

A black and white photograph of a student in a lab coat, focused on working on an electronic circuit board. The student is using a soldering iron. The background shows laboratory equipment and a metal frame. The image is overlaid with large, colorful abstract shapes in shades of blue, purple, and orange.

# Formulario

Examen General para el Egreso  
de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica

## **EGEL Plus IME**

Formulario  
Examen General para el Egreso  
de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica  
**EGEL Plus IME**

**Directorio**

**Carmen Enedina Rodríguez Armenta**  
Directora 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

**Arturo Valverde Merlín**  
Responsable del EGEL Plus® Sección  
Disciplinar en Ingeniería Mecánica Eléctrica

*Formulario*

D.R. © 2024  
Centro Nacional de Evaluación  
para la Educación Superior, A.C. (Ceneval)

Tercera edición

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Sistemas mecánicos y de termofluidos .....</b>                       | <b>7</b>  |
| Áreas, centroides y momentos de inercia.....                            | 7         |
| Esfuerzos y deformaciones debidas a cargas axiales .....                | 8         |
| Esfuerzos y deformación debido a torsión, potencia .....                | 9         |
| Esfuerzos y deformaciones debidas a flexión .....                       | 9         |
| Esfuerzos principales y esfuerzo cortante máximo .....                  | 9         |
| Esfuerzos en planos inclinados .....                                    | 10        |
| Teorías de falla bajo carga estática .....                              | 10        |
| Polipastos .....  | 10        |
| Fuerza en malacate .....  | 11        |
| Columnas .....  | 11        |
| Motores/engranes rectos .....   | 12        |
| Criterio de Grashof.....  | 13        |
| Ecuaciones de movimiento .....  | 13        |
| Rodamientos.....  | 13        |
| Tornillos de potencia .....   | 14        |
| Cuñas .....   | 14        |
| Longitud de la banda .....  | 15        |
| Recipientes esféricos a presión.....                                    | 15        |
| Recipientes cilíndricos a presión.....                                  | 15        |
| Frenos de banda.....  | 15        |
| Resortes helicoidales a tensión y compresión.....                       | 16        |
| Vibraciones .....   | 16        |
| Tabla de propiedades mecánicas de los aceros.....                       | 17        |
| Índices de tolerancias en (µm) .....                                    | 21        |
| Ajustes base agujero en (µm).....                                       | 21        |
| Ajustes base flecha en (µm) .....                                       | 22        |
| ASME .....  | 23        |
| Termofluidos.....   | 24        |
| Propiedades de las sustancias .....                                     | 24        |
| Ciclos termodinámicos .....   | 26        |
| Ciclo Otto .....  | 26        |
| Ciclo Diésel.....   | 27        |
| Ciclo Rankine simple.....   | 28        |
| Ciclo Rankine con sobrecalentamiento .....                              | 29        |
| Estequiometría de la combustión .....                                   | 29        |
| Tabla de aire como gas ideal .....                                      | 33        |
| Ciclo Brayton .....   | 35        |
| Ciclo Carnot.....   | 36        |
| Ciclo de refrigeración por compresión.....                              | 37        |
| El efecto de refrigeración.....   | 38        |
| Aplicación de motocompresores .....                                     | 38        |
| Diferencia de temperatura en sólidos generadores de calor.....          | 38        |
| Calor transferido por conducción, convección y radiación .....          | 38        |
| Cálculo de transferencia de calor con cambio de fase .....              | 40        |
| Transferencia de calor por convección en superficies extendidas .....   | 41        |
| Enfriamiento o calentamiento en estado transitorio .....                | 45        |
| Intercambiadores de calor y temperatura media logarítmica .....         | 45        |
| Propiedades y comportamiento de los fluidos .....                       | 46        |
| Estática de fluidos .....   | 47        |
| Ecuaciones de potencia y eficiencia .....                               | 48        |
| Ecuación de potencia eólica disponible (hélice de aerogeneradores)..... | 48        |
| Potencia aprovechable de aerogenerador .....                            | 48        |
| Bombas y turbinas .....   | 49        |
| Mecánica de fluidos .....   | 52        |
| <b>Sistemas eléctricos.....</b>   | <b>55</b> |
| Fórmulas básicas de circuitos de corriente alterna .....                | 56        |
| Fórmulas para el sistema en por unidad.....                             | 59        |
| Fórmulas para el cálculo de flechas .....                               | 60        |

|  |            |
|--|------------|
| Fórmulas para el análisis de transformadores .....   | 60         |
| Cálculo de corriente de falla.....   | 62         |
| Cálculo de sección de conductores .....  | 63         |
| Fórmulas para calcular el consumo eléctrico y el cálculo del kW-h.....                                 | 63         |
| Flujo total de iluminación .....   | 63         |
| Índice de calidad respecto al nivel de voltaje $\Delta V_k$ (%).....                                   | 63         |
| Símbolos de acuerdo con NMX-J-136-ANCE-2019 .....  | 65         |
| Símbolos de acuerdo con EN-60617 o IEC 60617 .....   | 67         |
| Símbolos de acuerdo a la ANSI.....   | 70         |
| Artículos con referencia a la NOM-001-SEDE-2012 .....  | 72         |
| <b>Procesos productivos.....</b>   | <b>87</b>  |
| <b>Procesos de producción.....</b>   | <b>87</b>  |
| Comportamiento mecánico de los materiales .....  | 87         |
| Acabado superficial .....  | 87         |
| Procesos de deformación masiva o volumétrica.....  | 88         |
| Procesos de deformación de hojas metálicas.....  | 90         |
| Procesos de fundición .....  | 91         |
| <b>Soldadura.....</b>  | <b>93</b>  |
| Procesos de soldadura.....   | 94         |
| <b>Parámetros para el cálculo del consumo de material de aporte, electrodo revestido .....</b>         | <b>95</b>  |
| Procesos de mecanizado .....   | 96         |
| <b>Control numérico por computadora .....</b>  | <b>116</b> |
| <b>Softwares utilizados en Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica, Electromecánica y afines .....</b> | <b>117</b> |
| <b>Calidad .....</b>   | <b>119</b> |
| Tiempo de ciclo .....  | 119        |
| Eficiencia en el trabajo .....   | 119        |
| Balanceo de líneas.....  | 120        |
| Punto de equilibrio.....   | 121        |
| <b>Ingeniería económica.....</b>   | <b>122</b> |
| Valor del dinero en el tiempo.....   | 122        |
| Retorno sobre inversiones .....  | 122        |
| Depreciación.....  | 122        |
| <b>Mejora continua .....</b>   | <b>123</b> |
| <b>Estadística descriptiva.....</b>  | <b>123</b> |
| <b>Automatización y control.....</b>   | <b>125</b> |
| <b>Ingeniería de control .....</b>   | <b>125</b> |
| Elementos de un diagrama de control .....  | 126        |
| Reglas para determinar la función de transferencia del circuito de control total .....                 | 126        |
| Elementos primitivos de transferencia .....  | 128        |
| Reglas empíricas para ajustar elementos de control P, PI y PID .....                                   | 133        |
| Métodos de Hurwitz para determinar la estabilidad.....   | 133        |
| Métodos de Routh-Hurwitz para determinar la estabilidad .....  | 133        |
| Abreviaturas .....   | 134        |
| <b>Simbología de control.....</b>  | <b>137</b> |
| <b>Algebra de Boole.....</b>   | <b>138</b> |
| Circuitos digitales básicos .....  | 140        |
| Simbología hidráulica – neumática .....  | 141        |
| <b>Tabla comparativa de los símbolos eléctricos .....</b>  | <b>145</b> |
| <b>Temporizadores.....</b>   | <b>157</b> |
| <b>Contadores.....</b>   | <b>158</b> |
| <b>Comparadores .....</b>  | <b>158</b> |
| <b>Pulsaciones por revolución (PPR) del <i>encoder</i>.....</b>  | <b>158</b> |
| <b>Anexo .....</b>   | <b>159</b> |
| <b>Leyes trigonométricas .....</b>   | <b>159</b> |
| <b>Identidades trigonométricas.....</b>  | <b>159</b> |
| <b>Valores de las funciones de ángulos importantes .....</b>   | <b>159</b> |
| <b>Áreas y volúmenes.....</b>  | <b>159</b> |
| <b>Fórmulas para potencias y raíces.....</b>   | <b>160</b> |
| <b>Expresiones algebraicas usuales .....</b>   | <b>160</b> |

|   |            |
|---|------------|
| Propiedades de los logaritmos .....                 | 160        |
| Tablas de equivalencias.....                        | 161        |
| Constantes físicas .....                            | 163        |
| Código de colores para resistencias eléctricas..... | 164        |
| Normatividad aplicable .....                        | 165        |
| <b>Consejo Técnico.....</b>                         | <b>205</b> |

## Sistemas mecánicos y de termofluidos

### Áreas, centroides y momentos de inercia

Posición del centroide de una figura

$$\bar{x} = \frac{\int x dA}{\int dA} = \frac{\sum \bar{x}_i A_i}{\sum A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{\int y dA}{\int dA} = \frac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i}$$

