

A grayscale photograph of a person wearing a white lab coat, a white hairnet, and a white face mask, standing in what appears to be a laboratory or food processing facility. The background shows various pieces of equipment and shelving.

# 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

**Wilson Jesús Pool Cibrián**  
Subdirector de Evaluación de Egreso en  
Diseño, Ingenierías y Arquitectura

**Erick Jiménez Tejeda**  
Responsable del EGEL Plus Sección  
Disciplinar en Ingeniería en Alimentos

***Formulario***

D.R. © 2021  
Centro Nacional de Evaluación  
para la Educación Superior, A.C. (Ceneval)

Primera edición

# Contenido

<b>Transferencia de momento</b>	<b>6</b>
Densidad relativa .....	6
Viscosidad absoluta .....	6
Viscosidad cinemática .....	6
Presión .....	6
<b>Caída de presión y coeficiente de resistencia en accesorios</b> .....	<b>7</b>
Número de Reynolds .....	7
Coeficiente de resistencia en accesorios .....	7
Tabla de coeficiente de resistencia en accesorios para régimen turbulento ( $K_f$ ) .....	7
<b>Caída de presión y factor de fricción en régimen laminar</b> .....	<b>8</b>
Fanning .....	8
Darcy .....	8
Rugosidad relativa .....	8
Diámetro de tubería en acero inoxidable y sanitaria .....	9
Especificaciones para tubos de acero comercial según norma ANSI .....	10
Factor de fricción en régimen turbulento (Diagrama de Moody) .....	11
Rugosidad relativa .....	12
<b>Ecuación de energía mecánica</b> .....	<b>13</b>
Balance de Bernoulli .....	13
Balance de energía mecánica .....	13
<b>Medición del flujo</b> .....	<b>14</b>
Tubo Pitot .....	14
Tubo Venturi .....	14
Flujos .....	14
Potencia de una bomba .....	14
<b>Agitación y Mezclado</b> .....	<b>15</b>
Mezclado .....	15
Agitación .....	15
Aumento de escala en agitadores .....	16
Extrusión .....	16
<b>Transferencia de calor</b>	<b>19</b>
<b>Intercambiadores de calor y evaporación</b> .....	<b>19</b>
Coeficiente de ensuciamientos típicos .....	22
Datos térmicos de algunos productos alimenticios .....	24
Conductividades térmicas, densidades y viscosidades de alimentos .....	26
Eficiencia térmica .....	27
<b>Transferencia de calor en estado estacionario</b> .....	<b>28</b>
<b>Conducción</b> .....	<b>28</b>
Pared simple .....	28
Pared compuesta .....	28
En tuberías .....	28
<b>Convección Natural</b> .....	<b>28</b>
Coeficiente global de transferencia de calor en un tubo .....	28
Superficies planas y cilindros verticales .....	29
Cilindros horizontales .....	29
<b>Convección Forzada</b> .....	<b>30</b>
Diferencia moderada de temperaturas y flujo laminar .....	30
Superficies planas .....	30
Exterior de tubos .....	30
Radiación .....	30
Transferencia de calor en estado no estacionario .....	31
Conducción en estado no estacionario .....	32

Esterilización .....	33
Pasteurización .....	34
Enfriamiento .....	35
Congelación .....	36
<b>Transferencia de masa</b>	<b>37</b>
<b>Balance general de materia y energía.....</b>	<b>37</b>
Fracciones molares .....	37
Tiempo de secado .....	37
Gráfico Psicométrico Altas temperaturas .....	39
Coeficientes de distribución .....	40
<b>Cinética de reacción .....</b>	<b>40</b>
Orden de reacción.....	40
Ecuación de Arrhenius .....	41
Liofilización.....	42
Presión Osmótica .....	43
Cristalización .....	43
Difusividad.....	43
<b>Operaciones físico mecánicas</b>	<b>44</b>
Filtración (a caída de presión constante) .....	44
Precipitación y sedimentación .....	44
Centrifugación .....	45
Desplazamiento lineal de las partículas .....	47
en flotación y sedimentación .....	47
Reducción de tamaño .....	47
Escala de tamices Tyler estándar .....	48
<b>Control estadístico del proceso</b>	<b>50</b>
Índice Cp .....	50
Índice K .....	50
Índice Z.....	50
Índice de Taguchi .....	50
Tabla para control de procesos .....	51
Tabla de gráficos por atributos .....	52
Tabla de muestreo sencillo por límite del promedio de calidad final (LPCF) 2.0% .....	53
Tabla de Dodge-Romig de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote (LTPD) = 2.5%. 54	54
Tabla de Dodge-Romig de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote (LTPD) = 1.0%. 55	55
Tabla de cálculo de los límites de control para las cartas $\bar{X}$ y S con tamaño de muestra variable .....	56
Tabla de la carta de control de la fracción disconforme con tamaño de la muestra variable.....	57
Tabla de letras de código para el tamaño de la muestra (MIL, STD 105E) .....	58
Tabla para la inspección normal - muestreo único (MIL, STD 105E).....	59
Tabla para la inspección reducida - muestreo único (MIL, STD 105E), tabla II-C .....	60
Curvas OC de la letra de código para el tamaño de la muestra K, (MIL, STD 105E).....	61
Tabla de inspección de Dodge-Romig – planes de muestreo único para AOQL = 3.0% .....	62
Tabla de inspección de Dodge-Romig de muestreo único para una tolerancia del % defectuoso en un lote (LTPD) = 1.0% .....	63
Tabla de los factores para construir cartas de control para variables .....	64
Tabla de valores de la función de distribución de U P(U < U <sub>o</sub> ); U <sub>o</sub> es el argumento; n <sub>1</sub> < n <sub>2</sub> ; 3 < n <sub>2</sub> < 10.....	65
<b>Anexos</b>	<b>71</b>
Tablas de equivalencia.....	71
Constante de los gases ideales (R) .....	72
Aceleración de la gravedad .....	72
Tabla de propiedades del aire y el agua .....	73
Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones.....	76
Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas .....	77
Tabla de relaciones f <sub>h</sub> /U: g para valores de z = 10 °C .....	78
Tabla para determinar el NMP de microorganismos.....	79
Tabla para determinar el NMP de microorganismos.....	80
<b>Consejo Técnico</b>	<b>81</b>





## Transferencia de momento

### Densidad relativa

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

$\rho_{rel}$  = Densidad relativa

$\rho_{fluido}$  = Densidad del fluido

$\rho_{agua}$  = Densidad del agua

### Viscosidad absoluta

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

$\mu$  = Viscosidad absoluta

$\tau$  = Esfuerzo de corte

$\dot{\gamma}$  = Velocidad de corte

### Viscosidad cinemática

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

$\mu$  = viscosidad absoluta

$\mu_c$  = viscosidad cinemática

$\rho$  = densidad del fluido

### 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

$\rho$  = 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

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

$$N_{Re\,gen} = \frac{D^n v^{2-n} \rho}{k8^{n-1}} \left( \frac{4n}{3n+1} \right)^n$$

$N_{Re}$  = Número de Reynolds

$\rho$  = Densidad del fluido

$\mu$  = Viscosidad absoluta

$D$  = Diámetro del tubo

$v$  = Velocidad lineal

$k$  = Índice de consistencia

$n$  = Índice de comportamiento al flujo

$N_{Re\,gen}$  = Número de Reynolds generalizado

### 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

$\Delta P_{acc}$  = Caída de presión en accesorios

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

$\rho$  = 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

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

$\Delta P_{tr}$  = Caída de presión en tramo recto

$L$  = Longitud de tubería

$\rho$  = Densidad

$V$  = Velocidad lineal

$N_{Re}$  = 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

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

### Darcy

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

$$\Delta P_{tr} = \frac{f_D Lv^2 \rho}{2D g_c}$$

### Rugosidad relativa

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\epsilon}{D}$$

$\epsilon$  = Rugosidad de la tubería

$D$  = Diámetro de tubería

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -3.6 \log \left[ \frac{6.9}{N_{Re}} + \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.1} \right]$$



### 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" 4<sup>th</sup> edition. Academic Press.

*Especificaciones para tubos de acero comercial según norma ANSI*

D <sub>Nominal</sub> in	Cédula	D <sub>Interior</sub> in	D <sub>Exterior</sub> 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	
	XX	9.750	

