



Formulario

Examen General para el Egreso
de la Licenciatura en **Ingeniería en Alimentos**

EGEL Plus IALI

Formulario

Examen General para el Egreso
de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos

EGEL Plus IALI

Directorio

Antonio Ávila Díaz
Director General

Alejandra Zúñiga Bohigas
Directora de los Exámenes
Generales para el Egreso de la Licenciatura

David González Ramírez
Subdirector de Evaluación de Egreso
en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Luis Abraham Maya Olivares
Responsable del EGEL Plus Sección
Disciplinaria en Ingeniería Química

Formulario

D.R. © 2022
Centro Nacional de Evaluación
para la Educación Superior, A.C. (Ceneval)

Segunda edición

Contenido

Transferencia de momento	7
Densidad relativa.....	7
Viscosidad absoluta	7
Viscosidad cinemática	7
Ley de potencia	7
Presión	7
Número de Reynolds	8
Coeficiente de resistencia en accesorios	8
Tabla de coeficiente de resistencia en accesorios para régimen turbulento (K_f).....	9
Caída de presión y factor de fricción en régimen laminar	9
Fanning	9
Darcy	9
Rugosidad relativa.....	9
Diámetro de tubería en acero inoxidable y sanitaria	10
Especificaciones para tubos de acero comercial según norma ANSI	10
Factor de fricción en régimen turbulento (Diagrama de Moody).....	11
Rugosidad relativa.....	12
Ecuación de energía mecánica	13
Balance de Bernoulli	13
Balance de energía mecánica	13
Medición del flujo	14
Tubo Pitot	14
Tubo Venturi.....	14
Flujos.....	14
Potencia de una bomba	14
Agitación y Mezclado	15
Mezclado	15
Agitación.....	15
Aumento de escala en agitadores	16
Extrusión	16
Transferencia de calor	20
Intercambiadores de calor y evaporación.....	20
Coeficiente de ensuciamientos típicos	23
Datos térmicos de algunos productos alimenticios.....	24
Calor específico a presión constante de algunos alimentos (valores promedio de C_p a 273-373 K o 0-100 °C)	25
Propiedades termofísicas de algunos alimentos (conductividad térmica, densidad y viscosidad)	27
Eficiencia térmica	28
Transferencia de calor en estado estacionario	29
Conducción	29
Pared simple	29
Pared plana compuesta.....	29
En tuberías	29
Convección natural	30
Coeficiente global de transferencia de calor en un tubo.....	30
Superficies planas y cilindros verticales	30
Cilindros horizontales	31
Convección forzada	32
Flujo laminar	32
Flujo turbulento	32
Superficies planas	32
Exterior de tubos	32
Radiación	32
Transferencia de calor en estado no estacionario	32

Conducción en estado no estacionario	34
Esterilización	35
Pasteurización	35
Enfriamiento	36
Congelación.....	37
Transferencia de masa.....	38
Balance general de materia y energía	38
Fracciones molares	38
Tiempo de secado	38
Carta psicométrica a altas temperaturas	40
Carta psicrométrica a bajas temperaturas.....	41
Coeficientes de distribución	42
Cinética de reacción	42
Ecuación de Arrhenius	43
Lixiviación.....	43
Liofilización	43
Presión osmótica	44
Cristalización.....	44
Difusividad.....	44
Operaciones físico mecánicas	45
Filtración (a caída de presión constante).....	45
Filtración (a velocidad constante)	45
Precipitación y sedimentación.....	45
Centrifugación.....	46
Desplazamiento lineal de las partículas en flotación y sedimentación.....	47
Reducción de tamaño	47
Escala de tamices Tyler estándar.....	48
Control estadístico del proceso	49
Capacidad del proceso	49
Índice K	49
Índice Z.....	49
Índice de Taguchi	49
Tabla para control de procesos	50
Tabla de gráficos por atributos.....	51
Tabla de muestreo sencillo por límite del promedio de calidad final (LPCF) 2.0%	52
Tabla de Dodge-Roming de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote (LTPD) = 2.5%.....	53
Tabla de Dodge-Roming de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote (LTPD) = 1.0%.....	54
Tabla de cálculo de los límites de control para las cartas X y S con tamaño de muestra variable	55
Tabla de la carta de control de la fracción disconforme con tamaño de la muestra variable.....	56
Tabla de letras de código para el tamaño de la muestra (MIL, STD 105E).....	57
Tabla para la inspección normal - muestreo único (MIL, STD 105E).....	58

Tabla para la inspección reducida - muestreo único (MIL, STD 105E), tabla II-C.....	59
Letras códigos para el tamaño de muestra para MIL STO 414 (muestreo para variables)	60
Tabla para inspección normal y severa (variabilidad desconocida, método de la desviación estándar), método M.	61
Curvas OC de la letra de código para el tamaño de la muestra K, (MIL, STD 105E)	62
Tabla de inspección de Dodge-Romig – planes de muestreo único para AOQL = 3.0%	63
Tabla de inspección de Dodge-Romig de muestreo único para una tolerancia del % defectuoso en un lote (LTPD) = 1.0%	64
Tabla de los factores para construir cartas de control para variables.....	65
Tabla de valores de la función de distribución de U P(U < Uo); Uo es el argumento; n1 < n2; 3 < n2 < 10.	66
Anexos.....	73
Tablas de equivalencia.....	73
Constante de los gases ideales (R).....	74
Aceleración de la gravedad	74
Tabla de propiedades del aire y el agua	75
Propiedades del agua saturada (líquido–vapor): Tabla de presiones	78
Propiedades del agua saturada (líquido–vapor): Tabla de temperaturas.....	79
Tabla de relaciones f_h/U : g para valores de z = 10 °C.....	81
Tabla para determinar el NMP de microorganismos	82
Tabla para determinar el NMP de microorganismos	83
Consejo Técnico	85



Transferencia de momento

Densidad relativa

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{fluido}}{\rho_{agua}}$$

ρ_{rel} = densidad relativa

ρ_{fluido} = densidad del fluido

ρ_{agua} = densidad del agua

Viscosidad absoluta

$$\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{dv}{dy}\right)}$$

μ = viscosidad absoluta

τ = esfuerzo de corte

$\frac{dv}{dy}$ = velocidad de corte

Viscosidad cinemática

$$\mu_c = \frac{\mu}{\rho}$$

μ = viscosidad absoluta

μ_c = viscosidad cinemática

ρ = densidad del fluido

Ley de potencia

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dy} \right)^n$$

K = índice de consistencia

n = índice de comportamiento al flujo

Presión

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$$

P_{abs} = presión absoluta

$$P_{hid} = \rho gh$$

P_{atm} = presión atmosférica

$$P_{vap\ alim} = a_w P_{vap\ agua}$$

P_{man} = presión manométrica

$$\Delta P_{permisible} = P_{sistema} - P_{vap\ alim}$$

P_{hid} = presión hidrostática

ρ = densidad del fluido

g = aceleración gravitacional

h = altura del líquido

$P_{vap\ alim}$ = presión de vapor del alimento

a_w = actividad de agua

$P_{vap\ agua}$ = presión de vapor del agua pura a la misma temperatura

$\Delta P_{permisible}$ = caída de presión permisible

$P_{sistema}$ = presión según las condiciones del sistema



Caída de presión y coeficiente de resistencia en accesorios

Número de Reynolds

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

$$Re_{gen} = \frac{D^{n'} v^{2-n'} \rho}{K' 8^{n'-1}}$$

$$n' = n$$

Re = número de Reynolds

Re_{gen} = número de Reynolds generalizado

ρ = densidad del fluido

μ = viscosidad absoluta

D = diámetro del tubo

v = velocidad lineal

$K = K'$ = índice de consistencia

$n = n'$ = índice de comportamiento al flujo

$$K' = K \left(\frac{3n' + 1}{4n'} \right)^{n'}$$

Coeficiente de resistencia en accesorios

$$K_f = \left(\frac{L}{D} \right) f_D$$

$$K_f = 4 \left(\frac{L}{D} \right) f_F$$

$$K_f = \frac{\Delta P_{acc} g_c}{v^2 \rho}$$

$$hfs_{acc} = \frac{\Delta P_{acc}}{\rho}$$

f_D = factor de fricción de Darcy

f_F = factor de fricción de Fanning

ΔP_{acc} = caída de presión en accesorios

$\frac{L}{D}$ = longitud equivalente

ρ = densidad

v = velocidad lineal

g_c = factor de conversión gravitacional

K_f = coeficiente de resistencia en accesorios

hfs_{acc} = pérdida por fricción en accesorios

Tabla de coeficiente de resistencia en accesorios para régimen turbulento (K_f)

	Diámetro nominal, pulgadas											
	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4	5	6	8-10	12-16	12-24
Válvula de compuerta (abierto)	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1	0.096
Válvula de globo (abierto)	9.2	8.5	7.8	7.1	6.5	6.1	5.8	5.4	5.1	4.8	4.4	4.1
Codo estándar (atornillado) 90°	0.80	0.75	0.69	0.63	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
Codo estándar (atornillado) 45°	0.43	0.40	0.37	0.34	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
"T" estándar (flujo recto)	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
"T" estándar (flujo cruzado)	1.62	1.50	1.38	1.26	1.14	1.08	1.02	0.96	0.90	0.84	0.78	0.72

Caída de presión y factor de fricción en régimen laminar

Fanning

$$f_F = \frac{16}{Re}$$

$$\Delta P_{tr} = \frac{4f_F L v^2 \rho}{2Dg_c}$$

$$hfs_{tr} = \frac{\Delta P_{tr}}{\rho}$$

Darcy

$$f_D = \frac{64}{Re}$$

$$\Delta P_{tr} = \frac{f_D L v^2 \rho}{2Dg_c}$$

ΔP_{tr} = caída de presión en tramo recto

L = longitud de tubería

ρ = densidad

v = velocidad lineal

Re = número de Reynolds

f_F = factor de fricción de Fanning

f_D = factor de fricción de Darcy

g_c = factor de conversión gravitacional

hfs_{tr} = pérdida por fricción en tramo recto

ϵ = rugosidad de la tubería

D = diámetro de tubería

Rugosidad relativa

$$Rugosidad_{relativa} = \frac{\epsilon}{D}$$

Diámetro de tubería en acero inoxidable y sanitaria

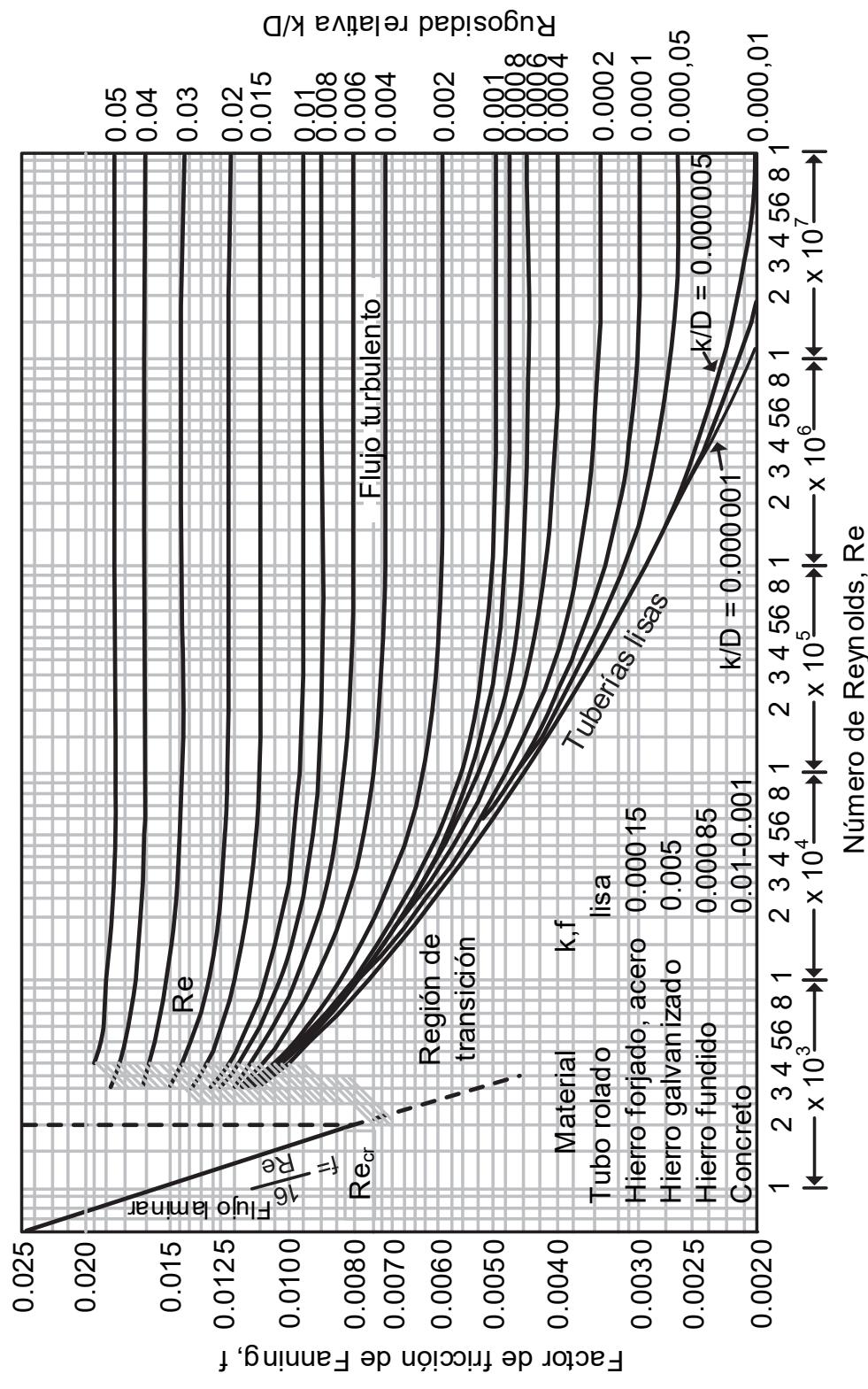
Medida nominal (in)	Tubería de acero inoxidable cédula 40		Tubería sanitaria	
	Diámetro interno (in)	Diámetro externo (in)	Diámetro interno (in)	Diámetro externo (in)
0.5	0.622	0.84		
0.75	0.824	1.050		
1	1.049	1.315	0.902	1.000
1.5	1.610	1.900	1.402	1.500
2.0	2.067	2.375	1.870	2.000
2.5	2.469	2.875	2.370	2.500
3.0	3.068	3.500	2.870	3.000
4.0	4.026	4.500	3.834	4.000

Paul Sing R. y Heldman D.R. "Introduction to food engineering" 4th edition. Academic Press.

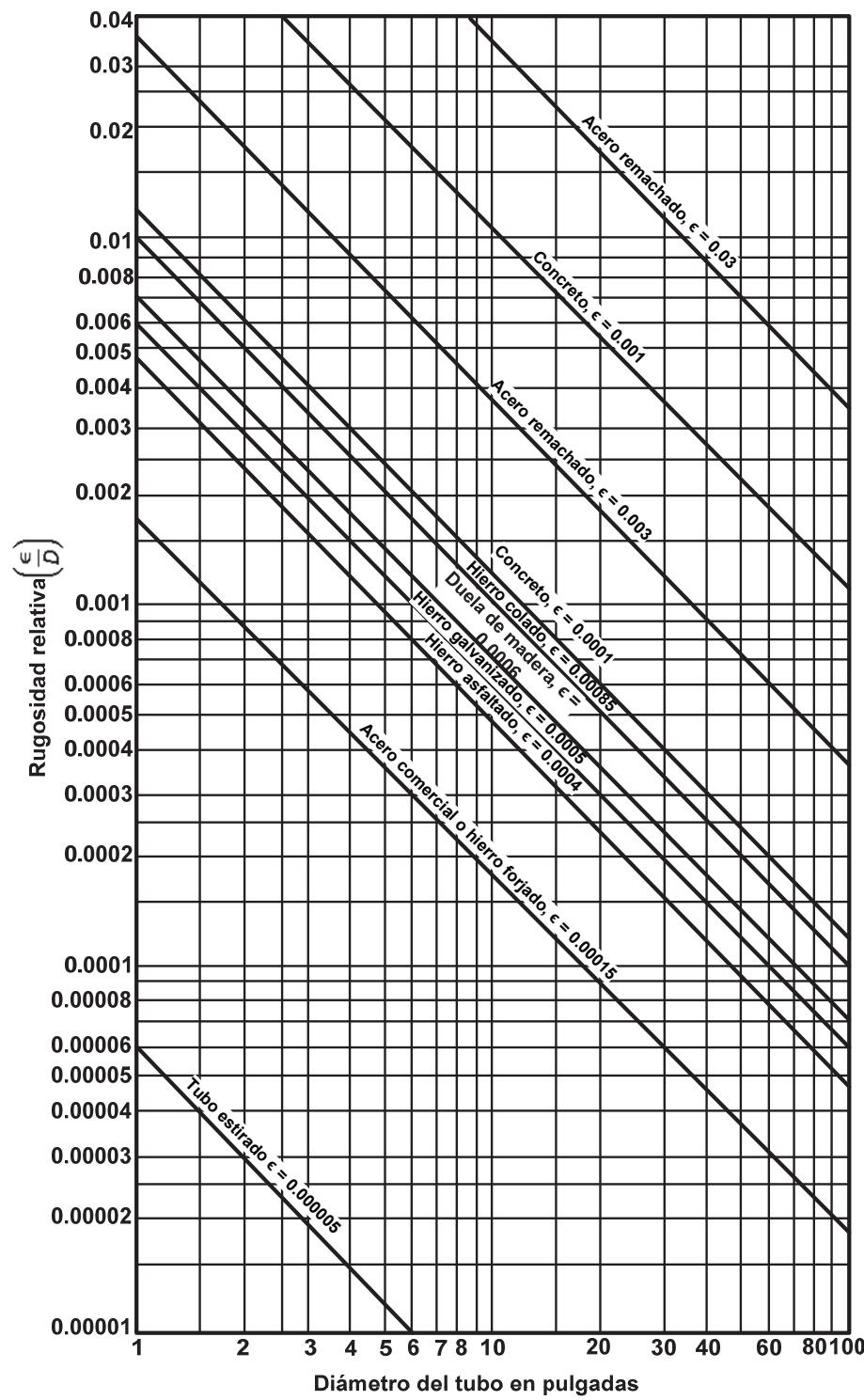
Especificaciones para tubos de acero comercial según norma ANSI

D _{nominal} (in)	Cédula	D _{interior} (in)	D _{exterior} (in)
3/4	40	0.824	1.05
	80	0.742	
1	40	1.049	1.315
	80	0.957	
1 1/4	40	1.38	1.660
	80	1.278	
1 1/2	40	1.61	1.900
	80	1.50	
2	40	2.067	2.375
	80	1.939	
2 1/2	40	2.469	2.875
	80	2.323	
3	40	3.068	3.5
	80	2.900	
3 1/2	40	3.548	4.0
	80	3.364	
4	40	4.026	4.5
	80	3.826	
5	10 S	5.295	5.536
	40	5.047	
	80	4.813	
6	10 S	6.357	6.625
	40	6.065	
	80	5.761	
8	10 S	8.329	8.625
	30	8.071	
	80	7.625	
10	10 S	10.420	10.75
	30	10.192	
	80	9.750	

Factor de fricción en régimen turbulento (Diagrama de Moody)



Rugosidad relativa





Ecuación de energía mecánica

Balance de Bernoulli

$$\left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2\alpha g_c} + \frac{Z \cdot g}{g_c} + W_f \right)_{\text{Entrada}} = \left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2\alpha g_c} + \frac{Z \cdot g}{g_c} \right)_{\text{Salida}}$$

g = aceleración gravitacional

V = velocidad lineal

Z = altura

P = presión del sistema

W_f = trabajo de flecha

g_c = factor de conversión gravitacional

α = factor de corrección de energía cinética
(régimen turbulento $\alpha = 2$)

ρ = densidad

Balance de energía mecánica

$$\left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2\alpha g_c} + \frac{Z \cdot g}{g_c} + W_f \right)_{\text{Entrada}} = \left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2\alpha g_c} + \frac{Z \cdot g}{g_c} + \sum hfs \right)_{\text{Salida}}$$

$\sum hfs$ = pérdidas por fricción en tramo recto, accesorios y equipo

g = aceleración gravitacional

V = velocidad lineal

Z = altura

P = presión del sistema

W_f = trabajo de flecha

g_c = factor de conversión gravitacional

α = factor de corrección de energía cinética
(régimen turbulento $\alpha = 2$)

ρ = densidad



Medición del flujo

Tubo Pitot

$$v = Cp \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}}$$

Tubo Venturi

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Flujos

$$\dot{V} = A v$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$

Potencia de una bomba

$$P_b = E_m \dot{m}$$

v = velocidad lineal

Cp = constante adimensional cuyo valor va de 0.989 a 1.

