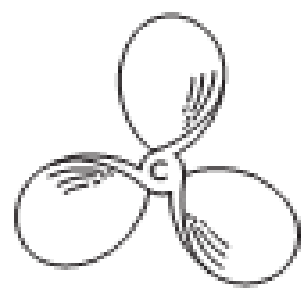
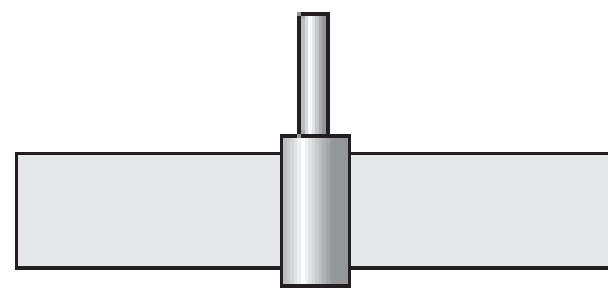


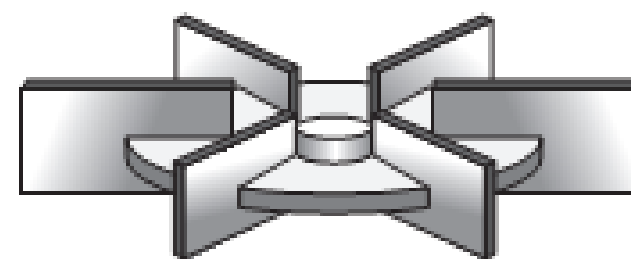
Agitación



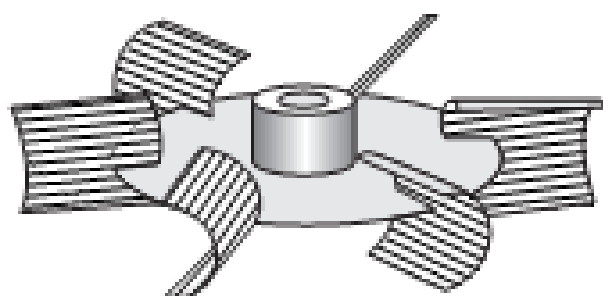
a)



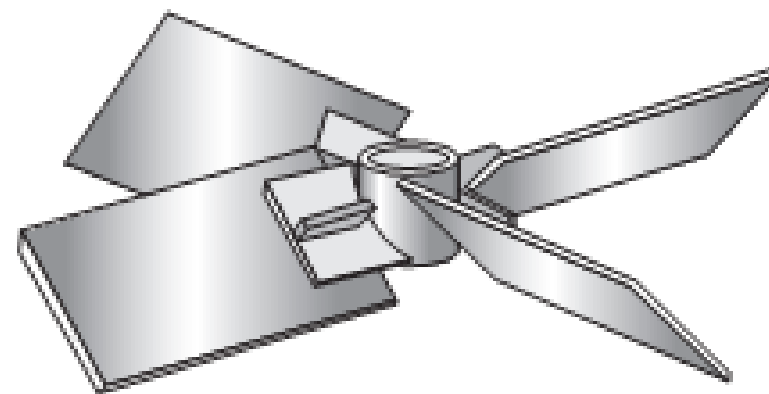
b)



c)



d)

