bomba puede tener varios valores NPSH en función de las normativas de pruebas utilizadas por los fabricantes (Figura 3). Por ejemplo, el NPSH requerido se define como la situación en la que la altura de la bomba disminuye un 3% debido a la cavitación. Este valor se define como NPSH₃.

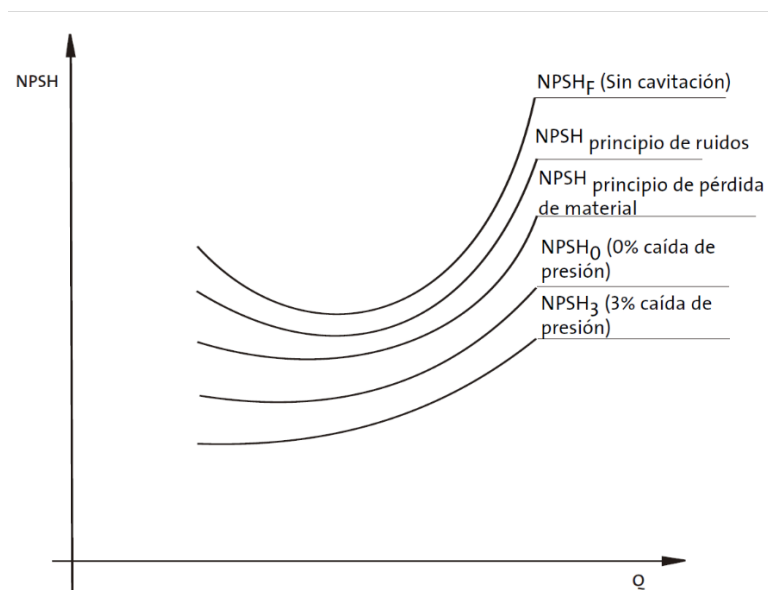


Figura 3. Distintas curvas de NPSH requerido con el caudal de la bomba. Manual de bombeo de aguas residuales GRUNDFOS

Pues bien, para que no exista cavitación en ningún punto, la presión no debe ser inferior a la tensión de vapor. Lo cual implica que (ver Figura 4):

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$$

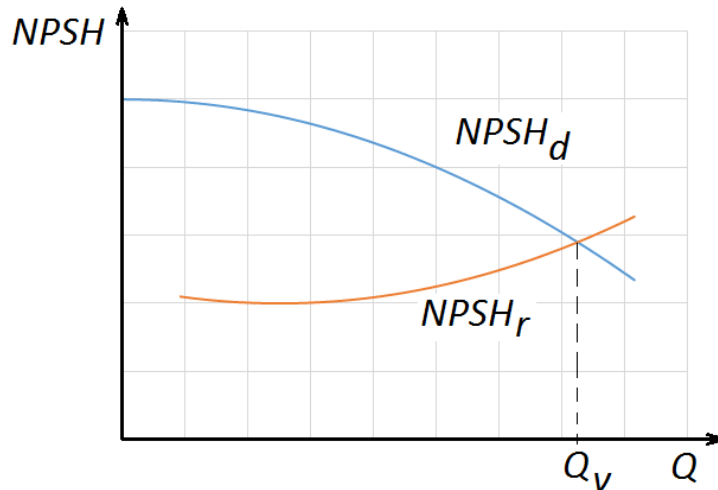


Figura 4. Determinación del máximo caudal aspirable desde el punto de vista de la cavitación

Normalmente se da un margen de seguridad al NPSH disponible de 1 a 1,5 m para bombas instaladas en posición horizontal con tuberías de aspiración rectas. Sin embargo, este margen sube de 2 a 2,5 m para bombas instaladas en posición vertical, siempre que se utilice un codo reductor antes de la aspiración de la bomba.

Hay que tener presente que a medida que crece el caudal bombeado, aumenta la velocidad del fluido por la tubería y crecen las pérdidas de carga, es decir, aumenta el NPSH requerido y disminuye el NPSH disponible, colaborando a la aparición de la cavitación.

Referencias:

- DÍAZ DEL RÍO, M. (2007). *Maquinaria de construcción*. 2ª edición. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., 944 pp.
- IDEA (2012). *Guía técnica de selección de equipos de transporte de fluidos*. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, Madrid, 108 pp.
- ŁUSZCZEWSKI, A. (1999). *Redes industriales de tubería. Bombas para agua, ventiladores y compresores. Diseño y construcción*. Reverté Ediciones. México. 302 pp.
- POWERS, J.P. (1992). *Construction dewatering: New methods and applications*. Ed. Wiley et al., New York.
- YEPES, V. (2020). [*Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*](#). Colección Manual de Referencia, 2ª edición. Editorial Universitat Politècnica de València, 480 pp. Ref. 328. ISBN: 978-84-9048-903-1.
- YEPES, V.; MARTÍ, J.V. (2017). *Máquinas, cables y grúas empleados en la construcción*. Editorial de la Universitat Politècnica de València. Ref. 814. Valencia, 210 pp.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0 Internacional](#).