$P_2 - P_1$ = presión en el punto 1 y 2, respectivamente

ρ = densidad

V_2 = velocidad en el estrechamiento

D_1 y D_2 = diámetro en el punto 1 y 2, respectivamente

\dot{m} = flujo másico

ρ = densidad del fluido

\dot{V} = flujo volumétrico

A = área transversal

v = velocidad lineal

P_b = potencia de la bomba

E_m = energía mecánica

\dot{m} = flujo másico



Agitación y Mezclado

Mezclado

$$N_p = \frac{P}{N^3 \rho D_a^5}$$

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

$$N_{Fr} = \frac{N^2 D_a}{g}$$

N_p = número de potencia

Re' = número de Reynolds del impulsor

N_{Fr} = número de Froude

P = potencia del impulsor

ρ = densidad

N = velocidad de giro

D = diámetro del impulsor

v = velocidad lineal

μ = viscosidad absoluta

Agitación

K_L , K_T = constante para tanques (ver tabla 1)

D_a = diámetro del agitador

g = aceleración gravitacional

σ = tensión superficial

ψ = fracción volumétrica de líquido o gas en la dispersión

\bar{Ds} = diámetro medio de la gota

g_c = factor de conversión gravitacional

μ_d = viscosidad dinámica

μ_c = viscosidad cinemática

Flujo laminar

$$P = K_L N^2 D^3 \mu$$

Flujo turbulento

$$P = K_T N^3 \rho D_a^5$$

Dispersión de líquidos con agitadores de turbina

$$\bar{Ds} = 0.224 \left[\frac{(\sigma g_c)^{0.6}}{(Pg_c/v)^{0.4} \rho_L^{0.2}} \right] \psi^{1/2} \left(\frac{\mu_d}{\mu_c} \right)^{1/4}$$



Aumento de escala en agitadores

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{D_{T2}}{D_{T1}}$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{I}{R} \right)^n$$

$$D_{T2} = RD_{T1}$$

$$J_2 = RJ_1$$

$$W_2 = RW_1$$

Extrusión

$$\bar{t} = \frac{kwhL}{Q_v \operatorname{sen}\theta}$$

$$v = \frac{\Delta Pwh^3}{12\mu L} + \frac{\mu_{pared}hw}{2}$$

V_1 = volumen del tanque original

V_2 = volumen final del tanque deseado

R = relación o razón de aumento de escala (adimensional)

D_{T1} = altura del líquido en el tanque original

D_{T2} = altura final del líquido en el tanque

J_1 = grosor de la pared del tanque original

J_2 = grosor de la pared final deseada

W_1 = altura o anchura del agitador original

W_2 = altura o anchura final del agitador

N_1 = velocidad del agitador original

N_2 = velocidad final del agitador

\bar{t} = tiempo de residencia promedio

k = número de hilos del tornillo

w = distancia entre hilos

h = profundidad de hilos

L = longitud del tornillo

Q_v = velocidad de flujo del material

θ = ángulo de inclinación de los hilos

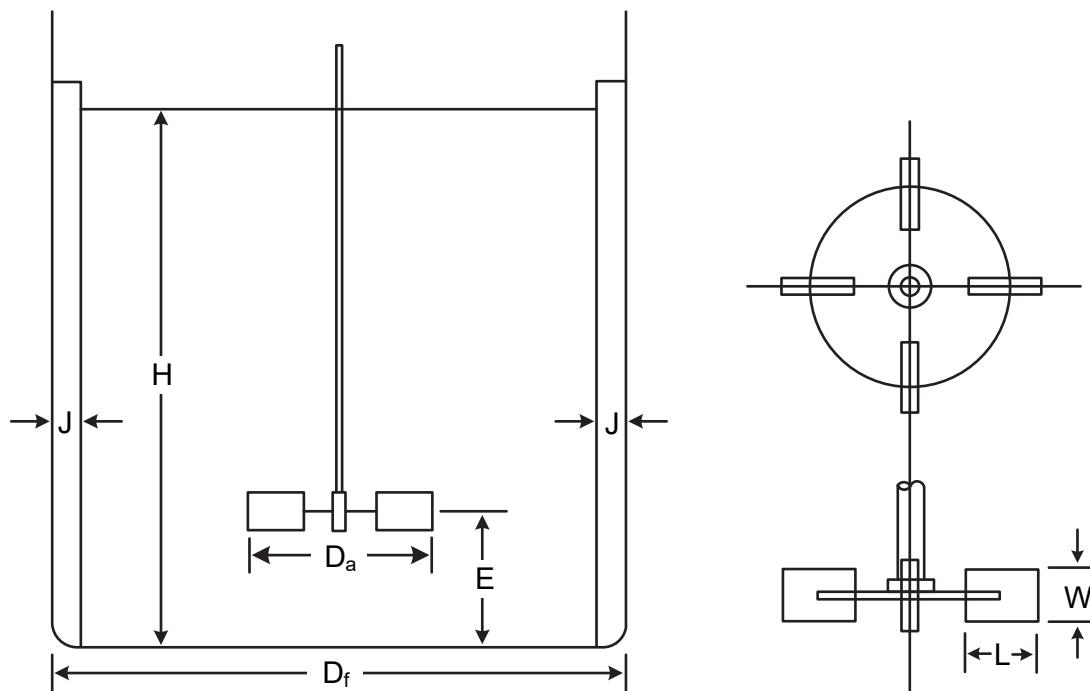
μ = viscosidad del producto

μ_{pared} = velocidad lineal del producto en la pared

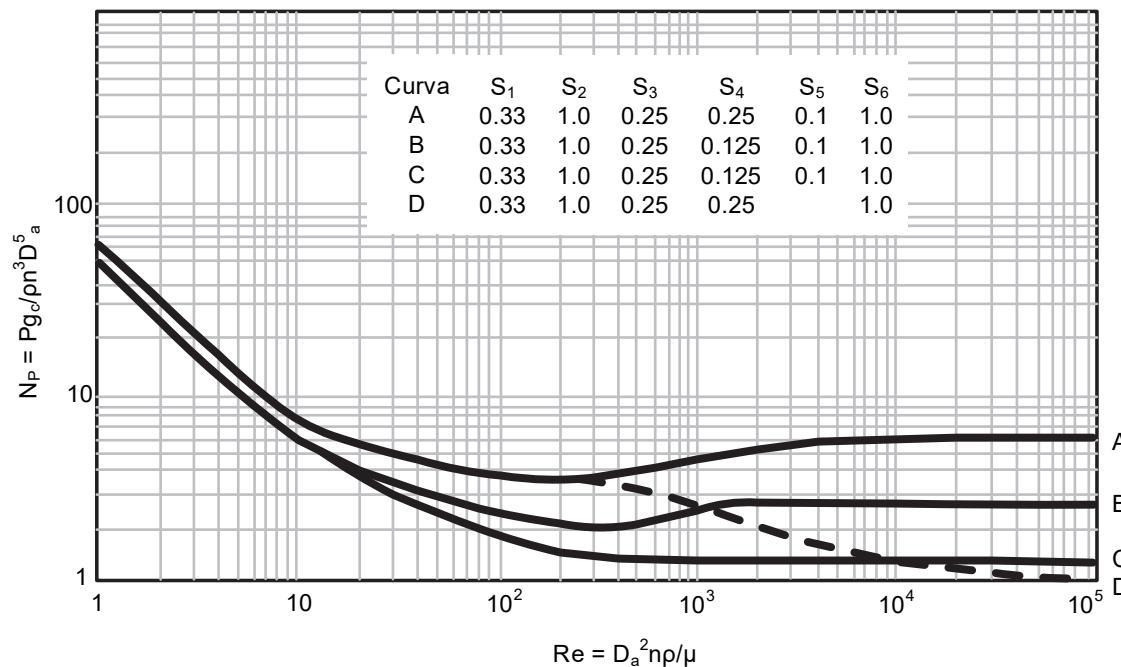
ΔP = caída de presión en la longitud del canal

v = velocidad de flujo volumétrico

Dimensiones de un tanque de agitación con impulsor tipo turbina y deflectores



Número de potencia N_p frente a Re para turbinas de seis palas. Para la porción de trazos de la curva D, el valor de N_p que se obtiene de la figura hay que multiplicarlo por $N_{Fr} S_1 = \frac{D_a}{D_t}, S_2 = \frac{E}{D_a}, S_3 = \frac{L}{D_a}, S_4 = \frac{W}{D_a}, S_5 = \frac{J}{D_t}, S_6 = \frac{H}{D_t}$



Número de potencia N_p frente a N_{Re} para rodetes de tres palas. Para las porciones de trazos de las curvas B, C y D, el valor de N_p que se obtiene de la figura hay que multiplicarlo por N_{Fr}

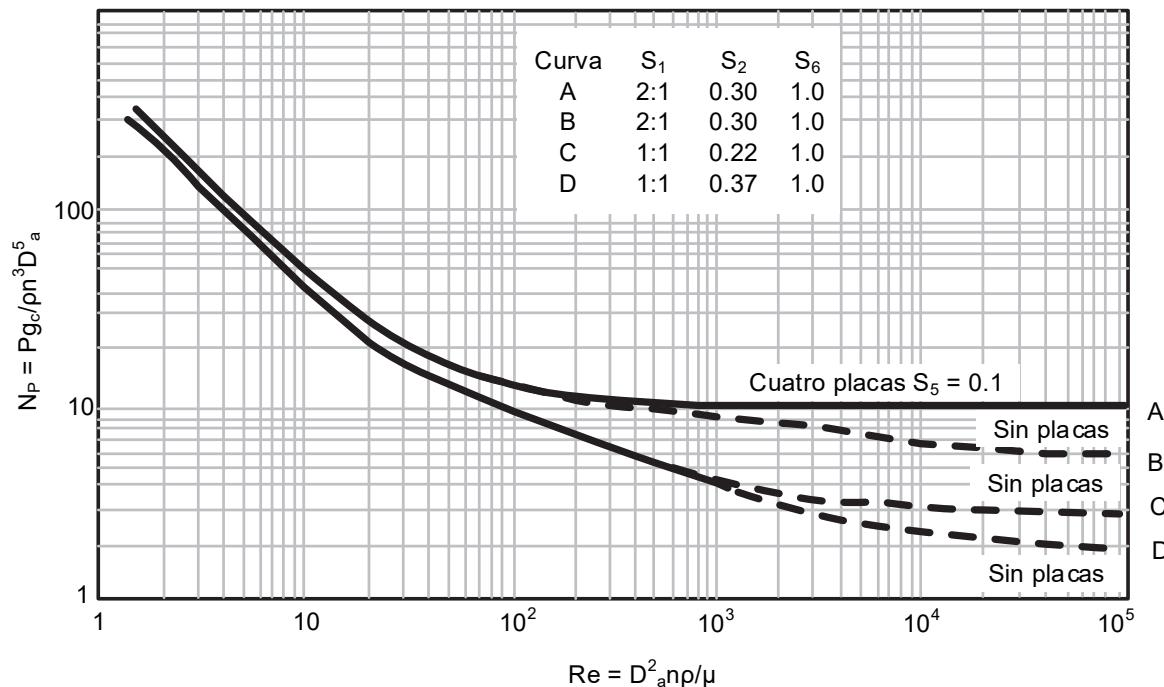




Tabla 1. Valores de las constantes K_L y K_T para tanques que tienen cuatro deflectores, con anchura igual al 10% del diámetro del tanque

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor hélice, tres palas		
Paso 1.0	41	0.32
Paso 1.5	48	0.87
Turbina		
Disco de seis palas ($S_3 = 0.25$, $S_4 = 0.2$)	65	5.75
Seis palas inclinadas (45° , $S_4 = 0.2$)	---	1.63
Cuatro palas inclinadas (45° , $S_4 = 0.2$)	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas ($S_4 = 0.2$)	36.5	1.70
Impulsor HE-3	43	0.28
Cinta helicoidal	52	---
Ancla	300	0.35
Hélice, paso cuadrado, tres palas	41.0	0.32
Paso de 2, tres palas	43.5	1.00
Turbina, seis palas planas	71.0	6.30
Seis palas curvas	70.0	4.80
Turbina de ventilador, 6 palas	70.0	1.65
Palas planas, dos palas	36.5	1.70
Turbina cerrada 6 palas curvas	97.2	1.08
Con estator, sin deflectores	172.5	1.12

Transferencia de calor

Intercambiadores de calor y evaporación

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{hi} - T_{c0}) - (T_{h0} - T_{ci})}{\ln \left[\frac{(T_{hi} - T_{c0})}{(T_{h0} - T_{ci})} \right]}$$

$$Z = \frac{T_{hi} - T_{h0}}{T_{c0} - T_{ci}}$$

$$Y = \frac{T_{c0} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}}$$

$$\Delta T_m = F_T \Delta T_{ml}$$

ΔT_{ml} = media logarítmica de la diferencia de temperatura

T_{hi} = temperatura de entrada del fluido caliente

T_{h0} = temperatura de salida del fluido caliente

T_{ci} = temperatura de entrada del fluido frío

T_{c0} = temperatura de salida del fluido frío

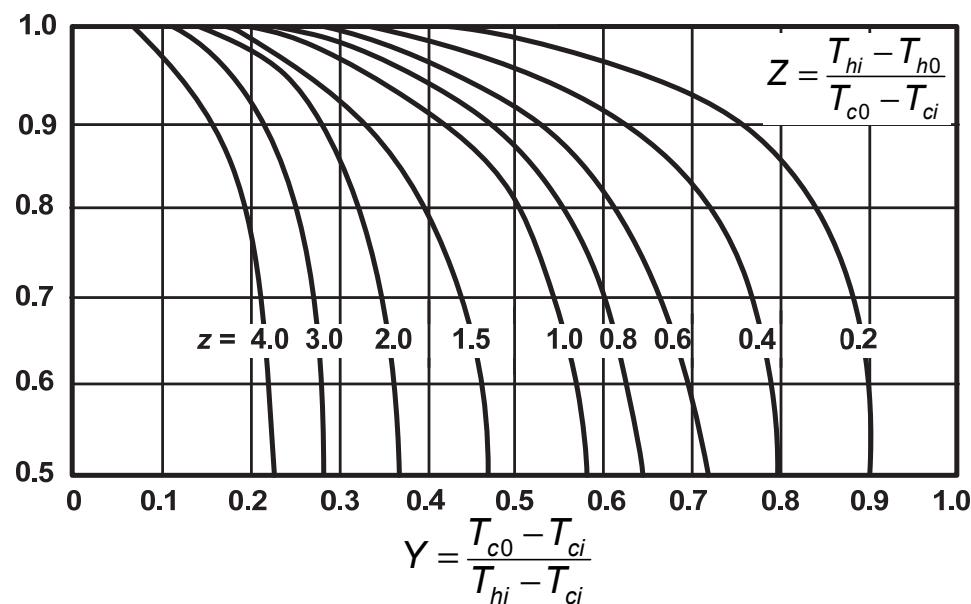
Z = relación adimensional para el cálculo del factor corrección

Y = relación adimensional para el cálculo del factor corrección

ΔT_m = diferencia de temperatura corregida

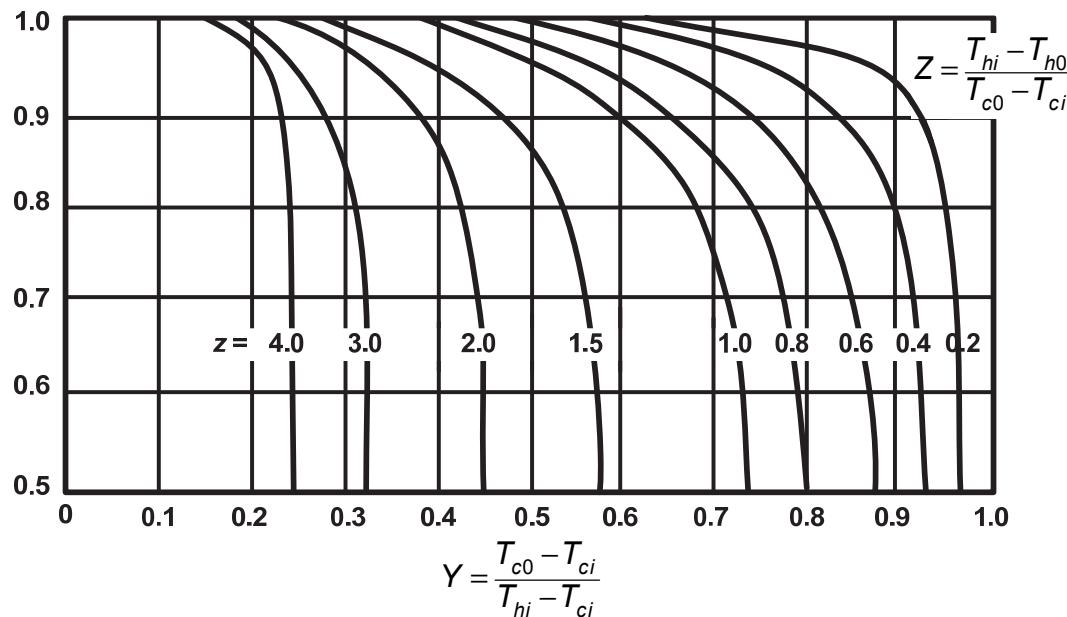
F_T = factor de corrección

Factor de corrección F_T para la media logarítmica de las diferencias de temperaturas en intercambiadores de un paso por la coraza y dos pasos por los tubos (intercambiador 1-2)

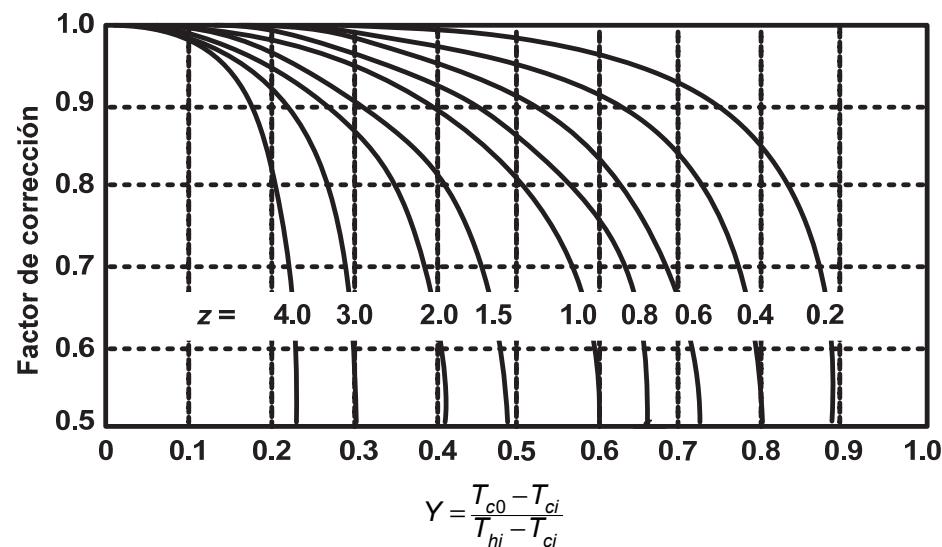




Factor de corrección F_T para la media logarítmica de las diferencias de temperaturas en intercambiadores de dos pasos por la coraza y cuatro pasos por los tubos (intercambiador 2-4)

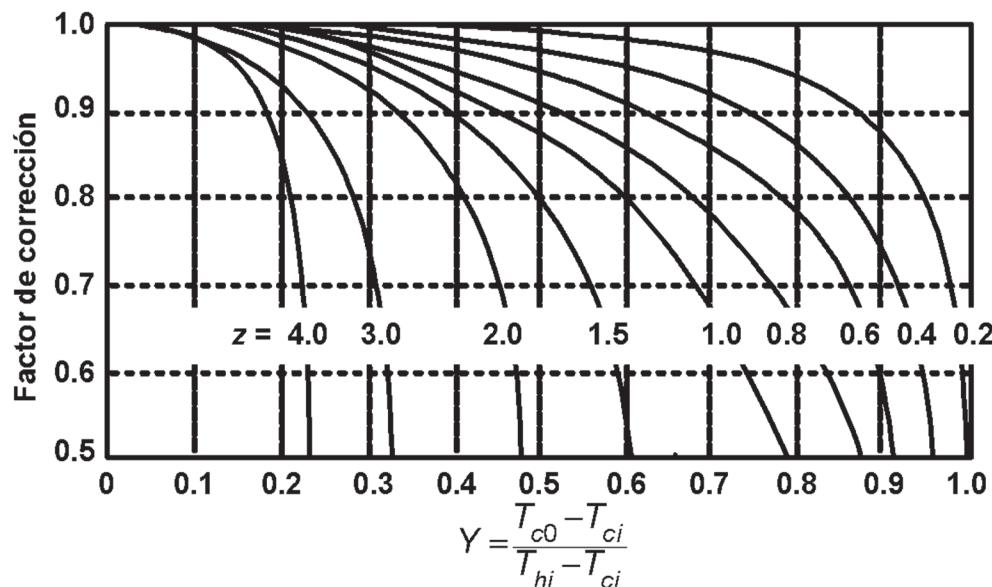


Factor de corrección F_T para la media logarítmica de las diferencias de temperatura para intercambiadores de flujo transversal [$Z = (T_{hi} - T_{h0})/(T_{c0} - T_{ci})$]
Paso sencillo, fluido mezclado en la coraza, otro fluido no mezclado.