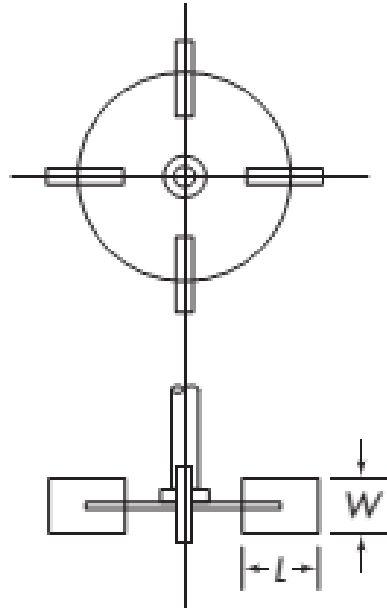
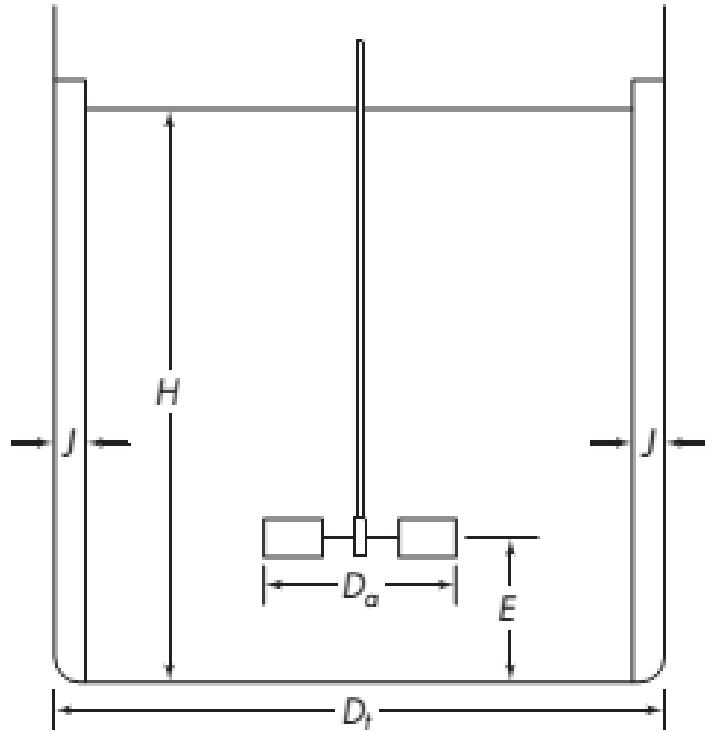


e)

FIGURA 9.2

Agitadores para líquidos de viscosidad moderada: a) agitador marino de tres palas; b) turbina simple de pala recta; c) turbina de disco; d) agitador de pala cóncava CD-6 (*Chemineer, Inc.*); e) turbina de pala inclinada.

Diseño estándar de turbinas



Se usa generalmente un agitador de turbina como punto de partida.

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{H}{D_t} = 1 \quad \frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$$
$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Usualmente se usan 4 deflectores; las palas varían entre 4 y 16.

Número de flujo

$$N_Q \equiv \frac{q}{nD_a^3}$$

q es la velocidad volumétrica de flujo a través del impulsor.

El número de flujo es constante para cada tipo de impulsor. Para turbinas estándar de paletas planas en tanque con deflectores, N_Q es aproximadamente 1.3.

El flujo total es

$$q_T = 0.92nD_a^3 \frac{D_t}{D_a}$$

Esta ecuación es válida sólo para relaciones D_t/D_a entre 2 a 4.

Para tanques agitados con deflectores se recomiendan los valores:

Para hélices marinas^{19b} (paso cuadrado)

$$N_Q = 0.5$$

Para una turbina de cuatro palas con 45°^{19b} $\left(\frac{W}{D_a} = \frac{1}{6} \right)$