*Factor de fricción en régimen turbulento (Diagrama de Moody)*

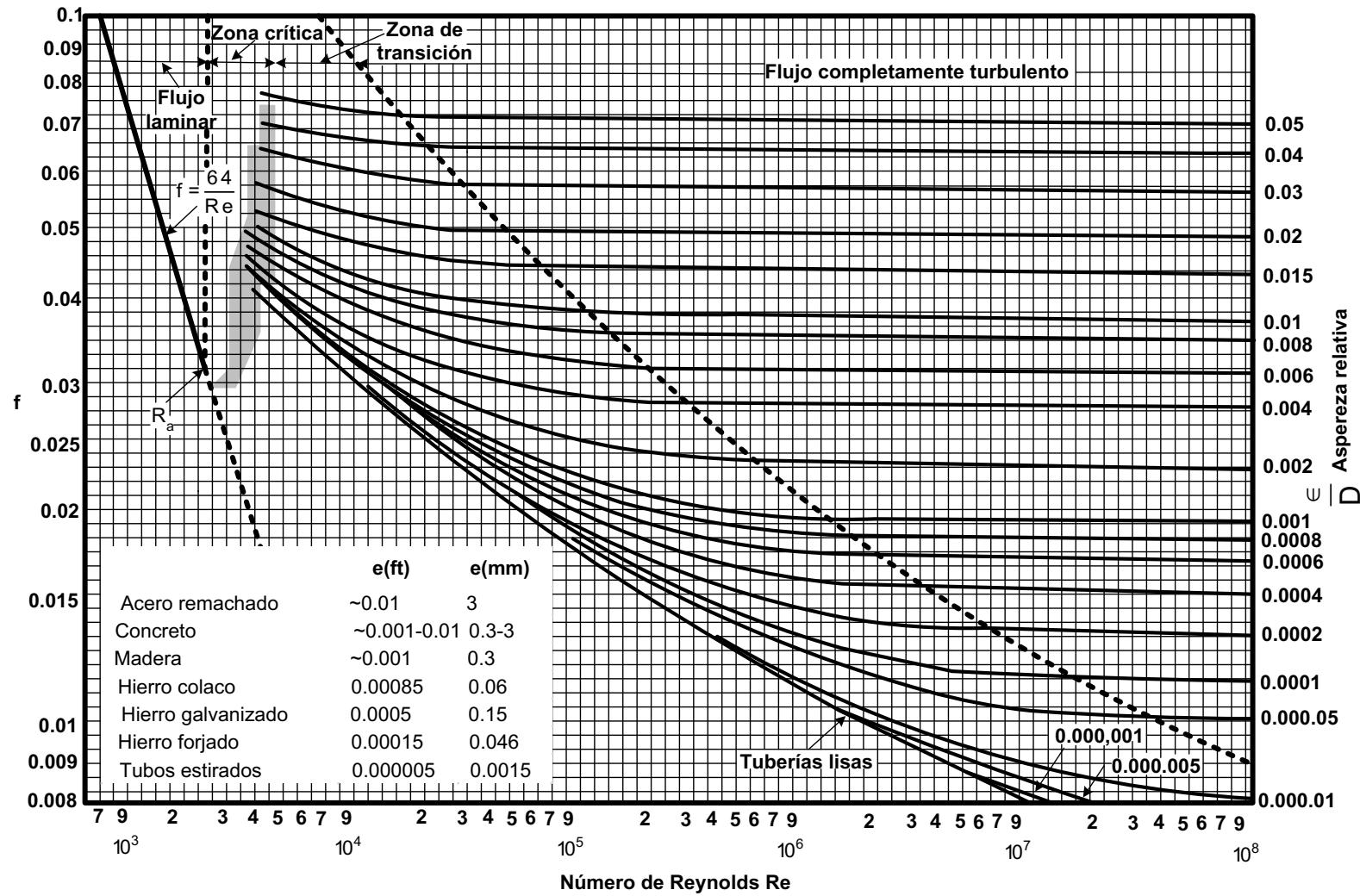
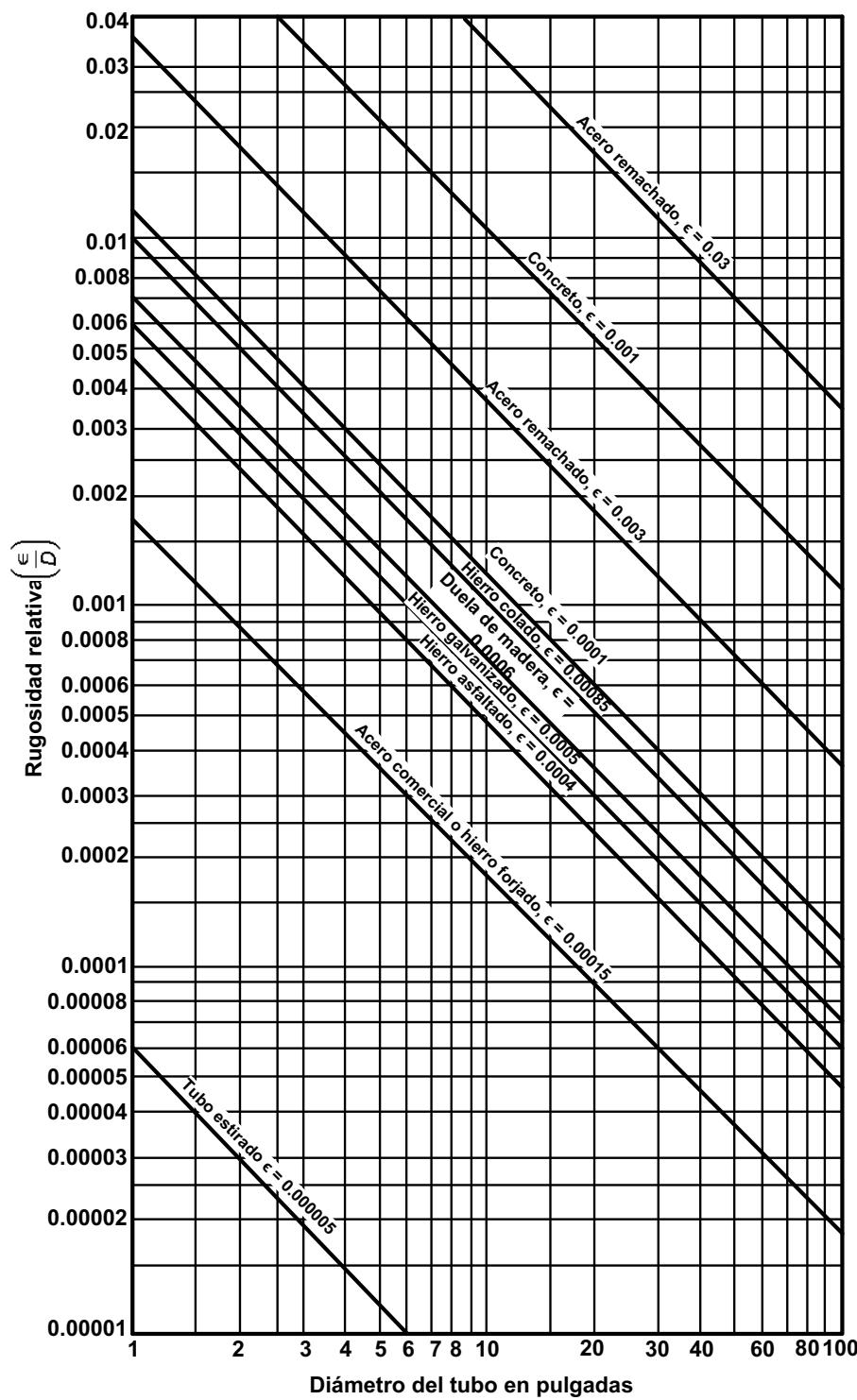


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, Trans. ASME, vol. 66, 1944.)

### 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

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

$\rho$  = 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

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

$\rho$  = Densidad



## Medición del flujo

### Tubo Pitot

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

$v$  = 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

$\rho$  = Densidad

$v_2$  = Velocidad en el estrechamiento

$D_1$  y  $D_2$  = Diámetro en el punto 1 y 2,  
respectivamente

### 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

$$\dot{V} = Av$$

$\dot{m}$  = Flujo másico

$\rho$  = Densidad del fluido

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

$A$  = Área transversal

$v$  = Velocidad lineal

### Potencia de una bomba

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

$P_b$  = Potencia de la bomba

$E_m$  = Energía mecánica

$\dot{m}$  = Flujo másico



## Agitación y Mezclado

### Mezclado

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

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

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

### Agitación

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

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

$N_p$  = Número de potencia

$N'_{Re}$  = Número Reynolds del impulsor

$N_{Fr}$  = Número de Froude

$P$  = Potencia del impulsor

$\rho$  = Densidad

$N$  = Velocidad de giro

$D$  = Diámetro del impulsor

$v$  = Velocidad lineal

$\mu$  = Viscosidad absoluta

$K_L, K_T$  = Constante para tanques (ver tabla 1)

$D_a$  = Diámetro del agitador

$g$  = Aceleración gravitacional

$\sigma$  = Tensión superficial

$\gamma$  = Fracción volumétrica de líquido o gas en la dispersión

$\bar{D}_s$  = Diámetro medio de la gota

$V$  = Velocidad

$g_c$  = Factor de conversión gravitacional

$\mu_d$  = Viscosidad dinámica

$\mu_c$  = Viscosidad cinemática



### Aumento de escala en agitadores

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

$$N_2 = N_1 \left( \frac{1}{R} \right)^n$$

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

$$J_2 = RJ_1$$

$$W_2 = RW_1$$

$V_1$  = 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

### Extrusión

Tiempo de residencia promedio

$$\bar{t} = \frac{kwhL}{Q_v \sin \theta}$$

$k$  = Numero de hilos del tornillo

$w$  = distancia entre hilos

$h$  = profundidad de hilos

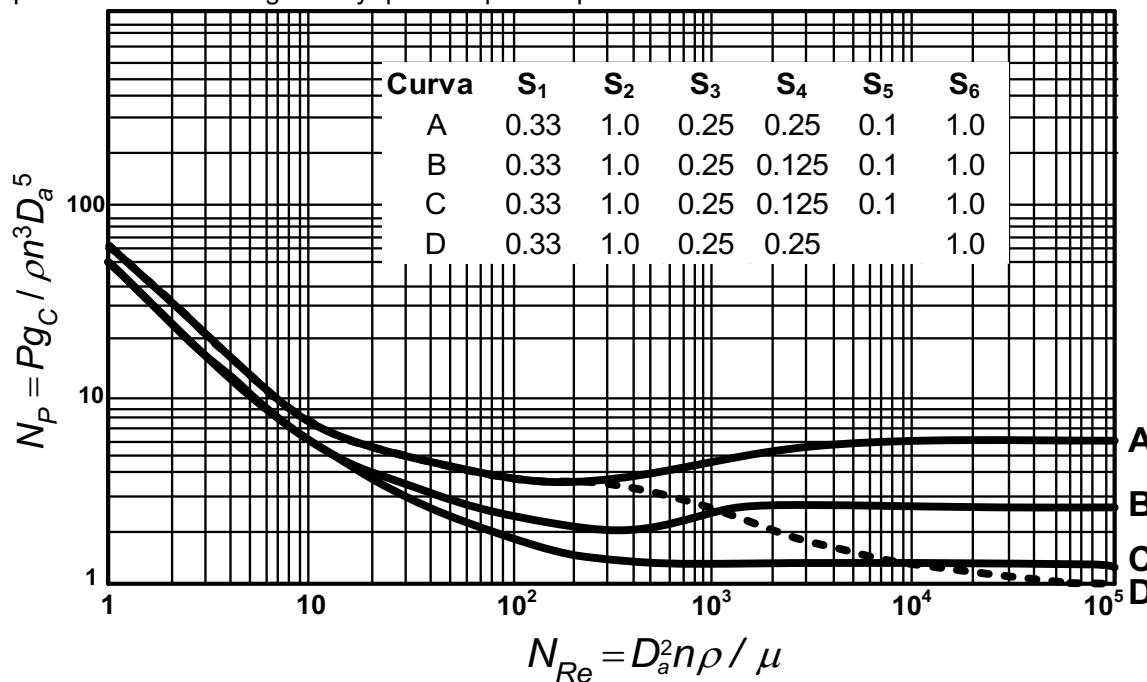
$L$  = Longitud del tornillo

$Q_v$  = Velocidad de flujo del material

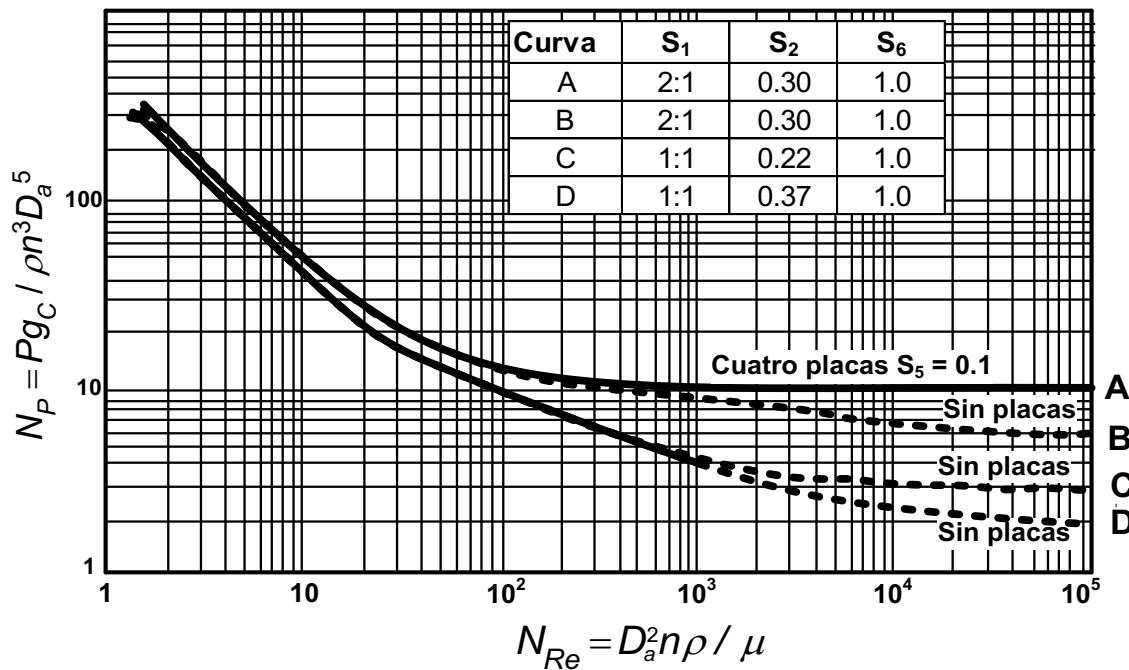
$\Theta$  = Angulo de inclinación de los hilos



