

BOMBAS AXIALES

Cuando hay que bombear aguas pluviales, especialmente en aquellos casos en los que se debe bombear una gran cantidad contra una altura de elevación baja. La bomba se compone de una hélice de múltiples álabes-guías fijos por delante y por detrás del rodete. Son turbomáquinas que permiten la transferencia de energía mecánica del rotor líquido mientras éste pasa a través de los álabes en dirección axial. El impulsor tiene la forma de hélice de 2 a 6 aspas, por lo que estas bombas se llaman también de hélice. La acción es pues, similar a la de una hélice de barco, ya que arrastra el agua a través de los álabes directrices de entrada y descarga a través de las álabes-guía de salida. Este tipo de bomba no deberá utilizarse para las aguas residuales no tratadas o fangos, ya que los trapos pueden quedarse enredados en los álabes-guía.

La velocidad base o de arrastre, en la incidencia del líquido en el álabe a la entrada, conserva su valor en el borde de fuga del álabe a la salida, o sea $U_1 = U_2$, y en consecuencia la acción centrífuga es nula. La ganancia en carga de presión debe lograrse solamente a expensas del cambio en magnitud de la velocidad relativa, con resultados desacelerativos en esta velocidad, de forma de $V_{r2} < V_{r1}$, a fin de producir un efecto de difusión a lo largo del ducto entre álabes, que aumenta la presión.

La energía transferida bajo la forma de componentes energéticas se reduce pues a:

$$H = (V_2^2 - V_1^2) / 2g + (V_{r1}^2 - V_{r2}^2) / 2g$$

En la cual, los dos términos del segundo miembro deben ser positivos, o sea $V_{r1} > V_{r2}$ y $V_2 > V_1$.

Como consecuencia, de ser nulo el término $U_2^2 - U_1^2 / 2g$, de acción centrífuga, que es el que en las bombas proporciona mayor ganancia en carga estática, se tiene en las bombas axiales una carga estática reducida, ya que del cambio en velocidad relativa, que es de donde se puede obtener, se hace difícil conseguir valores elevados, pues se exigiría una velocidad relativa de entrada muy alta que debería ser reducida a un valor muy bajo en el ducto entre álabes, lo cual es difícil de lograr en el corto recorrido a través del rodete móvil.

Se puede en algunos casos, incrementar la carga, aumentando el número de álabes (5 o 6), con lo que se operan mejor los cambios en la velocidad a través de los ductos entre los álabes, pero se aumentan las pérdidas por fricción.

Sin embargo, si se quieren mover grandes caudales, que es donde encuentran verdadera aplicación las bombas axiales, se debe reducir el número de álabes (3 o 4), siempre que la carga sea pequeña. La forma y disposición del impulsor en el mismo ducto de circulación del líquido, es lo que facilita el paso de grandes gastos. La velocidad específica de las bombas de hélice es alta, alrededor de 10 000 a 20 000 en el sistema inglés, como corresponde a las condiciones de gran caudal y pequeña carga.

La velocidad absoluta del agua que penetra en la hélice impulsora en dirección axial, sale de la misma con trayectoria helicoidal, debido a que existe componente tangencial (V_{u2}) y también el efecto de puntas. Para volverla a la dirección axial y al mismo tiempo para convertir la energía dinámica en estática, se dispone a la salida del impulsor, un sistema de álabes fijos a la carcasa, llamados álabes directores o difusor. En ciertos casos se produce también un ensanchamiento gradual del ducto de descarga, con divergencia de 15 a 20 grados, que completa la conversión de energía cinética en potencial.

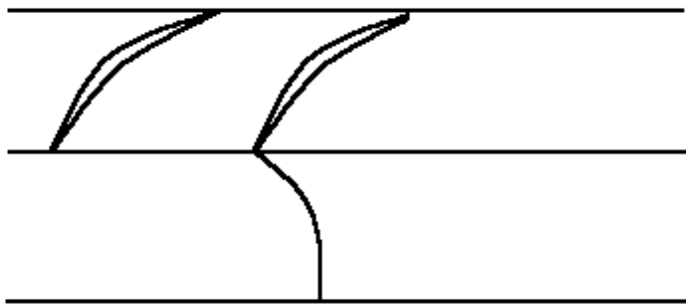
La forma acodada del ducto se hace necesaria cuando la bomba se instala directamente en la tubería, para dar salida a la flecha, en cuyo caso debe procurarse aprovechar algún codo existente en la misma conducción. En cualquier caso el impulsor debe estar inundado al empezar a trabajar la bomba.