$$N_Q = 0.87$$

Para una turbina de disco

$$N_Q = 1.3$$

Para impulsor de alta eficiencia HE-3

$$N_Q = 0.47$$

Número de potencia

$$N_P \equiv \frac{P}{n^3 D_a^5 \rho}$$

$$N_P \equiv \frac{P g_c}{n^3 D_a^5 \rho}$$

$$\frac{P}{n^3 D_a^5 \rho} = \frac{\alpha^2 \pi^2}{2} N_Q$$

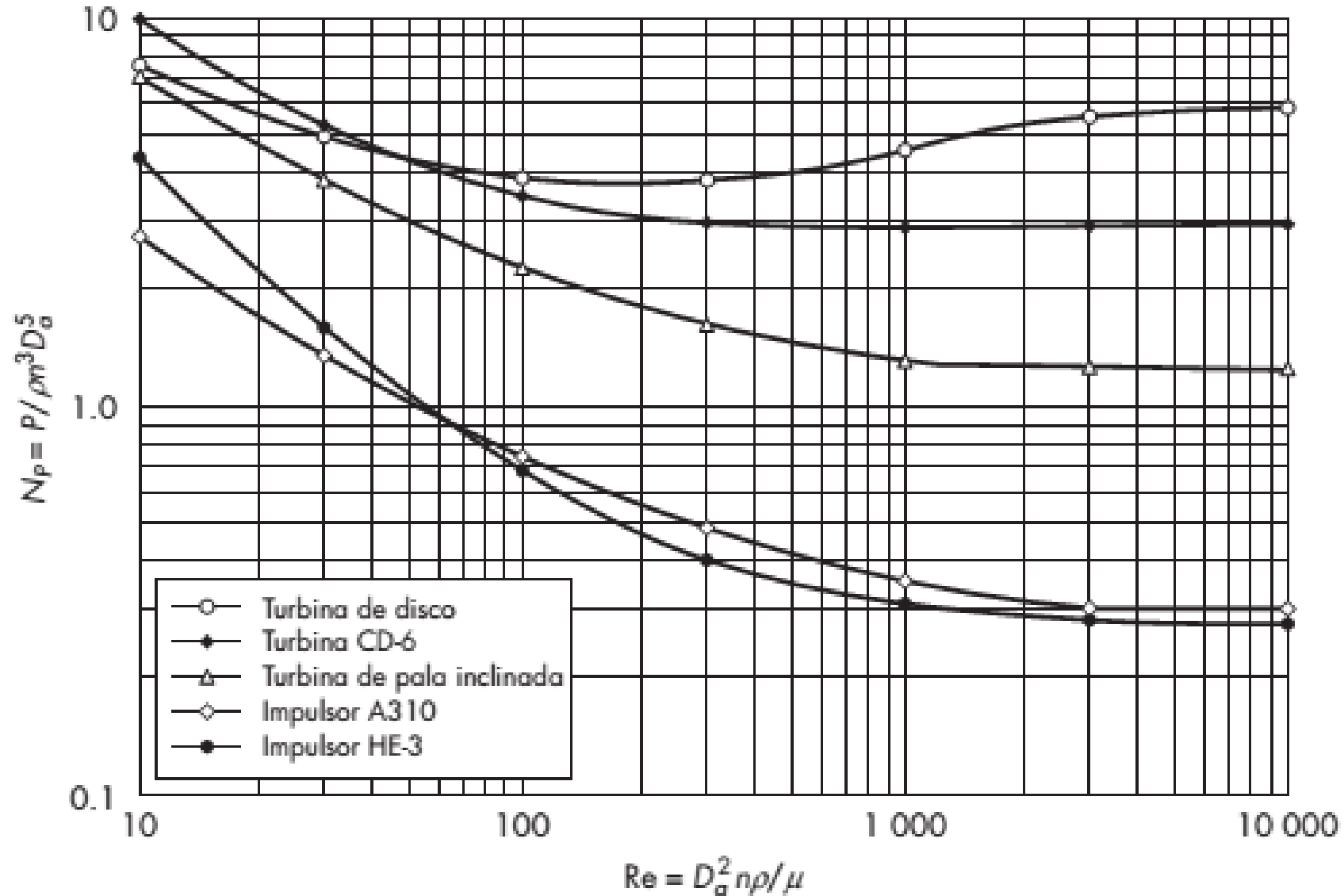
Para estimar la potencia de un impulsor a una velocidad determinada, se requieren correlaciones empíricas.