Número de potencia  $N_P$  frente a  $N_{Re}$  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  $N_{Fr}$



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	$K_L$	$K_T$
<b>Impulsor hélice, tres palas</b>		
Paso 1.0	41	0.32
Paso 1.5	48	0.87
<b>Turbina</b>		
Disco de seis palas ( $S_3 = 0.25$ , $S_4 = 0.2$ )	65	5.75
Seis palas inclinadas ( $45^\circ$ , $S_4 = 0.2$ )	---	1.63
Cuatro palas inclinadas ( $45^\circ$ , $S_4 = 0.2$ )	44.5	1.27
Paleta plana, dos palas ( $S_2 = 0.2$ )	36.5	1.70
Impulsor HE <sub>3</sub>	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

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

$\Delta T_{ml}$  = 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

$Z$  = Relación adimensional para el cálculo del factor corrección

$Y$  = Relación adimensional para el cálculo del factor corrección

$\Delta T_m$  = Diferencia de temperatura corregida

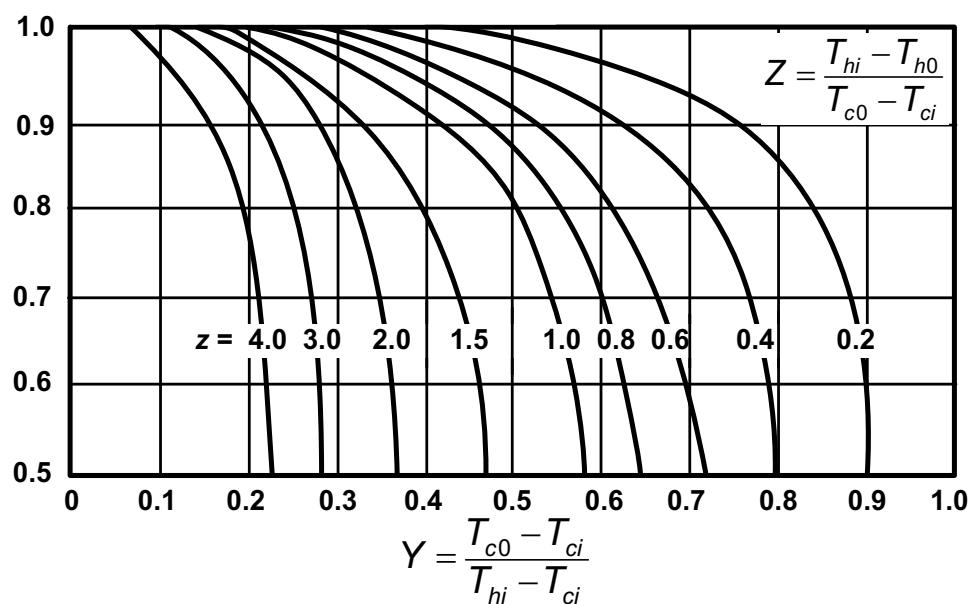
$F_T$  = Factor de corrección

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

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

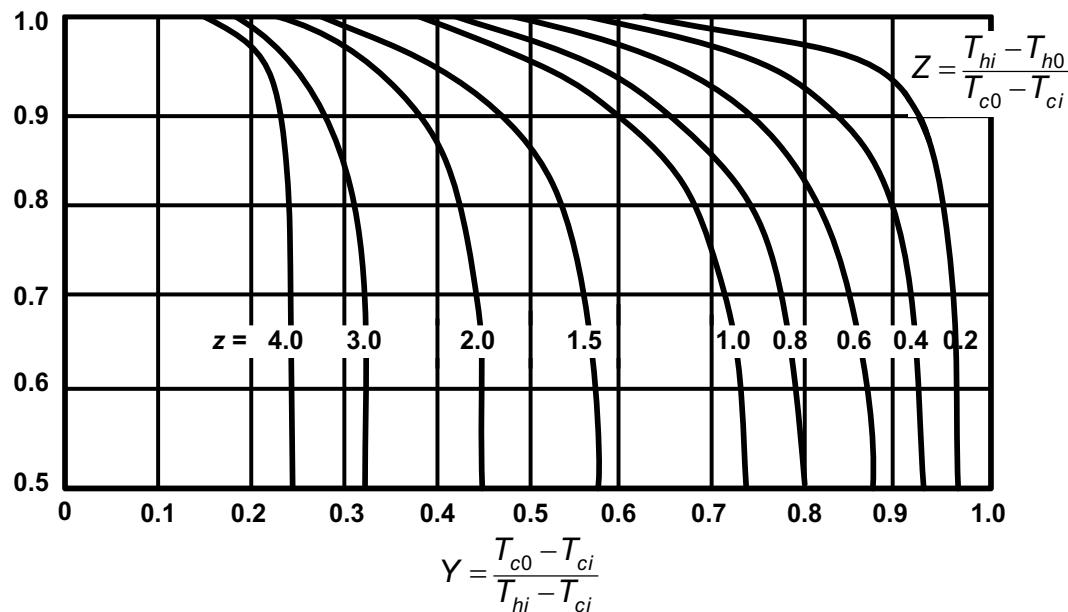
$$\Delta T_m = F_T \Delta T_{ml}$$

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)



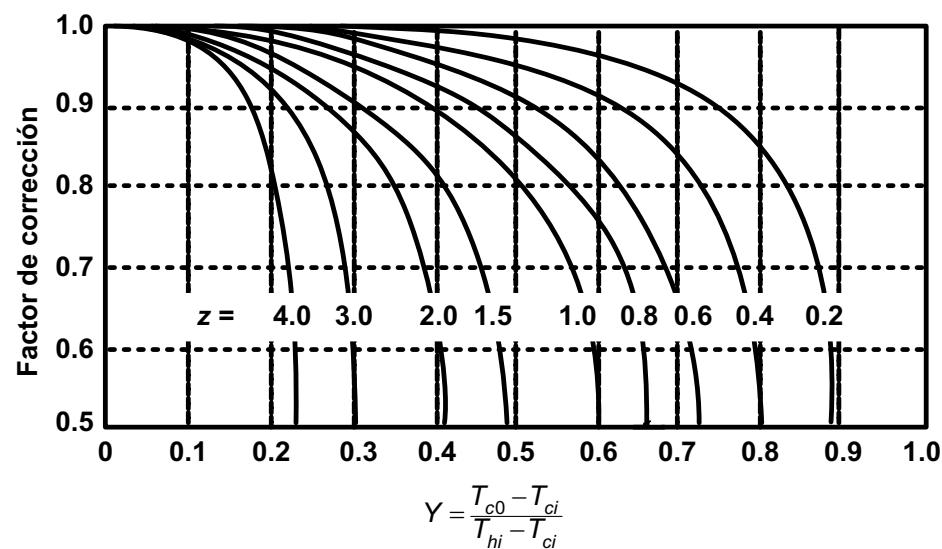


Factor de corrección  $F_T$  para la media logarítmica de las diferencias de temperaturas en intercambiadores de dos pasos por la coraza y cuatro pasos por los tubos (intercambiador 2-4)



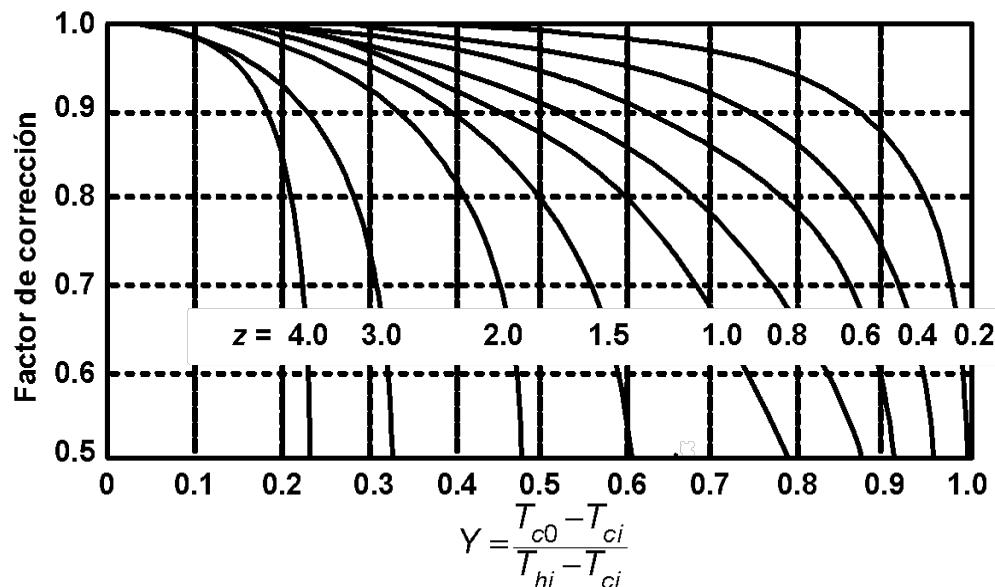
Factor de corrección  $F_T$  para la media logarítmica de las diferencias de temperatura para intercambiadores de flujo transversal [ $Z = (T_{hi} - T_{h0})/(T_{c0} - T_{ci})$ ]

Paso sencillo, fluido mezclado en la coraza, otro fluido no mezclado.