Posición del centroide de un cuerpo

$$\bar{x} = \frac{\int x dV}{\int dV} = \frac{\sum \bar{x}_i V_i}{\sum V_i}$$

$$\bar{y} = \frac{\int y dV}{\int dV} = \frac{\sum \bar{y}_i V_i}{\sum V_i}$$

$$\bar{z} = \frac{\int z dV}{\int dV} = \frac{\sum \bar{z}_i V_i}{\sum V_i}$$

$\bar{x}$  = coordenada x del centroide o centro de masa

$\bar{y}$  = coordenada y del centroide o centro de masa

$\bar{z}$  = coordenada z del centroide o centro de masa

$A$  = área

$\bar{x}_i$  = coordenada x del centroide o centro de masa de la i-ésima figura o cuerpo

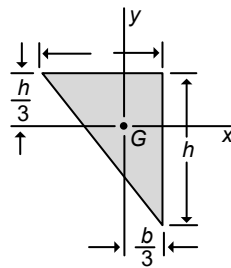
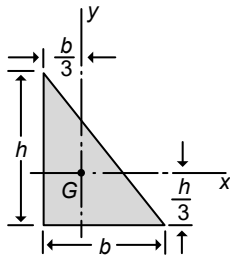
$\bar{y}_i$  = coordenada y del centroide o centro de masa de la i-ésima figura o cuerpo

$\bar{z}_i$  = coordenada z del centroide o centro de masa de la i-ésima figura o cuerpo

$A_i$  = i-ésima área de la figura compuesta

$V_i$  = i-ésimo volumen del cuerpo compuesto

Sección transversal triangular



$A$  = área

$b$  = base del rectángulo

$h$  = altura del rectángulo

$S$  = módulo de sección

$I$  = momento de inercia

$I_x$  = momento de inercia respecto a un eje dado

$J$  = momento polar de inercia

$d$  = diámetro

$d_1$  = diámetro interior

$d_2$  = diámetro exterior

$s$  = distancia entre los dos ejes en consideración

$$A = \frac{bh}{2}$$

$$\bar{x} = \frac{b}{3}$$

$$\bar{y} = \frac{h}{3}$$

$$I_x = \frac{bh^3}{36}$$

$$I_y = \frac{b^3 h}{36}$$

$$J_G = I_x + I_y$$

Sección transversal rectangular

$$A = b \cdot h$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Sección transversal circular hueca (tubo)

$$A = \frac{\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2)}{4}$$

$$J = \frac{\pi \cdot (d_2^4 - d_1^4)}{32}$$

$$I = \frac{\pi \cdot (d_2^4 - d_1^4)}{64}$$

Sección transversal circular

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

Teorema de los ejes paralelos

$$I_x = I + A \cdot s^2$$

Esfuerzos y deformaciones debidas a cargas axiales

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\tau = \frac{V}{A_c}$$

$$\tau = G \cdot \gamma$$

$$\delta = L_0 - L$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

$$\delta = \frac{F \cdot L_0}{E \cdot A}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$FS = \frac{S_{ys}}{\tau}$$

$$E = \frac{\Delta_{\text{esfuerzo}}}{\Delta_{\text{elongación}}}$$

$$\%_{\text{elongación}} = \left( \frac{L_f - L_i}{L_i} \right) \cdot 100$$

$$\%_{\text{reducción de área}} = \left( \frac{A_f - A_i}{A_i} \right) \cdot 100$$

A = área de la sección transversal

A<sub>c</sub> = área de corte

E = módulo de elasticidad del material o módulo de Young

F = fuerza axial

FS = factor de seguridad

G = módulo de elasticidad en cortante o módulo de rigidez

L<sub>0</sub> = longitud original de la barra

L = longitud medida después de la aplicación de la carga

S<sub>y</sub> = resistencia a la cedencia

S<sub>ys</sub> = resistencia al corte

V = fuerza cortante

γ = deformación angular

δ = alargamiento (elongación) de la barra o cambio de longitud de la barra

ε = deformación unitaria normal

σ = esfuerzo normal

τ = esfuerzo cortante

Δ = incremento

L<sub>f</sub> = longitud final de la probeta

L<sub>i</sub> = longitud Inicial de la probeta

% = porcentaje

A<sub>f</sub> = área final de la probeta

A<sub>i</sub> = área inicial de la probeta

### Esfuerzos y deformación debido a torsión, potencia

$$\phi = \theta \cdot L \quad \phi_i = \frac{T_i \cdot L_i}{G_i \cdot J_i}$$

$$\gamma = r \cdot \theta$$

$$\tau = G \cdot \gamma$$

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J}$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$T = F \cdot r$$

$$FS = \frac{S_{ys}}{\tau}$$

$G_i$  = módulo de elasticidad en cortante de la sección  $i$   
 $J_i$  = momento polar de inercia de la sección  $i$   
 $L_i$  = longitud de la barra de la sección  $i$   
 $r$  = radio interior donde se localiza el punto que se desea analizar  
 $S_{ys}$  = resistencia al corte  
 $T_i$  = par de torsión o momento de torsión de la sección  $i$   
 $\phi$  = ángulo de torsión total  
 $\gamma$  = deformación por cortante  
 $\tau$  = esfuerzo cortante  
 $\theta$  = ángulo de torsión por unidad de longitud  
 $P$  = potencia  
 $\omega$  = velocidad angular  
 $f$  = frecuencia de rotación  
 $F$  = fuerza axial  
 $FS$  = factor de seguridad

### Esfuerzos y deformaciones debidas a flexión

$$\sigma = \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

$$S = \frac{I}{y}$$

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$E \cdot I \cdot v'' = -M$$

$$E \cdot I \cdot v''' = -V$$

$$E \cdot I \cdot v'''' = -q$$

$b$  = espesor de la sección transversal en el punto donde se desea calcular el esfuerzo cortante  
 $I$  = momento de inercia  
 $M$  = momento flexionante  
 $q$  = fuerza distribuida  
 $Q$  = primer momento del área o momento estático del área  
 $S$  = módulo de sección  
 $V$  = fuerza cortante  
 $\sigma$  = esfuerzo flexionante  
 $x$  = posición de la viga donde se desea evaluar la deflexión, rotación, momento o fuerza cortante de la viga  
 $y$  = distancia del eje neutro a la fibra de estudio  
 $v$  = deflexión de la viga  
 $v''$  = segunda derivada de la deflexión respecto a  $x$   
 $v'''$  = tercera derivada de la deflexión respecto a  $x$   
 $v''''$  = cuarta derivada de la deflexión respecto a  $x$   
 $\tau$  = esfuerzo cortante

### Esfuerzos principales y esfuerzo cortante máximo

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tan 2\theta_p = \frac{2 \cdot \tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

$\theta_p$  = ángulo de orientación de los planos principales  
 $\sigma_{med}$  = esfuerzo normal medio  
 $\sigma_x$  = esfuerzo normal en la dirección de  $x$   
 $\sigma_y$  = esfuerzo normal en la dirección de  $y$   
 $\sigma_1$  = esfuerzo principal máximo  
 $\sigma_2$  = esfuerzo principal mínimo  
 $\tau_{xy}$  = esfuerzo cortante en el plano  $xy$   
 $\tau_{m\acute{a}x}$  = esfuerzo cortante máximo (criterio de Tresca)  
 $\sigma_y$  = límite elástico a tensión  
 $\sigma_1, \sigma_3$  = la mayor y la menor tensión principal en el punto

$$\tau_{\text{máx}} \geq \frac{\sigma_y}{2} \quad \tau_{\text{máx}} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$$

### Esfuerzos en planos inclinados

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \text{sen} 2\theta$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \text{sen} 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

$\theta$  = ángulo de orientación

$\sigma_x$  = esfuerzo normal en la dirección de  $x$

$\sigma_y$  = esfuerzo normal en la dirección de  $y$

$\sigma_{x'}$  = esfuerzo normal en la dirección de  $x'$

$\sigma_{y'}$  = esfuerzo normal en la dirección de  $y'$

$\tau_{xy}$  = esfuerzo cortante en el plano  $xy$

$\tau_{x'y'}$  = esfuerzo cortante en el plano  $x'y'$

### Teorías de falla bajo carga estática

Teoría del esfuerzo cortante máximo

$$S_{ys} = 0.5S_y \quad n = \frac{S_{ys}}{\tau_{\text{máx}}}$$

$n$  = factor de seguridad

$S_{ys}$  = resistencia al corte

$S_{ut}$  = resistencia última a la tensión

$S_{uc}$  = resistencia última a compresión

$\sigma$  = esfuerzo normal

$\sigma'$  = esfuerzo de Von Mises

$\sigma_x$  = esfuerzo normal en la dirección de  $x$

$\sigma_y$  = esfuerzo normal en la dirección de  $y$

$\tau_{\text{máx}}$  = esfuerzo cortante máximo

$\tau_{xy}$  = esfuerzo cortante en el plano  $xy$

$u$  = densidad de energía de deformación unitaria

Teoría de la energía de distorsión máxima o de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Teoría del esfuerzo normal máximo

$$n = \frac{S_{ut}}{\sigma_1} \text{ cuando}$$

$$|\text{máx}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)| > |\text{mín}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)|$$

$$n = \frac{S_{uc}}{\sigma_3} \text{ cuando}$$

$$|\text{mín}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)| > |\text{máx}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)|$$

$$u = \frac{1}{2} \sigma$$

### Polipastos

$$F = \frac{R}{2n} \quad \text{potencial}$$

$R$  = carga

$n$  = número de poleas

$F$  = fuerza para elevar la carga

$$F = \frac{R}{2^n} \quad \text{exponencial}$$

### Fuerza en malacate

$$F_t = \left(\frac{W}{m} + wl\right) \left(1 + \frac{a}{g}\right)$$

$F_t$  = tensión en el cable metálico  
 $W$  = Peso al final del cable (carga y jaula)  
 $m$  = número de cables que soportan la carga  
 $w$  = peso del cable por unidad de longitud  
 $l$  = longitud del cable  
 $a$  = aceleración máxima experimentada  
 $g$  = aceleración de la gravedad