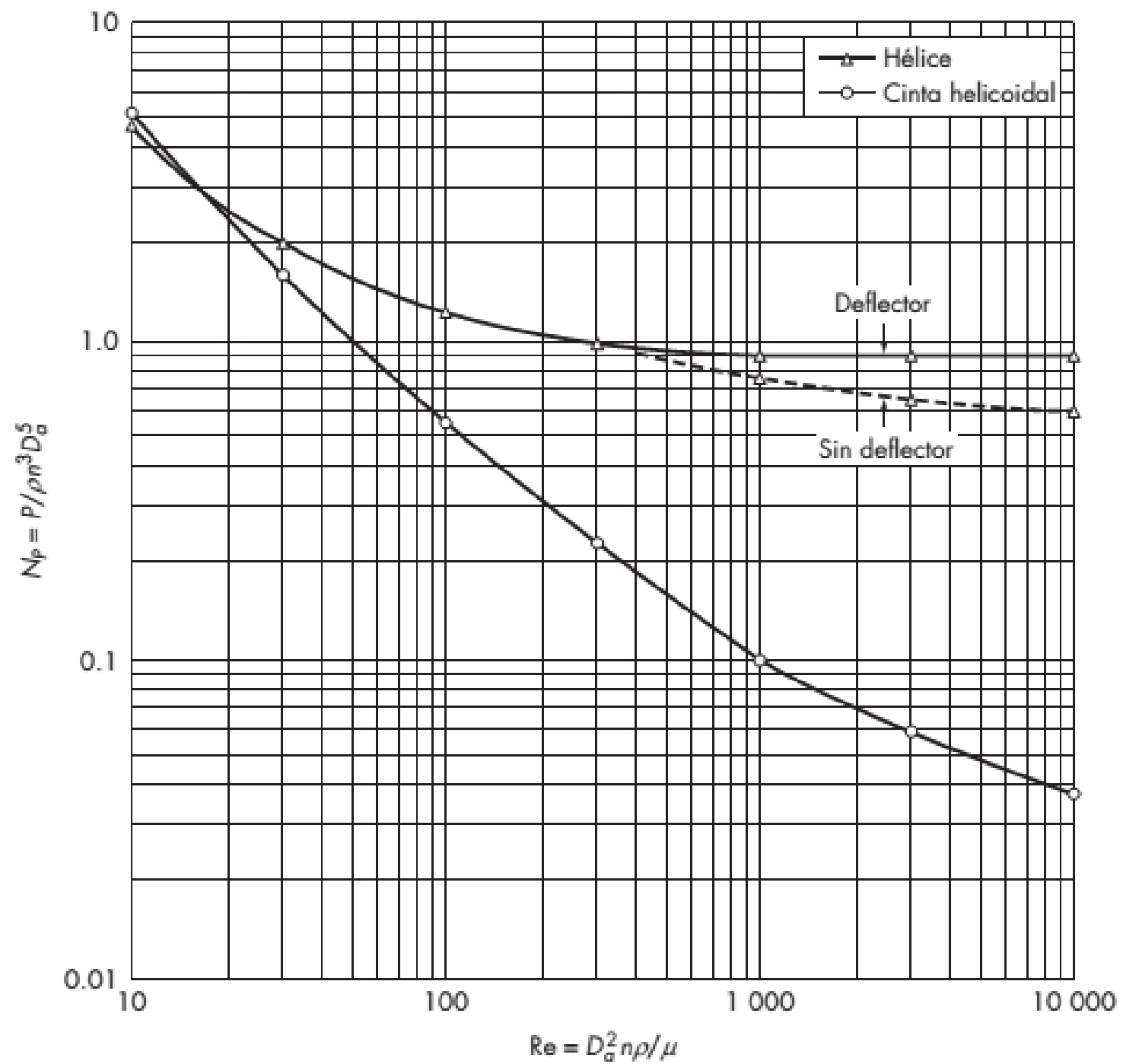
El número de Reynolds es

$$Re = \frac{n D_a^2 \rho}{\mu}$$

Para Re menores a 10, el flujo es laminar. Para valores mayores a 10,000, el flujo es turbulento.

El número de Froud es $Fr = \frac{n^2 D_a}{g}$, es más importante para el diseño de barcos, y no influye cuando $Re < 300$ o con el uso de deflectores.