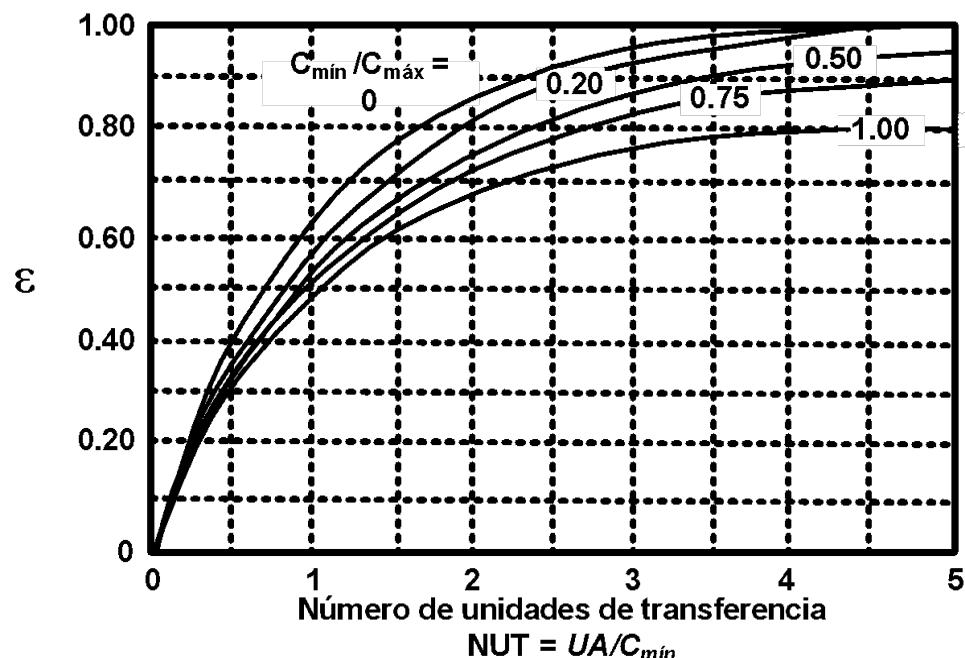




Factor de corrección FT para la media logarítmica de las diferencias de temperatura para intercambiadores de flujo transversal [Z =  $(T_{hi} - T_{h0})/(T_{c0} - T_{ci})$ ]  
Paso sencillo, ambos fluidos no mezclados.

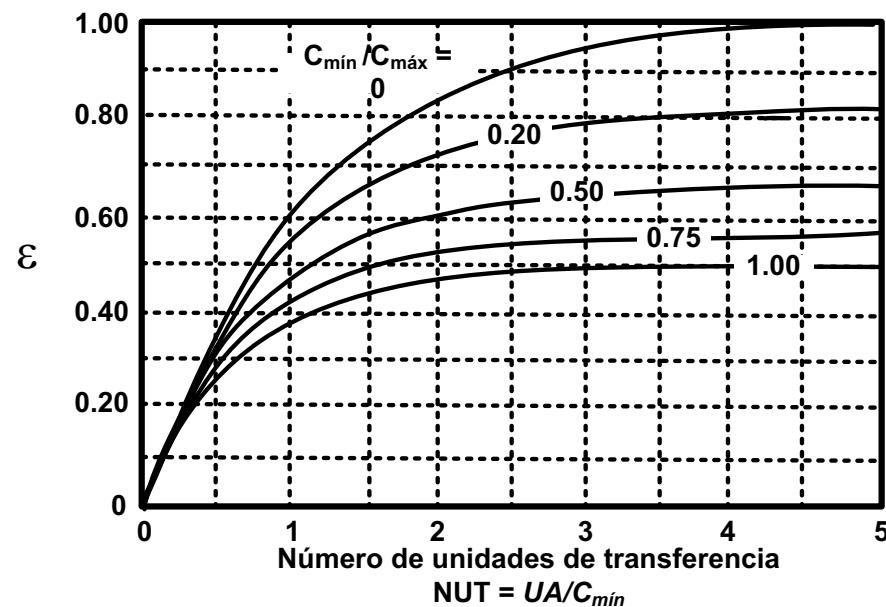


Eficiencia  $\epsilon$  de un intercambiador de calor a contracorriente





### Eficiencia $\epsilon$ de un intercambiador de calor de flujo en paralelo



### Coeficiente de ensuciamientos típicos

	$h_d$ (W/m <sup>2</sup> • K)	$h_d$ (btu/h • ft <sup>2</sup> • °F)
Agua destilada y de mar	11350	2000
Agua municipal	5680	1000
Agua fangosa	1900-2840	350-500
Gases	2840	500
Líquidos volátiles	2840	500
Aceites vegetales y minerales	1990	350



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

	$U$ $(W / m^2 \bullet K)$	$U$ $(Btu / h \bullet ft^2 \bullet ^\circ F)$
De agua a agua	1140-1700	200-300
De agua a solución salina	570-1140	100-200
De agua a líquidos orgánicos	570-1140	100-200
De agua a vapor de condensación	1420-2270	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	1420-2270	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
<b>Frutas</b>							
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
<b>Legumbres</b>							
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
<b>Carne</b>							
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
<b>Misceláneos</b>							
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

**Capacidades caloríficas de alimentos (valores promedio de Cp a 273-373 K o 0-100 °C)**

Material	H <sub>2</sub> O (% en peso)	C <sub>p</sub> (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 <sub>2</sub> O (% en peso)	C <sub>p</sub> (kJ/kg·K)
Congeladas	74	1.55 <sup>‡</sup>
Sardinas	57.4	3.01
Salchichas alemanas:		
Frescas	60	3.60 <sup>†</sup>
Congeladas	60	2.35 <sup>†</sup>
Alubias:		
Frescas	88.9	3.81 <sup>†</sup>
Congeladas	88.9	1.97 <sup>†</sup>
Tomates	95	3.98 <sup>†</sup>
Ternera	63	3.22
Agua	100	4.185 <sup>**</sup>

\* 32.8 °C

¶ 4.4 °C.

† Por encima del punto de congelación.

II -20 °C.

‡ Por debajo del punto de congelación

\*\* 20 °C.

§ 24.4 °C

### Conductividades térmicas, densidades y viscosidades de alimentos

Material	H <sub>2</sub> O (%en peso)	Temperatura (K)	k (W/m·k)	P (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ [(Pa·s) <sup>10<sup>3</sup></sup> , 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		
Aqua	100	293.2	0.602		
	100	273.2	0.569		

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$Q$  = Cantidad de calor  
 $m$  = Masa de producto

$Cp$  = Calor específico

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura

$$Q = \lambda \cdot m_v$$

$Q$  = Cantidad de calor

$\lambda$  = Calor latente

$m_v$  = Masa de vapor

$Cp$  = Calor específico

$Y$  = Fracción masa de agua

$X$  = Fracción masa de sólidos

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

### 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  
 $\Delta T$  = Diferencia de temperatura

#### Pared compuesta

$$Q = A \Delta T \left( \sum R \right)$$

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

$Q$  = Cantidad de calor  
 $\sum R$  = Sumatoria de las resistencias de paredes  
 $A$  = Área de transferencia de calor  
 $\Delta T$  = Diferencia de temperatura  
 $k$  = Conductividad térmica  
 $x$  = Espesor

#### En tuberías

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

$Q$  = Cantidad de calor  
 $k$  = Conductividad térmica  
 $r_o$  = Radio externo del tubo  
 $r_i$  = Radio interno del tubo  
 $L$  = Longitud del tubo  
 $\Delta T$  = Diferencia de temperatura

### Convección Natural

#### Coeficiente global de transferencia de calor en un tubo

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

$U$  = 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  
 $r_o$  = Radio externo  
 $r_i$  = Radio interno



### Superficies planas y cilindros verticales

$$Nu = 0.53(Pr \times Gr)^{0.25} \text{ para } 10^4 < (Pr \times Gr) < 10^9$$

$$Nu = 0.12(Pr \times Gr)^{0.33} \text{ para } 10^9 < (Pr \times Gr) < 10^{12}$$

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

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

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

Si el fluido es aire:

Para flujo laminar

$$h_c = 1.42(\Delta T / L)^{0.25} \text{ para } 10^4 < (Pr \times Gr) < 10^9$$

Para flujo turbulento

$$h_c = 1.31(\Delta T)^{0.33} \text{ para } 10^9 < (Pr \times Gr) < 10^{12}$$

$Nu$  = Número de Nusselt

$Pr$  = Número de Prandtl

$Gr$  = Número de Grashof

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$L$  = Longitud

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura

$D$  = Diámetro o Longitud en algunos casos (m)

$k$  = Conductividad térmica

$C_p$  = Calor específico

$\mu$  = Viscosidad absoluta

$\rho$  = Densidad

$g$  = Aceleración gravitacional

$\beta$  = Coeficiente de expansión térmica ( $1/T_{abs}$ )

### Cilindros horizontales

$$Nu = 0.54(Pr \times Gr)^{0.25} \text{ para } 10^3 < (Pr \times Gr) < 10^9$$

Si el fluido es aire:

Para flujo laminar

$$h_c = 1.32(\Delta T / d)^{0.25} \text{ para } 10^4 < (Pr \times Gr) < 10^9$$

Para flujo turbulento

$$h_c = 1.24(\Delta T)^{0.33} \text{ para } 10^9 < (Pr \times Gr) < 10^{12}$$



## Convección Forzada

### Diferencia moderada de temperaturas y flujo laminar

$$Nu = 4$$

Flujo turbulento

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

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

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

para  $Re > 1000$

$Nu$  = Número de Nusselt

$Re$  = Número de Reynolds

$Pr$  = Número de Prandtl

$\mu$  = Viscosidad del fluido

$\mu_s$  = Viscosidad superficial

$n = 0.3$  enfriamiento

$n = 0.4$  calentamiento

Para gases

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

### Superficies planas

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

para  $Re > 2 \times 10^4$

Para aire

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

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

$Nu$  = Número de Nusselt

$Re$  = Número de Reynolds

$Pr$  = Número de Prandtl

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$v$  = Velocidad del aire

### Exterior de tubos

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

para  $Re > 200$

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

para  $1 < Re < 200$

$Nu$  = Número de Nusselt

$Re$  = Número de Reynolds

$Pr$  = Número de Prandtl

### Radiación

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

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

$q$  = velocidad de transmisión de calor

$A$  = Área de transmisión de calor

$\epsilon$  = Emisividad

$\sigma$  = Constante Stefan-Boltzman

$T_1$  = Temperatura absoluta del emisor

$T_2$  = Temperatura absoluta del receptor



### Transferencia de calor en estado no estacionario

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

$Bi$  = Número de Biot

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$d$  = Dimensión media característica

