

Juan Rafael Mestizo Ceron, Félix Santos García
Determinación de los coeficientes de carga y capacidad para bombas centrífugas que manipulan fluidos con
propiedades diferentes a las del agua
Ciencia Ergo Sum, vol. 11, núm. 1, marzo-junio, 2004, pp. 65-70,
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10411107>



Ciencia Ergo Sum,
ISSN (Versión impresa): 1405-0269
ciencia.ergosum@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

¿Cómo citar?

Fascículo completo

Más información del artículo

Página de la revista

www.redalyc.org

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Determinación de los coeficientes de carga y capacidad para bombas centrífugas que manipulan fluidos con propiedades diferentes a las del agua

Juan Rafael Mestizo Ceron* y Félix Santos García**

Recepción: junio 23 de 2003

Aceptación: septiembre 5 de 2003

* Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Región Xalapa.

Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán S/N, C.P. 91500, Xalapa, Veracruz, México.

Teléfono directo: (2288) 42 17 57

Teléfono y fax: (2288) 18 85 22

Correo electrónico: rmestizo@yahoo.com y jmestizo@uv.mx

** Facultad de Ingeniería Mecánica, Centro de Estudios Termoenergética Azucarera, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuaní km 5.5 Santa Clara.

Villa Clara, Cuba. C.P. 54830.

Teléfono: (53) 42 28 11 94 y 42 28 16 30

Fax: (53) 42 28 11 94

Correo electrónico: santosgf_2002@yahoo.com y santos@fim.uclv.edu.cu

Resumen. A partir de un análisis de la influencia de las propiedades del fluido, tales como la viscosidad y la densidad, se obtienen los coeficientes de carga y capacidad en las características de las bombas centrífugas, según las propiedades del fluido que se manipula, las características constructivas y los parámetros requeridos del equipo de bombeo. El empleo de los coeficientes obtenidos mejora considerablemente las condiciones para la simplificación de los cálculos y análisis correspondientes y logra una mayor precisión.

Palabras claves: bombas centrífugas, coeficientes, carga, capacidad, fluidos viscosos.

Determination of the Head and Capacity Coefficient for Centrifugal Pumps that Manipulate Fluids with Properties Different to those of Water

Abstract. Starting from an analysis of the influence of the properties of the fluid, such as the viscosity and the density, the head coefficients and capacity of centrifugal pumps are obtained as a function of the properties of the fluid that is manipulated, as well as of the constructive characteristics and of the required parameters of the of pumping equipment. The employment of the obtained coefficients allows for a simplification of the calculations and corresponding analysis, and a greater precision of the same.

Key words: centrifugal pumps, coefficient, head, capacity, viscous fluids.

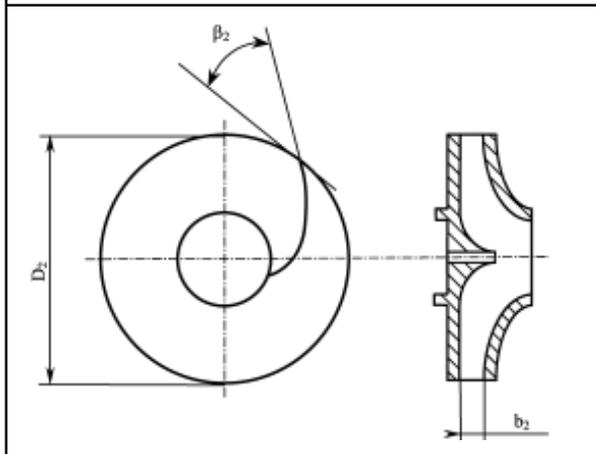
Introducción

La inexistencia en la literatura especializada de coeficientes experimentales para calcular y diseñar bombas centrífugas que manipulen fluidos viscosos ocasiona que los cálculos sean elaborados para agua y posteriormente extrapolados a otro tipo de fluidos (Turiño, 1994: 34), lo que genera un proceso engorroso y poco preciso. Este procedimiento consiste en la transformación de los parámetros requeridos (H_{Visc} , Q_{Visc}) a parámetros equivalentes, para la manipula-

ción de un fluido con determinadas características manipulando agua (H_{Agua} , Q_{Agua}), entonces el equipo es diseñado para estos nuevos parámetros. La modificación se realiza a partir del empleo de factores de corrección (C_Q , C_H y C_η), los cuales están ampliamente difundidos para una gran diversidad de fluidos (Karassik y Carter, 1985: 258).