El cálculo de la potencia de un impulsor normalmente se hace para un número de potencia específico siguiendo la relación

$$P = N_P n^3 D_a^5 \rho$$

Para números de Reynolds bajos $Re < 10$ (con o sin deflectores)

$$N_P = \frac{K_L}{Re}$$

$$P = K_L n^2 D_a^3 \mu$$

Para $Re > 10000$

$$N_P = K_T \quad P = K_T n^3 D_a^5 \rho$$

TABLA 9.2

Valores de las constantes K_L y K_T en las ecuaciones (9.19) y (9.21) para tanques que tienen cuatro deflectores en la pared del tanque, cuya anchura es igual a 10% del diámetro del tanque

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1.0 ⁴³	41	0.32
Paso 1.5 ³⁷	48	0.87
Turbina		
Disco de seis palas ³⁷ ($S_3 = 0.25$, $S_4 = 0.2$)	65	5.75
Seis palas inclinadas ⁴² (45° , $S_4 = 0.2$)	—	1.63
Cuatro palas inclinadas ³⁷ (45° , $S_4 = 0.2$)	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas ⁴³ ($S_4 = 0.2$)	36.5	1.70
Impulsor HE-3	43	0.28
Cinta helicoidal	52	—
Ancla ³⁷	300	0.35

Una turbina de disco de 6 palas planas se instala centralmente en un tanque vertical con deflectores con un diámetro de 2 m. La turbina tiene 0.67 m de diámetro y está situada a 0.67 m por encima del fondo del tanque. Las palas de la turbina son de 134 mm de ancho. El tanque está lleno hasta una altura de 2 m de solución acuosa de NaOH al 50% a 65°C, que tienen una viscosidad de 12 cP y una densidad de 1500 kg/m³. La turbina del agitador gira a 90 rpm. ¿Qué potencia requerirá?