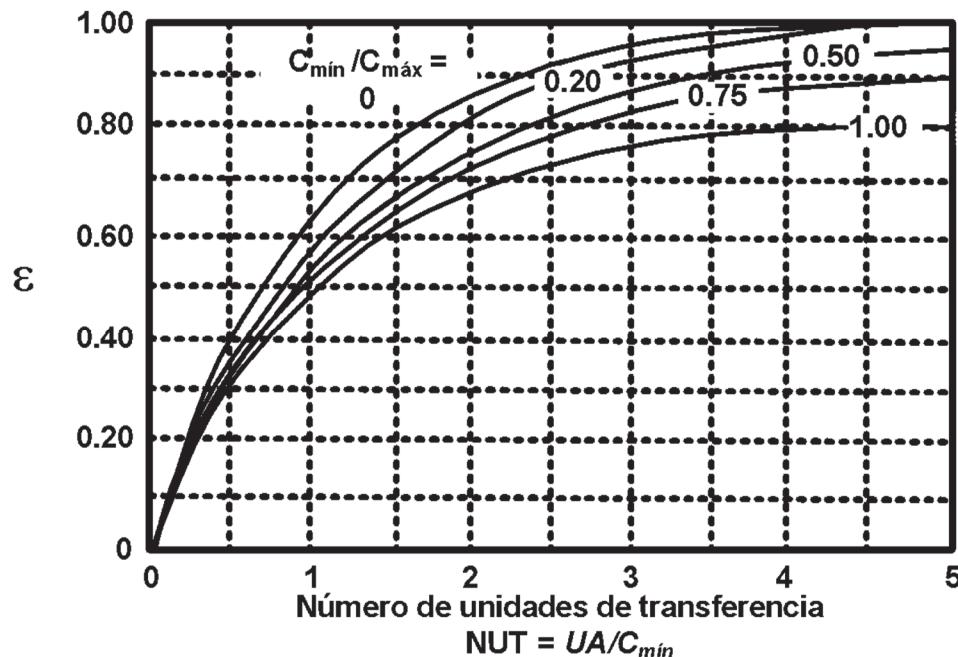




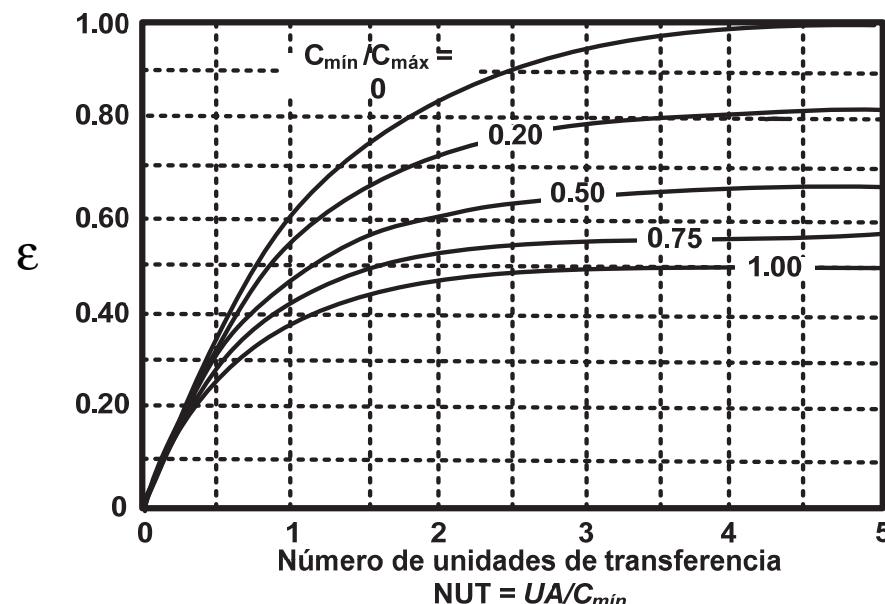
Factor de corrección FT para la media logarítmica de las diferencias de temperatura para intercambiadores de flujo transversal $[Z = (T_{hi} - T_{ho})/(T_{co} - T_{ci})]$
Paso sencillo, ambos fluidos no mezclados.



Eficiencia ϵ de un intercambiador de calor a contracorriente



Eficiencia ϵ de un intercambiador de calor de flujo en paralelo



Coeficiente de ensuciamientos típicos

	$h_d \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	$h_d \left(\frac{BTU}{h ft^2 F} \right)$
Agua destilada y de mar	11 350	2 000
Agua municipal	5 680	1 000
Agua fangosa	1 900-2 840	350-500
Gases	2 840	500
Líquidos volátiles	2 840	500
Aceites vegetales y minerales	1 990	350

Valores típicos de los coeficientes de transferencia de calor globales en los intercambiadores de tubo y coraza

	U $(W/m^2 K)$	U $(BTU/h ft^2 F)$
De agua a agua	1 140-1 700	200-300
De agua a solución salina	570-1 140	100-200
De agua a líquidos orgánicos	570-1 140	100-200
De agua a vapor de condensación	1 420-2 270	250-400
De agua a gasolina	340-570	60-100
De agua a gas de petróleo	140-340	25-60
De agua a aceite vegetal	110-285	20-50
De gas de petróleo a gasóleo	110-285	20-50
De vapor a agua hirviendo	1 420-2 270	250-400
De agua a aire (tubo con aletas)	110-230	20-40
De orgánicos ligeros a orgánicos ligeros	230-425	40-75
De orgánicos pesados a orgánicos pesados	55-230	10-40

Datos térmicos de algunos productos alimenticios

	Punto de congelación		% agua	Calor específico kJ/kg °C		Calor latente de fusión	
	°F	°C		Encima de congelación	Debajo de congelación	BTU/lb	kJ/kg
Frutas							
Manzanas	28	-2	84	3.60	1.88	120.4	280
Plátanos	28	-2	75	3.35	1.76	109.6	255
Toronjas	28	-2	89	3.81	1.93	126	293
Melocotón	28	-2	87	3.78	1.93	124	289
Piña tropical	28	-2	85	3.68	1.88	123	285
Sandías	28	-2	92	4.06	2.01	132	306
Legumbres							
Espárragos	30	-1	93	3.93	2.01	133	310
Judías verdes	30	-1	89	3.81	1.97	128	297
Col	30	-1	92	3.93	1.97	132	306
Zanahoria	30	-1	88	3.60	1.88	126	293
Maíz	30	-1	76	3.35	1.80	108	251
Guisantes	30	-1	74	3.31	1.76	106	247
Tomates	30	-1	95	3.98	2.01	133	310
Carne							
Tocino	28	-2	20	2.09	1.26	30.5	71
Vaca	28	-2	75	3.22	1.67	109.6	255
Pescado	28	-2	70	3.18	1.67	119	276
Cordero	28	-2	70	3.18	1.67	119	276
Cerdo	28	-2	60	2.85	1.59	85	197
Ternera	28	-2	63	2.97	1.67	90	209
Misceláneos							
Cerveza	28	-2	92	4.19	2.01	129	301
Pan	28	-2	32-37	2.93	1.42	47-52	109-121
Huevo	27	-3		3.2	1.67	119	276
Helado	27 a -0.4	-3 a -18	58-66	3.3	1.88	95	222
Leche	30	-1	87.5	3.9	2.05	124	289
Agua	32	0	100	4.19	2.05	144	335

Calor específico a presión constante de algunos alimentos (valores promedio de Cp a 273-373 K o 0-100 °C)

Material	H ₂ O (% en peso)	C _p (kJ/kg·K)
Manzanas	75-85	3.73-4.02
Puré de manzana		4.02*
Espárragos:		
Frescos	93	3.94†
Congelados	93	2.01‡
Tocino magro	51	3.43
Puré de plátano		3.66§
Carne de res	72	3.43
Pan blanco	44-45	2.72-2.85
Mantequilla	15	2.30¶
Melón	92.7	3.94†
Zanahoria	88.2	3.81-3.94
Queso suizo	55	2.68†
Maíz dulce:		
Fresco		3.32†
Congelado		1.77‡
Crema con 45-60% de grasa	57-73	3.06-3.27
Pepino	97	4.10
Huevos:		
Frescos		3.18†
Congelados		1.68‡
Yema de huevo	4.00	2.81
Bacalao:		
Fresco	70	3.18
Congelado	70	1.72‡
Harina	12-13.5	1.80-1.88
Hielo	100	1.958
Helado:		
Fresco	58-66	3.27†
Congelado	58-66	1.88‡
Cordero	70	3.18*
Macarrones	12.5-13.5	1.84-1.88
Leche de vaca:		
Entera	87.5	3.85
Descremada	91	3.98-4.02
Aceite de oliva		2.01**
Naranjas:		
Frescas	87.2	3.77†
Congeladas	87.2	1.93‡
Guisantes secos	14	1.84
Guisantes verdes:		
Frescos	74.3	3.31†
Congelados	74.3	1.76‡
Sopa de guisantes		4.10
Ciruelas	75-78	3.52
Cerdo:		
Fresco	60	2.85†
Congelado	60	1.34‡
Papas	75	3.52
Aves:		
Frescas	74	3.31†

Material	H ₂ O (% en peso)	C _p (kJ/kg·K)
Congeladas	74	1.55 [‡]
Sardinas	57.4	3.01
Salchichas alemanas:		
Frescas	60	3.60 [†]
Congeladas	60	2.35 [†]
Alubias:		
Frescas	88.9	3.81 [†]
Congeladas	88.9	1.97 [†]
Tomates	95	3.98 [†]
Ternera	63	3.22
Aqua	100	4.185 ^{**}

* 32.8 °C

† Por encima del punto de congelación.

‡ Por debajo del punto de congelación

§ 24.4 °C

¶ 4.4 °C.

|| -20 °C.

** 20 °C.



Propiedades termofísicas de algunos alimentos (conductividad térmica, densidad y viscosidad)

Material	H₂O (%en peso)	Temperatura (K)	k (W/m·k)	ρ (kg/m³)	μ [(Pa·s)10³, o cP]
Jugo de manzana	87.4	293.2	0.559		
Puré de manzana		295.7	0.692		
Manzana	85.6	275.2-309.2	0.393		
Carne de res, magra	78.8	308.2	0.458		
Carne de res, con grasa			0.19		
Mantequilla	15	277.6	0.197	998	
Melón			0.571		
Huevo:					
Clara		309.2	0.577		
Yema		306.2	0.338		
Pescado:					
Fresco		273.2	0.431		
Congelado		263.2	1.22		
Harina de trigo	8.8		0.450		
Miel	12.6	275.4	0.50		
Hielo	100	273.2	2.25		
	100	253.2	2.42		
Cordero	71	278.8	0.415		
Leche:					
Entera		293.2		1 030	2.12
Descremada		274.7	0.538		
		298.2		1 041	1.4
Aceite:					
Hígado de bacalao		298.2		924	
Maíz		288.2		921	
Olivo		293.2	0.168	919	84
Cacahuate		277.1	0.168		
Frijol de soya		303.2		919	40
Naranjas	61.2	303.5	0.431		
Peras		281.9	0.595		
Carne de puerco magra:					
Fresca	74	275.4	0.460		
Congelada		258.2	1.109		
Papas:					
Crudas			0.554		
Congeladas		260.4	1.09	977	
Salmón:					
Fresco	67	277.1	0.50		
Congelado	67	248.2	1.30		
Solución sacarosa	80	294.3		1 073	1.92
Pavo:					
Fresco	74	276.0	0.502		
Congelado		248.2	1.675		
Ternera:					
Fresca	75	335.4	0.485		
Congelada	75	263.6	1.30		
Agua	100	293.2	0.602		
	100	273.2	0.569		



$$Q = mCp\Delta T$$

Q = cantidad de calor

m = masa de producto

Cp = calor específico

ΔT = diferencia de temperatura

$$Q = \lambda m_v$$

m_v = masa de producto

λ = calor latente

m_v = masa de vapor

$$Cp = 4.19Y + 0.84X \text{ (J/kg}^{\circ}\text{C)}$$

Y = fracción masa de agua

X = fracción masa de sólidos

Eficiencia térmica

$$\varepsilon = \frac{\text{Energía teórica}}{\text{Energía real consumida}} \times 100$$

$$P = \frac{Q}{t}$$

P = potencia

Q = cantidad de calor

t = tiempo (s)



Transferencia de calor en estado estacionario

Conducción

Pared simple

$$Q = \frac{k}{x} A \Delta T$$

Q = cantidad de calor
 k = conductividad térmica
 x = espesor de la pared
 A = área de transferencia de calor
 ΔT = diferencia de temperatura

Pared plana compuesta

$$Q = A \Delta T \sum R$$

$$\sum R = \frac{1}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n}}$$

Q = cantidad de calor
 $\sum R$ = sumatoria de las resistencias de paredes
 A = área de transferencia de calor
 ΔT = diferencia de temperatura
 k = conductividad térmica
 x = espesor de la pared

En tuberías

$$Q = 2\pi k L \frac{\Delta T}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$$

Q = cantidad de calor
 k = conductividad térmica
 r_o = radio externo del tubo
 r_i = radio interno del tubo
 L = longitud del tubo
 ΔT = diferencia de temperatura



Convección natural

Coeficiente global de transferencia de calor en un tubo

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{(r_o - r_i)}{k} \left(\frac{A_i}{A_{alm}} \right) + \frac{A_i}{A_o h_o}}$$

U = coeficiente global de transferencia de calor
 h_i = coeficiente de película interno
 h_o = coeficiente de película externo
 A_i = área interna
 A_o = área externa
 A_{alm} = área media logarítmica
 k = conductividad térmica
 r_o = radio externo del tubo
 r_i = radio interno del tubo

Superficies planas y cilindros verticales

$$Nu = 0.53 (Pr \times Gr)^{0.25}$$

para $10^4 < (Pr \times Gr) < 10^9$

$$Nu = 0.12 (Pr \times Gr)^{0.33}$$

para $10^9 < (Pr \times Gr) < 10^{12}$

$$Nu = \frac{h_c D}{k}$$

$$Pr = \frac{C_p}{k} \mu$$

$$Gr = \frac{D^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{abs}}$$

Si el fluido es aire:

Para flujo laminar

$$h_c = 1.42 (\Delta T / L)^{0.25}$$

para $10^4 < (Pr \times Gr) < 10^9$

Para flujo turbulento

$$h_c = 1.31 (\Delta T)^{0.33}$$

Nu = número de Nusselt
 Pr = número de Prandtl
 Gr = número de Grashof
 h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección
 L = longitud del tubo
 ΔT = diferencia de temperatura
 D = diámetro
 k = conductividad térmica
 C_p = calor específico
 μ = viscosidad absoluta
 ρ = densidad
 g = aceleración gravitacional
 β = coeficiente de expansión térmica

para $10^9 < (Pr \times Gr) < 10^{12}$

Cilindros horizontales

$$Nu = 0.54 (Pr \times Gr)^{0.25}$$

para $10^3 < (Pr \times Gr) < 10^9$

Si el fluido es aire:

Para flujo laminar

$$h_c = 1.32 (\Delta T / D)^{0.25}$$

para $10^4 < (Pr \times Gr) < 10^9$

Para flujo turbulento

$$h_c = 1.24 (\Delta T)^{0.33}$$

para $10^9 < (Pr \times Gr) < 10^{12}$



Convección forzada

Flujo laminar

$$Nu = 4$$

Flujo turbulento

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$$

para $Re > 2100$ y $Pr > 0.5$

Nu = número de Nusselt

Re = número de Reynolds

Pr = número de Prandtl

μ = viscosidad del fluido

μ_s = viscosidad superficial

n = 0.3 enfriamiento

n = 0.4 calentamiento

$$Nu = 0.027 \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} Re^{0.8} Pr^n$$

para $Re > 1000$

Para gases

$$Nu = 0.02 Re^{0.8}$$

Superficies planas

$$Nu = 0.036 Re^{0.8} Pr^{0.33}$$

para $Re > 2 \times 10^4$

Nu = número de Nusselt

Re = número de Reynolds

Pr = número de Prandtl

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección

v = velocidad del aire

Para aire

$$h_c = 5.7 + 3.9v \text{ para } v < 5 \text{ m/s}$$

$$h_c = 7.4v^{0.8} \text{ para } 5 < v < 30 \text{ m/s}$$

Exterior de tubos

$$Nu = 0.26 Re^{0.6} Pr^{0.3}$$

para $Re > 200$

Nu = número de Nusselt

Re = número de Reynolds

Pr = número de Prandtl

$$Nu = 0.86 Re^{0.43} Pr^{0.3}$$

para $1 < Re < 200$

Radiación

$$q = A\varepsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

q = velocidad de transmisión de calor

$$\sigma = 5.73 \times 10^{-8} \frac{J}{m^2 s K^4}$$

A = área de transmisión de calor

ε = emisividad

σ = constante Stefan-Boltzmann

T_1 = temperatura absoluta del emisor

T_2 = temperatura absoluta del receptor

Transferencia de calor en estado no estacionario

Bi = número de Biot



$$Bi = \frac{h_c d}{k}$$

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección
 d = dimensión media característica
 k = conductividad térmica del producto

Cuando $Bi < 0.2$

$$\theta = \frac{mC_p}{h_c A} \ln \left(\frac{T_0 - T_1}{T_0 - T_2} \right)$$

θ = tiempo
 m = masa del producto
 C_p = calor específico del producto
 h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección

Cuando $Bi > 0.2$

$$Y = \frac{T_0 - T_2}{T_0 - T_1}$$

A = área
 Y = relación adimensional de temperaturas
 T_0 = temperatura del fluido que calienta o enfriá