### Columnas

Con ambos extremos articulados

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Con un extremo empotrado y el otro libre

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot L^2}$$

Con ambos extremos empotrados

$$P_{cr} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Con un extremo empotrado y el otro articulado

$$P_{cr} = \frac{2.046 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Para todo tipo de extremos

$$\sigma_{\alpha} = \frac{P_{\alpha}}{A} \quad r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Con extremos articulados y carga excéntrica

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \cdot \left[ 1 + \frac{e \cdot c}{r^2} \cdot \sec \left( \frac{L}{2 \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{P}{E \cdot A}} \right) \right]$$

$A$  = área de la sección transversal de la columna

$c$  = distancia del eje centroidal a la fibra extrema

$e$  = excentricidad de la carga

$E$  = módulo de elasticidad o módulo de Young

$I$  = momento de inercia para el eje principal respecto al cual se presenta el pandeo

$L$  = longitud de la columna

$P$  = fuerza excéntrica aplicada

$P_{cr}$  = carga crítica

$r$  = radio de giro de la sección transversal en el plano de flexión

$\sigma_c$  = esfuerzo compresión máximo de la columna

$\sigma_{cr}$  = esfuerzo crítico de la columna

Motores/engranés rectos

| Parámetro                                  | Paso grueso ( $P_d < 20$ ) | Paso fino ( $P_d \geq 20$ ) |
|--|----------------------------|-----------------------------|
| Ángulo de presión                          | 20° o 25°                  | 20°                         |
| Altura de cabeza ( <i>addendum</i> )       | 1.000/ $P_d$               | 1.000/ $P_d$                |
| Altura de raíz ( <i>dedendum</i> )         | 1.250/ $P_d$               | 1.250/ $P_d$                |
| Profundidad de trabajo                     | 2.000/ $P_d$               | 2.000/ $P_d$                |
| Profundidad total                          | 2.250/ $P_d$               | 2.200/ $P_d$ + 0.002 in     |
| Espesor circular del diente                | 1.571/ $P_d$               | 1.571/ $P_d$                |
| Radio del filete                           | 0.300/ $P_d$               | No estándar                 |
| Holgura básica mínima                      | 0.250/ $P_d$               | 0.200/ $P_d$ + 0.002 in     |
| Ancho mínimo de la cresta superior         | 0.250/ $P_d$               | No estándar                 |
| Holgura (dientes rasurados o rectificadas) | 0.350/ $P_d$               | 0.350/ $P_d$ + 0.002 in     |

$$P_c = \frac{\pi \cdot d_p}{N}$$

$$m = \frac{d_p}{N}$$

$$W_t = \frac{2 \cdot T}{d_p}$$

$$W = \frac{W_t}{\cos \phi}$$

$$W_r = W_t \cdot \tan \phi$$

$$m_v = \frac{\omega_{salida}}{\omega_{entrada}}$$

$$m_v = \pm \frac{N_{entrada}}{N_{salida}}$$

$$m_T = \frac{1}{m_v}$$

$$P_d = \frac{\pi}{P_c}$$

$$P_d = \frac{N}{D_p}$$

$$P_d = \frac{N + 2}{D_e}$$

$$P_c = \frac{D_p \cdot \pi}{N}$$

$$C = \frac{N_{entrada} + N_{salida}}{2P_d}$$

$$W = \frac{2.250}{P_d}$$

$$W' = \frac{2}{P_d}$$

$$D_e = \frac{N + 2}{P_d}$$

$$D_f = D_e - 2W$$

$$N = P_d \cdot D_p$$

$$E = \frac{1.571}{P_d}$$

$$L = \frac{\pi \cdot N_c}{P_d}$$

$d_p$  = diámetro de paso

$m$  = módulo

$m_v$  = razón de velocidad angular

$m_T$  = razón de par de torsión

$N$  = número de dientes

$P$  = potencia

$P_c$  = paso circular

$P_d$  = paso diametral

$T$  = par de torsión

$W$  = fuerza total en el engrane

$W_r$  = fuerza radial en el engrane

$W_t$  = fuerza tangencial en el engrane

$\phi$  = ángulo de presión

$\omega$  = velocidad angular

$\omega_{entrada}$  = velocidad angular del engrane de entrada

$\omega_{salida}$  = velocidad angular del engrane de salida

$N_{salida}$  = número de dientes de engrane de salida

$N_{entrada}$  = número de dientes engrane de entrada

$D_p$  = diámetro primitivo o de paso

$D_e$  = diámetro exterior

$D_f$  = diámetro de fondo

$C$  = distancia entre 2 centros

$W$  = profundidad total del diente

$W'$  = profundidad útil del diente

2.250 = constante para profundidad de dientes de engranes

1.571 = constante para espesor de diente de engranes (paso fino)

$E$  = espesor de diente

$L$  = longitud de cremallera

$N_c$  = número de dientes de la cremallera

### Criterio de Grashof

| Caso | Criterio    | Eslabón más corto | Categoría         |
|------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1    | $s+l < p+q$ | Triple balancín   | Doble manivela    |
| 2    | $s+l < p+q$ | Lado              | Manivela-balancín |
| 3    | $s+l < p+q$ | Acoplador         | Doble balancín    |
| 4    | $s+l = p+q$ | Cualquiera        | Punto de cambio   |
| 5    | $s+l > p+q$ | Cualquiera        | Triple balancín   |

$s$  = longitud del eslabón más corto  
 $l$  = longitud del eslabón más largo  
 $p$  = longitud de uno de los eslabones intermedios  
 $q$  = longitud de otro de los eslabones intermedios  
 $m$  = movilidad o grados de libertad del mecanismo  
 $L$  = número total de eslabones en el mecanismo  
 $J_1$  = número de juntas que restringen 2 grados de libertad  
 $J_2$  = número de juntas que restringen 1 grado de libertad  
 $e$  = exponencial  
 $i$  = unidad imaginaria  
 $\theta$  = ángulo del vector

Movilidad de un mecanismo

$$m = 3(L - 1) - 2J_1 - J_2$$

Identidad de Euler

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \operatorname{sen} \theta$$

### Ecuaciones de movimiento

Movimiento circular

$$v = \omega \cdot r \quad a_t = \alpha \cdot r \quad a_r = \omega^2 \cdot r$$

Velocidad constante

$$v = \frac{d}{t}$$

Aceleración constante

$$s_f = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad a = \frac{v_f - v_0}{t}$$

$$v_f^2 = v_0^2 + 2a(s_f - s_0) \quad v_f = v_0 + a t$$

Ecuaciones generales

$$v = \frac{dx}{dt} \quad a = \frac{dv}{dt} \quad a = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$x = \int v dt \quad v = \int a dt$$

$a$  = aceleración lineal  
 $a_r$  = aceleración radial  
 $a_t$  = aceleración tangencial  
 $r$  = radio de giro  
 $s$  = desplazamiento  
 $s_f$  = posición final  
 $s_0$  = posición inicial  
 $t$  = tiempo  
 $v$  = velocidad lineal  
 $v_f$  = velocidad final  
 $v_0$  = velocidad inicial  
 $\alpha$  = aceleración angular  
 $\omega$  = velocidad angular  
 $x$  = posición

### Rodamientos

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^a$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} L_{10}$$

$L_{10}$  = vida nominal (millones de revoluciones)  
 $L_{10h}$  = vida nominal (horas de funcionamiento)  
 $C$  = capacidad de carga dinámica  
 $P$  = carga dinámica equivalente del rodamiento  
 $n$  = velocidad de giro  
 $a$  = exponente para rodamientos de bolas es 3 y para rodamientos de rodillos es 10/3  
 60 = constante para el cálculo de la vida nominal de un rodamiento

## Tornillos de potencia

### Roscas cuadradas

Para subir carga

$$T_u = \frac{P \cdot d_p}{2} \cdot \left( \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_p + L}{\pi \cdot d_p - \mu \cdot L} \right) + \mu_c \cdot P \cdot \frac{d_c}{2}$$

Para bajar carga

$$T_d = \frac{P \cdot d_p}{2} \cdot \left( \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_p - L}{\pi \cdot d_p + \mu \cdot L} \right) + \mu_c \cdot P \cdot \frac{d_c}{2}$$

### Roscas Acme

Para subir carga

$$T_u = \frac{P \cdot d_p}{2} \cdot \left( \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_p + L \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot d_p \cdot \cos \alpha - \mu \cdot L} \right) + \mu_c \cdot P \cdot \frac{d_c}{2}$$