Las bombas de este tipo, son generalmente de un solo paso, aunque puedan tener varios, constituido, como se ha dicho, por la hélice impulsora seguida de un rodete fijo a la carcasa, con o sin ducto abocinado de descarga. En contados casos d}se coloca el rodete fijo antes del impulsor, pues la primera disposición ha provado ser más conveniente.

Las bombas axiales se deben hacer trabajar en las condiciones de diseño, aunque pueden también operar a cargas parciales o sobrecargas, pero con gran sacrificio del rendimiento.

Fácilmente se producen separaciones o choques sobre el álabe cuando el ángulo de ataque no corresponde a las condiciones de incidencia prevista. Para las condiciones de diseño, el rendimiento es tan satisfactorio como el de la bomba centrífuga.

Si se quiere mantener alto el rendimiento al salirse de las condiciones de diseño, es preciso variar el paso del álabe para corregir la incidencia. FOTO 3.2



U

$V_{r1} V_1 = V_a$

Rotor

U

V_2

$V_{r2} V_a$ Estator

Diagrama de velocidades a la entrada y a la salida del rotor. Rectificación y reducción

De la velocidad absoluta en el estator o difusor.

En la figura se representa el perfil de unos álabes del rotor y del estator, cuya sección es normal a la dirección radial. Se va a suponer que la máquina es de un solo paso, esto es, un rotor y un estator, como es común en las bombas.

El flujo entra en dirección axial y ataca al álabe móvil en esa dirección. La componente axial de la velocidad

conserva el mismo valor entre la entrada y la salida para evitar empujes axiales perjudiciales.

Esta circunstancia facilita mucho la relación entre las distintas componentes y por tanto el diseño de la máquina.

La velocidad absoluta aumenta a su paso por el álabe móvil, esto es $V_2 > V_1$, haciendo al término de carga dinámica positivo $((V_2^2 - V_1^2) / 2gc) = +$.

Asimismo se advierte que $V_{r2} < V_{r1}$ debido a la curvatura del álabe, y que por tanto también es positivo el término de carga estática $((V_{r1}^2 - V_{r2}^2) / 2gc) = +$.

El álabe fijo endereza y reduce la velocidad absoluta, cumpliendo las dos funciones de director y de convertidor parcial de la energía dinámica del agua en estática.

Estos dos diagramas de entrada y salida en el álabe móvil se suelen agrupar en uno solo bajo las dos formas siguientes: con vértice común o sobre base común. En la siguiente figura se representan estas dos formas en las que se ha considerado el caso más general de que v_2 no sea axial. El vector que sirve de base común es el U que tiene el mismo valor a la entrada que a la salida.

Si $V_{r1} = V_2$ y $V_{r2} = V_1$ se tiene simetría en el diagrama, condición que da lugar a un grado de reacción del 50 %.

" V_u

$V_{r1} V_2$

V_1

$V_{r2} V_a V_a$

V_{r1}

$V_{r2} V_a V_1 V_2$

$U U$

Diagramas de vértice común y de base común

Estos diagramas muestran claramente el cambio de la componente de giro $V_{u2} - V_{u1} = "V_u$, que es factor esencial en el cálculo de la energía transferida, según la ecuación de Euler.

$$H = U " V_u / gc$$

En los diagramas con vértice común se aprecia además del cambio en la velocidad de giro, el valor del ángulo de deflexión de la velocidad relativa, el cual suele ser del orden de unos 15 grados para las condiciones de diseño.