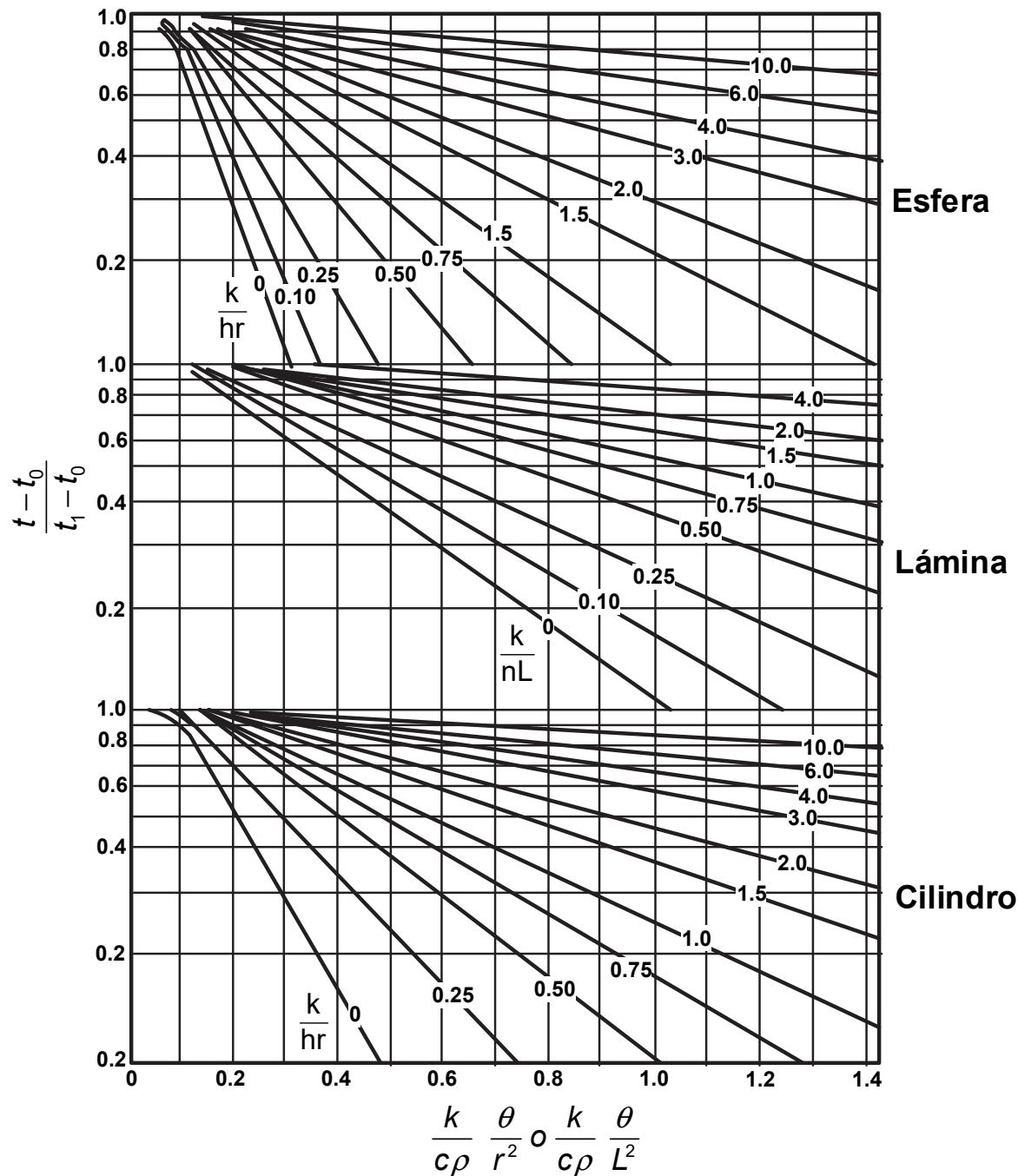
$$F_o = \frac{k\theta}{C_p \rho d^2}$$

T_1 = temperatura inicial del producto
 T_2 = temperatura final del producto
 d = dimensión media característica
 F_o = número de Fourier
 k = conductividad térmica del producto
 ρ = densidad



Conducción en estado no estacionario

Temperatura en el centro de una esfera, una lámina y un cilindro de dimensiones infinitas





Esterilización

$$t = 12 \frac{2.303}{k} = 12D$$

$$k = Ae^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

$$F_0 = t_1 10^{\frac{T_1 - 121.1}{z}} + t_2 10^{\frac{T_2 - 121.1}{z}} + \dots + t_n 10^{\frac{T_n - 121.1}{z}}$$

Valor D

$$k = \frac{2.303}{D}$$

Valor Z

$$z = \frac{T_2 - T_1}{\log D_1 - \log D_2}$$

Letalidad

$$F = D_{121^\circ C} (\log N_0 - \log N)$$

D = tiempo para reducir un logaritmo base 10 la población inicial de *Clostridium botulinum*

t = tiempo de muerte térmica

k = velocidad de reacción

A = factor de Arrhenius

R = constante de los gases

T = temperatura absoluta

E_a = energía de activación

t_1, t_2, \dots, t_n = tiempo de cada periodo de calentamiento, retención o enfriamiento

T_1, T_2, \dots, T_n = temperatura de cada periodo de calentamiento

F_0 = tiempo en minutos a 121.1 °C

z = cambio de temperatura para reducir 10 veces el valor de D

k = constante de velocidad de destrucción de microorganismos (0.72289 min)

D = tiempo de reducción (min)

Pasteurización

$$F_{T_1}^z = D_{T_1} \log_{10} \frac{N_o}{N}$$

$$F_{T_1}^z = t 10^{(T - T_1) / z}$$

$F_{T_1}^z$ = tiempo de proceso

T_1 = temperatura estándar a 62.8°C

T = temperatura del proceso real

t = tiempo de muerte térmica

z = cambio de temperatura para reducir 10 veces el valor de D

N_o = número original de organismos viables

N = número de organismos viables en un tiempo dado

D_{T_1} = tiempo de reducción decimal a la T1



Enfriamiento

$$q = h_c A (T_s - T_1)$$

(alimentos cuasi-homogéneos)

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\phi_i}{k_i}}$$

(las capas siguen la misma trayectoria que el flujo de calor)

$$k = \sum_{i=1}^n k_i \phi_i$$

$$q = m\lambda$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

$$\frac{1}{Bi} = \frac{k}{h_c x_1}$$

q = velocidad de transmisión de calor

A = área

T_s = temperatura en la superficie del material que se va a enfriar

T_1 = temperatura del medio ambiente

C_p = capacidad calorífica

ρ = densidad

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección

x = dimensión del material a enfriar

$x_1 = x/2$

m = flujo másico

λ = constante de calor latente

k_i = conductividad térmica de cada componente

k = conductividad térmica

ϕ_i = fracción volumétrica de cada componente

α = difusividad térmica

$\frac{1}{Bi}$ = inverso del número de Biot



Congelación

$$Q = \frac{kA}{x} (T_f - T_s)$$

$$t = \frac{\lambda\rho}{T_f - T_1} \left(\frac{a}{2h_c} + \frac{a^2}{8k} \right)$$

(para otras formas geométricas)

$$t = \frac{\lambda\rho}{T_f - T_1} \left(\frac{Pa}{h_c} + \frac{Ra^2}{k} \right)$$

$$Y = \frac{T_c - T_0}{T_1 - T_0}$$

$$F_0 = \frac{\alpha\Delta t}{\Delta x^2}$$

$$m = \frac{1}{Bi} = \frac{k}{h_c x}$$

Q = cantidad de calor

A = área superficial

t = tiempo de congelación

ρ = densidad del material que se está congelando

λ = calor latente

T_s = temperatura en la superficie del material que se va a congelar

T_f = temperatura de congelación

T_1 = temperatura del medio ambiente

P = $\frac{1}{2}$ para una placa infinita, $\frac{1}{6}$ para una esfera, $\frac{1}{4}$ para un cilindro infinito

R = $\frac{1}{8}$ para una placa infinita, $\frac{1}{24}$ para una esfera, $\frac{1}{16}$ para un cilindro infinito

a = espesor de placa a congelar

x = espesor de capa congelada

k = conductividad térmica del material congelado

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección

T_0 = temperatura del medio frío

T_1 = temperatura inicial del producto

T_c = temperatura final de enfriamiento

Y = relación adimensional del proceso de enfriamiento

F_0 = número de Fourier

α = difusividad térmica

Δt = gradiente de tiempo

Δx = gradiente de espesor

Bi = número de Biot

m = factor de forma

Transferencia de masa

Balance general de materia y energía

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Entrada por las} \\ \text{fronteras del sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Salida por las} \\ \text{fronteras del sistema} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Generación dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Consumo dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Acumulación dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\}$$

Fracciones molares

$$\text{fracción molar de } A = \frac{(\text{moles de } A)}{(\text{moles totales})}$$

$$\text{fracción en masa de } A = \frac{(\text{masa de } A)}{(\text{masas totales})}$$

Tiempo de secado

Tiempo de secado por aspersión en partículas esféricas

$$t = \frac{\lambda D^2 \rho}{12 k_a \Delta T} \Delta w$$

Tiempo de secado a periodo de velocidad constante

$$t_{cte} = \frac{W_{inicial} - W_{crítica}}{V_{cte}}$$

$$V_{cte} = \frac{h_c A}{\lambda} (T_a - T_s)$$

$$h_a = c_s (T_a - T_0) + w \lambda_L$$

t = tiempo de secado

λ = calor latente de vaporización

D = diámetro de partícula

ρ = densidad

k_d = conductividad térmica del aire alrededor de la gota

ΔT = diferencia de temperatura

Δw = diferencia de humedad

t_{cte} = tiempo de secado a periodo de velocidad constante

$W_{inicial}$ = humedad inicial del producto

$W_{crítica}$ = humedad crítica del producto

V_{cte} = velocidad de secado

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección

A = área superficial

T_a = temperatura de bulbo seco del aire

T_s = temperatura de bulbo húmedo del aire

h_a = entalpía del aire (kJ/kg)

c_s = humedad del aire caliente (kJ/kg)

T_a = temperatura del aire (°C)

T_0 = temperatura de referencia (°C)

w = humedad absoluta (kg de agua/kg de aire seco)

λ_L = calor latente de vaporización del agua (kJ/kg)

$$h_p = c_{pp} (T_p - T_0) + w c_{pw} (T_p - T_0)$$



h_p = entalpía del producto alimenticio (kJ/kg)

c_{pp} = calor específico del producto sólido

$$\left(\frac{kJ}{kg} {}^{\circ}\!C \right)$$

T_p = temperatura del producto (°C)

c_{pw} = calor específico del agua $\left(\frac{kJ}{kg} {}^{\circ}\!C \right)$

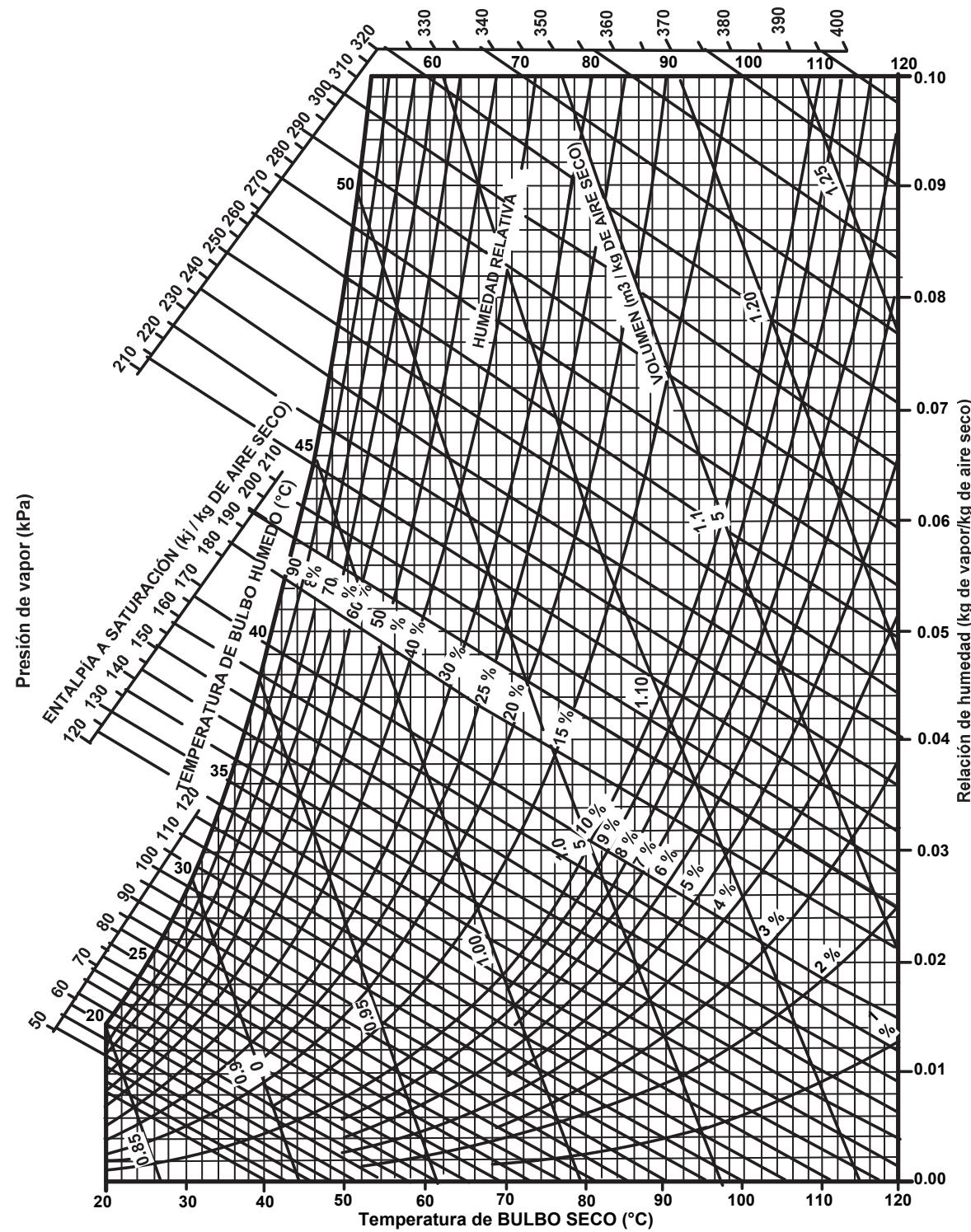
w = contenido de humedad del producto

$$\left(\frac{kg \text{ de agua}}{kg \text{ de sólidos}} \right)$$



Carta psicométrica a altas temperaturas

Presión atmosférica 1 atm

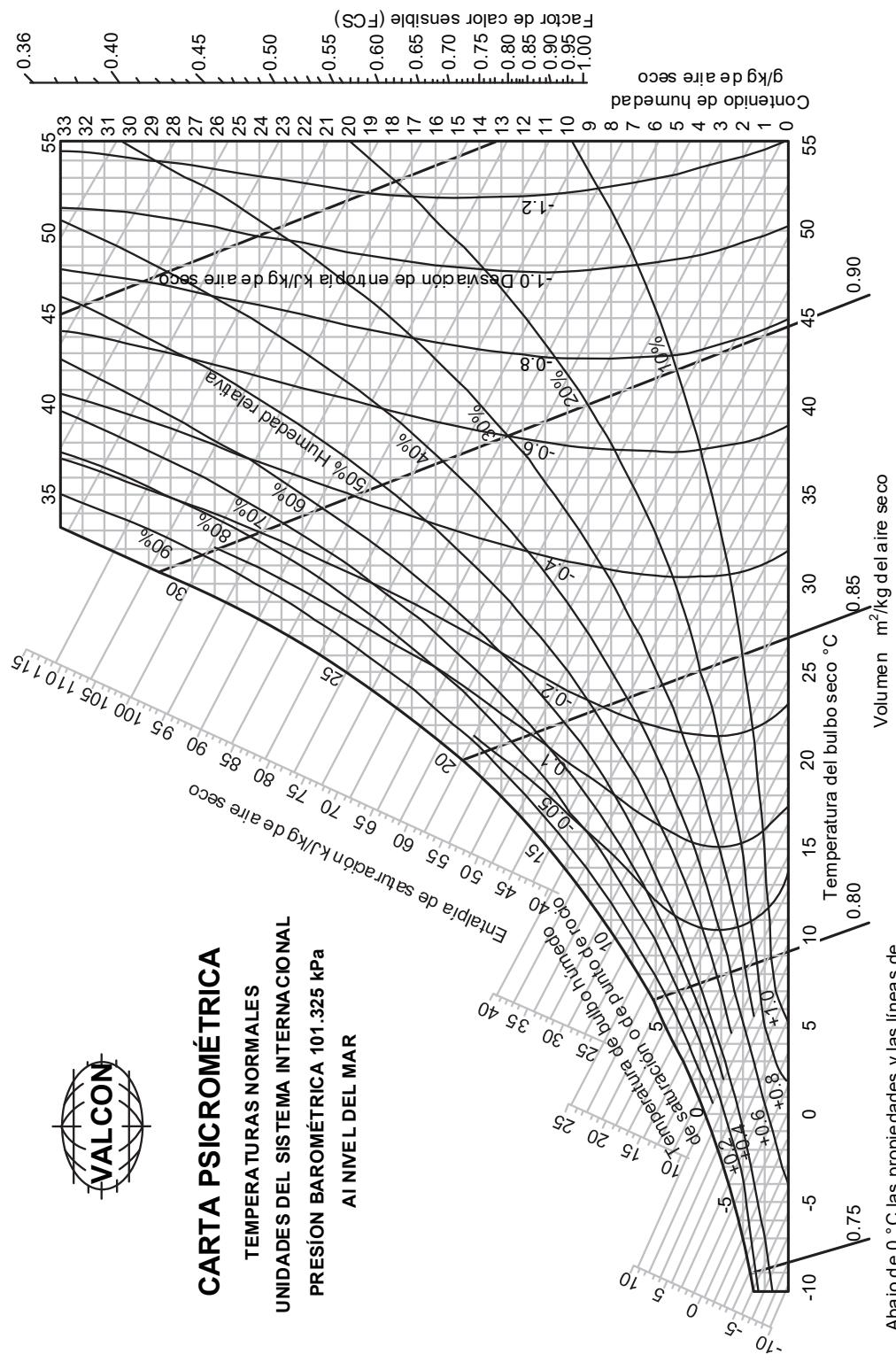


Carta psicrométrica a bajas temperaturas



CARTA PSICROMÉTRICA

TEMPERATURAS NORMALES
UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL
PRESSIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa
AL NIVEL DEL MAR





Coeficientes de distribución

$$k_i = \frac{y_{ie}}{x_{ie}}$$

k_i = coeficiente de distribución para la especie i

y_{ie} = composición de la especie i en la fase vapor en equilibrio

x_{ie} = composición de la especie i en la fase líquida en equilibrio

P_i = presión de vapor de la sustancia i .