Mezclado

Para un turbina estándar de 6 palas

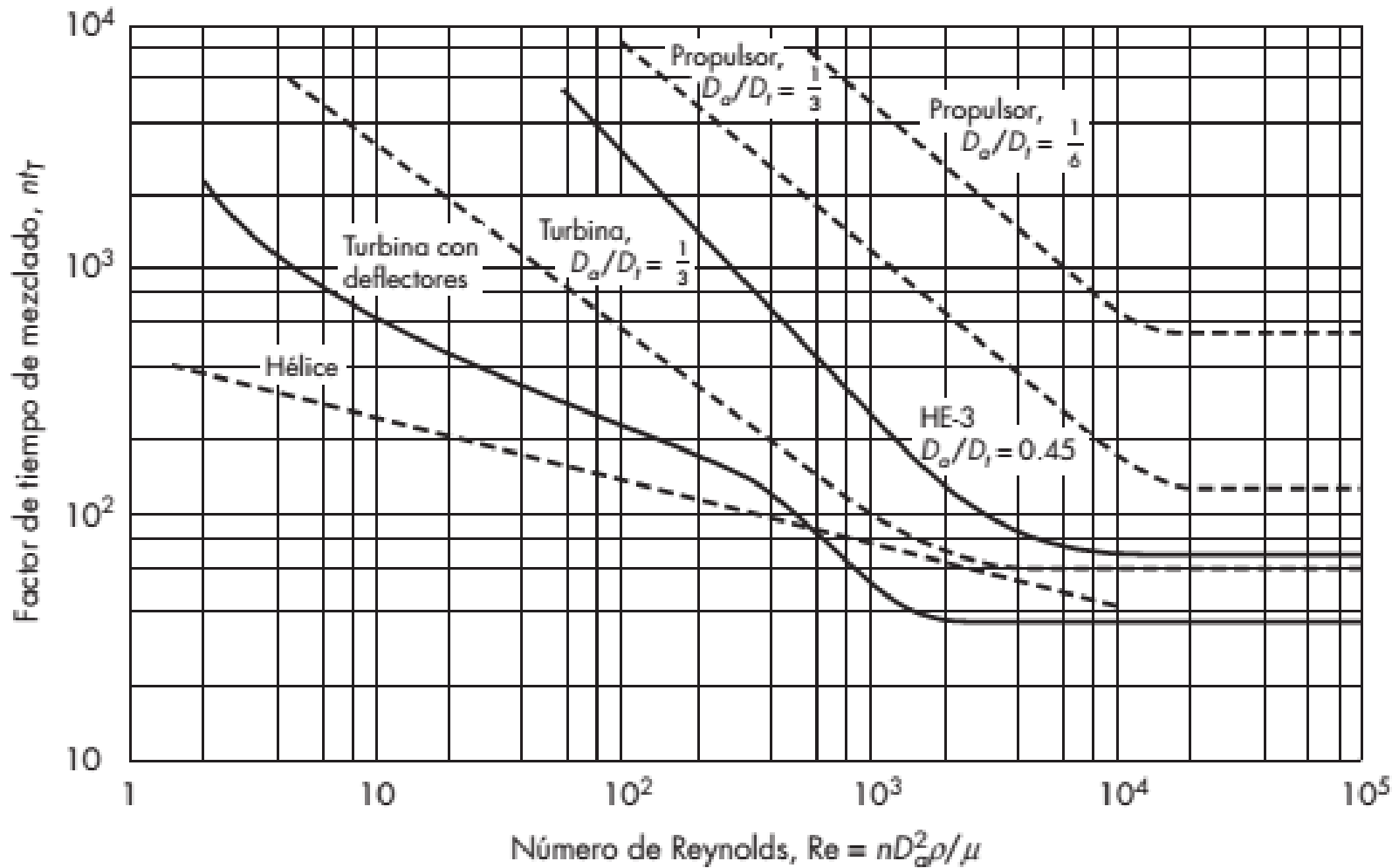


FIGURA 9.16

Tiempos de mezclado en tanques agitados. Las líneas discontinuas son para tanques sin deflectores; la línea continua es para tanques con placas deflectores.

$$q_T = 0.92nD_a^3 \frac{D_t}{D_a}$$

$$t_T = \frac{5V}{q_T} = 5 \frac{\pi D_t^2 H}{4} \frac{1}{0.92nD_a^2 D_t}$$

$$nt_T \left(\frac{D_a}{D_t} \right)^2 \left(\frac{D_t}{H} \right) = \text{const} = 4.3$$

Para impulsor HE-3

$$nt_T = 16.9 \left(\frac{D_t}{D_a} \right)^{1.67} \left(\frac{H}{D_t} \right)^{0.5}$$

Para el uso de turbinas

$$f_t = \frac{t_T (nD_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H^{1/2} D_t^{3/2}} = nt_T \left(\frac{D_a}{D_t} \right)^2 \left(\frac{D_t}{H} \right)^{1/2} \left(\frac{g}{n^2 D_a} \right)^{1/6}$$