El ángulo medio del fluido (m) o de la velocidad media relativa (V_{mr}) cuya tangente se define por la expresión:

$$\tan m = V_{mru} / V_a$$

En la que V_a es el componente axial de la velocidad absoluta y V_{mru} es la media aritmética de los dos componentes de giro de las velocidades relativas a la entrada y a la salida del álabe o sea:

$$V_{mru} = V_{ru1} + V_{ru2} / 2$$

El ángulo m se puede calcular fácilmente en función de los ángulos γ y β que caracterizan la deflexión del fluido entre la entrada y la salida. En efecto:

$$V_{ru1} = V_a \tan \gamma$$

$$V_{ru2} = V_a \tan \beta$$

Por tanto:

$$V_{mru} = (V_a / 2) (\tan \gamma + \tan \beta)$$

Y en consecuencia, sustituyendo en la ecuación, se tiene:

$$\tan m = .5 (\tan \gamma + \tan \beta)$$

BOMBAS AXIALES: EL IMPULSOR DE HÉLICE, ANALISIS DEL ALABE COMO ELEMENTO CON PERFIL DE ALA.

En la siguiente figura se representa el perfil de dos álabes contiguos de un impulsor de hélice, cuyas secciones son normales a la dirección radial. Se deben hacer notar las características siguientes:

C = cuerda del álabe o línea que une al borde de ataque con el borde de fuga.

S = paso circunferencial; distancia entre álabes resultante de dividir el valor circunferencial $2 \pi R$ entre el número de álabes.

θ = ángulo de curvatura del álabe, formado por las dos tangentes en los bordes de ataque y de fuga del álabe.

V_{mr} = velocidad media relativa del fluido respecto al álabe.

α = ángulo de incidencia definido por el vector V_{mr} con la dirección de la cuerda.

ϕ = ángulo medio del fluido.

β = ángulo de paso de la máquina

γ = ángulo de V_{mr} con la dirección tangente al rotor.

$(\gamma + \beta)$ = ángulo del álabe formado por la cuerda y la dirección tangente al rotor.

c/s = relación de la cuerda al paso, que suele llamarse solidez del álabe.

V_a V_{mr}

m

m

c

a

Características principales de los álabes de una bomba de hélice.

BOMBAS AXIALES: EXPRESIONES DE LA ENERGÍA TRANSFERIDA Y DEL GRADO DE REACCIÓN EN UNA BOMBA AXIAL.

En las máquinas axiales por ser $U_1 = U_2 = U$, la expresión de la energía transferida, dada por la ec. de Euler, tiene la forma:

$$H = U \frac{V_{u2} - V_{u1}}{g} = \frac{U}{g} (V_{u2} - V_{u1})$$

$$V_{u2} = V_a \tan \alpha_2 ; V_{u1} = V_a \tan \alpha_1$$

Con lo que:

$$H = \frac{U V_a}{g} (\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1)$$

Pero

$$U = V_a \tan \alpha_2 + V_a \tan \alpha_1 = V_a (\tan \alpha_2 + \tan \alpha_1), \text{ o sea:}$$

$$\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1 = \tan \alpha_2 - \tan \alpha_1$$

$$\text{Luego: } H = \frac{U V_a}{g} (\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1)$$

Expresión de energía transferida en función de los ángulos del álabe con la dirección axial, que marcan la deflexión del fluido entre la entrada y la salida, y que para las condiciones de diseño definen la curva del álabe, esto es $\alpha_2 - \alpha_1 = 0$. Estos ángulos son fáciles de medir, así como la velocidad tangencial del álabe U y la componente axial del fluido V_a , con lo que H se calcula fácilmente .

