



# Control de la cavitación para obtener los parámetros de funcionamiento óptimos en bombas centrífugas

## Cavitation control to obtain optimal operating parameters in centrifugal pumps

Edmundo Muñico Casas<sup>1</sup>, Raúl Jorge Mayco Chávez<sup>1</sup>, Timoteo Cairo Hurtado<sup>1</sup>

E-mail: e\_2002100606g@uncp.edu.pe / rmayco@uncp.edu.pe / tcairo@uncp.edu.pe

### Cómo citar

Muñico Casas, E.; Mayco Chávez, R. J. & Cairo Hurtado, T. (2020). *Control de la cavitación para obtener los parámetros de funcionamiento óptimos en bombas centrífugas*. *Prospectiva Universitaria, Revista de la UNCP*. 17(1), 79-83. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1403>

### Resumen

En el presente trabajo de investigación se describe las variables que influyen en la cavitación de las bombas centrífugas con el objetivo de controlar la cavitación para obtener los parámetros de funcionamiento óptimos en bombas centrífugas desarrollado en el laboratorio de máquinas hidráulicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú. La cavitación es uno de los problemas permanentes que se presentan en las instalaciones de los sistemas hidráulicos que, consiste en la formación de burbujas en el de vapor debido a una depresión por debajo del punto de saturación del agua. La investigación realizada es del tipo experimental y aplicada, cuyas recolecciones de datos empleados se realizó en el módulo de un sistema de bombeo de recirculación que consiste en una bomba centrífuga de marca Pedrollo de 0.5HP de potencia,  $H_{max} = 40$  m,  $Q_{max} = 40$  l/min y tuberías de conducción de 1" transparente PVC, en donde se tomó los datos para realizar los cálculos del NPSH. El resultado del trabajo de investigación consiste en caracterizar la variación del nivel de succión que influía directamente en el  $NPSH_R$  y  $NPSH_D$  de manera que a mayor caudal tiene la tendencia de crecer y disminuir dicho parámetro respectivamente, comprobando de manera objetiva el fundamento que sustenta Mataix (1976).

**Palabras clave:** control de cavitación, cavitación en bombas, parámetros de funcionamiento, bomba centrífuga

### Abstract

In this research work we try to describe the variables that influence cavitation in centrifugal pumps with the objective of controlling cavitation to obtain the optimal operating parameters in centrifugal pumps developed in the hydraulic machinery laboratory of the Faculty of Mechanical Engineering of the National University of the Center of Peru. Cavitation is one of the permanent problems encountered in the installations of hydraulic systems, which consists of the formation of bubbles in the steam due to a depression below the water saturation point. The research carried out is of the experimental and applicative type, whose data collection was carried out in the module of a recirculation pumping system that consists of a 0.5HP Pedrollo centrifugal pump of power,  $H_{max} = 40$  m,  $Q_{max} = 40$  l/min and 1" transparent PVC piping, where the data was taken to perform the NPSH calculations. The result of the research work consists of characterizing the variation in the suction level that directly influenced the  $NPSH_R$  and  $NPSH_D$  so that at higher flow rates the parameter tends to increase and decrease respectively, objectively verifying the foundation that Mataix (1976) supports.

**Keywords:** cavitation control, cavitation, cavitation in pumps, cavitation parameters, centrifugal pumps

<sup>1</sup>Docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica - UNCP

## Introducción

Las bombas centrífugas están presentes en todos los sectores industriales, así como también en nuestros domicilios y es común en nuestra vida cotidiana encontrarnos con estas máquinas; por esa razón, es importante conocer su operación y funcionamiento de una manera óptima debido a que influye en el desarrollo de la producción industrial y en la calidad de vida de nuestra sociedad.

La cavitación es un fenómeno que afecta el funcionamiento de las bombas centrífugas, disminuyendo su rendimiento en la instalación, provocando ruidos y vibraciones, lo cual influye directamente en los parámetros de funcionamiento de las bombas.

Para desarrollar el trabajo de investigación se utilizó un módulo de un sistema de bombeo de recirculación existente en la Facultad de Ingeniería Mecánica debido a los problemas que suscitaba en el funcionamiento de la bomba, tales como la generación de un ruido de golpeteo y vibraciones incesantes; así como, de los reportes de egresados de la facultad, quienes laboran en distintas empresas industriales de la región.