P = presión total del sistema

Cinética de reacción

Orden de reacción

Primer orden

$$kt = -\ln(1 - x_A) = -\ln \frac{C_A}{C_{A0}}$$

k = constante de velocidad

t = tiempo de reacción

x_A = fracción molar del compuesto A al tiempo t

C_A = concentración del compuesto A al tiempo t

C_{A0} = concentración inicial del compuesto A

C_B = concentración del compuesto B al tiempo t

C_{B0} = concentración inicial del compuesto B

x_B = fracción molar del compuesto B al tiempo t

Segundo orden

$A + B \rightarrow \text{Productos}$

$$\begin{aligned} kt(C_{B0} - C_{A0}) &= \ln \frac{1 - x_B}{1 - x_A} = \ln \frac{M - X_A}{M(1 - X_A)} \\ &= \ln \left(\frac{C_B C_{A0}}{C_{B0} C_A} \right) = \ln \frac{C_B}{MC_A} = C_{A0}(M-1)kt \end{aligned}$$

$$M = \frac{C_{B0}}{C_{A0}}$$

$2a \rightarrow \text{Productos}$

$$kt = \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = \frac{1}{C_{A0}} \left(\frac{X_A}{1 - X_A} \right)$$



Ecuación de Arrhenius

$$k = A e^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

A = factor pre-exponencial

E_a = energía de activación

R = constante de los gases ideales

T = temperatura

k = constante cinética de reacción una temperatura T

Lixiviación

Balance de flujo

$$L_0 + Q_2 = L_1 + Q_1 = M$$

Balance de composición

$$L_0 y_{AO} + Q_2 x_{A2} = L_1 y_{A1} + Q_1 x_{A1} = M x_{AM}$$

$$B = N_0 L_0 + 0 = N_1 L_1 + 0 = N_M M$$

L_0 = flujo másico de sólido a la entrada

Q_2 = flujo másico de solvente utilizado en la extracción a la entrada

L_1 = flujo másico de sólido a la salida

Q_1 = flujo másico del extracto

M = velocidad de flujo total de la mezcla

y_{AO} = composición del soluto en la entrada

x_{A2} = fracción del solvente a la entrada

y_{A1} = composición del soluto en la entrada

x_{A1} = fracción del solvente a la salida

x_{AM} = fracción del soluto en la salida

B = flujo del sólido inerte

N_0 = relación de pesos de sustancias solubles e insolubles a la entrada

N_1 = relación de pesos de sustancias solubles e insolubles a la salida

N_M = relación de pesos de sustancias solubles e insolubles en la mezcla

Liofilización

$$q = h_c (T_e - T_s) = \frac{k}{\Delta L} (T_s - T_f) = \frac{I}{\frac{I}{h_c} + \frac{\Delta L}{k}} (T_e - T_f)$$

q = flujo específico de calor

h_c = coeficiente externo de transferencia de calor

T_e = temperatura externa del gas

T_s = temperatura de la superficie del sólido seco

T_f = temperatura del plano de sublimación o capa congelada

k = conductividad térmica del sólido seco

ΔL = espesor de la capa seca

q_A = flujo específico del vapor de agua

kg = coeficiente externo de transferencia de masa

T = temperatura promedio en la capa seca

D' = difusividad promedio efectiva en la capa seca

P_{ew} = presión parcial de agua en la fase vapor

$$q_A = \frac{1}{\frac{1}{kg} + \frac{v_s T \Delta L}{D'}} (P_{fw} - P_{ew})$$



$$t = \left(\frac{L^2}{4kV_s} \right) \left(\frac{\Delta H_s}{M_A} \right) \left(\frac{1}{T_e - T_f} \right) \dots \\ \dots \left(x_1 - x_2 - \frac{x_1^2}{2} + \frac{x_2^2}{2} \right)$$

P_{fw} = presión parcial del vapor de agua en equilibrio con el plano congelado de sublimación

V_s = velocidad de secado

t = tiempo de secado entre los límites de $t = 0$ cuando $x_1 = 1.0$, y $t = t$ cuando $x_2 = x_2$

L = espesor de la muestra

M_A = peso molecular del agua

V_s = volumen del material sólido ocupado inicialmente por una unidad de kg de agua

$\frac{\Delta H_s}{M_A}$ = calor de sublimación

ΔH_s = calor latente de sublimación del hielo

x_1 = humedad en tiempo inicial

x_2 = humedad en tiempo final

Presión osmótica

$$\Pi = \frac{cRT}{M} = \frac{RT}{V_m} \ln X_A$$

Π = presión osmótica

c = concentración molar

T = temperatura

R = constante universal de los gases

M = peso molecular

V_m = volumen molar del líquido puro

X_A = fracción molar del líquido puro

Cristalización

$$\frac{\bar{N}_A}{A_l} = k_y (y_A - y'_A) = K_y (y'_A - y_{Ae}) \\ = k (y_A - y_{Ae})$$

k = coeficiente total de transferencia

k_y = coeficiente normal de transferencia de masa

y_A = fracción mol de A de sobresaturación

y'_A = fracción mol de A en la superficie

y_{Ae} = fracción mol de A de saturación

\bar{N}_A = velocidad (kg mol de A/s)

A_l = área de la superficie del cristal

G = velocidad de crecimiento

$D_2 - D_l$ = dimensión lineal con respecto al tiempo

$t_2 - t_l$ = tiempo

Difusividad

Ley de Fick

$$J_{Az} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$$

J_{Az} = flujo molar del componente A en la dirección z

D_{AB} = difusividad másica de la molécula A en B

C_A = concentración de A

z = distancia de difusión

Operaciones físico mecánicas

Filtración (a caída de presión constante)

$$\frac{t}{V} = \frac{K_p V}{2} + B$$

$$B = \frac{\mu R_m}{A(\Delta P)}$$

$$K_p = \frac{\mu \alpha C_s}{A^2 (\Delta P)}$$

V = volumen total de filtrado

t = tiempo

K_p = pendiente de la recta a presión constante

B = constante de filtración a presión constante

ΔP = caída de presión

A = área de filtración

C_s = concentración de sólidos

α = resistencia específica de la torta

R_m = resistencia específica del medio filtrante

μ = viscosidad del líquido

Filtración (a velocidad constante)

$$\Delta P = \frac{\mu \alpha C_s Q^2}{2A^2} t_f + \frac{\mu R_m Q}{A}$$

Q = capacidad de filtración o flujo volumétrico

k_v = pendiente de la recta a velocidad constante

C = constante de filtración a velocidad constante

$$\Delta P = k_v t_f + C$$

$$k_v = \frac{\mu \alpha C_s Q^2}{2A^2}$$

$$C = \frac{\mu R_m Q}{A}$$

Precipitación y sedimentación

$$v_t = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho) g D_p}{3C_D \rho}}$$

v_t = velocidad de precipitación libre

g = aceleración de la gravedad

D_p = diámetro de partícula

ρ_p = densidad de la partícula sólida

ρ = densidad del líquido

C_D = coeficiente de resistencia al flujo

Re = número de Reynolds

Centrifugación

$$\frac{F_c}{F_g} = 0.001118rN^2$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

$$V = \pi b (r_2^2 - r_1^2)$$

$$q_c = \frac{\omega^2 (\rho_p - \rho) D_{pc}^2}{18\mu \ln \left[\frac{2r_2}{r_1 + r_2} \right]} V$$

F_c = fuerza centrífuga

F_g = fuerza de gravedad

r = radio

N = revoluciones por minuto

ω = velocidad angular

V = volumen del tazón de la centrífuga

b = altura del tazón de la centrífuga

r_2 = radio 2 de la centrífuga

r_1 = radio 1 de la centrífuga

q_c = velocidad de flujo

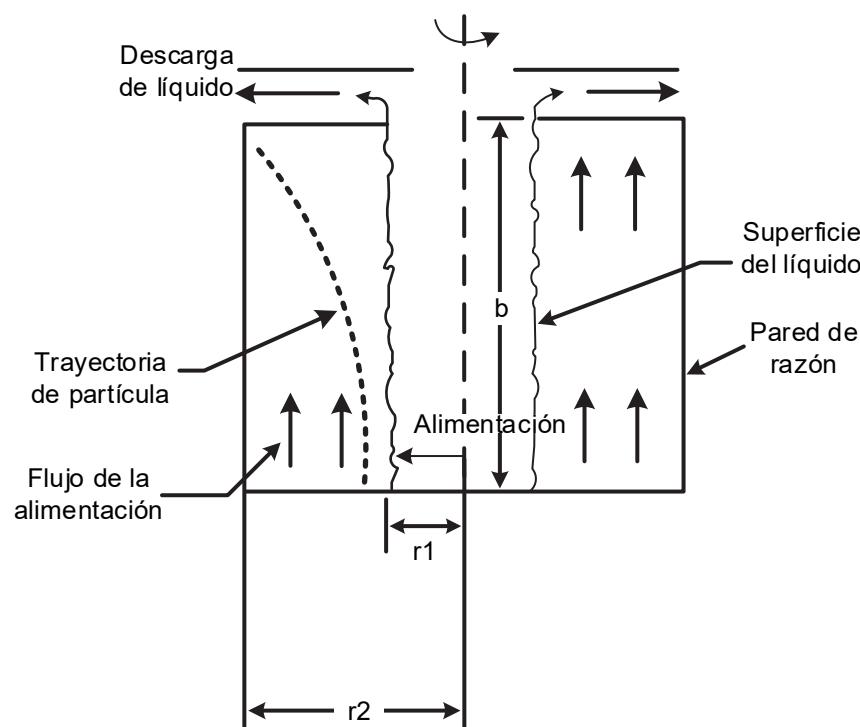
ρ_p = densidad de la partícula sólida

ρ = densidad del líquido

μ = viscosidad del líquido

D_{pc} = diámetro de la partícula critico

Representación esquemática del proceso de centrifugación





Desplazamiento lineal de las partículas en flotación y sedimentación

$$v_f = \frac{D_p^2 (\rho_L - \rho_p) g}{18\mu}$$

v_f = velocidad de flotación

v_s = velocidad de sedimentación

D_p = diámetro de la partícula

μ = viscosidad del líquido

ρ_L = densidad del líquido

ρ_p = densidad de la partícula

g = aceleración de la gravedad

Reducción de tamaño

$$i = \frac{Dp_1}{Dp_2}$$

i = grado de reducción de tamaño

P = potencia teórica

P_m = potencia de motor real

T = alimentación

Dp_1 = diámetro promedio de partículas de alimentación

Dp_2 = diámetro promedio de partículas de producto

E_i = índice de trabajo de Bond

K_R = constante de Rittinger

K_K = constante de Kick

Ley de Bond

$$\frac{P}{T} = 1.46 E_i \left[\frac{1}{\sqrt{Dp_2}} - \frac{1}{\sqrt{Dp_1}} \right]$$

Ley de Rittinger

$$\frac{P}{T} = K_R \left[\frac{1}{Dp_2} - \frac{1}{Dp_1} \right]$$

Ley de Kick

$$\frac{P}{T} = K_K \ln \frac{Dp_1}{Dp_2}$$

Escala de tamices Tyler estándar

Abertura del tamiz		Diámetro nominal del alambre		
mm	Pulg. (equivalentes aproximados)	mm	Pulg. (equivalentes aproximados)	Designación Tyler equivalente
26.9	1.06	3.90	0.1535	1.050 pulg.
25.4	1.00	3.80	0.1496	
22.6	0.875	3.50	0.1378	0.883 pulg.
19.0	0.750	3.30	0.1299	0.742 pulg.
16.0	0.625	3.00	0.1181	0.624 pulg.
13.5	0.530	2.75	0.1083	0.525 pulg.
12.7	0.500	2.67	0.1051	
11.2	0.438	2.45	0.0965	0.441 pulg.
9.51	0.375	2.27	0.0894	0.371 pulg.
8.00	0.312	2.07	0.0815	23 mallas
6.73	0.265	1.87	0.0736	3 mallas
6.35	0.250	1.82	0.0717	
5.66	0.223	1.68	0.0661	33 mallas
4.76	0.187	1.54	0.0606	4 mallas
4.00	0.157	1.37	0.0539	5 mallas
3.36	0.132	1.23	0.0484	6 mallas
2.83	0.111	1.10	0.0430	7 mallas
2.38	0.0937	1.00	0.0394	8 mallas
2.00	0.0787	0.900	0.0354	9 mallas
1.68	0.0661	0.810	0.0319	10 mallas
1.41	0.0555	0.725	0.0285	12 mallas
1.19	0.0469	0.650	0.0256	14 mallas
1.00	0.0394	0.580	0.0228	16 mallas
0.841	0.0331	0.510	0.0201	20 mallas
0.707	0.0278	0.450	0.0177	24 mallas
0.595	0.0234	0.390	0.0154	28 mallas
0.500	0.0197	0.340	0.0134	32 mallas
0.420	0.0165	0.290	0.0114	35 mallas
0.354	0.0139	0.247	0.0097	42 mallas
0.297	0.0117	0.215	0.0085	48 mallas
0.250	0.0098	0.180	0.0071	60 mallas
0.210	0.0083	0.152	0.0060	65 mallas
0.177	0.0070	0.131	0.0052	80 mallas
0.149	0.0059	0.110	0.0043	100 mallas
0.125	0.0049	0.091	0.0036	115 mallas
0.105	0.0041	0.076	0.0030	150 mallas
0.088	0.0035	0.064	0.0025	170 mallas
0.074	0.0029	0.053	0.0021	200 mallas
0.063	0.0025	0.044	0.0017	250 mallas
0.053	0.0021	0.037	0.0015	270 mallas
0.044	0.0017	0.030	0.0012	325 mallas
0.037	0.0015	0.025	0.0010	400 mallas

Control estadístico del proceso

Capacidad del proceso

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

$$C_r = \frac{6\sigma}{ES - EI}$$

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma}$$

$$C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

Índice K

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} \times 100$$

Índice Z

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma}$$

$$Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma}$$

Índice de Taguchi

$$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$$

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

ES = límite superior de especificación

EI = límite inferior de especificación

σ = desviación estándar

\bar{R} = rango promedio

d_2 = factor para la línea central

C_p = índice de capacidad del proceso

C_r = razón de capacidad potencial

C_{pk} = capacidad real del proceso

C_{pi} = capacidad para la especificación inferior

C_{ps} = capacidad para la especificación superior

K = índice de centrado del proceso

C_{pm} = Índice de Taguchi

Z_s = índice superior

Z_i = índice inferior

N = punto medio de las especificaciones

μ = promedio de medias

τ = desviación

Tabla para control de procesos

Límites para el control de procesos						
	Con valores específicos μ y σ conocidos			Sin valores específicos μ y σ desconocidos		
Tipo	LCC	LSC	LIC	LCC	LSC	LIC
\bar{X} y R Subgrupos reducidos	Para medias: μ	$\mu + A\sigma$	$\mu - A\sigma$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
	Para rangos: $D_2\sigma$	$D_2 \sigma$	$D_1 \sigma$	\bar{R}	$D_4 \bar{R}$	$D_3 \bar{R}$
\bar{X} y S Subgrupos reducidos	Para medias: μ	$\mu + A\sigma$	$\mu - A\sigma$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$	$\bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$
	Para desviación estándar: $c_3\sigma$	$B_6 \sigma$	$B_5 \sigma$	\bar{S}	$B_4 \bar{S}$	$B_3 \bar{S}$
\bar{X} y S Subgrupos grandes	Para medias: μ	$\mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$\mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{n}}$	$\bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{n}}$
	Para desviación estándar: σ	$\sigma + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$	$\sigma - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$	\bar{S}	$\bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{2n}}$	$\bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{2n}}$

LSC: Límite superior de control

LIC: Límite inferior de control

LCC: Límite central de control

Tabla de gráficos por atributos			
Tipo	LCC	LSC	LIC
Proporción defectuosa			
1. Con una especificación dada	P'	$P' + 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}}$	$P' - 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}}$
2. Sin especificación	\bar{P}	$\bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Número de elementos defectuosos			
3. Con una especificación dada	nP'	$nP' + 3\sqrt{n p' (1-p')}$	$nP' - 3\sqrt{n p' (1-p')}$
4. Sin especificación	$n\bar{P}$	$n\bar{P} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$n\bar{P} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
Número de defectos			
5. Con una especificación dada	C'	$C' + 3\sqrt{C'}$	$C' - 3\sqrt{C'}$
6. Sin especificación	\bar{C}	$\bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}}$	$\bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}}$
Número de defectos por unidad			
7. Con una especificación dada	$\frac{C'}{n}$	$\frac{C'}{n} + \left(\frac{3}{\sqrt{n}}\right)\sqrt{C'}$	$\frac{C'}{n} - \left(\frac{3}{\sqrt{n}}\right)\sqrt{C'}$
8. Sin especificación	$\frac{\bar{C}}{n}$	$\frac{\bar{C}}{n} + \left(\frac{3}{\sqrt{n}}\right)\sqrt{\bar{C}}$	$\frac{\bar{C}}{n} - \left(\frac{3}{\sqrt{n}}\right)\sqrt{\bar{C}}$
Gráfico de deméritos			
	\bar{D}	$\bar{D} + 3\sqrt{W_1^2\bar{C}_1 + W_2^2\bar{C}_2 + \dots + W_k^2\bar{C}_k}$	$\bar{D} - 3\sqrt{W_1^2\bar{C}_1 + W_2^2\bar{C}_2 + \dots + W_k^2\bar{C}_k}$

Tabla de muestreo sencillo por límite del promedio de calidad final (LPCF) 2.0%

Tamaño de lote	Promedio del proceso						Promedio del proceso						Promedio del proceso					
	0 a 0.04%			0.05 a 0.40%			0.41 a 0.80%			0.81 a 1.20%			1.21 a 1.60%			1.61 a 2.00%		
	n	c	P _t %	n	c	P _t %	n	c	P _t %	n	c	P _t %	n	c	P _t %	n	c	P _t %
1-15	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...
16-50	14	0	13.6	14	0	13.6	14	0	13.6	14	0	13.6	14	0	13.6	14	0	13.6
51-100	16	0	12.4	16	0	12.4	16	0	12.4	16	0	12.4	16	0	12.4	16	0	12.4
101-200	17	0	12.2	17	0	12.2	17	0	12.2	17	0	12.2	35	1	10.5	35	1	10.5
201-300	17	0	12.3	17	0	12.3	17	0	12.3	37	1	10.2	37	1	10.2	37	1	10.2
301-400	18	0	11.8	18	0	11.8	38	1	10.0	38	1	10.0	38	1	10.0	60	2	8.5
401-500	18	0	11.9	18	0	11.9	39	1	9.8	39	1	9.8	60	2	8.6	60	2	8.6
501-600	18	0	11.9	18	0	11.9	39	1	9.8	39	1	9.8	60	2	8.6	60	2	8.6
601-800	18	0	11.9	40	1	9.6	40	1	9.6	65	2	8.0	65	2	8.0	85	3	7.5
801-1000	18	0	12.0	40	1	9.6	40	1	9.6	65	2	8.1	65	2	8.1	90	3	7.4
1001-2000	18	0	12.0	41	1	9.4	65	2	8.2	65	2	8.2	95	3	7.0	120	4	6.5
2001-3000	18	0	12.0	41	1	9.4	65	2	8.2	95	3	7.0	120	4	6.5	180	6	5.8
3001-4000	18	0	12.0	42	1	9.3	65	2	8.2	95	3	7.0	155	5	6.0	210	7	5.5
4001-5000	18	0	12.0	42	1	9.3	70	2	7.5	125	4	6.4	155	5	6.0	245	8	5.3
5001-7000	18	0	12.0	42	1	9.3	95	3	7.0	125	4	6.4	185	6	5.6	280	9	5.1
7001-10 000	42	1	9.3	70	2	7.5	95	3	7.0	155	5	6.0	220	7	5.4	350	11	4.8
10 001-20 000	42	1	9.3	70	2	7.6	95	3	7.0	190	6	5.6	290	9	4.9	505	15	4.2
20 001-50 000	42	1	9.3	70	2	7.6	125	4	6.4	220	7	5.4	395	12	4.5	720	21	3.9
50 001-100 000	42	1	9.3	95	3	7.0	160	5	5.9	290	9	4.9	505	15	4.2	955	27	3.7

Tamaño de lote	Tabla de Dodge-Roming de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote (LTPD) = 2.5%															
	Promedio del proceso			Promedio del proceso			Promedio del proceso			Promedio del proceso						
	0 a 0.05%		0.06 a 0.50%	0.51 a 1.00%		1.01 a 1.50%	1.51 a 2.00%		1.51 a 2.00%	2.01 a 2.50%		2.01 a 2.50%				
n	c	P _r %	n	c	P _r %	n	c	P _r %	n	c	P _r %	n	c	P _r %		
Todas	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...
1-10																
11-50	11	0	17.6	11	0	17.6	11	0	17.6	11	0	17.6	11	0	17.6	
51-100	13	0	15.3	13	0	15.6	13	0	15.3	13	0	15.3	13	0	15.3	
101-200	14	0	14.7	14	0	14.7	14	0	14.7	29	1	12.9	29	1	12.9	
201-300	14	0	14.9	14	0	14.9	30	1	12.7	30	1	12.7	30	1	12.7	
301-400	14	0	15.0	14	0	15.0	31	1	12.3	31	1	12.3	31	1	12.3	
401-500	14	0	15.0	14	0	15.0	32	1	12.0	32	1	12.0	49	2	10.6	
501-600	14	0	15.1	32	1	12.0	32	1	12.0	50	2	10.4	50	2	10.4	
601-800	14	0	15.1	32	1	12.0	32	1	12.0	50	2	10.5	50	2	10.5	
801-1000	15	0	14.2	33	1	11.7	33	1	11.7	50	2	10.6	70	3	9.4	
1001-2000	15	0	14.2	33	1	11.7	55	2	9.3	75	3	8.8	95	4	8.0	
2001-3000	15	0	14.2	33	1	11.8	55	2	9.4	75	3	8.8	120	5	7.6	
3001-4000	15	0	14.3	33	1	11.8	55	2	9.5	100	4	7.9	125	5	7.4	
4001-5000	15	0	14.3	33	1	11.8	75	3	8.9	100	4	7.9	150	6	7.0	
5001-7000	33	1	11.8	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4	175	7	6.7	
7001-10 000	34	1	11.4	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4	200	8	6.4	
10 001-20 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	150	6	7.0	260	10	6.0	
20 001-50 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	180	7	6.7	345	13	5.5	
50 001-100 000	34	1	11.4	80	3	8.4	125	5	7.4	235	9	6.1	435	16	5.2	

n = tamaño de muestra; c = número de aceptación.

Todos = indica que todas las piezas del lote se deben de inspeccionar.