Para bajar carga

$$T_d = \frac{P \cdot d_p}{2} \cdot \left( \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_p - L \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot d_p \cdot \cos \alpha + \mu \cdot L} \right) + \mu_c \cdot P \cdot \frac{d_c}{2}$$

### Rendimiento de un tornillo de potencia

$$\eta = \frac{\cos \theta_n - \mu_1 \tan \alpha}{\cos \theta_n + \mu_1 \cot \alpha}$$

### Sección efectiva o resistente de un tornillo

$$As = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{d_2 + d_3}{2} \right]^2$$

## Cuñas

$$\tau = \frac{2 \cdot T}{d \cdot b \cdot L}$$

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot T}{d \cdot h \cdot L}$$

$d_p$  = diámetro de paso del tornillo

$d_c$  = diámetro medio del collarín de empuje

$L$  = avance

$P$  = carga a subir o a bajar

$T_d$  = par de torsión total para bajar la carga

$T_u$  = par de torsión total para elevar la carga

$\alpha$  = ángulo de la hélice de la rosca

$\mu$  = coeficiente de fricción entre tornillo y tuerca

$\mu_c$  = coeficiente de fricción en el cojinete de empuje

$\eta$  = rendimiento de un tornillo de potencia

$\mu$  = coeficiente de fricción

$\theta = 14.5^\circ$  ángulo de rosca ACME

$As$  = área o sección resistente efectiva

$d_2$  = diámetro primitivo de la rosca

$d_3$  = diámetro de núcleo de la rosca

$\tau$  = esfuerzo cortante

$T$  = par torsional

$d$  = diámetro de la flecha

$b$  = base de la cuña o ancho de la cuña

$L$  = longitud de la cuña

$\sigma_c$  = esfuerzo de compresión

$h$  = altura de la cuña

### Longitud de la banda

$$\theta_1 = \pi + 2 \arcsen\left(\frac{D-d}{2c}\right)$$

$$\theta_2 = \pi - 2 \arcsen\left(\frac{D-d}{2c}\right)$$

$$L = \sqrt{4 \cdot C^2 - (D-d)^2} + \frac{1}{2} \cdot (D \cdot \theta_1 + d \cdot \theta_2)$$

$$n = \frac{P_d}{P_n}$$

$$P_d = F \cdot P_t$$

$$P_n = P_{nb} + P_a$$

$L$  = longitud de la banda

$C$  = distancia entre centros

$D$  = diámetro de la polea mayor

$d$  = diámetro de la polea menor

$\theta_1$  = ángulo de contacto de la polea mayor

$\theta_2$  = ángulo de contacto de la polea menor

$n$  = número de bandas

$P_d$  = potencia de diseño

$P_n$  = potencia nominal

$F$  = factor de servicio

$P_t$  = potencia transmitida

$P_{nb}$  = potencia nominal básica

$P_a$  = potencia agregada

### Recipientes esféricos a presión

Esfuerzos en la superficie exterior

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{p \cdot r}{4 \cdot t}$$

Esfuerzos en la superficie interior

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} \quad \sigma_3 = -p$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{p}{2} \left( \frac{r}{2 \cdot t} + 1 \right)$$

$p$  = presión

$r$  = radio de la esfera

$t$  = espesor de la esfera

$\sigma_1$  = esfuerzo principal 1

$\sigma_2$  = esfuerzo principal 2

$\sigma_3$  = esfuerzo principal 3

$\tau_{m\acute{a}x}$  = esfuerzo cortante máximo

### Recipientes cilíndricos a presión

Esfuerzos en la superficie exterior

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot r}{t} \quad \sigma_2 = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t}$$

Esfuerzo en la superficie interior

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot r}{t} \quad \sigma_2 = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} \quad \sigma_3 = -p$$

$p$  = presión

$r$  = radio del cilindro

$t$  = espesor del cilindro

$\sigma_1$  = esfuerzo principal 1 o circunferencial

$\sigma_2$  = esfuerzo principal 2 o longitudinal

$\tau_{m\acute{a}x}$  = esfuerzo cortante máximo

### Frenos de banda

$$p_{m\acute{a}x} = \frac{2 \cdot P_1}{b \cdot D}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{f \cdot \theta}$$

$$T = (P_1 - P_2) \cdot \frac{D}{2}$$

$p_{m\acute{a}x}$  = presión máxima

$b$  = ancho de la banda

$P_1$  = fuerza de tensión en la banda o tensión máxima en la banda

$D$  = diámetro del tambor

$P_2$  = fuerza floja en la banda o tensión mínima en la banda

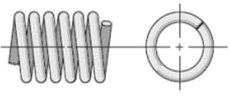
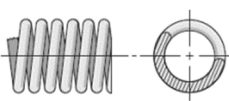
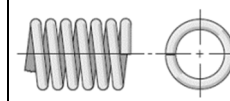
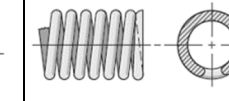
$\theta$  = ángulo de contacto entre la banda y el tambor

$f$  = coeficiente de fricción

$T$  = capacidad de frenado o par torsional neto sobre el tambor

## Resortes helicoidales a tensión y compresión

### Tipo de extremos de los resortes

|                     | Simple  | Simple y rectificado  | A escuadra o cerrado   | A escuadra y rectificados   |
|---------------------|---|---|--|---|
| Diagrama            |  |  |  |  |
| Espiras en extremos | 0   | 1   | 2  | 2   |
| Espiras totales     | $N_a$   | $N_a + 1$   | $N_a + 2$  | $N_a + 2$   |

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N_a}$$

$$D = D_{ext} - (2 \cdot d)$$

$$F_s = k \cdot y_s$$

$$y_s = L_0 - L_s$$

$$L_s = d \cdot N_t$$

$$C = \frac{D_o}{d}$$

$$k = \frac{F}{y}$$

$k$  = constante de rigidez del resorte

$d$  = diámetro del alambre

$D$  = diámetro medio del resorte

$N_a$  = número de espiras activas

$G$  = módulo de corte o de rigidez

$D_{ext}$  = diámetro exterior del resorte

$F_s$  = fuerza para comprimir el resorte a su longitud cerrada

$y_s$  = deformación sólida

$L_0$  = longitud libre

$L_s$  = longitud cerrada

$N_t$  = número de espiras totales

$C$  = índice del resorte

$y$  = deflexión

$F$  = carga axial

$\tau_{m\acute{a}x}$  = esfuerzo cortante máximo

$D_o$  = diámetro de espira

### Vibraciones

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$c_{cr} = 2 \cdot \sqrt{km}$$

Resortes en paralelo

$$k_{eq} = \sum_{i=1}^n k_i$$

Resortes en serie

$$k_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i}}$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\zeta = \frac{c}{c_{cr}}$$

$\omega_n$  = frecuencia natural del sistema

$k$  = rigidez del resorte

$m$  = masa

$T$  = periodo

$c$  = coeficiente de amortiguamiento

$c_{cr}$  = amortiguamiento crítico

$\zeta$  = factor de amortiguamiento

$k_{eq}$  = rigidez equivalente

Frecuencia natural del primer modo lateral de una viga simplemente apoyada con una carga centrada

$$\omega_1 = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\left(\frac{EI}{m_l}\right)}$$