El módulo consiste esencialmente de una bomba centrífuga, un tanque de recirculación libre al medio ambiente, un manómetro, un vacuómetro, un medidor volumétrico, una válvula de control de flujo, una válvula de cierre, un termómetro de contacto y un conjunto de tuberías y accesorios transparente que conforma el sistema de bombeo en un circuito cerrado.

Dado que la instalación del sistema es la de un circuito cerrado, la altura efectiva de la bomba  $H$ , para un determinado caudal de operación debe permanecer constante, independientemente de la presión existente en la superficie libre del agua en el tanque de recirculación.

La prueba consiste en operar la válvula de control de flujo ubicada en la descarga de la bomba y ubicar el nivel de agua a distintas posiciones con la finalidad de realizar las mediciones de la presión en el vacuómetro para verificar la variación de la altura y el caudal óptimo de la bomba que son los parámetros importantes de funcionamiento. Cambiar gradualmente la altura de aspiración en el tanque de aspiración mediante la válvula, generaba variación de presiones entre la entrada y descarga registrándose una disminución de la altura útil de la bomba  $H$ , en un 3 % a 5 % en relación con el valor inicial, mostrando como indicativo de cavitación.

El control de la cavitación es importante en las instalaciones de sistema de bombeo y, para ello se tenía que analizar las variables que generaban la cavitación en las bombas

La cavitación es un fenómeno muy importante en las bombas hidráulicas, influyendo en su funcionamiento debido a la mala instalación de la succión que,

comunmente, no toman en cuenta los técnicos encargados en la operación de la bomba en las empresas; ante ello, debido a su poca atención, se tiene investigaciones realizadas, pero con poca claridad respecto al control de este fenómeno que incrementa el riesgo de problemas en la succión (Mataix, 1976).

A veces, el desperfecto se describe como si hubiera carcomido un queso por los ratones (rodete y carcasa). En general, el daño provocado por una cavitación se limita a estas dos piezas que afecta a los parámetros de funcionamiento óptimo de la máquina hidráulica. Por otra parte, la cavitación a la entrada de la carcasa (o de impulsión) es mucho más destructiva que la anterior; en este caso, aparecen las picaduras características en el extremo de los álabes y su parte anterior (Fig. 1). Si la cavitación es suficientemente severa, el ataque avanza por todo el álabes (Reyes, 2007).

**Figura 1**

*Efectos de la cavitación en los álabes del impulsor.*



La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNCP, donde se realizaron ensayos en el circuito del sistema de bombeo hidráulico, obteniendo los datos del caudal, presiones, altura de succión y temperatura para diferentes regulaciones a través de la válvula de regulación del flujo de fluido.

## Materiales y métodos

### Materiales

Consiste esencialmente:

- Una bomba centrífuga marca Pedrollo de 0.75 HP, 5 40 m de altura 5 - 40 l/min de caudal.
- Un tanque de recirculación de descarga y aspiración libre al medio ambiente.
- Un manómetro
- Un vacuómetro.
- Un medidor volumétrico que consiste en un vertedero triangular de pared delgada.
- Una válvula de control de flujo.

- Una válvula de cierre.
- Un termómetro de bulbo con mercurio.
- Un conjunto de tuberías y accesorios que configuran un circuito cerrado de PVC transparente de 1".

**Figura 2**

Módulo de sistema de bombeo de circuito cerrado.



Nota: FIM (Foto: 02-03-2020)

## Metodología

### Método experimental

El trabajo de investigación se realizó de manera experimental mediante los métodos de evacuación del agua contenido en el tanque hasta una altura de succión determinada para diferentes caudales, regulado con la válvula de control.

#### a) El NPSH en las bombas

El término más común para describir las condiciones de succión de una bomba es la altura de succión positiva neta (NPSH), definida por el Hydraulic Institute (USA).