P_r = porcentaje de defectuosos tolerable en el lote con un riesgo del consumidor (P_c) de 0.10

Tamaño de lote	Tabla de Dodge-Roming de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote (LTPD) = 1.0%											
	Promedio del proceso			Promedio del proceso			Promedio del proceso			Promedio del proceso		
	0 a 0.05%		0.06 a 0.50%	0.51 a 1.00%		1.01 a 1.50%	1.51 a 2.00%		1.51 a 2.00%	2.01 a 2.50%		
n	c	P _r %	n	c	P _r %	n	c	P _r %	n	c	P _r %	n
Todas	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0
1-10												...
11-50	11	0	17.6	11	0	17.6	11	0	17.6	11	0	17.6
51-100	13	0	15.3	13	0	15.6	13	0	15.3	13	0	15.3
101-200	14	0	14.7	14	0	14.7	14	0	14.7	29	1	12.9
201-300	14	0	14.9	14	0	14.9	30	1	12.7	30	1	12.7
301-400	14	0	15.0	14	0	15.0	31	1	12.3	31	1	12.3
401-500	14	0	15.0	14	0	15.0	32	1	12.0	32	1	12.0
501-600	14	0	15.1	32	1	12.0	32	1	12.0	50	2	10.4
601-800	14	0	15.1	32	1	12.0	32	1	12.0	50	2	10.5
801-1000	15	0	14.2	33	1	11.7	33	1	11.7	50	2	10.6
1001-2000	15	0	14.2	33	1	11.7	55	2	9.3	75	3	9.4
2001-3000	15	0	14.2	33	1	11.8	55	2	9.4	75	3	9.5
3001-4000	15	0	14.3	33	1	11.8	55	2	9.5	100	4	8.8
4001-5000	15	0	14.3	33	1	11.8	75	3	8.9	100	4	7.9
5001-7000	33	1	11.8	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4
7001-10 000	34	1	11.4	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4
10 001-20 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	150	6	7.0
20 001-50 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	180	7	6.7
50 001-100 000	34	1	11.4	80	3	8.4	125	5	7.4	235	9	6.1

n = tamaño de muestra; c = número de aceptación.

Todos = indica que todas las piezas del lote se deben de inspeccionar.

P_r = porcentaje de defectuosos tolerable en el lote con un riesgo del consumidor (P_c) de 0.10

Tabla de cálculo de los límites de control para las cartas \bar{X} y S con tamaño de muestra variable

Muestra	n	\bar{X}	S	A ₃	Carta \bar{X}			B ₃	B ₄	Carta S		
					LCL	UCL	B ₃			LCL	UCL	
1	5	74.010	0.0148	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
2	3	73.996	0.0046	1.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025	0.025	
3	5	74.008	0.0147	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
4	5	74.003	0.0091	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
5	5	74.003	0.0122	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
6	4	73.996	0.0099	1.628	73.985	74.017	0	2.266	0	0.022	0.022	
7	4	73.999	0.0055	1.628	73.985	74.017	0	2.266	0	0.022	0.022	
8	5	73.997	0.0123	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
9	4	74.004	0.0064	1.628	73.985	74.017	0	2.266	0	0.022	0.022	
10	5	73.998	0.0063	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
11	5	73.994	0.0029	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
12	5	74.001	0.0042	0.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
13	3	73.994	0.0100	0.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025	0.025	
14	5	73.990	0.0153	0.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
15	5	74.008	0.0087	1.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025	0.025	
16	5	73.997	0.0078	1.427	73.987	74.105	0	2.089	0	0.020	0.020	
17	4	73.999	0.0115	0.628	73.985	74.017	0	2.226	0	0.022	0.022	
18	5	74.007	0.0070	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
19	5	73.998	0.0085	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
20	3	74.008	0.0068	0.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025	0.025	
21	5	74.000	0.0122	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
22	5	74.002	0.0074	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
23	3	74.002	0.0119	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
24	5	74.005	0.0087	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	
25	5	73.998	0.0162	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020	0.020	

Tabla de la carta de control de la fracción disconforme con tamaño de la muestra variable

Número de muestra i	Tamaño de la muestra n _i	Número de unidades disconformes D _i	Fracción disconforme muestra $\hat{p} = D_i/n_i$	Desviación estándar $\hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{(0.096)(0.904)}{n_i}}$	Límites de control	
					LCL	UCL
1	100	12	0.120	0.029	0.009	0.183
2	80	8	0.100	0.033	0.000	0.195
3	80	6	0.075	0.033	0.000	0.195
4	100	9	0.090	0.029	0.009	0.183
5	110	10	0.091	0.028	0.012	0.180
6	110	12	0.109	0.028	0.012	0.180
7	100	11	0.110	0.029	0.009	0.183
8	100	16	0.160	0.029	0.009	0.183
9	90	10	0.110	0.031	0.003	0.189
10	90	6	0.067	0.031	0.003	0.189
11	110	20	0.182	0.028	0.012	0.180
12	120	15	0.125	0.027	0.015	0.177
13	120	9	0.075	0.027	0.015	0.177
14	120	8	0.067	0.027	0.015	0.177
15	110	6	0.055	0.028	0.012	0.180
16	80	8	0.100	0.033	0.000	0.195
17	80	10	0.125	0.033	0.000	0.195
18	80	7	0.088	0.033	0.000	0.195
19	90	5	0.056	0.031	0.003	0.189
20	100	8	0.080	0.029	0.009	0.183
21	100	5	0.050	0.029	0.009	0.183
22	100	8	0.080	0.029	0.009	0.183
23	100	10	0.100	0.029	0.009	0.183
24	90	6	0.067	0.031	0.003	0.189
25	90	9	0.100	0.031	0.003	0.189
	2450	234	0.096			

Tabla de letras de código para el tamaño de la muestra (MIL, STD 105E)

Niveles de inspección especiales					Niveles de inspección generales		
Tamaño del lote o carga	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 a 8	A	A	A	A	A	A	B
9 a 15	A	A	A	A	A	B	C
16 a 25	A	A	B	B	B	C	D
26 a 50	A	B	B	C	C	D	E
51 a 90	B	B	C	C	C	E	F
91 a 150	B	B	C	D	D	F	O
151 a 280	B	C	D	E	E	G	H
281 a 500	B	C	D	E	F	H	J
501 a 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201 a 3 200	C	D	B	G	H	K	L
3 201 a 10000	C	D	F	G	J	L	M
10001 a 35000	C	D	F	H	K	M	N
35001 a 150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001 a 500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 en adelante	D	E	H	K	N	Q	R

Tabla para la inspección normal - muestreo único (MIL, STD 105E)

Letra del código	tamaño para el tamaño de la muestra	Niveles de calidad aceptables (inspección normal)																										
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1 000	
Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	
A	2																											
B	3																											
C	5																											
D	8																											
E	13																											
F	20																											
G	32																											
H	50																											
J	80																											
K	125																											
L	200																											
M	315																											
N	500																											
P	800																											
Q	1250																											
R	2 000																											

= Usar el primer plan debajo de la flecha

= Usar el primer plan arriba de la flecha

AC = Número de aceptación

Re = Número de rechazo

Tabla para la inspección reducida - muestreo único (MIL, STD 105E), tabla II-C

Letra del código	Tamaño para el tamaño de la muestra	Niveles de calidad aceptables (inspección reducida)																										
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1 000	
Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	
A	2																											
B	2																											
C	2																											
D	3																											
E	5																											
F	8																											
G	13																											
H	20																											
J	32																											
K	50																											
L	80																											
M	125																											
N	200																											
P	315																											
Q	500																											
R	800																											

= Usar el primer plan debajo de la flecha.

= Usar el primer plan arriba de la flecha

AC = Número de aceptación

Re = Número de rechazo

Letras códigos para el tamaño de muestra para MIL STO 414 (muestreo para variables)

Tamaño del lote	I	II	III	IV	V
3 a 8	B	B	B	B	C
9 a 15	B	B	B	B	D
16 a 25	B	B	B	C	E
26 a 40	B	B	B	D	F
41 a 65	B	B	C	E	G
66 a 110	B	B	D	F	H
111 a 180	B	C	E	G	I
181 a 300	B	D	F	H	J
301 a 500	C	E	G	I	K
501 a 800	D	F	H	J	L
801 a 1 300	E	G	I	K	L
1 301 a 3 200	F	H	J	L	M
3 201 a 8 000	G	I	L	M	N
8 001 a 22 000	H	J	M	N	O
22 001 a 110 000	I	K	N	O	P
110 001 a 550 000	I	K	O	P	Q
550 001 y más	I	K	P	Q	Q

Tabla para inspección normal y severa (variabilidad desconocida, método de la desviación estándar), NCA o AQL (inspección normal).

Letra código del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	Nivel de calidad aceptable: NCA o AQL (inspección normal)													
		0.04	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.0	15.0
M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
B	3														
C	4														
D	5														
E	7														
F	10														
G	15	0.099	0.099	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61
H	20	0.135	0.135	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53
I	25	0.155	0.156	0.380	0.551	0.877	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97
J	30	0.179	0.179	0.413	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58
K	35	0.170	0.170	0.388	0.535	0.847	1.23	1.87	2.68	3.70	5.57	8.10	11.87	16.65	22.91
L	40	0.179	0.179	0.401	0.566	0.873	1.26	1.88	2.71	3.72	5.58	8.09	11.85	16.61	22.86
M	50	0.163	0.163	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.20	7.61	11.23	15.87	22.00
N	75	1.147	0.147	0.330	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.63	15.13	21.11
O	100	0.145	0.145	0.317	0.447	0.689	1.02	1.53	2.20	3.07	4.69	6.91	10.32	14.75	20.66
P	150	0.134	0.134	0.293	0.413	0.638	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.20	20.02
Q	200	0.135	0.135	0.294	0.414	0.637	0.945	1.42	2.04	2.87	4.40	6.53	9.81	14.12	19.92
		0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00	

Niveles de calidad aceptable: NCA o AQL (inspección severa)



Curvas OC de la letra de código para el tamaño de la muestra K, (MIL, STD 105E)

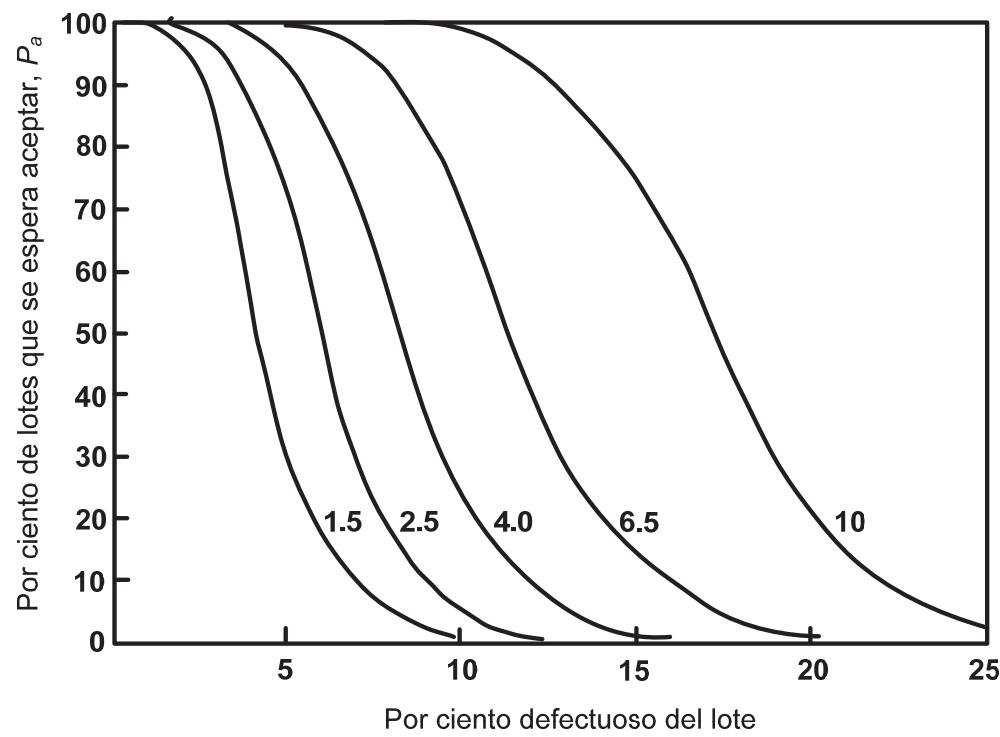
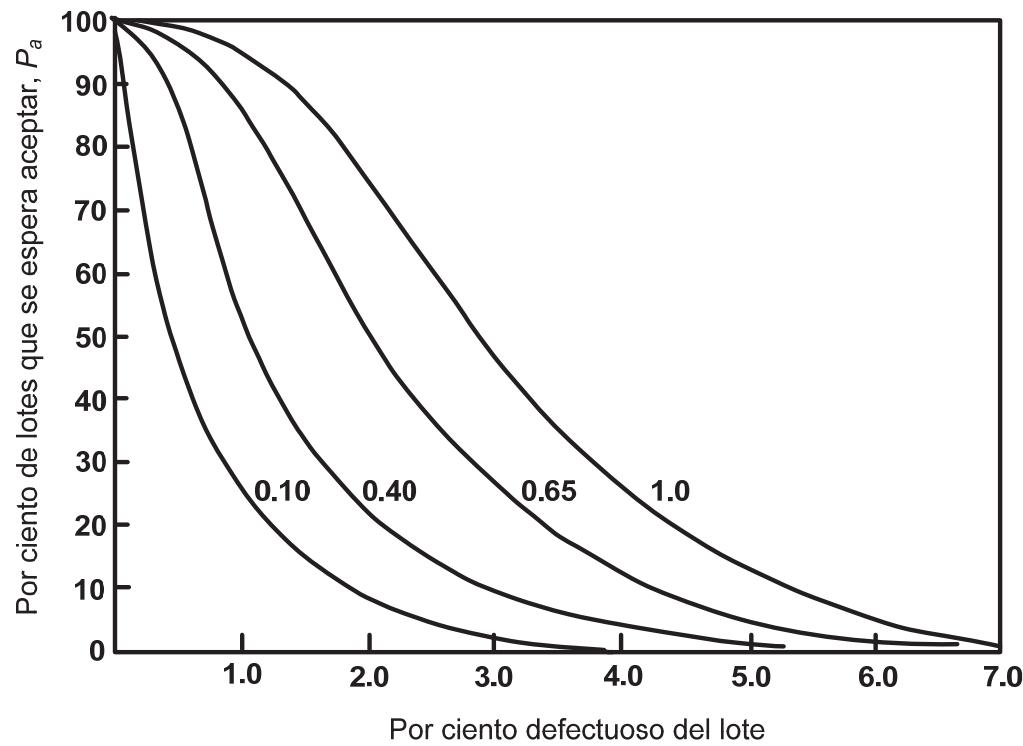


Tabla de inspección de Dodge-Romig – planes de muestreo único para AOQL = 3.0%

Tamaño del lote	Promedio del proceso																	
	0 — 0.06			0.07 — 0.60%			0.61 — 1.20%			0.121 — 1.80%			1.81 — 2.40%			2.41 — 3.00%		
	n	c	%	n	c	%	n	c	%	n	c	%	n	c	%	n	c	%
1-10	Todos	0	—	Todos	0	—	Todos	0	—	Todos	0	—	Todos	0	—	Todos	0	—
11-50	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0	10	0	19.0
51-100	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	11	0	18.0	22	1	16.4
101-200	12	0	17.0	12	0	17.0	12	0	17.0	25	1	15.1	25	1	15.1	25	1	15.1
201-300	12	0	17.0	12	0	17.0	26	1	14.6	26	1	14.6	26	1	14.6	40	2	12.8
301-400	12	0	17.1	12	0	17.1	26	1	14.7	26	1	14.7	41	2	12.7	41	2	12.7
401-500	12	0	17.2	27	1	14.1	27	1	14.1	42	2	12.4	42	2	12.4	42	2	12.4
501-600	12	0	17.3	27	1	14.2	27	1	14.2	42	2	12.4	42	2	12.4	60	3	10.8
601-800	12	0	17.3	27	1	14.2	27	1	14.2	43	2	12.1	60	3	10.9	60	3	10.9
801-1000	12	0	17.4	27	1	14.2	44	2	11.8	44	2	11.8	60	3	11.0	80	4	9.8
1001-2000	12	0	17.5	28	1	13.8	45	2	11.7	65	3	10.2	80	4	9.8	100	5	9.1
2001-3000	12	0	17.5	28	1	13.8	45	2	11.7	65	3	10.2	100	5	9.1	140	7	8.2
3001-4000	12	0	17.5	28	1	13.8	65	3	10.3	85	4	9.5	125	6	8.4	165	8	7.8
4001-5000	28	1	13.8	28	1	13.8	65	3	10.3	85	4	5.5	125	6	8.4	210	10	7.4
5001-7000	28	1	13.8	45	2	11.8	65	3	10.3	105	5	8.8	145	7	8.1	235	11	7.1
7001-10000	28	1	13.9	46	2	11.6	65	3	10.3	105	5	8.8	170	8	7.6	280	13	6.8
10001-20000	28	1	13.9	46	2	11.7	85	4	9.5	125	6	8.4	215	10	7.2	380	17	6.2
20001-50000	28	1	13.9	65	2	10.3	105	5	8.8	170	8	7.6	310	14	6.5	560	24	5.7
50 001-100 000	28	1	13.9	65	2	10.3	125	6	8.4	215	10	7.2	385	17	6.2	690	29	5.4

Tabla de inspección de Dodge-Romig de muestreo único para una tolerancia del % defectuoso en un lote (LTPD) = 1.0%

Tamaño del lote	Promedio del proceso												AOQL			AOQL		
	0 — 0.01			0.011 — 0.10%			0.11 — 0.20%			0.21 — 0.30%			0.31 — 0.40%			0.41 — 0.50%		
	n	c	%	n	c	%	n	c	%	n	c	%	n	c	%	n	c	%
1-120	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0
121-150	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06	120	0	0.06
151-200	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08	140	0	0.08
201-300	165	0	0.1	165	0	0.1	165	0	0.1	165	0	0.1	165	0	0.1	165	0	0.10
301-400	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12	175	0	0.12
401-500	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13	180	0	0.13
501-600	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.13	190	0	0.14
601-800	200	0	0.14	200	0	0.14	200	0	0.14	330	1	0.15	330	1	0.15	330	1	0.15
801-1000	205	0	0.14	205	0	0.14	205	0	0.14	335	1	0.17	335	1	0.17	335	1	0.17
1001-2000	220	0	0.15	220	0	0.15	360	1	0.19	490	2	0.21	490	2	0.21	610	3	0.22
2001-3000	220	0	0.15	375	1	0.2	505	2	0.23	630	3	0.24	745	4	0.24	870	5	0.26
3001-4000	225	0	0.15	380	1	0.2	510	2	0.23	645	3	0.25	880	5	0.28	1000	6	0.29
4001-5000	225	0	0.16	380	1	0.2	520	2	0.24	770	4	0.28	895	5	0.29	1120	7	0.31
5001-7000	230	0	0.16	385	1	0.21	655	3	0.27	780	4	0.29	1020	6	0.32	1260	8	0.34
7001-10000	230	0	0.16	520	2	0.25	660	3	0.28	910	5	0.32	1150	7	0.34	1500	10	0.37
10001-20000	390	1	0.21	525	2	0.26	785	4	0.31	1 040	6	0.35	1 400	9	0.39	1 980	14	0.43
20001-50000	390	1	0.21	530	2	0.26	920	5	0.34	1 300	9	0.39	1 890	13	0.44	2570	19	0.48
50001-100000	390	1	0.21	670	3	0.29	1 040	6	0.36	1 420	9	0.41	2 120	15	0.47	3 150	23	0.50

Tabla de los factores para construir cartas de control para variables

Observaciones en la muestra	Carta de promedios						Carta para desviaciones estándar						Carta para rangos					
	Factores para los límites de control			Factores para la línea central			Factores para los límites de control			Factores para la línea central			Factores para los límites de control			Factores para los límites de control		
n	A	A2	A3	C4	1/C4	B3	B4	B5	B6	d2	1/d2	d3	D1	D2	D3	D4		
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.8865	0.853	0.000	3.686	0.000	3.267		
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.5907	0.888	0.000	4.358	0.000	2.575		
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.4857	0.880	0.000	4.698	0.000	2.282		
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.4299	0.864	0.000	4.918	0.000	2.115		
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0.000	5.078	0.000	2.004		
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924		
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864		
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816		
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777		
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744		
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717		
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693		
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672		
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653		
16	0.750	0.213	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637		
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622		
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.628		
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597		
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585		
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575		
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566		
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557		
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548		
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541		
para n>25																		