Este artículo tiene el objetivo de obtener expresiones que relacionen los coeficientes de carga y capacidad con las propiedades reológicas del fluido a manipular, las características constructivas y los parámetros requeridos del equipo de

Figura 1. Principales magnitudes para calcular en un impelente de una bomba centrífuga del diámetro del rodete D_2 .



bombeo. Las expresiones obtenidas permiten la simplificación de los cálculos y los análisis correspondientes, así como una elevación de la calidad y precisión de los resultados.

1. Método tradicional para el cálculo de impelentes de bombas centrífugas que manipulan fluidos con propiedades diferentes a las del agua

Como ya se mencionó, el método tradicional se basa en el cálculo de parámetros equivalentes manipulando agua, a partir del empleo de los factores de corrección ampliamente difundidos en la literatura para una elevada gama de fluidos.

Factor de corrección de la capacidad C_Q y de la carga C_H

$$C_Q = \frac{Q_{Visc.}}{Q_{Agua}} \quad (1)$$

$$C_H = \frac{H_{Visc.}}{H_{Agua}} \quad (2)$$

$$C_\eta = \frac{\eta_{Visc.}}{\eta_{Agua}} \quad (3)$$

A partir de los parámetros requeridos en la manipulación del fluido con determinadas propiedades ($Q_{Visc.}$ y $H_{Visc.}$), los parámetros equivalentes manipulando agua se calculan por las siguientes expresiones:

$$Q_{Agua} = \frac{Q_{Visc.}}{C_Q} \quad (4)$$

$$H_{Agua} = \frac{H_{Visc.}}{C_H} \quad (5)$$

Donde:

C_Q = Factor de corrección para la capacidad.

C_H = Factor de corrección para la carga.

Q_{Agua} = Flujo manipulado por el equipo de bombeo cuando manipula agua (flujo equivalente).

$Q_{Visc.}$ = Flujo manipulado por el equipo de bombeo cuando manipula un fluido con viscosidad diferente al agua (flujo requerido).

H_{Agua} = Carga desarrollada por el equipo de bombeo cuando manipula agua (carga equivalente).

$H_{Visc.}$ = Carga desarrollada por el equipo de bombeo cuando manipula un fluido con viscosidad diferente a la del agua (carga requerida).

El empleo de este procedimiento tiene el inconveniente de que el rodete es diseñado para un fluido que realmente no manipula, compromete así que las velocidades estén fuera de las recomendadas o que las previsiones de los consumos de potencia para el dimensionamiento de los diferentes elementos no tengan la precisión requerida. Esto debe ser resuelto alternando los parámetros reales y los equivalentes, o la combinación de los mismos, según sea el caso, lo cual precisa gran habilidad y poder de análisis por parte de los especialistas.

Ejemplo de cálculo

Se requiere diseñar un impelente de una bomba centrífuga para la manipulación de un fluido newtoniano con una viscosidad de 200 mm²/s y una densidad de 900 kg/m³, con los siguientes parámetros requeridos:

$$Q_{Visc.} = 0.0144 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{Visc.} = 16.7 \text{ m}$$

$$n = 14,540 \text{ rpm}$$

$$\text{Asumir el ángulo } \beta_2 = 26^\circ$$

Las principales magnitudes a calcular se representan en la figura 1.