La altura de succión positiva que la bomba necesita para aspirar el agua es el NPSH requerida definido según la siguiente expresión:

$$NPSH_R = \frac{P_x}{\rho} + \frac{V_x^2}{2g} - \frac{V_v}{\rho} \quad (1)$$

La ecuación muestra la altura neta de succión positiva requerida ( $NPSH_R$ ), esta ecuación se refiere a las condiciones de succión necesarias para el funcionamiento correcto de la bomba sin cavitación (Balcázar, 2013).

#### b) El NPSH en la instalación

La altura neta de succión positiva en la instalación disponible ( $NPSH_D$ ), y expresa la forma en la cual opera la instalación, es la altura neta de succión positiva que se responsabiliza el instalador y está definido por:

$$NPSH_D = \frac{P_a - P_v}{\rho} - H_s - H_{fs} \quad (2)$$

#### c) Condiciones de la cavitación

Para la no cavitación de la bomba, se deben cumplir las siguientes condiciones:

1° La altura neta de succión positiva requerida debe ser menor que la disponible.

$$NPSH_D > NPSH_R \quad (3)$$

2° La presión absoluta a la entrada de la bomba debe ser mayor que la presión de saturación a la temperatura del fluido.

$$\frac{P_E}{\gamma} \geq \frac{P_s}{\gamma} \quad (4)$$

3° La altura de suspensión de la bomba de la instalación debe ser menor que la altura de suspensión máxima, en por lo menos 0.5 m

d) Características específicas intervinientes en la cavitación

- Las propiedades del fluido:
  - Temperatura: 10 °C – 15 °C.
  - Densidad del fluido: 999.7 kg/m<sup>3</sup>
- Características de la instalación:
  - Altura de succión: 0,50 -1,50 m
  - Presión atmosférica: 6.86 m (altitud de 3280 msnm)
  - Altura de la presión de vapor: 0.92 m
  - Pérdidas en la succión: Tuberías lisa ( $g = 0.01$  m) y accesorio
- Bomba centrífuga:
  - Caudal(Q): 5 – 40 l/min
  - Velocidad de rotación (N): 3450 rpm
  - Velocidad específica (Nsq): 230
  - Altura útil(H): 5 – 40 m

## Resultados

### Datos registrados

Durante los ensayos realizados se obtuvieron los siguientes registros en los instrumentos del módulo indicados en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Presiones registradas durante de las pruebas de ensayo en el sistema de bombeo para distintas Hs.

N°	Hs (m)	Q (G/min)	pE (PSI)	pS (PSI)	T (°C)
1	1.20	6.4	9.54	20.06	9.90
2	1.25	5.5	10.20	20.80	10.50
3	1.35	2.5	11.60	21.40	10.60
4	1.40	1.5	12.94	22.54	10.70
5	1.45	1.2	13.07	24.16	10.50
6	1.50	0.1	14.19	25.20	10.60

**Datos procesados**

**a) Cálculo de la altura útil de la bomba**

De los datos experimentales, se procedió a los cálculos de los parámetros hidráulicos de la bomba, las que se tienen tabulados en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Altura útil de la bomba calculada.*

Nº	Hs (m)	Q (G/min)	pE (PSI)	pS (PSI)	T (°C)	H (m)
1	1.20	6.4	9.54	20.06	9.90	20.8
2	1.25	5.5	10.20	20.80	10.5	21.7
3	1.35	2.5	11.60	21.40	10.6	23.1
4	1.40	1.5	12.94	22.54	10.7	24.9
5	1.45	1.2	13.07	24.16	10.5	26.1
6	1.50	0.1	14.19	25.20	10.6	27.6

**b) Cálculo de INPSH**

Los cálculos de la altura neta de succión positiva de las bomba, así como de la instalación, se realizó utilizando las ecuaciones (1) y (2) las que se tabulan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Datos procesados del NPSH.*