El grado de reacción, en las máquinas axiales, tiene la forma general:

$$Gr = \frac{(V_{r1}^2 - V_{r2}^2 / 2 g)}{H}$$

Ya que la carga estática queda reducida, en estas máquinas, el cambio energético debido a la velocidad relativa, por no existir acción centrífuga.

$$V_{r1}^2 = V_a^2 + (V_a \tan \alpha_1)^2$$

$$V_{r2}^2 = V_a^2 + (V_a \tan \alpha_2)^2$$

Sustituyendo estos valores en la ec. $Gr = (V_{r1}^2 - V_{r2}^2 / 2 g) / H$ y teniendo presente el valor de H dado en la ec. $H = \frac{U V_a}{g} (\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1)$, queda:

$$Gr = \frac{(V_a^2 / 2 g) (\tan^2 \alpha_1 - \tan^2 \alpha_2)}{(\frac{U V_a}{g}) (\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1)}$$

$$Gr = \frac{V_a}{2 U} (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)$$

O en función del ángulo de velocidad media relativa:

$$Gr = (V_a / U) \tan \alpha$$

Estas dos últimas ecuaciones son fórmulas sencillas para el cálculo del grado de reacción.

En las bombas axiales, el valor de GR está entre 0 y 1. Esto puede probarse fácilmente poniendo el grado de reacción en función de las componentes energéticas.

Como en estas máquinas $V_{r1} > V_{r2}$ y $V_2 > V_1$, según se vio, resulta que:

$$V_2^2 - V_1^2 / V_{r1}^2 - V_{r2}^2 = +, \text{ lo que hace el valor de GR siempre positivo, o sea, } 0 < GR < 1.$$

Dentro de estas limitaciones son recomendables valores altos del grado de reacción, por la misma naturaleza de la bomba, de ser una máquina para dar ganancia en carga estática a un fluido. Ahora bien, para que el grado de reacción sea alto, el término $V_2^2 - V_1^2 / V_{r1}^2 - V_{r2}^2 = 0$, lo cual exige que V_2 no difiera mucho de V_1 , o que V_{r1} sea muchísimo más grande que V_{r2} .

Por otra parte se deben poner álabes directores a la entrada que saquen a V_1 de la dirección axial, si se quiere aproximar el valor de V_2 , la cual nunca puede ser axial. La curvatura del álabe es la que determina la relación que guardaran las velocidades de salida con las de entrada.

A mayor curvatura mayor diferencia entre V_2 y V_1 y entre V_{r1} y V_{r2} . Bien es verdad, que si la diferencia entre las velocidades relativas aumenta, crece la carga estática; pero como también se incrementa la carga dinámica y con esta las pérdidas, no conviene mucha curvatura de los álabes.

Como solución satisfactoria, en las bombas de hélice, disponer la V_1 axial atacando al impulsor, con álabes de poca curvatura que produzcan una V_2 no muy grande.

PROBLEMA.

Una bomba de hélice mueve un caudal de 30 000 galones por minuto girando a 300 rpm. El agua entra al impulsor en dirección axial. La velocidad relativa a la salida también es axial. El impulsor sigue un difusor constituido por un sistema de álabes fijos, que enderezan la velocidad absoluta y transforman parcialmente la energía cinética en potencial. La resultante de la acción del flujo actúa a un radio de 10 pulgadas en el rodete móvil.

- Dibuje el diagrama de velocidad suponiendo que hay simetría en el mismo.
- Calcule la potencia teórica exigida por la bomba.
- Cuanto vale el grado de reacción?

a)

" V_u

$V_{r2} \ V_1$

$V_{r1} \ V_2$

U

b) Representamos por G el gasto de masa tenemos:

$$P = GH = GU / g \text{ " } V_u$$

$$G = Q = 30000 / (7.48)(60) (62.4) = 4171.123 \text{ lbm/seg}$$

$$U = ND = (300/60) (2 \times 10 / 12) = 26.18 \text{ pies/seg}$$

$$V_u = 26.18 \text{ pies/seg}$$

$$P = (4171.123 \times (26.18)^2 / 32.2 \times 550) = 161 \text{ HP}$$

- El grado de reacción es 172 pues se trata de un diagrama simétrico.

$$Gr = 1 / (V_{22} - V_{12} / V_{r12} - V_{r22}) + 1 \text{ como } V_{r1} = V_2 \text{ y } V_{r2} = V_1$$

$$\text{Resulta } V_{22} - V_{12} / V_{r12} - V_{r22} = 1$$

$$GR = 1 / 1 + 1 = 1/2$$