Para calcular el diámetro del rodete D_2 que a una determinada velocidad de rotación garantice una velocidad tangencial u_2 , lo cual dé como resultado la altura requerida, se emplea el coeficiente de altura o de carga ψ_{Agua} , el cual se encuentra disponible en la literatura y se ha obtenido a partir del ensayo de una gran cantidad y diversidad de equipos de bombeo en agua (Stepanoff, 1993: 176), véase figura 2.

El coeficiente de altura o de carga se expresa como (Cherkasski, 1984: 143):

$$\psi_{Agua} = g \frac{H_{Agua}}{u_2^2} \quad (6)$$

Donde:

ψ_{Agua} = Coeficiente de carga para agua.

g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

u_2 = Velocidad periférica tangencial del rodete a la salida (m/s).

La carga desarrollada por una bomba de un diámetro dado y velocidad de rotación manipulando agua sería:

$$H_{Agua} = \psi_{Agua} \frac{u_2^2}{g} \quad (7)$$

$$u_2 = \frac{\pi n}{60} D_2 \quad (8)$$

Donde:

n = Velocidad de rotación en rpm

sustituyendo (8) en (7).

Para el agua:

$$H_{Agua} = \psi_{Agua} \frac{\left(\frac{\pi n}{60} D_2\right)^2}{g} \quad (9)$$

Para otro fluido:

$$H_{Visc} = \psi_{Visc} \frac{\left(\frac{\pi n}{60} D_2\right)^2}{g} \quad (10)$$

Despejando D_2 de las ecuaciones (9) y (10):

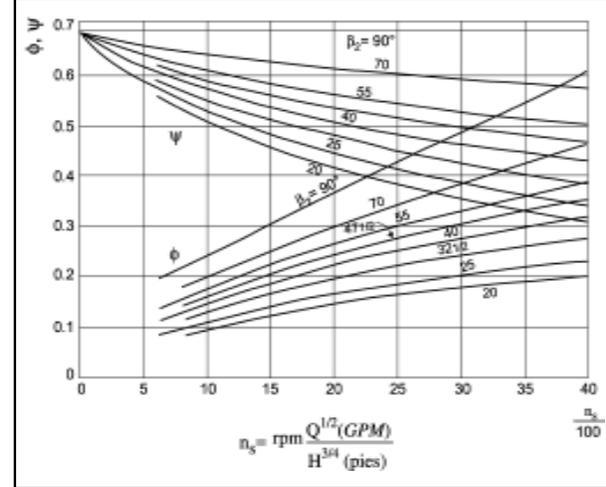
Para el agua:

$$D_2 = \frac{60}{\pi n} \sqrt{\frac{g H_{Agua}}{\psi_{Agua}}} \quad (11)$$

Para otro fluido:

$$D_2 = \frac{60}{\pi n} \sqrt{\frac{g H_{Visc}}{\psi_{Visc}}} \quad (12)$$

Figura 2. Coeficiente de carga y capacidad para bombas centrífugas según Stepanoff (1993: 176).



Como no se dispone del coeficiente de carga para este fluido, no puede emplearse la ecuación (12); tiene que determinarse la carga equivalente en agua H_{Agua} a partir de los factores de corrección y emplear la ecuación (11).

Para una viscosidad de 200 mm²/s y los parámetros requeridos $Q_{Visc} = 0.0144$ m³/s:

$H_{Visc} = 16.7$ m se obtienen C_H, C_Q y C_η

$$C_H = 0.87$$

$$C_Q = 0.9$$

$$C_\eta = 0.53$$

La carga y el flujo equivalente se determinan sustituyendo en (4) y en (5):

$$Q_{Agua} = \frac{0.0144}{0.9} = 0.016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{Agua} = \frac{16.7}{0.87} = 19.2 \text{ m}$$

Se calcula la velocidad específica a partir de los parámetros requeridos o los equivalentes, ya que ésta permanece constante para cualquier viscosidad.