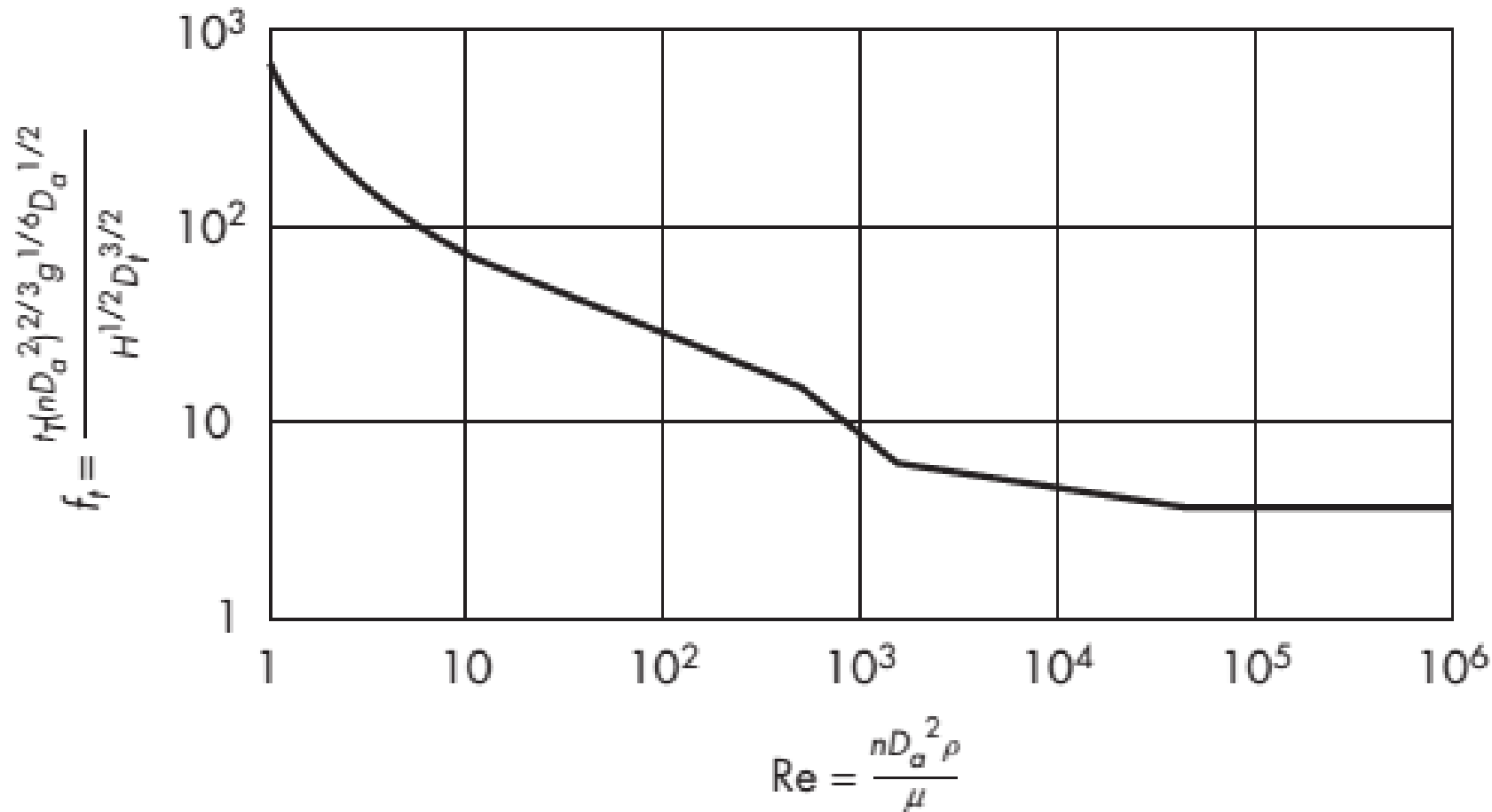


FIGURA 9.17

Correlación de tiempos de mezcla para líquidos miscibles en un tanque con deflectores agitado con una turbina. (Según Norwood y Metzner.³⁵)

Para los impulsores de alta eficiencia, los tiempos de mezclado son algo mayores que los de turbinas, pero a cambio consumen poca potencia. Se operan a altas velocidades y con altas relaciones D_a/D_t .

Para líquidos muy viscosos, los ***agitadores de cinta helicoidal*** dan mejores resultados que otros tipos, con tiempos de mezclado menores y menor potencia consumida.

$$f'_i = \frac{t_T (nD_a^2)^{2/3} g^{1/6}}{H^{1/2} D_t} = nt_T \left(\frac{D_a}{D_t} \right)^{3/2} \left(\frac{D_t}{H} \right)^{1/2} \left(\frac{g}{n^2 D_a} \right)^{1/6}$$

Para líquidos pseudoplásticos, en regiones lejanas al impulsor, la viscosidad aparente del líquido es mayor que cerca del mismo, por lo que los remolinos se amortiguan.

Esto conduce a un mal efecto de mezclado. Se recomienda un impulsor de flujo axial con tubo de succión, con el fin de mejorar el número de Reynolds. A elevados valores de éste, existen pocas diferencias entre líquidos pseudoplásticos y newtonianos.

EJEMPLO 9.3 Un tanque agitado de 6 ft (1.83 m) de diámetro contiene una turbina de seis palas rectas de 2 ft (0.61 m) de diámetro, situada a un diámetro del impulsor por encima del fondo del tanque, y que gira a 80 rpm. Se ha propuesto este tanque para neutralizar una solución acuosa diluida de NaOH a 70 °F con una cantidad estequiométricamente equivalente de ácido nítrico concentrado (HNO_3). La altura final del líquido en el tanque ha de ser de 6 ft (1.83 m). Suponiendo que todo el ácido se añade al tanque de una vez, ¿cuánto tiempo se requiere para que la neutralización sea completa?