$k$  = Conductividad térmica del producto

Cuando  $Bi < 0.2$

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

$\theta$  = Tiempo

$m$  = Masa del producto

$C_p$  = Calor específico del producto

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$A$  = Área

$Y$  = Relación adimensional de temperaturas

$T_0$  = Temperatura del fluido que calienta o enfriá

$T_1$  = Temperatura inicial del producto

$T_2$  = Temperatura final del producto

$d$  = Dimensión media característica

$F_o$  = Número de Fourier

$k$  = Conductividad térmica del producto

$\rho$  = Densidad

Cuando  $Bi > 0.2$

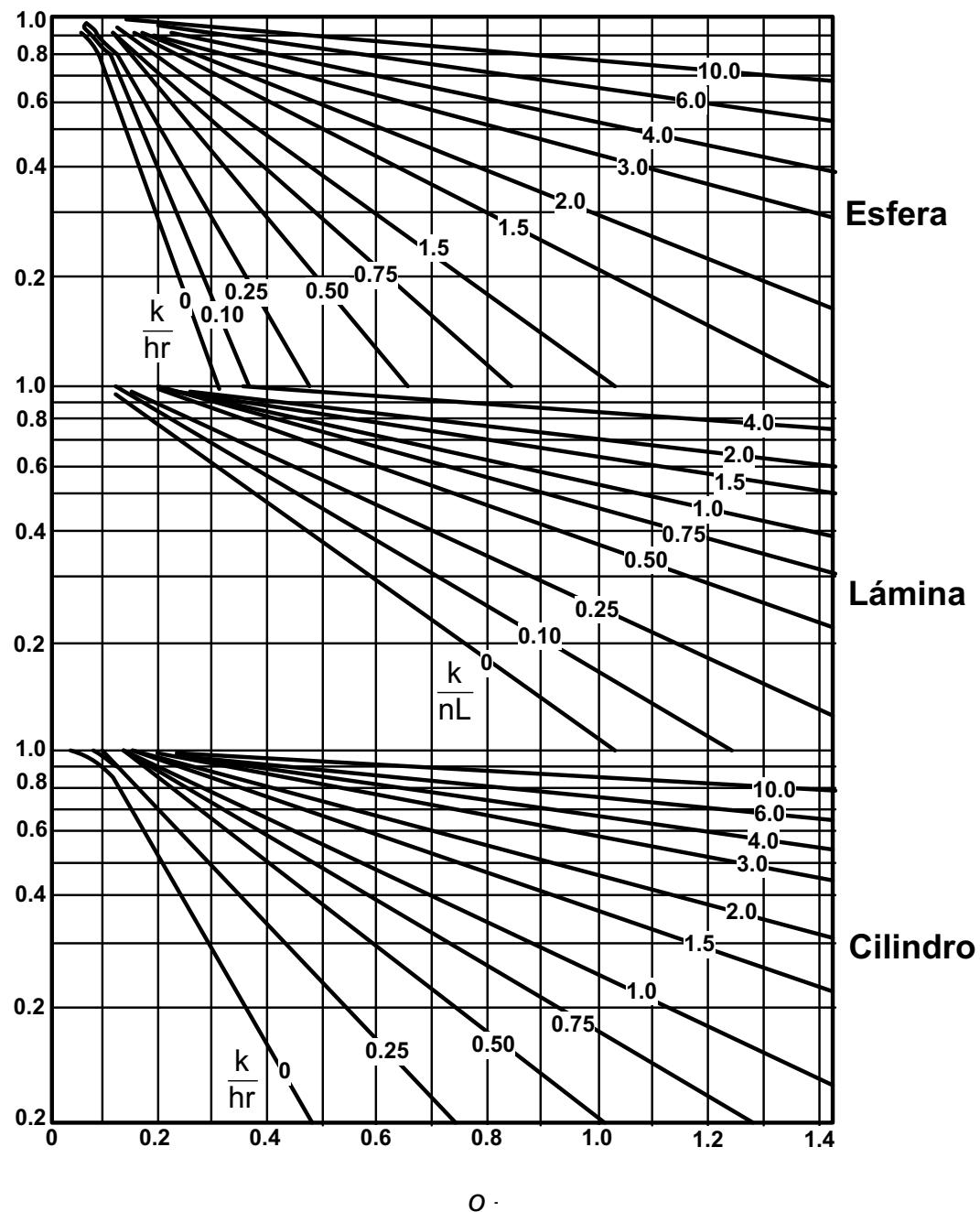
$$Y = \frac{T_0 - T_2}{T_0 - T_1}$$

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



### Conducción en estado no estacionario

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





## Esterilización

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

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}}$$

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

$D$  = 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

$E$  = 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)

## Valor D

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

## Efecto de la temperatura

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}}$$

$k$  = constante de velocidad de destrucción de microorganismos

$Ea$  = energía de activación

$T$  = temperatura absoluta

$A$  = Factor de Arrhenius

$R$  = Constante de los gases



### Valor Z

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

$z$  = temperatura para reducir 10 veces

el valor de  $D$

$T_1, T_2 \dots T_n$  = Temperatura de cada periodo de calentamiento

$D_1, D_2$  = Tiempo para reducir un logaritmo base 10 la población inicial de *Clostridium botulinum*

### Letalidad

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

$F$  = Tiempo en minutos a  $121.1^\circ C$

$N_0$  = Número original de organismos viables

$N$  = Número de organismos viables en un tiempo dado

### Pasteurización

$$F_{T_1}^z = D_{T_1} \log_{10} \frac{N_0}{N}$$

$$F_{T_1}^z$$

= Tiempo de proceso

$T_1$  = Temperatura estándar a  $62.8^\circ C$

$T$  = Temperatura del proceso real

$t$  = Tiempo de muerte térmica

$z$  = Cambio de temperatura para reducir 10 veces el valor de  $D$

$N_0$  = Número original de organismos viables

$N$  = Número de organismos viables en un tiempo dado

$$D_{T_1} = \text{Tiempo de reducción decimal a la } T_1$$

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



## Enfriamiento

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

(alimentos cuasihomogéneos)

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

(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

$\rho$  = densidad

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$x$  = Dimensión del material a enfriar

$x_1 = x/2$

$m$  = flujo másico

$\lambda$  = Constante de calor latente

$k_i$  = Conductividad térmica de cada componente

$k$  = Conductividad térmica

$\phi_i$  = Fracción volumétrica de cada componente

$\alpha$  = 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)

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

$Q$  = Cantidad de calor

$A$  = Área superficial

$t$  = Tiempo de congelación

$\rho$  = Densidad del material que se está congelando

$\lambda$  = 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

$\alpha$  = Difusividad térmica

$\Delta t$  = Gradiante de tiempo

$\Delta x$  = Gradiante de espesor

$Bi$  = Número de Biot

$m$  = Factor de forma

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

$$F_0 = \frac{\alpha_{1\Delta t}}{\Delta x^2}$$

$$m = \frac{1}{Bi} = \frac{k_1}{hx_1}$$



## 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

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

Tiempo de secado a periodo de velocidad constante

$$t_{cte} = \frac{w_{\text{inicial}} - w_{\text{crítica}}}{v_{cte}}$$

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

$t$  = Tiempo de secado

$\lambda$  = Calor latente de vaporización

$D$  = Diámetro de partícula

$\rho$  = Densidad

$K_d$  = Conductividad térmica del aire  
alrededor de la gota

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura

$\Delta w$  = Diferencia de humedad

$t_{cte}$  = Tiempo de secado a periodo de  
velocidad constante

$v_{cte}$  = velocidad de secado

$w_{\text{inicial}}$  = Humedad inicial del producto

$w_{\text{crítica}}$  = Humedad crítica del producto

$h_c$  = 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



$$H_a = c_s(T_a - T_0) + W\lambda_L$$

$H_a$  = 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)

$\lambda_L$  = 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 ( $\frac{kJ}{kg} \cdot ^\circ C$ )

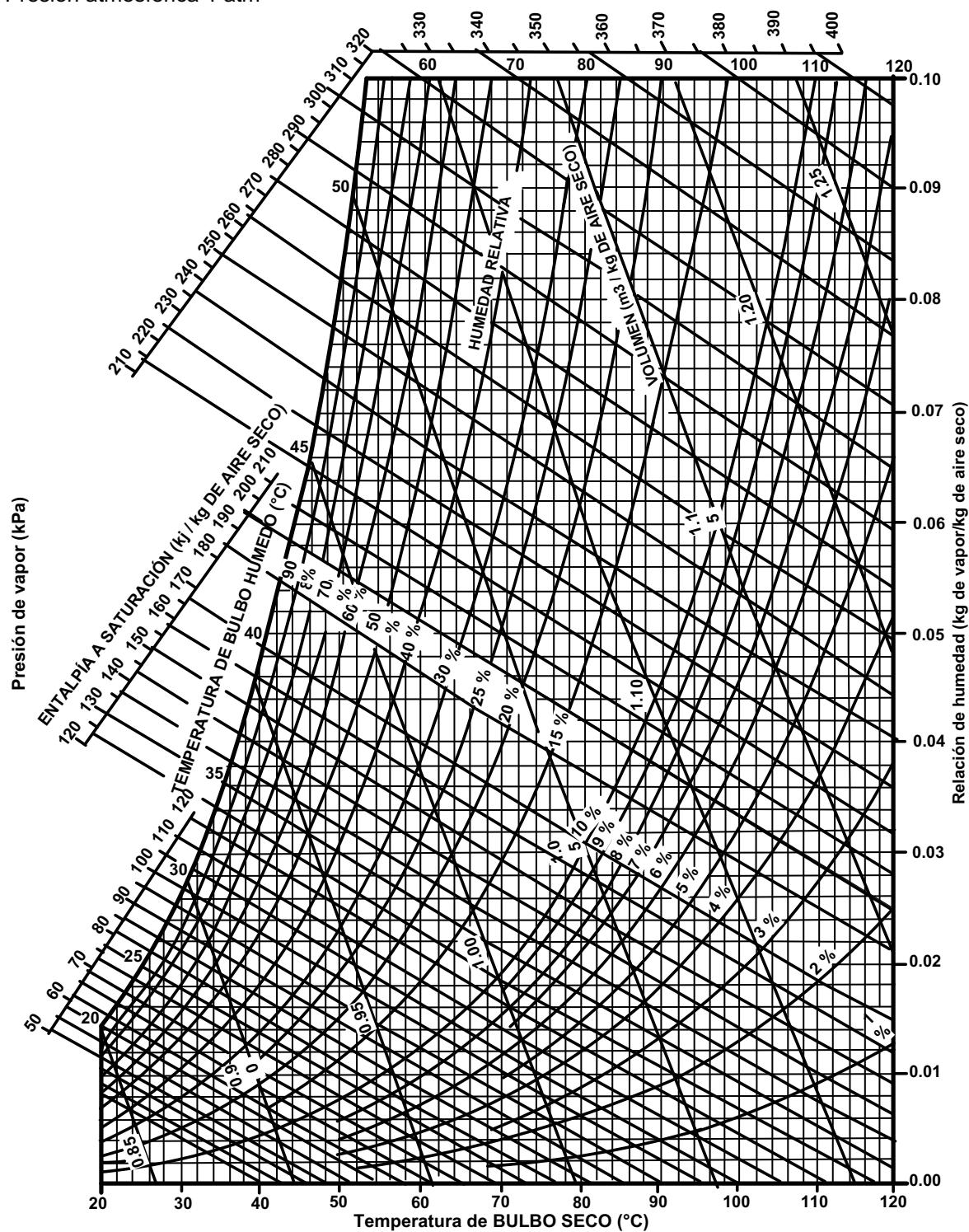
$T_p$  = temperatura del producto (°C)