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}}$$

$$A_3 = \frac{3}{C_4 \sqrt{n}}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{C_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = C_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_6 = C_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

$$C_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$$



Tabla de valores de la función de distribución de U P(U < U_o); U_o es el argumento; n₁ < n₂; 3 < n₂ < 10.

n₂ = 3

U _o	n ₁		
	1	2	3
0	0.25	0.10	0.05
1	0.50	0.20	0.10
2		0.40	0.20
3		0.60	0.35
4			0.50

n₂ = 4

U _o	n ₁			
	1	2	3	4
0	0.2000	0.0667	0.0286	0.0143
1	0.4000	0.1333	0.0571	0.0286
2	0.6000	0.2667	0.1143	0.0571
3		0.4000	0.2000	0.1000
4		0.6000	0.3143	0.1714
5			0.4286	0.2429
6			0.5714	0.3429
7				0.4429
8				0.5571

n₂ = 5

U _o	n ₁				
	1	2	3	4	5
0	0.1667	0.0476	0.0179	0.0079	0.0040
1	0.3333	0.0952	0.0357	0.0159	0.0079
2	0.5000	0.1905	0.0714	0.0317	0.0159
3		0.2857	0.1250	0.0556	0.0278
4		0.4286	0.1964	0.0952	0.0476
5		0.5714	0.2857	0.1429	0.0754
6			0.3929	0.2063	0.1111
7			0.5000	0.2778	0.1548
8				0.3651	0.2103
9				0.4524	0.2738
10				0.5476	0.3452
11					0.4206
12					0.5000

Tabla de valores de la función de distribución de U $P(U < U_0)$; U_0 es el argumento; $n_1 < n_2$; $3 < n_2 < 10$. Continuación 1

U_0	n_1					
	1	2	3	4	5	6
0	0.1429	0.0357	0.0119	0.0048	0.0022	0.0011
1	0.2857	0.0714	0.0238	0.0095	0.0043	0.0022
2	0.4286	0.1429	0.0476	0.0190	0.0087	0.0043
3	0.5714	0.2143	0.0833	0.0333	0.0152	0.0076
4		0.3214	0.1310	0.0571	0.0260	0.0130
5		0.4286	0.1905	0.0857	0.0411	0.0206
6		0.5714	0.2738	0.1286	0.0628	0.0325
7			0.3571	0.1762	0.0887	0.0465
8			0.4524	0.2381	0.1234	0.0660
9			0.5476	0.3048	0.1645	0.0898
10				0.3810	0.2143	0.1201
11				0.4571	0.2684	0.1548
12				0.5429	0.3312	0.1970
13					0.3961	0.2424
14					0.4654	0.2944
15					0.5346	0.3496
16						0.4091
17						0.4686
18						0.5314

Tabla de valores de la función de distribución de U $P(U < U_0)$; U_0 es el argumento; $n_1 < n_2$; $3 < n_2 < 10$. Continuación 2

U_0	1	2	3	4	5	6	7
0	0.1250	0.0278	0.0083	0.0030	0.0013	0.0006	0.0003
1	0.2500	0.0556	0.0167	0.0061	0.0025	0.0012	0.0006
2	0.3750	0.1111	0.0333	0.0121	0.0051	0.0023	0.0012
3	0.5000	0.1667	0.0583	0.0212	0.0088	0.0041	0.0020
4		0.2500	0.0917	0.0364	0.0152	0.0070	0.0035
5		0.3333	0.1333	0.0545	0.0240	0.0111	0.0055
6		0.4444	0.1917	0.0818	0.0366	0.0175	0.0087
7		0.5556	0.2583	0.1152	0.0530	0.0256	0.0131
8			0.3333	0.1576	0.0745	0.0367	0.0189
9			0.4167	0.2061	0.1010	0.0507	0.0265
10			0.5000	0.2636	0.1338	0.0688	0.0364
11				0.3242	0.1717	0.0903	0.0487
12				0.3939	0.2159	0.1171	0.0641
13				0.4636	0.2652	0.1474	0.0825
14				0.5364	0.3194	0.1830	0.1043
15					0.3775	0.2226	0.1297
16					0.4381	0.2669	0.1588
17					0.5000	0.3141	0.1914
18						0.3654	0.2279
19						0.4178	0.2675
20						0.4726	0.3100
21						0.5274	0.3552
22							0.4024
23							0.4508
24							0.5000



Tabla de valores de la función de distribución de U $P(U < U_0)$; U_0 es el argumento; $n_1 < n_2$; $3 < n_2 < 10$. Continuación 3

$n_2 = 8$		n_1						
U_0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.1111	0.0222	0.0061	0.0020	0.0008	0.0003	0.0002	0.0001
1	0.2222	0.0444	0.0121	0.0040	0.0016	0.0007	0.0003	0.0002
2	0.3333	0.0889	0.0242	0.0081	0.0031	0.0013	0.0006	0.0003
3	0.4444	0.1333	0.0424	0.0141	0.0054	0.0023	0.0011	0.0005
4	0.5556	0.2000	0.0667	0.0242	0.0093	0.0040	0.0019	0.0009
5		0.2667	0.0970	0.0364	0.0148	0.0063	0.0030	0.0015
6		0.3556	0.1394	0.0545	0.0225	0.0100	0.0047	0.0023
7		0.4444	0.1879	0.0768	0.0326	0.0147	0.0070	0.0035
8		0.5556	0.2485	0.1071	0.0466	0.0213	0.0103	0.0052
9			0.3152	0.1414	0.0637	0.0296	0.0145	0.0074
10			0.3879	0.1838	0.0855	0.0406	0.0200	0.0103
11			0.4606	0.2303	0.1111	0.0539	0.0270	0.0141
12			0.5394	0.2848	0.1422	0.0709	0.0361	0.0190
13				0.3414	0.1772	0.0906	0.0469	0.0249
14				0.4040	0.2176	0.1142	0.0603	0.0325
15				0.4667	0.2618	0.1412	0.0760	0.0415
16				0.5333	0.3108	0.1725	0.0946	0.0524
17					0.3621	0.2068	0.1159	0.0652
18					0.4165	0.2454	0.1405	0.0803
19					0.4716	0.2864	0.1678	0.0974
20					0.5284	0.3310	0.1984	0.1172
21						0.3773	0.2317	0.1393
22						0.4259	0.2679	0.1641
23						0.4749	0.3063	0.1911
24						0.5251	0.3472	0.2209
25							0.3894	0.2527
26							0.4333	0.2869
27							0.4775	0.3227
28							0.5225	0.3605
29								0.3992
30								0.4392
31								0.4796
32								0.5204

Tabla de valores de la función de distribución de U P(U < U_o); U_o es el argumento; n₁ < n₂; 3 < n₂ < 10. Continuación 4

n₂ = 9

U _o	n ₁								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.1000	0.0182	0.0045	0.0014	0.0005	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
1	0.2000	0.0364	0.0091	0.0028	0.0010	0.0004	0.0002	0.0001	0.0000
2	0.3000	0.0727	0.0182	0.0056	0.0020	0.0008	0.0003	0.0002	0.0001
3	0.4000	0.1091	0.0318	0.0098	0.0035	0.0014	0.0006	0.0003	0.0001
4	0.5000	0.1636	0.0500	0.0168	0.0060	0.0024	0.0010	0.0005	0.0002
5		0.2182	0.0727	0.0252	0.0095	0.0038	0.0017	0.0008	0.0004
6		0.2909	0.1045	0.0378	0.0145	0.0060	0.0026	0.0012	0.0006
7		0.3636	0.1409	0.0531	0.0210	0.0088	0.0039	0.0019	0.0009
8		0.4545	0.1864	0.0741	0.0300	0.0128	0.0058	0.0028	0.0014
9		0.5455	0.2409	0.0993	0.0415	0.0180	0.0082	0.0039	0.0020
10			0.3000	0.1301	0.0559	0.0248	0.0115	0.0056	0.0028
11			0.3636	0.1650	0.0734	0.0332	0.0156	0.0076	0.0039
12			0.4318	0.2070	0.0949	0.0440	0.0209	0.0103	0.0053
13			0.5000	0.2517	0.1199	0.0567	0.0274	0.0137	0.0071
14				0.3021	0.1489	0.0723	0.0356	0.0180	0.0094
15				0.3552	0.1818	0.0905	0.0454	0.0232	0.0122
16				0.4126	0.2188	0.1119	0.0571	0.0296	0.0157
17				0.4699	0.2592	0.1361	0.0708	0.0372	0.0200
18				0.5301	0.3032	0.1638	0.0869	0.0464	0.0252
19					0.3497	0.1942	0.1052	0.0570	0.0313
20					0.3986	0.2280	0.1261	0.0694	0.0385
21					0.4491	0.2643	0.1496	0.0836	0.0470
22					0.5000	0.3035	0.1755	0.0998	0.0567
23						0.3445	0.2039	0.1179	0.0680
24						0.3878	0.2349	0.1383	0.0807
25						0.4320	0.2680	0.1606	0.0951
26						0.4773	0.3032	0.1852	0.1112
27						0.5227	0.3403	0.2117	0.1290
28							0.3788	0.2404	0.1487
29							0.4185	0.2707	0.1701
30							0.4591	0.3029	0.1933
31							0.5000	0.3365	0.2181
32								0.3715	0.2447
33								0.4074	0.2729
34								0.4442	0.3024
35								0.4813	0.3332
36								0.5187	0.3652
37									0.3981
38									0.4317
39									0.4657
40									0.5000

Tabla de valores de la función de distribución de U P ($U < U_0$); U_0 es el argumento; $n_1 < n_2$; $3 < n_2 < 10$. Continuación 5

$n_2 = 10$

U_0	n_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.0909	0.0152	0.0035	0.0010	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.1818	0.0303	0.0070	0.0020	0.0007	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.2727	0.0606	0.0140	0.0040	0.0013	0.0005	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
3	0.3636	0.0909	0.0245	0.0070	0.0023	0.0009	0.0004	0.0002	0.0001	0.0000
4	0.4545	0.1364	0.0385	0.0120	0.0040	0.0015	0.0006	0.0003	0.0001	0.0001
5	0.5455	0.1818	0.0559	0.0180	0.0063	0.0024	0.0010	0.0004	0.0002	0.0001
6		0.2424	0.0804	0.0270	0.0097	0.0037	0.0015	0.0007	0.0003	0.0002
7		0.3030	0.1084	0.0380	0.0140	0.0055	0.0023	0.0010	0.0005	0.0002
8		0.3788	0.1434	0.0529	0.0200	0.0080	0.0034	0.0015	0.0007	0.0004
9		0.4545	0.1853	0.0709	0.0276	0.0112	0.0048	0.0022	0.0011	0.0005
10		0.5455	0.2343	0.0939	0.0376	0.0156	0.0068	0.0031	0.0015	0.0008
11			0.2867	0.1199	0.0496	0.0210	0.0093	0.0043	0.0021	0.0010
12			0.3462	0.1518	0.0646	0.0280	0.0125	0.0058	0.0028	0.0014
13			0.4056	0.1868	0.0823	0.0363	0.0165	0.0078	0.0038	0.0019
14			0.4685	0.2268	0.1032	0.0467	0.0215	0.0103	0.0051	0.0026
15			0.5315	0.2697	0.1272	0.0589	0.0277	0.0133	0.0066	0.0034
16				0.3177	0.1548	0.0736	0.0351	0.0171	0.0086	0.0045
17				0.3666	0.1855	0.0903	0.0439	0.0217	0.0110	0.0057
18				0.4196	0.2198	0.1099	0.0544	0.0273	0.0140	0.0073
19				0.4725	0.2567	0.1317	0.0665	0.0338	0.0175	0.0093
20				0.5275	0.2970	0.1566	0.0806	0.0416	0.0217	0.0116
21					0.3393	0.1838	0.0966	0.0506	0.0267	0.0144
22					0.3839	0.2139	0.1148	0.0610	0.0326	0.0177
23					0.4296	0.2461	0.1349	0.0729	0.0394	0.0216
24					0.4765	0.2811	0.1574	0.0864	0.0474	0.0262
25					0.5235	0.3177	0.1819	0.1015	0.0564	0.0315
26						0.3564	0.2087	0.1185	0.0667	0.0376
27						0.3962	0.2374	0.1371	0.0782	0.0446
28						0.4374	0.2681	0.1577	0.0912	0.0526
29						0.4789	0.3004	0.1800	0.1055	0.0615
30						0.5211	0.3345	0.2041	0.1214	0.0716
31							0.3698	0.2299	0.1388	0.0827
32							0.4063	0.2574	0.1577	0.0952
33							0.4434	0.2863	0.1781	0.1088
34							0.4811	0.3167	0.2001	0.1237
35							0.5189	0.3482	0.2235	0.1399
36								0.3809	0.2483	0.1575
37								0.4143	0.2745	0.1763
38								0.4484	0.3019	0.1965
39								0.4827	0.3304	0.2179
40								0.5173	0.3598	0.2406
41									0.3901	0.2644
42									0.4211	0.2894
43									0.4524	0.3153
44									0.4841	0.3421
45									0.5159	0.3697
46										0.3980
47										0.4267
48										0.4559
49										0.4853
50										0.5147

Anexos

Tablas de equivalencia

Longitud

	m	in	ft	mi
1 metro	1	39.37	3.281	6.214×10^{-4}
1 pulgada	2.54×10^{-2}	1	8.333×10^{-2}	1.578×10^{-5}
1 pie	0.3048	12	1	1.894×10^{-4}
1 milla	1609	6.336×10^4	5280	1

Masa

	kg	lb
1 kilogramo	1	2.205
1 libra	0.4536	1

Fuerza

	dina	N	lbf	kgf
1 dina	1	10^{-5}	2.248×10^{-6}	1.020×10^{-6}
1 newton		10^5	1	0.2248
1 libra fuerza	4.448×10^5	4.448		1
1 kilogramo fuerza	9.807×10^5	9.807	2.205	

Presión

	atm	mm Hg	in Hg	Pa	kPa	bar	torr	lb/in ²
1 atm	1	760	29.92	1.013×10^5	101.325	1.013	760	14.7
1 mm Hg	1.316×10^{-3}	1	0.04	133.3	0.13	1.333×10^{-3}	1	0.02
1 in Hg	0.033	25.4	1	3386.4	3.38	0.034	25.4	0.49
1 Pa	9.869×10^{-6}	7.501×10^{-3}	2.95×10^{-4}	1	1×10^{-3}	1×10^{-5}	7.5×10^{-3}	1.45×10^{-4}
1 kPa	9.87×10^{-3}	7.5	0.3	1×10^3	1	0.01	7.5	0.145
1 bar	0.987	750.062	29.53	10^5	100	1	750	14.5
1 torr	1.3×10^3	1	0.04	133.32	0.133	1.33×10^{-3}	1	0.02
1 lb/in ²	0.068	51.71	2.04	6894.8	6.894	0.07	51.71	1

Energía, trabajo, calor

	Btu	hp·h	J	cal	kWh
1 Btu	1	3.929×10^{-4}	1055	252	2.930×10^{-4}
1 hp·h	2545	1	2.385×10^6	6.413×10^5	0.7457
1 joule	9.481×10^{-4}	3.725×10^{-7}	1	0.2389	2.778×10^{-7}
1 caloría	3.969×10^{-3}	1.560×10^{-6}	4.186	1	1.163×10^{-6}
1 kWh	3413	1.341	3.600×10^6	8.600×10^5	1

Volumen

	m ³	L	ft ³	gal	onza
1 m ³	1	1000	35.31	264.17	33814
1 L	1×10^{-3}	1	0.04	0.264	33.81
1 ft ³	0.03	28.3	1	7.48	957.5
1 galón	3.79×10^{-3}	3.79	0.134	1	128
1 onza	2.96×10^{-5}	2.96×10^{-2}	1×10^{-3}	7.8×10^{-3}	1

Viscosidad

	cP	P	Pa.s
1 centi Poise	1	10^{-2}	10^{-3}
1 Poise	100	1	0.1
1 Pa.S	1×10^3	10	1

Constante de los gases ideales (R)

Valor numérico	Unidades
1.9872	cal/g/mol • K
1.9872	btu/mol lb • °R
82.057	$\text{cm}^3 \text{ atm/mol g} \cdot \text{K}$
8314.34	J/mol kg • K
82.057×10^{-3}	$\text{m}^3 \cdot \text{atm/kg mol} \cdot \text{K}$
8314.34	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{kg mol} \cdot \text{K}$
0.7302	$\text{ft}^3 \cdot \text{atm/lb mol} \cdot \text{°R}$
1545.3	$\text{ft} \cdot \text{lb}_f/\text{lb mol} \cdot \text{°R}$
8314.34	$\text{m}^3 \text{ Pa/kg mol} \cdot \text{K}$

Aceleración de la gravedad

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned} g_c &= (\text{factor de conversión gravitatorio}) = 32.1740 \text{ lb}_m \cdot \text{ft/lb}_f \cdot \text{s}^2 \\ &= 9.80665 \text{ kg}_m \cdot \text{m/kg}_f \cdot \text{s}^2 \end{aligned}$$

Tabla de propiedades del aire y el agua

Temperatura (°C)	Conductividad térmica (J/m ¹ s ⁻¹ °C)	Viscosidad (Ns/m ²)	Calor específico (kJ/kg·°C)	Densidad (kg/m ³)
Aire				
-73	0.0189	1.36 x 10 ⁻⁵	0.996	1.76
-18	0.0230	1.65 x 10 ⁻⁵	1.00	1.38
0	0.0242	1.73 x 10 ⁻⁵	1.005	1.29
38	0.0267	1.91 x 10 ⁻⁵	1.005	1.14
93	0.031	2.15 x 10 ⁻⁵	1.009	0.96
149	0.0334	2.40 x 10 ⁻⁵	1.017	0.83
204	0.0367	2.60 x 10 ⁻⁵	1.026	0.74
Agua				
-20	2.39	N/A	1.943	919.4
-10	2.25	N/A	2.027	918.9
(Hielo) 0	2.22	N/A	2.050	916.2
0	0.57	1.87 x 10 ⁻³	4.23	1000
4	0.57	1.53 x 10 ⁻³	4.23	1000
16	0.59	1.16 x 10 ⁻³	4.19	1000
27	0.61	0.87 x 10 ⁻³	4.19	998
38	0.62	0.68 x 10 ⁻³	4.19	992
66	0.66	0.43 x 10 ⁻³	4.19	977
93	0.68	0.30 x 10 ⁻³	4.19	965
100	0.68	0.28 x 10 ⁻³	4.18	958

Extraído de *Una Introducción a la transferencia de calor*, Fishenden, M. y Saunders, O. A., con permiso de la Clarendon Press, Oxford.