Ecuación homogénea de vibración

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = 0$$

$\omega_1$  = frecuencia natural

$\pi$  = constante

$l$  = longitud

$m_l$  = masa por unidad de longitud

$E$  = módulo elástico del material

$I$  = segundo momento de área de la sección transversal

$\ddot{x}$  = aceleración

$\dot{x}$  = velocidad

$x$  = posición

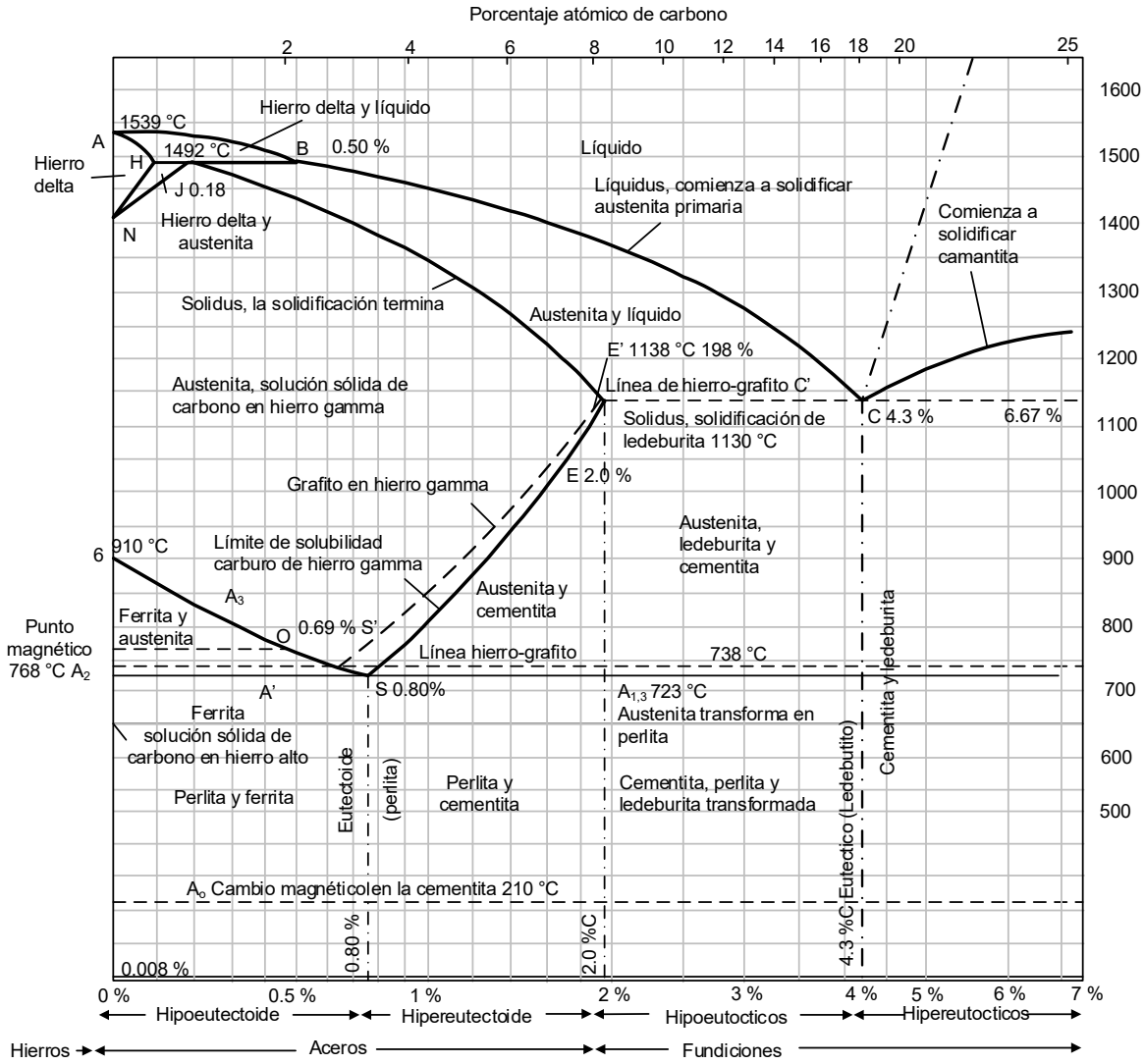
Tabla de propiedades mecánicas de los aceros

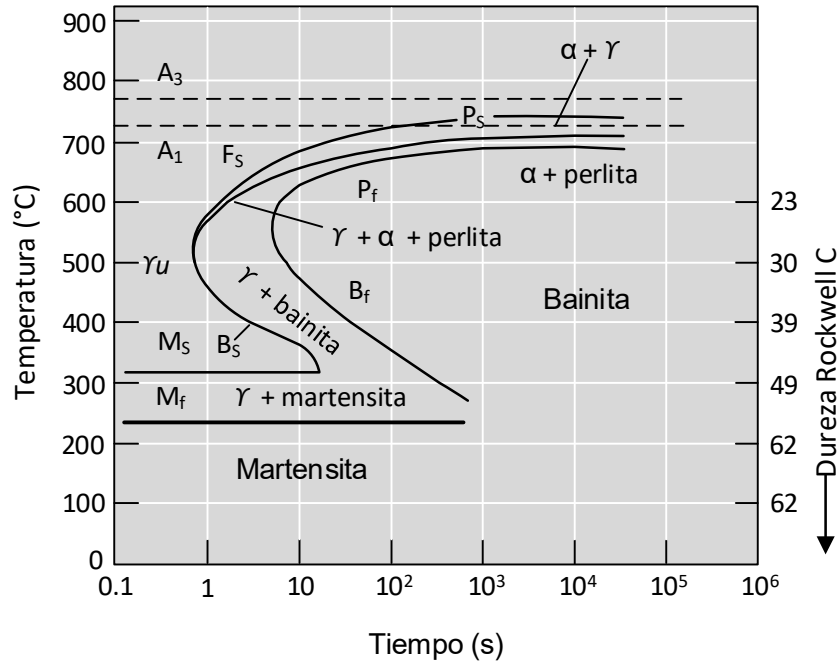
| Nomenclatura |      | Esfuerzo a la cedencia ( $S_y$ ) |                    | Esfuerzo último a la tensión ( $S_u$ ) |                    |
|--------------|------|----------------------------------|--------------------|--|--------------------|
| NMX          | ASTM | MPa                              | kg/cm <sup>2</sup> | MPa                                    | kg/cm <sup>2</sup> |
| B-254        | A36  | 250                              | 2 530              | 400 a 550                              | 4 080 a 5 620      |
| B-99         | A529 | 290                              | 2 950              | 414 a 585                              | 4 220 a 5 975      |
| B-282        | A242 | 290                              | 2 950              | 435                                    | 4 430              |
|              |      | 320                              | 3 235              | 460                                    | 4 710              |
|              |      | 345                              | 3 515              | 485                                    | 4 920              |
| B-284        | A572 | 290                              | 2 950              | 414                                    | 4 220              |
|              |      | 345                              | 3 515              | 450                                    | 4 570              |
|              |      | 414                              | 4 220              | 515                                    | 5 270              |
|              |      | 450                              | 4 570              | 550                                    | 5 620              |
|              | A992 | 345                              | 3 515              | 450 a 620                              | 4 570 a 6 330      |
| B-177        | A53  | 240                              | 2 460              | 414                                    | 4 220              |
| B-199        | A500 | 320                              | 3 235              | 430                                    | 4 360              |
| B-200        | A501 | 250                              | 2 530              | 400                                    | 4 080              |
|              | A588 | 345                              | 3 515              | 483                                    | 4 920              |
|              | A913 | 345 a 483                        | 3 515 a 4 920      | 448 a 620                              | 4 570 a 6 330      |

| Número SAE/AISI | Estado                                 | Resistencia a la fluencia por tensión (0.2 % de deformación permanente) |       | Resistencia última a la tensión |       | Elongación en 2 in | Dureza Brinell |
|-----------------|--|---|-------|---------------------------------|-------|--------------------|----------------|
|                 |  | kpsi  | MPa   | kpsi                            | MPa   | %                  |                |
| 1010            | Laminado en caliente                   | 26  | 180   | 47                              | 324   | 28                 | 95             |
|                 | Laminado en frío                       | 44  | 303   | 53                              | 365   | 20                 | 105            |
| 1020            | Laminado en caliente                   | 30  | 207   | 55                              | 379   | 25                 | 111            |
|                 | Laminado en frío                       | 51  | 352   | 61                              | 421   | 15                 | 121            |
| 1030            | Laminado en caliente                   | 37.5  | 259   | 68                              | 469   | 20                 | 137            |
|                 | Laminado en frío                       | 64  | 442   | 76                              | 524   | 12                 | 149            |
| 1035            | Laminado en caliente                   | 39.5  | 273   | 72                              | 496   | 18                 | 143            |
|                 | Laminado en frío                       | 67  | 462   | 80                              | 551   | 12                 | 163            |
| 1040            | Laminado en caliente                   | 42  | 290   | 76                              | 524   | 18                 | 149            |
|                 | Laminado en frío                       | 71  | 490   | 85                              | 586   | 12                 | 170            |
| 1045            | Laminado en caliente                   | 45  | 310   | 82                              | 565   | 16                 | 163            |
|                 | Laminado en frío                       | 77  | 531   | 91                              | 627   | 12                 | 179            |
| 1050            | Laminado en caliente                   | 49.5  | 341   | 90                              | 620   | 15                 | 179            |
|                 | Laminado en frío                       | 84  | 579   | 100                             | 690   | 10                 | 197            |
| 1060            | Laminado en caliente                   | 70  | 485   | 118                             | 815   | 17                 | 241            |
|                 | Normalizado a 900 °C (1 650 °F)        | 61  | 420   | 113                             | 775   | 18                 | 229            |
| 1095            | Laminado en caliente                   | 83  | 570   | 140                             | 965   | 9                  | 293            |
|                 | Normalizado a 900 °C (1 650 °F)        | 73  | 505   | 147                             | 1 015 | 9.5                | 293            |
| 1340            | Recocido                               | 63  | 435   | 102                             | 705   | 25.5               | 207            |
|                 | Templado y revenido a 650°C (1 200 °F) | 90  | 621   | 116                             | 800   | 22                 | 252            |
| 4027            | Recocido                               | 47  | 324   | 75                              | 517   | 30                 | 150            |
|                 | Templado y revenido                    | 113   | 779   | 132                             | 910   | 12                 | 264            |
| 4130            | Recocido a 865 °C (1 585 °F)           | 52  | 360   | 81                              | 560   | 28.2               | 156            |
|                 | Normalizado a 1 650 °F                 | 63  | 435   | 97                              | 670   | 25.5               | 197            |
|                 | Templado y revenido a 650 °C(1 200 °F) | 120   | 830   | 140                             | 965   | 22                 | 270            |
|                 | Templado y revenido a 425 °C (800 °F)  | 170   | 1 170 | 200                             | 1 380 | 16.5               | 375            |
|                 | Templado y revenido a 205 °C (400 °F)  | 220   | 1 520 | 256                             | 1 765 | 10                 | 475            |
| 4140            | Recocido a 815 °C (1 500 °F)           | 61  | 420   | 95                              | 655   | 25.7               | 197            |
|                 | Normalizado 870 °C (1600 °F)           | 95  | 655   | 148                             | 1 020 | 17.7               | 302            |
| 6150            | Recocido                               | 60  | 415   | 97                              | 665   | 23                 | 197            |
|                 | Templado y revenido a 650 °C (1 200°F) | 122   | 841   | 137                             | 945   | 17                 | 282            |