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

$w$  = contenido de humedad del producto (kg de agua/kg de sólidos)

### Gráfico Psicométrico Altas temperaturas

Presión atmosférica 1 atm





### 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.

Para una solución ideal:

$$K_i = \frac{P_i}{P}$$

$P_i$  = 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

Segundo orden





$$kt(C_{B0} - C_{A0}) = \ln \frac{1 - X_B}{1 - X_A} = \ln \frac{M - X_A}{M(1 - X_A)} =$$

$$\ln \left( \frac{C_B C_{A0}}{C_{B0} C_A} \right) = \ln \frac{C_B}{MC_A} = C_{A0}(M-1)kt$$

$C_B$  = concentración del compuesto B al tiempo  $t$

$C_{B0}$  = concentración inicial del compuesto B

$X_B$  = fracción molar del compuesto B al tiempo  $t$

$M = C_{B0}/C_{A0}$

## 2a → Productos

$$kt = \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = \frac{1}{C_{A0}} \frac{X_A}{1 - X_A}$$

### Ecuación de Arrhenius

$$k = A e^{-\frac{E}{RT}}$$

$A$  = Factor pre-exponencial

$E$  = 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 salida

$x_{A1}$  = 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

$q$  = 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

$\Delta L$  = 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

$P_{fw}$  = 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  $x_2 = x_1$

$L$  = 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

$\Delta H_s / M_A$  = Calor de sublimación

## Liofilización

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

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

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



$\Delta H_s$  = Calor latente de sublimación del hielo

$x_1$  = Humedad en tiempo inicial

$x_2$  = Humedad en tiempo final

### Presión Osmótica

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

$\Pi$  = 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

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

$K$  = 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 en kg mol de A/s

$A_I$  = área de la superficie del cristal

$G$  = velocidad de crecimiento

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

$t_2 - t_I$  = tiempo

$$G = \frac{D_2 - D_I}{t_2 - t_I}$$

### 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)

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

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

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

A = Área de filtración

V = Volumen total de filtrado

t = Tiempo

K<sub>p</sub> = Pendiente de la recta

R<sub>m</sub> = Resistencia del medio filtrante

μ = Viscosidad del líquido

c<sub>s</sub> = Concentración de sólidos

α = Resistencia específica de la torta

B = Constante de filtración

ΔP = Cambio o caída de presión

### Precipitación y sedimentación

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

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

v<sub>t</sub> = Velocidad de precipitación libre

g = Aceleración de la gravedad

D<sub>p</sub> = Diámetro de partícula

ρ<sub>p</sub> = Densidad de la partícula sólida

ρ = Densidad del líquido

C<sub>D</sub> = coeficiente de resistencia al flujo

Re = Número de Reynolds



### Centrifugación

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

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

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

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

$F_c$  = Fuerza centrífuga

$F_g$  = Fuerza de gravedad

$r$  = Radio

$N$  = Revoluciones por minuto

$\omega$  = Velocidad angular

$V$  = Volumen del tazón de la centrífuga

$b$  = Altura del tazón de la centrífuga

$r_2^2$  = Radio 2 de la centrífuga

$r_1^2$  = Radio 1 de la centrífuga

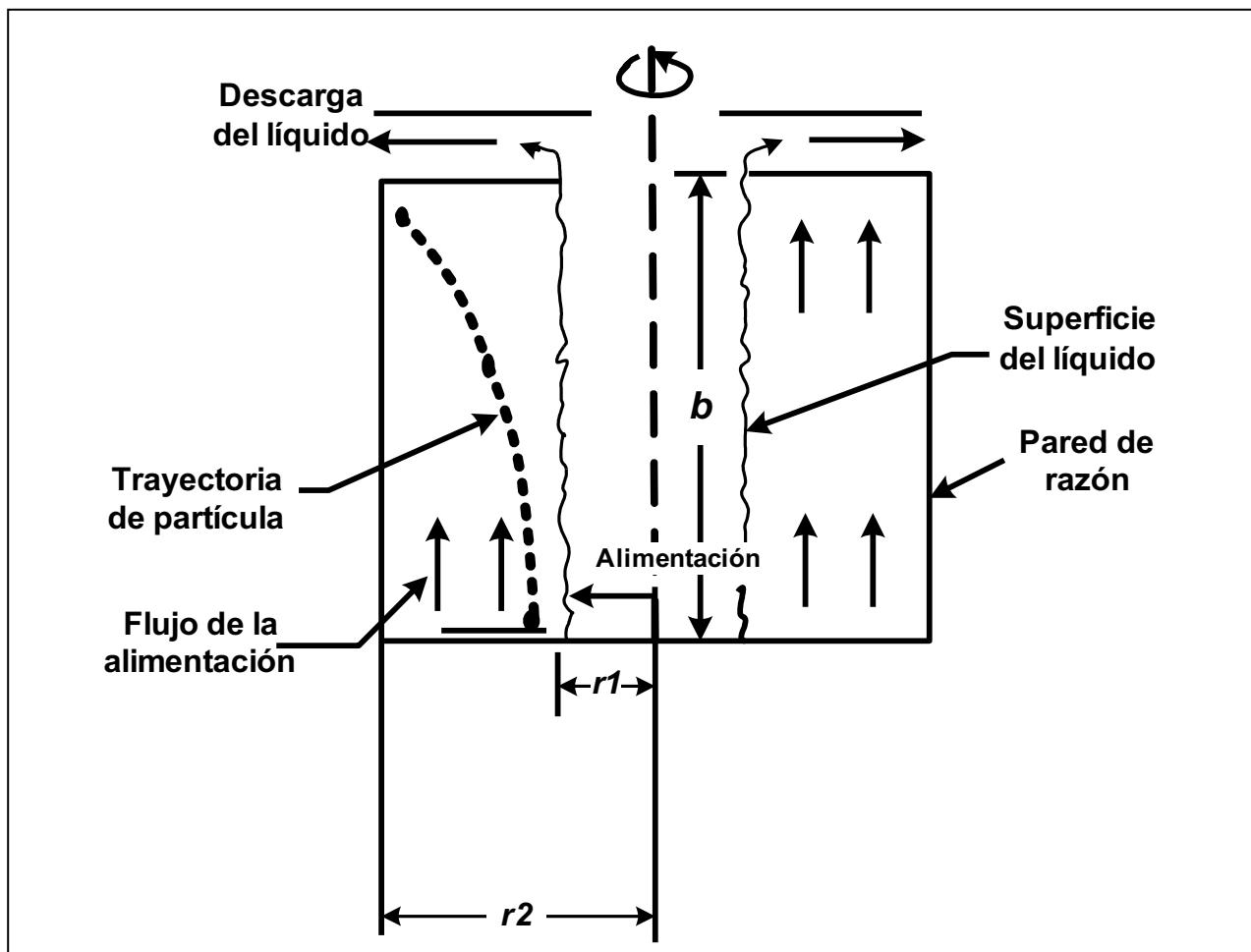
$q_c$  = Velocidad de flujo

$\rho_p$  = Densidad de la partícula sólida

$\rho$  = Densidad del líquido

$\mu$  = Viscosidad del líquido

$D_{pc}$  = Diámetro de la partícula crítica



Representación esquemática del proceso de centrifugación



*Desplazamiento lineal de las partículas  
en flotación y sedimentación*

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

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

$v$  = Velocidad de desplazamientos

$D_p$  = Diámetro de la partícula

$\mu$  = Viscosidad del líquido

$\rho_L$  = Densidad del líquido

$\rho_p$  = Densidad de la partícula

$g$  = Aceleración de la gravedad

*Reducción de tamaño*

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

$$\varepsilon = \frac{P}{P_m} \times 100$$

$i$  = 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

$K_R$  = Constante de Rittinger

$K_K$  = Constante de Kick

Ley de Rittinger

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

Ley de Bond

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

Ley de Kick

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



*Escala de tamices Tyler estándar*

<i>Abertura del tamiz</i>		<i>Diámetro nominal del alambre</i>		<i>Designación</i>
<i>mm</i>	<i>pulg. (equivalentes aproximados)</i>	<i>mm</i>	<i>pulg. (equivalentes aproximados)</i>	<i>Taylor equivalente</i>
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 plg.
9.51	0.375	2.27	0.0894	0.371 plg.
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	0.03 19	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	0.033 1	0.510	0.020 1	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

### Índice Cp

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

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

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

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

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

### 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

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

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



Tabla para control de procesos

Límites para el control de procesos						
	Con valores específicos y $\sigma$ conocidos			Sin valores específicos $\mu$ y $\sigma$ desconocidos		
Tipo	LCC	LSC	LIC	LCC	LSC	LIC
$\bar{X}$ y R Subgrupos reducidos	Para medias: $\mu$	$\mu + A\sigma$	$\mu - A\sigma$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
	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: $\mu$	$\mu + A\sigma$	$\mu - A\sigma$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$	$\bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$
	Para desv. 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: $\mu$	$\mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$\mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{n}}$	$\bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{n}}$
	Para desv. estándar: $\sigma$	$\sigma + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$	$\sigma - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$	$\bar{S}$	$\bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{2n}}$	$\bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{\sqrt{2n}}$

LSC: Límite superior de control

LIC: Límite inferior de control

LCC: Límite central de control

*Tabla de gráficos por atributos*

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

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

Tamaño de lote	TABLA DE MUESTREO SENCILLO POR LÍMITE DEL PROMEDIO DE CALIDAD FINAL (LPCF) = 2.0%																	
	Promedio del proceso			Promedio del proceso			Promedio del proceso			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 <sub>t</sub> %	n	c	P <sub>t</sub> %	n	c	P <sub>t</sub> %	n	c	P <sub>t</sub> %	n	c	P <sub>t</sub> %	n	c	P <sub>t</sub> %
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	460	14	4.4
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

*Tabla de Dodge-Romig de muestreo único para una tolerancia del porcentaje defectuoso en un lote  
(LTPD) = 2.5%*