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q_{Agua}}}{H_{Agua}^{3/4}} = n \frac{\sqrt{Q_{Visc}}}{H_{Visc}^{3/4}} \quad (13)$$

Donde:

n_s = Velocidad específica.

Sustituyendo en (13):

$$n_s = 1,450 \sqrt{\frac{0.0144 \frac{m^3}{s} * 1,000 \frac{l}{m^3} * 60 \frac{s}{min} * \frac{GPM}{3.785l}}{\left(16.7m * \frac{pies}{0.3048m}\right)^{\frac{3}{4}}} = 1,362.83$$

Con la velocidad específica en el sistema inglés $-Q_{visc.}$ (GPM= galones por minuto) y $H_{visc.}$ (pies)—, el ángulo β_2 se obtiene el coeficiente de carga para agua ψ_{Agua} en la figura 2.

Para: $n_s = 1,362.83$ y $\beta_2 = 26^\circ$, $\psi_{Agua} = 0.5$

Sustituyendo en la ecuación (11) obtenemos el diámetro para los parámetros equivalentes.

$$D_2 = \frac{60}{\pi * 1,450} \sqrt{\frac{9.81 * 19.2}{0.5}} = 0.2556m$$

2. Cálculo de ancho del impelente a la salida b_2

Para el calcular el ancho del rodete b_2 que a una determinada velocidad de rotación n y diámetro exterior D_2 garantice una velocidad radial V_{r2} a la salida, lo cual dé como resultado el gasto requerido, se emplea el coeficiente de gasto ϕ_{Agua} , el cual se encuentra disponible al igual que ψ_{Agua} en la literatura (Stepanoff, 1993: 176).

Coficiente de capacidad:

$$\phi_{Agua} = \frac{V_{r2 Agua}}{u_2} \quad (14)$$

Donde:

ϕ_{Agua} = Coeficiente de capacidad para el agua.
 $V_{r2 Agua}$ = Velocidad radial del agua a la salida del impelente (m/s).

Para expresar la ecuación (14) de acuerdo con la capacidad se tiene:

$$Q_{Agua} = A_2 V_{r2 Agua} \quad (15)$$

Donde:

A_2 = Área de paso del fluido a la salida del rodete (m²).

$$A_2 = \pi D_2 b_2 \quad (16)$$

Donde:

b_2 = Ancho del impelente a la salida (m).

Despejando V_{r2} en (15):

$$V_{r2 Agua} = \frac{Q_{Agua}}{A_2} \quad (17)$$

La ecuación (14) queda de la siguiente forma:

$$\phi_{Agua} = \frac{Q_{Agua}}{A_2 u_2} \quad (18)$$

Sustituyendo (16) en (18) y despejando Q_{Agua} :

Para el agua:

$$Q_{Agua} = \phi_{Agua} \pi D_2 b_2 u_2 \quad (19)$$

Para otro fluido:

$$Q_{Visc.} = \phi_{Visc.} \pi D_2 b_2 u_2 \quad (20)$$

Despejando b_2 :

$$b_2 = \frac{Q_{Agua}}{\phi_{Agua} \pi D_2 u_2} \quad (21)$$

$$b_2 = \frac{Q_{Visc.}}{\phi_{Visc.} \pi D_2 u_2} \quad (22)$$

Como no se dispone del coeficiente de carga $\phi_{Visc.}$ para este fluido, no puede emplearse la ecuación (22) y tiene que trabajarse con el flujo equivalente para agua, Q_{Agua} , ecuación (21):

$$b_2 = \frac{0.016}{0.13 * 3.14 * 0.2556 * 19.4} = 0.00787 \text{ m} = 7.887 \text{ mm}$$

Estos son ejemplos donde deben emplearse los parámetros equivalentes, ya que no se cuenta con esos coeficientes. En otras situaciones es necesario combinar los parámetros requeridos y los equivalentes, como es el caso del cálculo de la potencia para el dimensionamiento del árbol.

$$N = \frac{\rho g Q_{Visc.} H_{Visc.}}{1000 \eta_{Visc.}} \quad (23)$$

Con la velocidad específica $n_s = 1,362.8$ y el flujo equivalente requerido $Q_{Agua} = 0.016 \text{ m}^3/\text{s} = 253.6 \text{ GPM}$, se obtiene

el rendimiento del equipo trabajando en agua (Church, 1984: 63) $\eta_{Agua} = 70\%$ (véase figura 3).