Calores normales de formación a 25 °C

Compuesto	ΔH (°kcal/gmol)
$\text{SO}_{2(\text{g})}$	-70.94
$\text{SO}_{3(\text{g})}$	-94.39
$\text{CO}_{(\text{g})}$	-26.416
$\text{CO}_{2(\text{g})}$	-94.052
$\text{CaCO}_{3(\text{s})}$	-289.5
$\text{CaO}_{(\text{s})}$	-151.7
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	-68.3174
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$	-57.7979
$\text{HCl}_{(\text{g})}$	-22.063
$\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{l})}$	-193.91
$\text{H}_2\text{S}_{(\text{g})}$	-4.815
$\text{HNO}_{3(\text{l})}$	-41.404
$\text{H}_3\text{PO}_{4(\text{s})}$	-1281.1
$\text{NH}_{3(\text{g})}$	-75.23
$\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{aq})}$	-87.59
$\text{NO}_{(\text{g})}$	-7.96
$\text{NO}_{2(\text{g})}$	-10
$\text{KCl}_{(\text{s})}$	-103.8
$\text{KOH}_{(\text{s})}$	-102.02
$\text{NaCl}_{(\text{s})}$	-98.321
$\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{s})}$	-75.38
$\text{CH}_4_{(\text{g})}$	-17.889
$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{l})}$	-57.04
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{(\text{l})}$	-66.35



Calores normales de combustión a 25 °C

Compuesto	ΔH (°kcal/gmol) (agua líquida y CO ₂)
C _(s)	-94.0518
CO _(g)	-67.6361
H _{2(g)}	-68.3174
CH _{4(g)}	-212.78
C ₂ H _{6(g)}	-372.820
C ₃ H _{8(g)}	-530.605
C ₄ H _{10(g)}	-687.982
C ₆ H _{6(g)}	-789.08
C ₂ H ₅ OH _(l)	-326.7
CH ₄ O _(l)	-173.65
C ₂ H ₄ O _{2(l)}	-208.34
C ₆ H ₁₂ O _{6(s)}	-673
C ₁₂ H ₂₂ O _{11(s)}	-1350.1
C ₁₂ H ₂₂ O _{11(s)}	-1348.9

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

Presión bar	Temp °C	Volumen específico		Energía interna		Entalpía				Entropía	
		m³/kg		kJ/kg		kJ/kg				kJ/kg, K	
		Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor vaportz	Líquido sat,	Vapor sat,	S _f	S _g
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2538.3	2609.7	0.8320	7.9085	
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	
1.50	111.4	1.0528	1.159	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	
2.50	127.4	1.0672	0.7187	535.10	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	7.0527	
3.00	133.6	1.0732	0.6058	561.15	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	6.9919	
3.50	138.9	1.0786	0.5243	583.95	2546.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	6.9405	
4.00	143.6	1.0836	0.4625	604.31	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	6.8959	
4.50	147.9	1.0882	0.4140	622.68	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	6.8565	
5.00	151.9	1.0926	0.3749	639.68	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	6.8212	
6.00	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600	
7.00	165.0	1.1080	0.2729	696.44	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	6.7080	
8.00	170.4	1.1080	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628	
9.00	175.4	1.1148	0.2150	741.83	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	6.6226	
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863	
15.0	198.3	1.1539	0.1318	843.16	2594.5	844.84	1947.3	2792.2	2.3150	6.4448	
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	6.3409	
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2603.1	992.11	1841.0	2803.1	2.4474	6.3409	
30.0	233.9	1.2347	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	5.1869	
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1045.4	2603.7	1049.8	1753.7	2809.4	2.7253	6.1253	
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7964	6.0701	
45.0	257.5	1.3187	0.04406	1116.2	2600.9	1121.9	1676.4	2798.3	2.8610	6.0199	
50.0	264.0	1.2892	0.03944	1147.8	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	5.9734	
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1205.4	2589.7	1213.4	1571.0	2784.3	3.0267	5.8892	
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1257.6	2580.5	1267.0	1505.1	2772.1	3.1211	5.8133	
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.3	2758.0	3.2068	5.7432	
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1350.5	2557.8	1366.3	1378.9	2742.1	3.2858	5.6772	
100	311.1	1.4524	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3596	5.6141	
110	318.2	1.4886	0.01599	1433.7	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	5.5527	
120	324.8	1.5267	0.01426	1473.0	2519.7	1491.3	1193.6	2684.9	3.4962	5.4924	

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas

Temp °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg		Entropía kJ/kg, K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor
		sat, V _l x10 ³	sat, V _g	sat, U _f	sat, U _g	sat, h _f	vaportz h _{fg}	sat, h _g	sat, S _f
0.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2 375.3	0.01	2 501.3	2 501.4	0.0000
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2 380.9	16.78	2 491.9	2 508.7	0.0610
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2 382.3	20.98	2 489.6	2 510.6	0.0761
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2 383.6	25.20	2 487.2	2 512.4	0.0912
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2 386.4	33.60	2 482.5	2 516.1	0.1212
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2 389.2	42.01	2 477.7	2 519.8	0.1510
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2 390.5	46.20	2 475.4	2 521.6	0.1658
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2 391.9	50.41	2 473.0	2 523.4	0.1806
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2 393.3	54.60	2 470.7	2 525.3	0.1953
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2 394.7	58.80	2 468.3	2 527.1	0.2099
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2 396.1	62.99	2 465.9	2 528.9	0.2245
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2 397.4	67.19	2 463.6	2 530.8	0.2390
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2 398.8	71.38	2 461.2	2 532.6	0.2535
18	0.02067	1.0014	65.038	75.57	2 400.2	75.58	2 458.8	2 534.4	0.2679
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2 401.6	79.77	2 456.5	2 536.2	0.2823
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2 402.9	83.96	2 454.1	2 538.1	0.2966
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2 404.3	88.14	2 451.8	2 539.9	0.3109
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2 405.7	92.33	2 449.4	2 541.7	0.3251
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2 407.0	96.52	2 447.0	2 543.5	0.3393
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2 408.4	100.70	2 444.7	2 545.4	0.3534
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2 409.8	104.89	2 442.3	2 547.2	0.3674
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2 411.1	109.07	2 439.9	2 549.0	0.3814
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2 412.5	113.25	2 437.6	2 550.8	0.3954
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2 413.9	117.43	2 435.2	2 552.6	0.4093
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2 415.2	121.61	2 432.8	2 554.8	0.4231
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2 416.6	125.79	2 430.5	2 556.3	0.4369
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2 418.0	129.97	2 428.1	2 558.1	0.4507
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2 419.3	134.15	2 425.7	2 559.9	0.4644
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2 420.7	138.33	2 423.4	2 561.7	0.4781
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2 422.0	142.50	2 421.0	2 563.5	0.4917
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2 423.4	146.68	2 418.6	2 565.3	0.5053
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2 424.7	150.86	2 416.2	2 567.1	0.5188
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2 427.4	159.21	2 411.5	2 570.7	0.5458
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2 430.1	167.57	2 406.7	2 574.3	0.5725
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2 436.8	188.45	2 394.8	2 538.2	0.6387
50	0.1235	1.0121	12.032	209.32	2 443.5	209.33	2 382.7	2 592.1	0.7038
55	0.1576	1.0146	9.568	230.21	2 450.1	230.23	2 370.7	2 600.9	0.7679
60	0.1994	1.0172	7.671	251.11	2 456.6	251.13	2 358.5	2 609.6	0.8312
65	2.503	1.0199	6.197	272.02	2 463.1	272.06	2 346.2	2 618.3	0.8935
70	0.3119	1.0228	5.042	292.95	2 469.6	292.98	2 333.8	2 626.8	0.9549
75	0.3858	1.0259	4.131	313.90	2 475.9	313.93	2 321.4	2 635.3	1.0155
80	0.4739	1.0291	3.407	334.89	2 482.2	334.91	2 308.8	2 643.7	1.0753
85	0.5783	1.0325	2.828	355.84	2 488.4	355.90	2 296.0	2 651.9	1.1343
90	0.7014	1.0360	2.361	376.85	2 494.5	376.82	2 283.2	2 660.1	1.1925
95	0.8455	1.0397	1.982	397.88	2 500.6	397.96	2 270.2	2 668.1	1.2500
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2 506.5	419.04	2 257.0	2 676.1	1.3069
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2 518.1	461.30	2 230.2	2 691.5	1.4185
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2 529.3	503.21	2 202.6	2 706.3	1.5276
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2 539.9	546.31	2 174.2	2 720.5	1.6344
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2 550.0	589.13	2 144.7	2 733.9	1.7391
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2 559.5	632.20	2 114.3	2 746.5	1.8418
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2 568.4	675.55	2 082.6	2 758.1	1.9427
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2 576.4	719.21	2 049.5	2 768.7	2.0419
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2 583.7	763.22	2 015.0	2 778.2	2.1396
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2 590.0	807.62	1 978.8	2 786.4	2.2356
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2 595.3	852.45	1 940.7	2 793.2	2.3309
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2 599.5	897.76	1 900.7	2 798.5	2.4248
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2 602.4	943.62	1 858.5	2 802.1	2.5178
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2 603.9	990.12	1 813.8	2 804.0	2.6099
									6.2146

240	33.44	1.2291	0.05976	1 033.2	2 604.0	1 037.3	1 766.5	2 803.8	2.7015	6.1437
250	39.73	1.2512	0.05013	1 080.4	2 602.4	1 085.4	1 716.2	2 801.5	2.7927	6.0730
260	46.88	1.2755	0.04221	1 128.4	2 599.0	1 134.4	1 662.5	2 796.6	2.8838	6.0019
270	54.99	1.3023	0.03564	1 177.4	2 593.7	1 184.5	1 605.2	2 789.7	2.9751	5.9301
280	64.12	1.3321	0.03017	1 227.5	2 586.1	1 236.0	1 543.6	2 779.6	3.0668	5.8571
290	74.36	1.3656	0.02557	1 278.9	2 576.0	1 289.1	1 477.1	2 766.2	3.1594	5.7821
300	85.81	1.4036	0.02167	1 332.0	2 563.0	1 344.0	1 404.9	2 749.0	3.2534	5.7045
320	112.7	1.4988	0.01549	1 444.6	2 522.5	1 461.5	1 238.6	2 700.1	3.4480	5.5362
340	145.9	1.6379	0.01080	1 570.3	2 464.6	1 594.2	1 027.9	2 622.0	3.6594	5.3357
360	186.5	1.8925	0.00695	1 725.2	2 351.5	1 760.5	720.5	2 481.0	3.9147	5.0526
374.14	220.9	3.1550	0.003155	2 029.6	2 029.6	2 099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298

Fuente: Foust/Wenzel/Clump/Maus/Andersen. Principios de Operaciones Unitarias.
Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales (1 in=2.54cm)

Tabla de relaciones f_h/U : g para valores de $z = 10$ °C

f_h/U	Valores de g (°C) cuando j es:							
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
0.2	2.27 · 10-5	2.46 · 10-5	2.64 · 10-5	2.83 · 10-5	3.02 · 10-5	3.20 · 10-5	3.39 · 10-5	3.58 · 10-5
0.4	7.39 · 10-3	7.94 · 10-3	8.44 · 10-3	9.00 · 10-3	9.50 · 10-3	1.00 · 10-2	1.06 · 10-2	1.11 · 10-2
0.6	4.83 · 10-2	5.24 · 10-2	5.66 · 10-2	6.06 · 10-2	6.44 · 10-2	6.83 · 10-2	7.28 · 10-2	7.67 · 10-2
0.8	0.126	0.136	0.148	0.159	0.171	0.182	0.194	0.205
1	0.227	0.248	0.269	0.291	0.312	0.333	0.354	0.376
2	0.85	0.92	1.00	1.07	1.15	1.23	1.30	1.38
3	1.46	1.58	1.69	1.81	1.93	2.04	2.16	2.28
4	2.01	2.15	2.30	2.45	2.60	2.74	2.89	3.04
5	2.47	2.64	2.82	3.00	3.17	3.35	2.53	3.71
6	2.86	3.07	3.27	3.47	3.67	3.88	4.08	4.28
7	3.21	3.43	3.66	3.89	4.12	4.34	4.57	4.80
8	3.49	3.75	4.00	4.26	4.51	4.76	5.01	5.26
9	3.76	4.03	4.31	4.58	4.86	5.13	5.41	5.68
10	3.98	4.28	4.58	4.88	5.18	5.48	5.77	6.07
20	5.46	5.94	6.42	6.89	7.37	7.84	8.32	8.79
30	6.39	6.94	7.56	8.11	8.72	9.33	9.89	10.5
40	7.11	7.72	8.39	9.06	9.72	10.4	11.1	11.7
50	7.67	8.39	9.11	9.83	10.6	11.3	12.0	12.7
60	8.22	8.94	9.72	10.5	11.2	12.0	12.7	13.5
70	8.67	7.78	10.2	11.1	11.8	12.6	13.4	14.2
80	9.01	9.89	10.7	11.6	12.3	13.2	14.0	14.8
90	9.44	10.28	11.2	12.0	12.8	13.7	14.5	15.3
100	9.78	10.7	11.6	12.4	13.3	14.1	15.0	15.8

Tabla para determinar el NMP de microorganismos

Para 3 tubos, cada uno con 0.1, 0.01 y 0.001 g de inoculo, los NMP por gramo y con intervalos de confidencia de 95 por ciento.

Tubos positivos			Lím. conf.			Tubos positivo			NMP/g			Lím. conf.		
0.1	0.01	0.001	NMP/g	Bajo	alto	0.1	0.01	0.001	NMP/g	Bajo	alto	NMP/g	Bajo	alto
0	0	0	<3.0	--	9.5	2	2	0	21	4.5	42			
0	0	1	3	0.15	9.6	2	2	1	28	8.7	94			
0	1	0	3	0.15	11	2	2	2	35	8.7	94			
0	1	1	6.1	1.2	18	2	3	0	29	8.7	94			
0	2	0	6.2	1.2	18	2	3	1	36	8.7	94			
0	3	0	9.4	3.6	38	3	0	0	23	4.6	94			
1	0	0	3.6	0.17	18	3	0	1	38	8.7	110			
1	0	1	7.2	1.3	18	3	0	2	64	17	180			
1	0	2	11	3.6	38	3	1	0	43	9	180			
1	1	0	7.4	1.3	20	3	1	1	75	17	200			
1	1	1	11	3.6	38	3	1	2	120	37	420			
1	2	0	11	3.6	42	3	1	3	160	40	420			
1	2	1	15	4.5	42	3	2	0	93	18	420			
1	3	0	16	4.5	42	3	2	1	150	37	420			
2	0	0	9.2	1.4	38	3	2	2	210	40	430			
2	0	1	14	3.6	42	3	2	3	290	90	1,000			
2	0	2	20	4.5	42	3	3	0	240	42	1,000			
2	1	0	15	3.7	42	3	3	1	460	90	2,000			
2	1	1	20	4.5	42	3	3	2	1100	180	4,100			
2	1	2	27	8.7	94	3	3	3	>1100	420	--			

Tabla para determinar el NMP de microorganismos

Para 5 tubos, cada uno con 0.1, 0.01 y 0.001 g de inoculo, los NMP por gramo y con intervalos de confidencia de 95%.

Tubos positivo			Lím. conf.			Tubos positivo			NMP/g			Lím. conf.		
0.1	0.01	0.001	NMP/g	Bajo	Alto	0.1	0.01	0.001	NMP/g	Bajo	Alto	NMP/g	Bajo	Alto
0	0	0	<1.8	--	6.8	4	0	2	21	6.8	40	6.8	40	6.8
0	0	1	1.8	0.09	6.8	4	0	3	25	9.8	70	9.8	70	9.8
0	1	0	1.8	0.09	6.9	4	1	0	17	6	40	6	40	6
0	1	1	3.6	0.7	10	4	1	1	21	6.8	42	21	6.8	42
0	2	0	3.7	0.7	10	4	1	2	26	9.8	70	26	9.8	70
0	2	1	5.5	1.8	15	4	1	3	31	10	70	31	10	70
0	3	0	5.6	1.8	15	4	2	0	22	6.8	50	22	6.8	50
1	0	0	2	0.1	10	4	2	1	26	9.8	70	26	9.8	70
1	0	1	4	0.7	10	4	2	2	32	10	70	32	10	70
1	0	2	6	1.8	15	4	2	3	38	14	100	38	14	100
1	1	0	4	0.7	12	4	3	0	27	9.9	70	27	9.9	70
1	1	1	6.1	1.8	15	4	3	1	33	10	70	33	10	70
1	1	2	8.1	3.4	22	4	3	2	39	14	100	39	14	100
1	2	0	6.1	1.8	15	4	4	0	34	14	100	34	14	100
1	2	1	8.2	3.4	22	4	4	1	40	14	100	40	14	100
1	3	0	8.3	3.4	22	4	4	2	47	15	120	47	15	120
1	3	1	10	3.5	22	4	5	0	41	14	100	41	14	100
1	4	0	11	3.5	22	4	5	1	48	15	120	48	15	120
2	0	0	4.5	0.79	15	5	0	0	23	6.8	70	23	6.8	70
2	0	1	6.8	1.8	15	5	0	1	31	10	70	31	10	70
2	0	2	9.1	3.4	22	5	0	2	43	14	100	43	14	100
2	1	0	6.8	1.8	17	5	0	3	58	22	150	58	22	150
2	1	1	9.2	3.4	22	5	1	0	33	10	100	33	10	100
2	1	2	12	4.1	26	5	1	1	46	14	120	46	14	120
2	2	0	9.3	3.4	22	5	1	2	63	22	150	63	22	150
2	2	1	12	4.1	26	5	1	3	84	34	220	84	34	220
2	2	2	14	5.9	36	5	2	0	49	15	150	49	15	150
2	3	0	12	4.1	26	5	2	1	70	22	170	70	22	170
2	3	1	14	5.9	36	5	2	2	94	34	230	94	34	230
2	4	0	15	5.9	36	5	2	3	120	36	250	120	36	250
3	0	0	7.8	2.1	22	5	2	4	150	58	400	150	58	400
3	0	1	11	3.5	23	5	3	0	79	22	220	79	22	220

Consejo Técnico

Representantes de Instituciones de Educación Superior

Dra. Liliana Alamilla Beltrán
**Asociación Mexicana de Ciencia
de los Alimentos A. C.**

Dra. Josefina Porras Saavedra
**Instituto Tecnológico Superior del
Occidente del Estado de Hidalgo**

Dra. Cristina Elizabeth Chuck Hernández
**Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey**

Dra. Raquel Zúñiga Rojas
**Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Occidente**

Dra. Laura Eugenia Pérez Cabrera
**Universidad Autónoma de
Aguascalientes**

Dr. Gerardo Méndez Zamora
Universidad Autónoma de Nuevo León

M.S.C. Lucero Méndez Mancilla
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dra. Adriana Inés Rodríguez Hernández
**Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo**

Dra. Jessica del Pilar Ramírez Anaya
Universidad de Guadalajara

Dr. César Ozuna López
Universidad de Guanajuato

Dra. María del Carmen Chaparro Mercado
Universidad Iberoamericana

Este Formulario es un instrumento de apoyo para quienes sustentarán el Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos (EGEL Plus IALI).

El Formulario para el sustentante es un documento cuyo contenido está sujeto a revisiones periódicas. Las posibles modificaciones atienden a los aportes y críticas que hagan los miembros de las comunidades académicas de instituciones de educación superior de nuestro país, los usuarios y, fundamentalmente, las orientaciones del Consejo Técnico del examen.

El Ceneval y el Consejo Técnico del EGEL Plus IALI agradecerán todos los comentarios que puedan enriquecer este material. Sírvase dirigirlos a:

Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C.

**Subdirección de Evaluación de Egreso
en Diseño, Ingenierías y Arquitectura**

Av. Camino al Desierto de los Leones (Altavista) 37,
Col. San Ángel, Álvaro Obregón,
C.P. 01000, Ciudad de México.
Tel: 55 53 22 92 00 ext. 5102
www.ceneval.edu.mx
abraham.maya@ceneval.edu.mx

El Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior es una asociación civil sin fines de lucro constituida formalmente el 28 de abril de 1994, como consta en la escritura pública número 87036 pasada ante la fe del notario 49 del Distrito Federal.

Sus órganos de gobierno son la Asamblea General, el Consejo Directivo y la Dirección General. Su máxima autoridad es la Asamblea General, cuya integración se presenta a continuación, según el sector al que pertenecen los asociados:

Asociaciones e instituciones educativas: Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, A.C.; Federación de Instituciones Mexicanas Particulares de Educación Superior, A.C.; Instituto Politécnico Nacional; Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey; Universidad Autónoma del Estado de México; Universidad Autónoma de San Luis Potosí; Universidad Autónoma de Yucatán; Universidad Nacional Autónoma de México*; Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla; Universidad Tecnológica de México.

Asociaciones y colegios de profesionales: Barra Mexicana Colegio de Abogados, A.C.; Colegio Nacional de Actuarios, A.C.; Colegio Nacional de Psicólogos, A.C.; Federación de Colegios y Asociación de Médicos Veterinarios y Zootecnistas de México, A.C.; Instituto Mexicano de Contadores Públicos, A.C.

Organizaciones productivas y sociales: Academia de Ingeniería, A.C.; Academia Mexicana de Ciencias, A.C.; Academia Nacional de Medicina, A.C.; Fundación ICA, A.C.

Autoridades educativas gubernamentales: Secretaría de Educación Pública.

El Centro está inscrito en el Registro Nacional de Instituciones Científicas y Tecnológicas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con el número 506 desde el 10 de marzo de 1995. También es miembro de la International Association for Educational Assessment.

* A petición de la institución, sus derechos y obligaciones en el Ceneval se encuentran suspendidos.