Tamaño de lote	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%			2.01 a 2.50%		
	n	c	P <sub>r</sub> %	n	c	P <sub>r</sub> %	n	c	P <sub>r</sub> %									
1-10	Todas	0	...	Todas	0	...	Todas	0	...									
11-50	11	0	17.6	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	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	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	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	48	2	10.7
401-500	14	0	15.0	14	0	15.0	32	1	12.0	32	1	12.0	49	2	10.6	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	70	3	9.3
601-800	14	0	15.1	32	1	12.0	32	1	12.0	50	2	10.5	50	2	10.5	70	3	9.4
801-1000	15	0	14.2	33	1	11.7	33	1	11.7	50	2	10.6	70	3	9.4	90	4	8.5
1001-2000	15	0	14.2	33	1	11.7	55	2	9.3	75	3	8.8	95	4	8.0	120	5	7.6
2001-3000	15	0	14.2	33	1	11.8	55	2	9.4	75	3	8.8	120	5	7.6	145	6	7.2
3001-4000	15	0	14.3	33	1	11.8	55	2	9.5	100	4	7.9	125	5	7.4	195	8	6.6
4001-5000	15	0	14.3	33	1	11.8	75	3	8.9	100	4	7.9	150	6	7.0	225	9	6.3
5001-7000	33	1	11.8	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4	175	7	6.7	250	10	6.1
7001-10 000	34	1	11.4	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4	200	8	6.4	310	12	5.8
10 001-20 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	150	6	7.0	260	10	6.0	425	16	5.3
20 001-50 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	180	7	6.7	345	13	5.5	640	23	4.8
50 001-100 000	34	1	11.4	80	3	8.4	125	5	7.4	235	9	6.1	435	16	5.2	800	28	4.5

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

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

P<sub>r</sub>= porcentaje de defectuosos tolerable en el lote con un riesgo del consumidor (P<sub>c</sub>) de 0.10

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

Tamaño de lote	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%			2.01 a 2.50%		
	n	c	P <sub>r</sub> %	n	c	P <sub>r</sub> %	n	c	P <sub>r</sub> %									
1-10	Todas		...	Todas	0	...	Todas	0	...									
11-50	11	0	17.6	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	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	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	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	48	2	10.7
401-500	14	0	15.0	14	0	15.0	32	1	12.0	32	1	12.0	49	2	10.6	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	70	3	9.3
601-800	14	0	15.1	32	1	12.0	32	1	12.0	50	2	10.5	50	2	10.5	70	3	9.4
801-1000	15	0	14.2	33	1	11.7	33	1	11.7	50	2	10.6	70	3	9.4	90	4	8.5
1001-2000	15	0	14.2	33	1	11.7	55	2	9.3	75	3	8.8	95	4	8.0	120	5	7.6
2001-3000	15	0	14.2	33	1	11.8	55	2	9.4	75	3	8.8	120	5	7.6	145	6	7.2
3001-4000	15	0	14.3	33	1	11.8	55	2	9.5	100	4	7.9	125	5	7.4	195	8	6.6
4001-5000	15	0	14.3	33	1	11.8	75	3	8.9	100	4	7.9	150	6	7.0	225	9	6.3
5001-7000	33	1	11.8	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4	175	7	6.7	250	10	6.1
7001-10 000	34	1	11.4	55	2	9.7	75	3	8.9	125	5	7.4	200	8	6.4	310	12	5.8
10 001-20 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	150	6	7.0	260	10	6.0	425	16	5.3
20 001-50 000	34	1	11.4	55	2	9.7	100	4	8.0	180	7	6.7	345	13	5.5	640	23	4.8
50 001-100 000	34	1	11.4	80	3	8.4	125	5	7.4	235	9	6.1	435	16	5.2	800	28	4.5

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

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

P<sub>r</sub>= porcentaje de defectuosos tolerable en el lote con un riesgo del consumidor (P<sub>c</sub>) 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 <sub>3</sub>	Carta $\bar{x}$		Carta S			
					LCL	UCL	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	LCL	UCL
1	5	74.010	0.0148	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
2	3	73.996	0.0046	1.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025
3	5	74.008	0.0147	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
4	5	74.003	0.0091	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
5	5	74.003	0.0122	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
6	4	73.996	0.0099	1.628	73.985	74.017	0	2.266	0	0.022
7	4	73.999	0.0055	1.628	73.985	74.017	0	2.266	0	0.022
8	5	73.997	0.0123	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
9	4	74.004	0.0064	1.628	73.985	74.017	0	2.266	0	0.022
10	5	73.998	0.0063	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
11	5	73.994	0.0029	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
12	5	74.001	0.0042	0.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
13	3	73.994	0.0100	0.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025
14	5	73.990	0.0153	0.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
15	s	74.008	0.0087	1.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025
16	5	73.997	0.0078	1.427	73.987	74.105	0	2.089	0	0.020
17	4	73.999	0.0115	0.628	73.985	74.017	0	2.226	0	0.022
18	5	74.007	0.0070	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
19	5	73.998	0.0085	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
20	3	74.008	0.0068	0.954	73.982	74.020	0	2.568	0	0.025
21	5	74.000	0.0122	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
22	5	74.002	0.0074	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
23	3	74.002	0.0119	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
24	5	74.005	0.0087	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	0.020
25	5	73.998	0.0162	1.427	73.987	74.015	0	2.089	0	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 <sub>i</sub>	Número de unidades disconformes D <sub>i</sub>	Fracción disconforme muestra $\hat{p} = D_i/n_i$	Desviación estándar $\hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{(0.096)(0.904) / n_i}$	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)*

Tamaño del lote o carga	Niveles de inspección especiales				Niveles de inspección generales		
	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 10 000	C	D	F	G	J	L	M
10 001 a 35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001 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 para el tamaño de la muestra	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	1 250	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
R	2 000	1	2	1	3	1	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	1	2	1	3	1	4	5	6	7	8	10	11	

= 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 para el tamaño de la muestra	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	1000	
		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	0 1	0 1	0 1	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	
R	800	↑	↑	↑	0 2	1 3	1 4	2 5	3 6	5 8	7 10	10 13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

= Usar el primer plan debajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o excede el tamaño de lote o de la carga, hacer una inspección al 100%

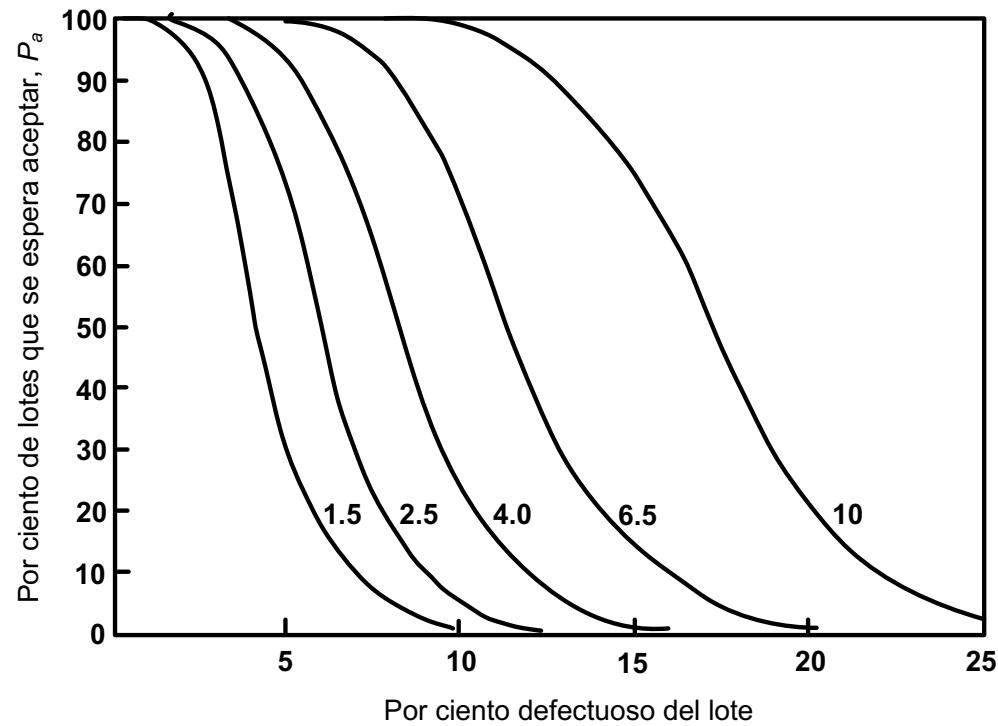
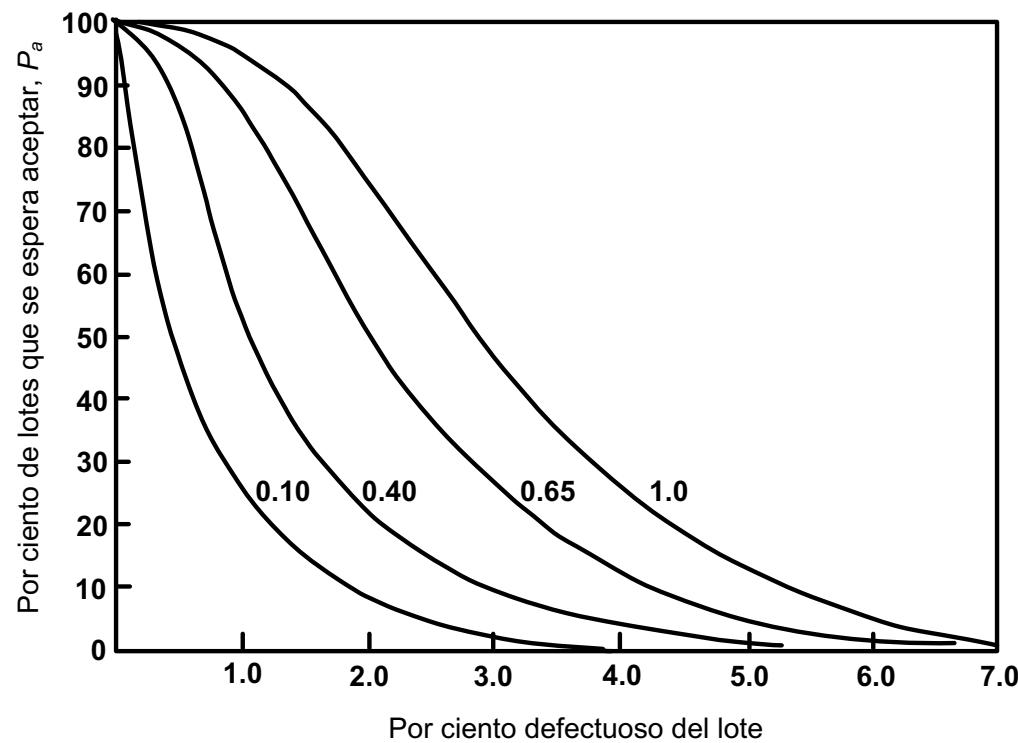
= Usar el primer plan arriba de la flecha