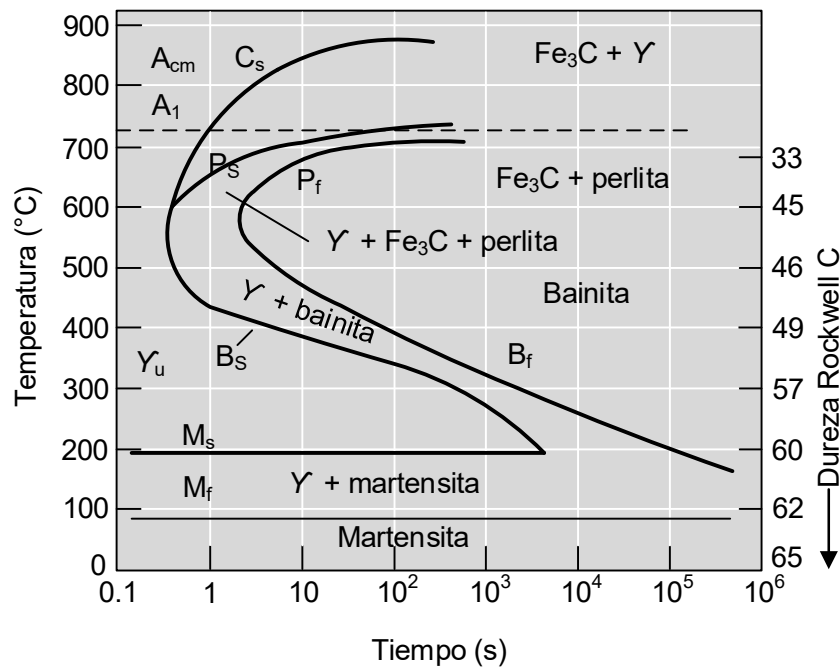
Fuente: SAE. (1990). *Handbook Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. (10ª ed.). Society of Automotive Engineers

### Diagrama de equilibrio de hierro-carbono





Diagramas TTT de un acero 1050 y un acero 10110



Diagramas TTT de un acero 10110

- C = Cementita
- F = Ferrita
- P = Perlita
- B = Bainita
- M = Martensita
- s = Inicio
- f = Final
- γ<sub>u</sub> = Fase gamma inestable

### Índices de tolerancias en $\mu\text{m}$

| Medidas nominales (en mm) | IT01 | IT0 | IT1 | IT2 | IT3 | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 |
|---------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 0 a 3                     | 0.3  | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 4   | 6   | 10  | 14  | 25  | 40   | 60   | 100  | 140  |
| 3 a 6                     | 0.4  | 0.6 | 1   | 1.5 | 2.5 | 4   | 5   | 8   | 12  | 18  | 30  | 48   | 75   | 120  | 180  |
| 6 a 10                    | 0.4  | 0.6 | 1   | 1.5 | 2.5 | 4   | 6   | 9   | 15  | 22  | 36  | 58   | 90   | 150  | 220  |
| 10 a 18                   | 0.5  | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8   | 11  | 18  | 27  | 43  | 70   | 110  | 180  | 270  |
| 18 a 30                   | 0.6  | 1   | 1.5 | 2.5 | 4   | 6   | 9   | 13  | 21  | 33  | 52  | 84   | 130  | 210  | 330  |
| 30 a 50                   | 0.6  | 1   | 0.8 | 2.5 | 4   | 7   | 11  | 16  | 25  | 39  | 62  | 100  | 160  | 250  | 390  |
| 50 a 80                   | 0.8  | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8   | 13  | 19  | 30  | 46  | 74  | 120  | 190  | 300  | 460  |
| 80 a 120                  | 1    | 1.5 | 2.4 | 4   | 6   | 10  | 15  | 22  | 35  | 54  | 87  | 140  | 220  | 350  | 540  |
| 120 a 180                 | 1.2  | 2   | 3.5 | 5   | 8   | 12  | 18  | 25  | 40  | 63  | 100 | 160  | 250  | 400  | 630  |
| 180 a 250                 | 2    | 3   | 4.5 | 7   | 10  | 14  | 20  | 29  | 46  | 72  | 115 | 185  | 290  | 460  | 720  |
| 250 a 315                 | 2.5  | 4   | 6   | 8   | 12  | 16  | 23  | 32  | 52  | 81  | 130 | 210  | 320  | 520  | 810  |
| 315 a 400                 | 3    | 5   | 7   | 9   | 13  | 18  | 25  | 36  | 57  | 89  | 150 | 230  | 360  | 570  | 890  |
| 400 a 500                 | 4    | 6   | 8   | 10  | 15  | 20  | 27  | 40  | 63  | 97  | 155 | 250  | 400  | 630  | 970  |

### Ajustes base agujero en $\mu\text{m}$

| Diámetros en (mm)  | H7       | s6           | r6           | n6         | k6        | j6       | h6      | g6        | f7         |
|--------------------|----------|--------------|--------------|------------|-----------|----------|---------|-----------|------------|
| $d \leq 3$         | +10<br>0 | +20<br>+14   | +16<br>+10   | +10<br>+4  | +6<br>0   | +4<br>-2 | 0<br>-6 | -2<br>-8  | -6<br>-16  |
| $3 < d \leq 6$     | +12<br>0 | +27<br>+19   | +23<br>+15   | +16<br>+8  | +9<br>+1  | +6<br>-2 | 0<br>-8 | -4<br>-12 | -10<br>-22 |
| $6 < d \leq 10$    | +15<br>0 | +32<br>+23   | +28<br>+19   | +19<br>+10 | +10<br>+1 | +7<br>-2 | 0<br>-9 | -5<br>-14 | -13<br>-28 |
| $10 < d \leq 14$   | +18      | +39          | +34          | +23        | +12       | +8       | 0       | -6        | -16        |
| $14 < d \leq 18$   | 0        | +28          | +23          | +12        | +1        | -3       | -11     | -17       | -34        |
| $18 < d \leq 24$   | +21      | +48          | +41          | +28        | +15       | +9       | 0       | -7        | -20        |
| $24 < d \leq 30$   | 0        | +35          | +28          | +15        | +2        | -4       | -13     | -20       | -41        |
| $30 < d \leq 40$   | +25      | +59          | +50          | +33        | +18       | +11      | 0       | -9        | -25        |
| $40 < d \leq 50$   | 0        | +43          | +34          | +17        | +2        | -5       | -16     | -25       | -50        |
| $50 < d \leq 65$   | +30      | +72<br>+53   | +60<br>+41   | +39        | +21       | +12      | 0       | +10       | -30        |
| $65 < d \leq 80$   | 0        | +78<br>+59   | +62<br>+43   | +20        | +2        | -7       | -19     | -29       | -60        |
| $80 < d \leq 100$  | +35      | +91<br>+71   | +73<br>+51   | +45        | +25       | +13      | 0       | +12       | -36        |
| $100 < d \leq 120$ | 0        | +101<br>+79  | +76<br>+54   | +23        | +3        | -9       | -22     | -34       | -71        |
| $120 < d \leq 140$ |          | +117<br>+92  | +88<br>+63   |            |           |          |         |           |            |
| $140 < d \leq 160$ | +40      | +125<br>+100 | +90<br>+65   | +52        | +28       | +14      | 0       | +14       | -43        |
| $160 < d \leq 180$ | 0        | +133<br>+108 | +93<br>+68   | +27        | +3        | -11      | -25     | -39       | -83        |
| $180 < d \leq 200$ |          | +151<br>+122 | +106<br>+77  |            |           |          |         |           |            |
| $200 < d \leq 225$ | +46      | +159<br>+130 | +109<br>+80  | +60        | +33       | +16      | 0       | -15       | -50        |
| $225 < d \leq 250$ | 0        | +169<br>+140 | +113<br>+84  | +31        | +4        | -13      | -29     | -44       | -96        |
| $250 < d \leq 280$ | +52      | +190<br>+158 | +126<br>+94  | +66        | +36       | +19      | 0       | -17       | -56        |
| $280 < d \leq 315$ | 0        | +202<br>+170 | +130<br>+98  | +34        | +4        | -16      | -32     | -49       | -108       |
| $315 < d \leq 355$ | +57      | +226<br>+190 | +144<br>+108 | +73        | +40       | +18      | 0       | -18       | -62        |
| $355 < d \leq 400$ | 0        | +244<br>+208 | +150<br>+114 | +37        | +4        | -18      | -36     | -54       | -119       |

| Diámetros en (mm) | H7  | s6           | r6           | n6  | k6  | j6  | h6  | g6  | f7   |
|-------------------|-----|--------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 400 < d ≤ 450     | +63 | +272<br>+232 | +166<br>+126 | +80 | +45 | +20 | 0   | -20 | -68  |
| 450 < d ≤ 500     | 0   | +292<br>+252 | +172<br>+132 | +40 | +5  | -20 | -40 | -60 | -131 |