Despejando η_{Visc} en (3):

$$\eta_{Visc.} = \eta_{Agua} C_{\eta} = 70 * 0.53 = 37.1\%.$$

Sustituyendo en (23):

$$N = \frac{900 * 9.81 * 0.0144 * 16.7}{1,000 * 37.1} = 5.414 \text{ kW}$$

La inexistencia de estos coeficientes obliga a que se alterne la utilización de los parámetros requeridos y los equivalentes según sea el caso, lo que debe decidir el especialista. Este problema sólo puede ser resuelto mediante la obtención de los coeficientes de carga y capacidad en función de las propiedades del fluido a manipular, las características constructivas y de los parámetros requeridos por los equipos de bombeo.

La realización de pruebas para la determinación de estos coeficiente con tales condiciones sería un proceso laborioso y costoso, muy difícil de enfrentar, por lo que una solución viable sería la deducción de estos coeficientes a partir de la información disponible.

3. Deducción de los coeficientes de carga ψ y capacidad ϕ para bombas centrífugas que manipulan fluidos con propiedades diferentes a las del agua

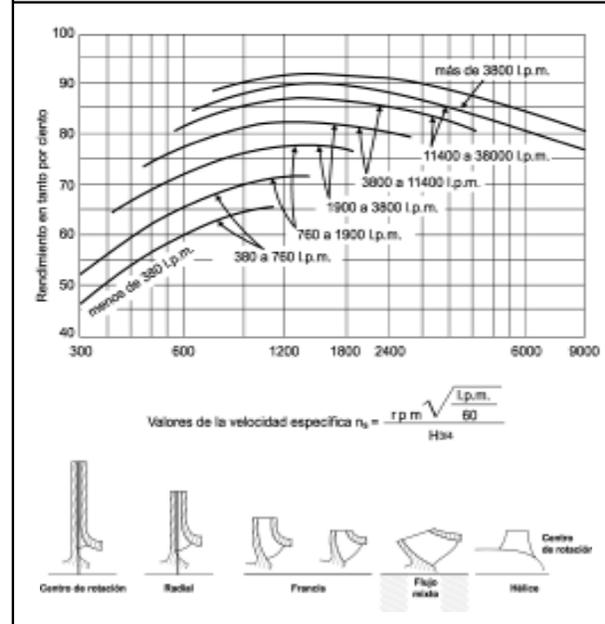
Sustituyendo las ecuaciones (9), (10), (19) y (20) en los factores de corrección en la ecuaciones (1) y (2), quedaría:

$$C_Q = \frac{\phi_{Visc.} \pi D_2 b_2 u_2}{\phi_{Agua} \pi D_2 b_2 u_2} \tag{24}$$

$$C_H = \frac{\psi_{Visc} \left(\frac{\pi n}{60} D_2 \right)^2}{\psi_{Agua} \left(\frac{\pi n}{60} D_2 \right)^2} \tag{25}$$

Las dimensiones del rodete D_2 y b_2 permanecen constantes, así como para la misma velocidad de rotación permanece constante u_2 . Las ecuaciones (24) y (25) quedan de la siguiente forma:

Figura 3. Rendimiento máximo comercial en bombas centrífugas según Church (1984: 63).