AC = Número de aceptación

Re = Número de rechazo



*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%*

Promedio del proceso																			
Tamaño del lote	0 — 0.06%			0.07 — 0.60%			0.61 — 1.20%			01.21— 1.80%			1.81 — 2.40%			2.41 — 3.00%			LTPD
	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	—	19.
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	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	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													
	0 — 0.01%		0.011 — 0.10%		0.11 — 0.20%		0.21— .30%		0.31 — 0.40%		0.41 — 0.50%			
	AOQL		AOQL		AOQL		AOQL		AOQL		AOQL		AOQL	
1-120	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0	0	Todos	0
121-150	120	0	0,06	120	0	0,06	120	0	0,06	120	0	0,06	120	0,06
151-200	140	0	0,08	140	0	0,08	140	0	0,08	140	0	0,08	140	0,08
201-300	165	0	0,1	165	0	0,1	165	0	0,1	165	0	0,1	165	0,10
301-400	175	0	0,12	175	0	0,12	175	0	0,12	175	0	0,12	175	0,12
401-500	180	0	0,13	180	0	0,13	180	0	0,13	180	0	0,13	180	0,13
501-600	190	0	0,13	190	0	0,13	190	0	0,13	190	0	0,13	305	1,00
601-800	200	0	0,14	200	0	0,14	200	0	0,14	330	1	0,15	330	1,00
801-1000	205	0	0,14	205	0	0,14	205	0	0,14	335	1	0,17	335	1,00
1001-2000	220	0	0,15	220	0	0,15	360	1	0,19	490	2	0,21	490	2,00
2001-3000	220	0	0,15	375	1	0,2	505	2	0,23	630	3	0,24	745	4,00
3001-4000	225	0	0,15	380	1	0,2	510	2	0,23	645	3	0,25	880	5,00
4001-5000	225	0	0,16	380	1	0,2	520	2	0,24	770	4	0,28	895	5,00
5001-7000	230	0	0,16	385	1	0,21	655	3	0,27	780	4	0,29	1020	6,00
7001-10000	230	0	0,16	520	2	0,25	660	3	0,28	910	5	0,32	1 150	7,00
10001-20000	390	1	0,21	525	2	0,26	785	4	0,31	1 040	6	0,35	1 400	9,00
20001-50000	390	1	0,21	530	2	0,26	920	5	0,34	1 300	9	0,39	1 890	13,00
50001-100000	390	1	0,21	670	3	0,29	1 040	6	0,36	1 420	9	0,41	2 120	15,00





*Tabla de valores de la función de distribución de U P(U < U<sub>0</sub>); U<sub>0</sub> es el argumento; n<sub>1</sub> < n<sub>2</sub>; 3 < n<sub>2</sub> < 10.*

n<sub>2</sub> = 3

U <sub>0</sub>	n <sub>1</sub>		
	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

n<sub>2</sub> = 4

U <sub>0</sub>	n <sub>1</sub>			
	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

n<sub>2</sub> = 5

U <sub>0</sub>	n <sub>1</sub>				
	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 < Uo); Uo es el argumento; n1 < n2; 3 < n2 < 10.**  
**Continuación 1**

n <sub>2</sub> = 6		n <sub>1</sub>					
U <sub>0</sub>		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 < Uo); Uo es el argumento; n<sub>1</sub> < n<sub>2</sub>; 3 < n<sub>2</sub> < 10.**  
**Continuación 2**

n<sub>2</sub> = 7

Uo	n <sub>1</sub>						
	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<sub>0</sub>); U<sub>0</sub> es el argumento; n<sub>1</sub> < n<sub>2</sub>; 3 < n<sub>2</sub> < 10.**  
**Continuación 3**

n<sub>2</sub> = 8

U <sub>0</sub>	n <sub>1</sub>							
	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 < Uo ); Uo es el argumento; n1 < n2; 3 < n2 < 10.**  
**Continuación 4**

n <sub>2</sub> = 9		n <sub>1</sub>							
U <sub>0</sub>	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		







### Volumen

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

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

### Viscosidad

### Constante de los gases ideales ( $R$ )

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

### Aceleración de la gravedad

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

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



**Tabla de propiedades del aire y el agua**

Temperatura (° C)	Conductividad térmica (J m⁻¹ s⁻¹ ° C⁻¹)	Viscosidad (N sm⁻²)	Calor específico (KJ kg⁻¹ ° C⁻¹)	Densidad (Kg m⁻³)
<b>AIRE</b>				
-73	0.0189	$1.36 \times 10^{-5}$	0.996	1.76
-18	0.0230	$1.65 \times 10^{-5}$	1.00	1.38
0	0.0242	$1.73 \times 10^{-5}$	1.005	1.29
38	0.0267	$1.91 \times 10^{-5}$	1.005	1.14
93	0.031	$2.15 \times 10^{-5}$	1.009	0.96
149	0.0334	$2.40 \times 10^{-5}$	1.017	0.83
204	0.0367	$2.60 \times 10^{-5}$	1.026	0.74
<b>AGUA</b>				
-20	2.39	na	1.943	919.4
-10	2.25	na	2.027	918.9
(Hielo) 0	2.22	na	2.050	916.2
0	0.57	$1.87 \times 10^{-3}$	4.23	1000
4	0.57	$1.53 \times 10^{-3}$	4.23	1000
16	0.59	$1.16 \times 10^{-3}$	4.19	1000
27	0.61	$0.87 \times 10^{-3}$	4.19	998
38	0.62	$0.68 \times 10^{-3}$	4.19	992
66	0.66	$0.43 \times 10^{-3}$	4.19	977
93	0.68	$0.30 \times 10^{-3}$	4.19	965
100	0.68	$0.28 \times 10^{-3}$	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
SO <sub>2</sub> (g)	-70.94
SO <sub>3</sub> (g)	-94.39
CO(g)	-26.416
CO <sub>2</sub> (g)	-94.052
CaCO <sub>3</sub> (s)	-289.5
CaCO(s)	-151.7
H <sub>2</sub> O(l)	-68.3174
H <sub>2</sub> O(g)	-57.7979
HCl(g)	-22.063
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)	-193.91
H <sub>2</sub> S(g)	-4.815
HNO <sub>3</sub> (l)	-41.404
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (s)	-1281.1
NH <sub>3</sub> (g)	-75.23
NH <sub>4</sub> OH(aq)	-87.59
NO(g)	-7.96
NO <sub>2</sub> (g)	-10
KCl(s)	-103.8
KOH(s)	-102.02
NaCl(s)	-98.321
NH <sub>4</sub> Cl(s)	-75.38
CH <sub>4</sub> (g)	-17.889
CH <sub>3</sub> OH(l)	-57.04
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH(l)	-66.35

**Calores normales de combustión a 25 °C**

COMPUESTO	$\Delta H^\circ \text{kcal/gmol}$ (agua líquida y CO <sub>2</sub> )
C(s)	-94.0518
CO(g)	-67.6361
H <sub>2</sub> (g)	-68.3174
CH <sub>4</sub> (g)	-212.78
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-372.820
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-530.605
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-687.982
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	-789.08
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	-326.7
CH <sub>4</sub> O(l)	-173.65
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> (l)	-208.34
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (s)	-673
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (s)	-1350.1
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (s)	-1348.9





Tabla de relaciones  $f_h/U: g$  para valores de  $z = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

$f_h/U$	Valores de $g$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) cuando $j$ es:								
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.2	$2.27 \cdot 10^{-5}$	$2.46 \cdot 10^{-5}$	$2.64 \cdot 10^{-5}$	$2.83 \cdot 10^{-5}$	$3.02 \cdot 10^{-5}$	$3.20 \cdot 10^{-5}$	$3.39 \cdot 10^{-5}$	$3.58 \cdot 10^{-5}$	$3.76 \cdot 10^{-5}$
0.4	$7.39 \cdot 10^{-3}$	$7.94 \cdot 10^{-3}$	$8.44 \cdot 10^{-3}$	$9.00 \cdot 10^{-3}$	$9.50 \cdot 10^{-3}$	$1.00 \cdot 10^{-2}$	$1.06 \cdot 10^{-2}$	$1.11 \cdot 10^{-2}$	$1.16 \cdot 10^{-2}$
0.6	$4.83 \cdot 10^{-2}$	$5.24 \cdot 10^{-2}$	$5.66 \cdot 10^{-2}$	$6.06 \cdot 10^{-2}$	$6.44 \cdot 10^{-2}$	$6.83 \cdot 10^{-2}$	$7.28 \cdot 10^{-2}$	$7.67 \cdot 10^{-2}$	$8.06 \cdot 10^{-2}$
0.8	0.126	0.136	0.148	0.159	0.171	0.182	0.194	0.205	0.217
1	0.227	0.248	0.269	0.291	0.312	0.333	0.354	0.376	0.397
2	0.85	0.92	1.00	1.07	1.15	1.23	1.30	1.38	1.45
3	1.46	1.58	1.69	1.81	1.93	2.04	2.16	2.28	2.39
4	2.01	2.15	2.30	2.45	2.60	2.74	2.89	3.04	3.19
5	2.47	2.64	2.82	3.00	3.17	3.35	2.53	3.71	3.88
6	2.86	3.07	3.27	3.47	3.67	3.88	4.08	4.28	4.48
7	3.21	3.43	3.66	3.89	4.12	4.34	4.57	4.80	5.03
8	3.49	3.75	4.00	4.26	4.51	4.76	5.01	5.26	5.52
9	3.76	4.03	4.31	4.58	4.86	5.13	5.41	5.68	5.96
10	3.98	4.28	4.58	4.88	5.18	5.48	5.77	6.07	6.37
20	5.46	5.94	6.42	6.89	7.37	7.84	8.32	8.79	9.27
30	6.39	6.94	7.56	8.11	8.72	9.33	9.89	10.5	11.1
40	7.11	7.72	8.39	9.06	9.72	10.4	11.1	11.7	12.4
50	7.67	8.39	9.11	9.83	10.6	11.3	12.0	12.7	13.4
60	8.22	8.94	9.72	10.5	11.2	12.0	12.7	13.5	14.3
70	8.67	7.78	10.2	11.1	11.8	12.6	13.4	14.2	15.0
80	9.01	9.89	10.7	11.6	12.3	13.2	14.0	14.8	15.6
90	9.44	10.28	11.2	12.0	12.8	13.7	14.5	15.3	16.2
100	9.78	10.7	11.6	12.4	13.3	14.1	15.0	15.8	16.7

*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			NMP/g	Lim.Conf.		Tubos positivo			NMP/g	Lim.Conf.	
0.1	0.01	0.001		Bajo	alto	0.1	0.01	0.001		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	--



## Consejo Técnico

Representantes de Instituciones de Educación Superior

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

Dr. Gerardo Méndez Zamora  
**Universidad Autónoma de Nuevo León**

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

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

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

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

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

Dra. Jessica del Pilar Ramírez Anaya  
**Universidad de Guadalajara**

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

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. 5113

[www.ceneval.edu.mx](http://www.ceneval.edu.mx)

[erick.jimenez@ceneval.edu.mx](mailto:erick.jimenez@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; Tecnológico de Monterrey; Universidad Autónoma del Estado de México; Universidad Autónoma de San Luis Potosí; Universidad Autónoma de Yucatán; 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 desde el 10 de marzo de 1995 en el Registro Nacional de Instituciones Científicas y Tecnológicas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, con el número 506. Asimismo, es miembro de estas organizaciones: International Association for Educational Assessment; European Association of Institutional Research; Consortium for North American Higher Education Collaboration; Institutional Management for Higher Education de la OCDE.