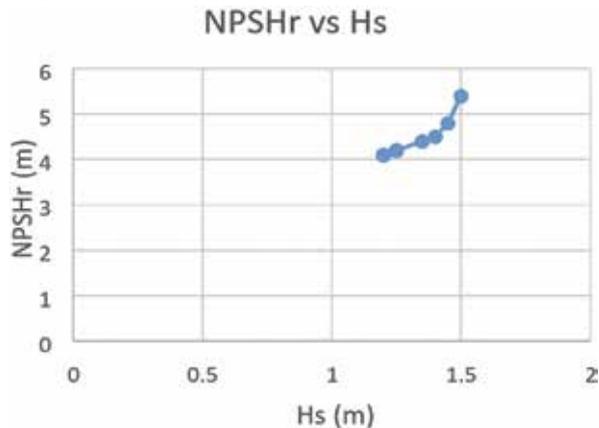
Nº	Hs (m)	Q (G/min)	pE (PSI)	T (°C)	H (m)	NPS HR (m)	NPS HD (m)
1	1.20	6.4	9.54	9.90	20.8	4.1	5.65
2	1.25	5.5	10.20	10.5	21.7	4.2	5.62
3	1.35	2.5	11.60	10.6	23.1	4.4	5.58
4	1.40	1.5	12.94	10.7	24.9	4.5	5.5
5	1.45	1.2	13.07	10.5	26.1	4.8	5.36
6	1.50	0.1	14.19	10.6	27.6	5.4	5.1

**c) Diagramas de comportamiento**

Resultados de comportamiento del sistema de bombeo en base a los ensayos realizados en la instalación de bombeo.