$$C_Q = \frac{\phi_{Visc.}}{\phi_{Agua}} \tag{26}$$

$$C_H = \frac{\psi_{Visc.}}{\psi_{Agua}} \tag{27}$$

Y se obtienen las expresiones para el cálculo de los coeficientes de carga y capacidad para los fluidos con propiedades diferentes a las del agua a partir de los factores de corrección C_Q y C_H :

$$\phi_{Visc.} = \phi_{Agua} C_Q \tag{28}$$

$$\psi_{Visc.} = \psi_{Agua} C_H \tag{29}$$

Estas expresiones han servido de base para la elaboración de procedimientos de cálculos para disímiles aplicaciones, incluyendo fluidos de una alta complejidad como es el caso del guarapo sin colar en la industria azucarera cubana (Jacomino y Jauregui, 1998: 3).

Ejemplo de cálculo:

Los coeficientes obtenidos permiten que el especialista pueda trabajar directamente con los parámetros requeridos para el fluido con sus características particulares y se asuman las velocidades según sea el caso.

Los coeficientes de carga y capacidad se determinarán para este fluido por las ecuaciones (28) y (29) para $C_Q = 0.9$, $C_H = 0.87$, $\phi_{Agua} = 0.13$ y $\psi_{Agua} = 0.5$.

$$\phi_{Visc.} = 0.13 * 0.9 = 0.117$$

$$\psi_{Visc.} = 0.5 * 0.87 = 0.0435$$

Con los coeficientes obtenidos sustituimos directamente en las expresiones (12) y (22):

$$D_2 = \frac{60}{\pi n} \sqrt{\frac{gH_{Visc.}}{\psi_{Visc.}}} \quad (12)$$

$$D_2 = \frac{60}{\pi * 1,450} \sqrt{\frac{9.81 * 16.7}{0.435}} = 0.25556 \text{ m}$$

$$b_2 = \frac{Q_{(Visc.)}}{\phi_{Visc.} \pi D_2 u_2} \quad (22)$$

$$b_2 = \frac{0.0144}{0.117 * 3.14 * 0.2556 * 19.4} = 0.00788 \text{ m} = 7.88 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$$

Conclusiones

1. Se obtienen los coeficientes de carga ψ y capacidad ϕ para fluidos con propiedades reológicas diferentes a las del agua a partir de procedimientos analíticos, lo cual evita la realización de una gran cantidad de ensayos con una alta diversidad de equipos y fluidos.

2. Los coeficientes obtenidos a partir de procedimientos analíticos permiten resolver las limitantes existentes para calcular y diseñar bombas centrífugas en la manipulación de fluidos con propiedades diferentes a las del agua: los fluidos viscosos.

3. Los coeficientes obtenidos son empleados en un ejemplo de cálculo, lo cual pone de manifiesto la precisión obtenida mediante su empleo y la simplicidad de los cálculos.

Bibliografía

- | | | |
|---|--|--|
| <p>Cherkasski, V. M. (1984). <i>Bombas, ventiladores y compresores</i>. Mir, Moscú.</p> <p>Church, A. H. (1984). <i>Bombas y máquinas soplantes centrífugas</i>. Ed. Revolucionaria, La Habana, Cuba.</p> <p>Jacomino, A. y S. L. Jauregui (1998). <i>Procedimientos metodológicos para el diseño de impelentes intufibles</i>.</p> | <p>IV Conferencia de Termoenergética Industrial. Santa Clara, Cuba.</p> <p>Karassik, I. y R. Carter (1985). <i>Bombas centrífugas. Selección, operación y mantenimiento</i>. Compañía Editorial Continental, México.</p> <p>Stepanoff, A. J. (1993). <i>Centrifugal and Axial Flow</i></p> | <p><i>Pumps</i>. Krieger Publishing Company Malabar, Florida.</p> <p>Turiño, I. M. (1994). "Determinación aproximada de las características de funcionamiento de una bomba centrífuga", <i>Centro Azúcar</i>. Núm. 1, enero, Cuba.</p> |
|---|--|--|