### Ajustes base flecha en μm

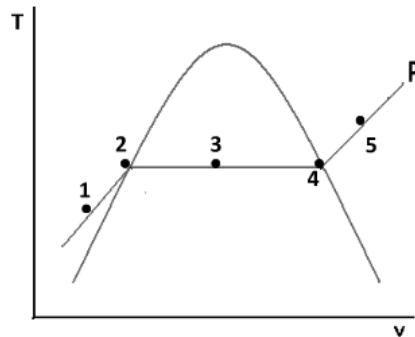
| Diámetros en (mm) | h6       | G7         | F8          | h9        | F8          | E9           | D10          | C11          | h11       | A11            |
|-------------------|----------|------------|-------------|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|-----------|----------------|
| d ≤ 3             | 0<br>-6  | +12<br>+2  | +20<br>+6   | 0<br>-25  | +20<br>+6   | +39<br>+14   | +60<br>+20   | +120<br>+60  | 0<br>-60  | +330<br>+270   |
| 3 < d ≤ 6         | 0<br>-8  | +16<br>+4  | +28<br>+10  | 0<br>-30  | +28<br>+10  | +50<br>+20   | +78<br>+30   | +145<br>+70  | 0<br>-75  | +345<br>+270   |
| 6 < d ≤ 10        | 0<br>-9  | +20<br>+5  | +35<br>+13  | 0<br>-36  | +35<br>+13  | +61<br>+25   | +98<br>+40   | +170<br>+80  | 0<br>-90  | +370<br>+280   |
| 10 < d ≤ 14       | 0        | +24        | +43         | 0         | +43         | +75          | +120         | +205         | 0         | +400           |
| 14 < d ≤ 18       | -11      | +6         | +16         | -43       | +16         | +32          | +50          | +95          | -110      | +290           |
| 18 < d ≤ 24       | 0        | +28        | +53         | 0         | +53         | +92          | +149         | +240         | 0         | +430           |
| 24 < d ≤ 30       | -13      | +7         | +20         | -52       | +20         | +40          | +65          | +110         | -130      | +300           |
| 30 < d ≤ 40       | 0        | +34        | +64         | 0         | +64         | +112         | +180         | +280<br>+120 | 0         | +470<br>+310   |
| 40 < d ≤ 50       | -16      | +9         | +25         | -62       | +25         | +50          | +80          | +290<br>+130 | -160      | +480<br>+320   |
| 50 < d ≤ 65       | 0<br>-19 | +40<br>+10 | +76<br>+30  | 0<br>-74  | +76<br>+30  | +134<br>+60  | +220<br>+100 | +330<br>+140 | 0         | +530<br>+340   |
| 65 < d ≤ 80       |          |            |             |           |             |              |              | +340<br>+150 | -190      | +550<br>+360   |
| 80 < d ≤ 100      | 0        | +47        | +90         | 0         | +90         | +159         | +260         | +390<br>+170 | 0         | +600<br>+380   |
| 100 < d ≤ 120     | -22      | +12        | +36         | -87       | +36         | +72          | +120         | +400<br>+180 | -220      | +630<br>+410   |
| 120 < d ≤ 140     |          |            |             |           |             |              |              | +450<br>+200 |           | +719<br>+460   |
| 140 < d ≤ 160     | 0<br>-25 | +54<br>+14 | +106<br>+43 | 0<br>-100 | +106<br>+43 | +185<br>+85  | +305<br>+145 | +460<br>+210 | 0<br>-250 | +770<br>+520   |
| 160 < d ≤ 180     |          |            |             |           |             |              |              | +480<br>+430 |           | +830<br>+580   |
| 180 < d ≤ 200     |          |            |             |           |             |              |              | +530<br>+240 |           | +950<br>+660   |
| 200 < d ≤ 225     | 0<br>-29 | +61<br>+15 | +122<br>+50 | 0<br>-115 | +122<br>+50 | +215<br>+100 | +355<br>+170 | +550<br>+260 | 0<br>-290 | +1110<br>+740  |
| 225 < d ≤ 250     |          |            |             |           |             |              |              | +570<br>+280 |           | +1110<br>+820  |
| 250 < d ≤ 280     | 0        | +69        | +137        | 0         | +137        | +240         | +400         | +620<br>+300 | 0         | +1240<br>+920  |
| 280 < d ≤ 315     | -32      | +17        | +56         | -130      | +56         | +110         | +190         | +650<br>+330 | -320      | +1370<br>+1050 |
| 315 < d ≤ 355     | 0        | +75        | +151        | 0         | +151        | +265         | +440         | +720<br>+360 | 0         | +1560<br>+1200 |
| 355 < d ≤ 400     | -36      | +18        | +62         | -140      | +62         | +125         | +210         | +760<br>+400 | -360      | +1710<br>+1350 |

## ASME

| Clave      | Descripción   |
|------------|---|
| ASME B31.1 | Prescribe los requisitos mínimos para el diseño, los materiales, la fabricación, el montaje, las pruebas, el examen, la inspección, el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas de tuberías que suelen encontrarse en las centrales eléctricas, las plantas industriales e institucionales, los sistemas de calefacción geotérmica y los sistemas de calefacción y refrigeración centrales y de distrito.  |
| ASME Y14.5 | La norma Y14.5 se considera la guía autorizada para el lenguaje de diseño de dimensionamiento geométrico y tolerancia (GD&T). Establece símbolos, reglas, definiciones, requisitos, valores predeterminados y prácticas recomendadas para declarar e interpretar GD&T y requisitos relacionados para su uso en dibujos de ingeniería, modelos definidos en archivos de datos digitales y en documentos relacionados.<br>GD&T es una herramienta esencial para comunicar la intención del diseño: que las piezas de los dibujos técnicos tengan la forma, el ajuste, la función y la intercambiabilidad deseados. Al proporcionar uniformidad en las especificaciones e interpretación de los dibujos, GD&T reduce las conjeturas en todo el proceso de fabricación, mejorando la calidad, reduciendo los costes y acortando las entregas. |
| ASME EA-1  | Esta Norma cubre los sistemas de calentamiento de procesos que se definen como un grupo (o un conjunto, o una combinación) de equipos de calentamiento utilizados para calentar materiales en la producción de bienes en una planta industrial. Estos sistemas, comúnmente denominados con términos como hornos, fundidores, hornos y calentadores, utilizan fuentes de calor como combustibles, electricidad, vapor u otros fluidos para suministrar el calor necesario.   |

Termofluidos

Propiedades de las sustancias



Curva de saturación del agua en coordenadas (T-v) se definen los puntos

1. Líquido comprimido
2. Líquido saturado
3. Mezcla saturada líquido-vapor (vapor húmedo)
4. Vapor saturado
5. Vapor sobrecalentado

Para el punto 3 se calcula:

$$v = v_f + x(v_g - v_f)$$

$$h = h_f + x(h_g - h_f)$$

$$s = s_f + x(s_g - s_f)$$

$$u = u_f + x(u_g - u_f)$$

- $x$  = calidad del vapor
- $f$  = propiedad del líquido saturado
- $g$  = propiedad del vapor saturado
- $v$  = volumen específico ( $m^3/kg$ )
- $h$  = entalpía específica ( $kJ/kg$ )
- $s$  = entropía específica ( $kJ/kg \cdot K$ )
- $u$  = energía interna específica ( $kJ/kg$ )

Relación de la calidad del vapor

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$$

$$m_{\text{total}} = m_f + m_g$$

$$V_{\text{total}} = m_f v_f + m_g v_g$$

Ecuación de estado para gases ideales

$$PV = n R T$$

$$P = \rho R T / M$$

- $n$  = número de moles (kmol)
- $P$  = presión absoluta (Pa)
- $V$  = volumen ( $m^3$ )
- $T$  = temperatura absoluta (K)
- $R$  = 8 314.3 J/(kmol·K)
- $M$  = masa molecular (kg/kmol)

### Características de los procesos térmicos

| Proceso   | Relación entre los estados 1 y 2   | Trabajo (p/unid. masa)   |  | Calor (p/unid. masa) $q_{1,2}$    | Diagrama $p-v$ | Diagrama $T-s$ |
|---|--|--|--|-----------------------------------|----------------|----------------|
|   |  | discontinuo $W_{c1,2} = \int_1^2 p dv$   | continuo $W_{c1,2} = \int_1^2 v dp$  |                                   |                |                |
| Isocórico<br>$v = \text{constante}$<br>$n = \infty$ | $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$  | 0  | $V(P_1 - P_2)$<br>$= R(T_1 - T_2)$   | $c_v (T_2 - T_1)$                 |                |                |
| Isobárico<br>$p = \text{constante}$<br>$n = 0$      | $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$  | $P(v_2 - v_1)$<br>$= R(T_2 - T_1)$   | 0  | $c_p (T_2 - T_1)$                 |                |                |
| Isotérmico<br>$T = \text{constante}$<br>$n = 1$     | $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$  | $R T \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$<br>$= R T \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$                                     | $W_{1,2}$  | $W_{1,2}$                         |                |                |
| Isoentrópico<br>$s = \text{constante}$<br>$n = k$   | $\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k$<br>$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$<br>$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}}$ | $u_2 - u_1 = c_u(T_1 - T_2)$<br>$= \frac{1}{k-1} R T_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$  | $h_2 - h_1 = c_p(T_1 - T_2)$<br>$= \frac{k}{k-1} R T_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$  | 0                                 |                |                |
| Politrópico<br>$n = \text{constante}$               | $\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^n$<br>$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}}$<br>$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}}$ | $\frac{1}{n-1} R (T_1 - T_2)$<br>$= \frac{1}{n-1} R T_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$ | $\frac{n}{n-1} R (T_1 - T_2)$<br>$= \frac{n}{n-1} R T_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$ | $C_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)$ | Indefinido     | Indefinido     |