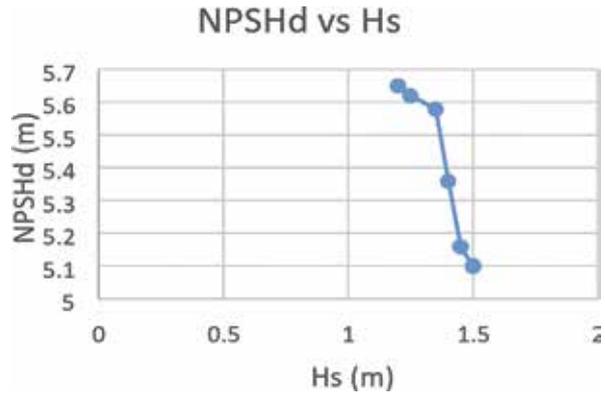
**Figura 3**

*Diagrama de la variación del Hs vs NPSHr.*



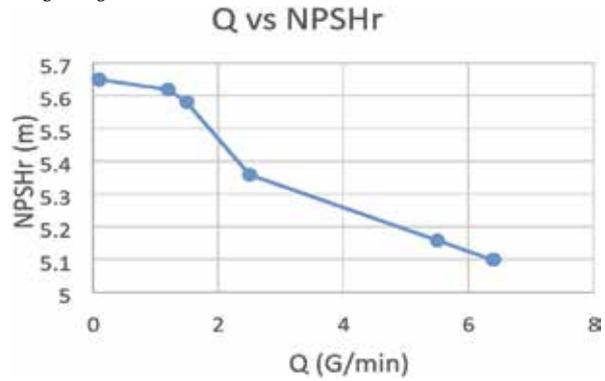
**Figura 4**

*Diagrama de comportamiento de Hs vs NPSHD.*



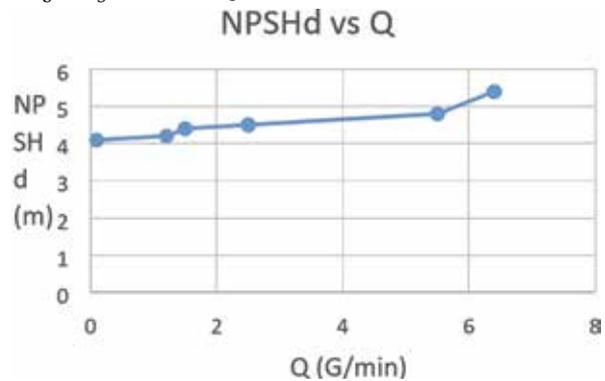
**Figura 5**

*Diagrama funcional de Q vs NPSHr.*



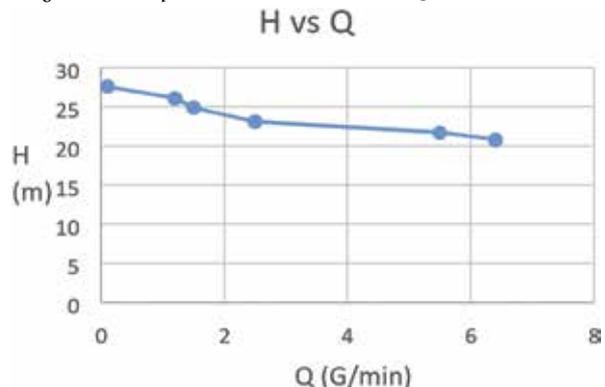
**Figura 6**

*Diagrama funcional de Q vs NPSHd.*



**Figura 7**

*Diagrama de comportamiento de la bomba H-Q.*



## Discusión

Según la Figura 3, se puede visualizar la dependencia de  $NPSH_R$  vs  $H_s$ , indicando que a medida que aumenta el  $H_s$ , aumenta el  $NPSH_R$ , tal como explica el fundamento de cavitación de Mataix (1976)

Según la Figura 4, se puede apreciar que, si la altura de succión  $H_s$  aumenta, el  $NPSH$  disponible disminuye, haciendo que sea más propenso la cavitación de la bomba, tal como explica Mataix (1976).

De la Figura 5, se puede establecer que la dependencia del  $NPSH_R$  vs  $Q$  hace que a mayor caudal aumenta el  $NPSH_R$ .

Karassik (1981) explica que es más propenso la cavitación si aumenta el caudal en un sistema de bombeo, tal como la Figura 6, en donde se demuestra la tendencia del  $NPSH$  disponible al aumento del caudal.

Finalmente, la Figura 7 muestra que la altura útil o efectiva de la bomba disminuye a mayor caudal, lo que demuestra que toda bomba establece esta tendencia.

## Conclusiones

- Al caracterizar la variación del nivel de succión que influye directamente en el  $NPSH_R$  y  $NPSH_D$  de manera que, a mayor caudal tiene la tendencia de crecer y disminuir dicho parámetro respectivamente, comprobando de manera objetiva el fundamento que sustenta Mataix (1976).

## Referencias bibliográficas

- Balcázar Cruz, F. (2013). *Análisis de las variables de la cavitación en bombas centrífugas horizontales*. Tesis de grado de Ingeniero Mecánico. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Azcapotzalco, México.
- De Souza, Z. (1991). *Dimensionamiento de máquinas de flujo, turbinas, bombas e ventiladores*. Editorial E. Blucher; San Pablo.
- Fernández Diez P. (1998). *Bombas, ventiladores y turbinas hidráulicas*, Edit. Universidad de Cantabria, Santander.
- Carcía M. A. (2011). *Turbomáquinas: Turbinas hidráulicas*. Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Lima, Editorial IIUNAC. <https://unac.edu.pe/images/documentos/.../vri/.../IF>.
- Gardea Villegas, Humberto. (1992). *Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo*. Edit. Trillas. México. ISBN: 9682444071
- González, V. (1991). *Hidráulica, bombas y compresores*. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana.
- Karassik., J. I. (1981). *Factores hidráulicos del sistema*. Hydraulic Institute Standards, New York.
- Karelin, B. I. (1975). *Fenómeno de Cavitación en Bombas Centrífugas y Axiales*. Mashinostroenne, Moscú.
- Mataix, Claudio. (1976). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Edit. Harla, España.
- Normas Técnicas Brasileira ABNT/NBR-10131. (1987). *Bombas hidráulicas de flujo*. Terminología, Río de Janeiro. p. 25).
- Ramos, N. (1994). *Bombas, ventiladores y compresores*. Editora ISPJAE, Ciudad de la Habana.
- Pérez, B. R. (2004). *Cavitación y materiales de construcción en las bombas centrífugas*. Revista Minería y Geología.
- Pérez, B. R. (2004). *Procedimiento para evaluar y seleccionar Bombas Centrífugas*. Revista Minería y Geología.
- Reyes, D. J. (2007). *Diagnóstico de instalaciones de transporte de hidromezcla afectadas por cavitación*. Revista Minería y Geología.
- Salazar Merino, Jorge. (2015). *Diseño de bombas centrífugas*. Tesis. UNI. Lima- Perú
- Sierra Bravo, R. (2001). *Metodología de la investigación*. Internacional S.T. , México.