### Transferencia de exergía por calor

$$X = \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) Q$$

$X$  = exergía (J)

$T_0$  = temperatura en estado cero o muerto (K)

$T$  = temperatura ambiente (K)

$Q$  = Calor (J)

Cuando:

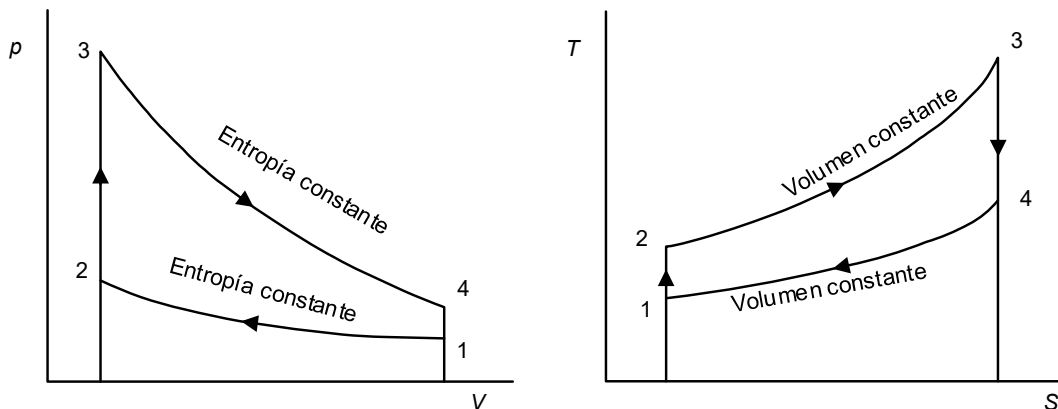
$T > T_0$  (la exergía y la transferencia de calor van en la misma dirección)

$T < T_0$  (la exergía y la transferencia de calor están en dirección contraria) (medio frío)

$T = T_0$  (Cuando las temperaturas están en el punto de transferencia)

## Ciclos termodinámicos

### Ciclo Otto



$$q_{ent} = q_{23} = C_v (T_3 - T_2)$$

$$q_{sal} = q_{41} = C_v (T_4 - T_1)$$

$$\eta_t = \frac{w_{neto}}{q_{ent}} = \frac{q_{ent} - q_{sal}}{q_{ent}} = 1 - \frac{q_{sal}}{q_{ent}}$$

Para los procesos isentrópicos 1-2 y 3-4

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1}$$

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

Eficiencia del ciclo Otto en función de la relación de compresión ( $r_c$ )

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}}$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$C_p$  = calor específico a presión constante (kJ/kg·K)

$C_v$  = calor específico a volumen constante (kJ/kg·K)

$q_{ent}$  = calor de entrada (kJ/kg)

$q_{sal}$  = calor de salida (kJ/kg)

$\eta_t$  = eficiencia térmica

$w_{neto}$  = trabajo neto (kJ/kg)

$k$  = relación de calores específicos

$r_c$  = relación de compresión

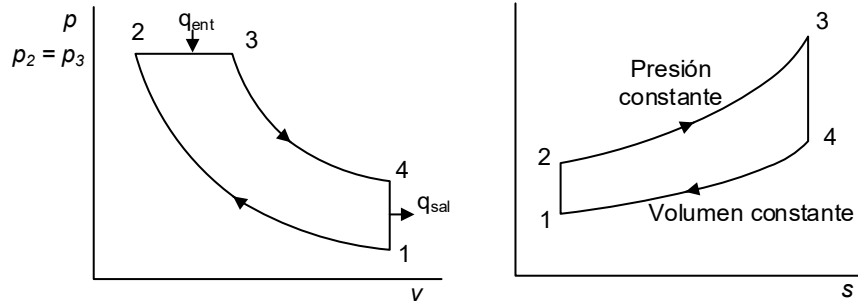
$T_n$  = temperatura en el estado (K) para  $n = 1, 2, 3,$

...

$V_n$  = volumen en el estado ( $m^3$ ) para  $n = 1, 2, 3,$

...

### Ciclo Diésel



$$q_{ent} = q_{32} = C_p (T_3 - T_2)$$

$$q_{sal} = q_{41} = C_v (T_4 - T_1)$$

$$w_{neto} = q_{ent} - q_{sal}$$

Para los procesos de compresión y expansión isentrópicos

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

$$\eta_t = \frac{w_{neto}}{q_{ent}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)}$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$r_f = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}} \left[ \frac{r_f^k - 1}{k(r_f - 1)} \right]$$

$$pme = \frac{w_{neto}}{V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}} = \frac{w_{neto}}{V_1 - V_2}$$

$$m = \frac{P_1 V_1 M}{RT_1}$$

$q_{ent}$  = calor de entrada (kJ/kg)

$q_{sal}$  = calor de salida (kJ/kg)

$C_p$  = calor específico a presión constante (kJ/kg·K)

$C_v$  = calor específico a volumen constante (kJ/kg·K)

$r_c$  = relación de compresión

$r_f$  = relación de fin de la inyección

$v$  = volumen específico (m<sup>3</sup>/kg)

$pme$  = presión media efectiva (kPa)

$\eta_t$  = eficiencia

$R = 8.314 \text{ kJ/kgmol}\cdot\text{K}$  o  $8.314 \text{ kPa m}^3/\text{kgmol K}$

$M$  = masa molecular del fluido (kg/kgmol)

$k$  = relación de calores específicos

$T_n$  = temperatura en el estado (K) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

$V_n$  = volumen en el estado (m<sup>3</sup>) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

$w_{neto}$  = trabajo neto (kJ/kg)

### Motor de combustión interna

$$N_{max} = \frac{S_{pmax}}{2L}$$

$$P_{bmax} = \frac{b_{mep} V_d N_{max}}{n_R}$$

$N_{max}$  = velocidad de rotación del cigüeñal (ciclos/s)

$S_{pmax}$  = velocidad media máxima del pistón (m/s)

$L$  = carrera o recorrido (m)

$P_{bmax}$  = potencia máxima que entrega el motor (W)

$b_{mep}$  = presión media efectiva al freno (Pa)

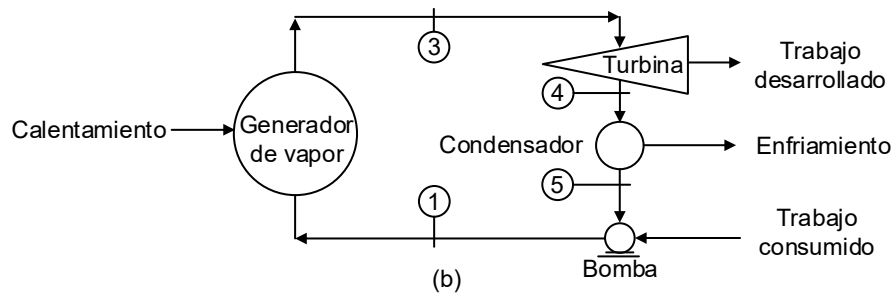
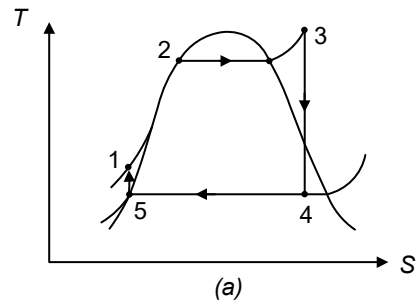
$V_d$  = volumen desplazado (m<sup>3</sup>)

Número de revoluciones de carrera  $n_R$

$n_R = 1$  para motores de dos tiempos

$n_R = 2$  para motores de cuatro tiempos

Ciclo Rankine simple



$$q_{ent} = h_3 - h_1$$

$$q_{sal} = h_4 - h_5$$

$$w_T = h_3 - h_4$$

$$w_b = h_1 - h_5 \approx v_5 (P_1 - P_5)$$

$$w_{neto} = w_T - w_b$$

$$\eta_t = \frac{w_{neto}}{q_{ent}}$$

$$C_e = \frac{3600}{w_{neto}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right]$$

$q_{ent}$  = calor de entrada en el generador (kJ/kg)

$q_{sal}$  = calor de salida en el condensador (kJ/kg)

$w_T$  = trabajo en la turbina (kJ/kg)

$w_b$  = trabajo en la bomba (kJ/kg)

$w_{neto}$  = trabajo neto (kJ/kg)

$\eta_t$  = eficiencia térmica

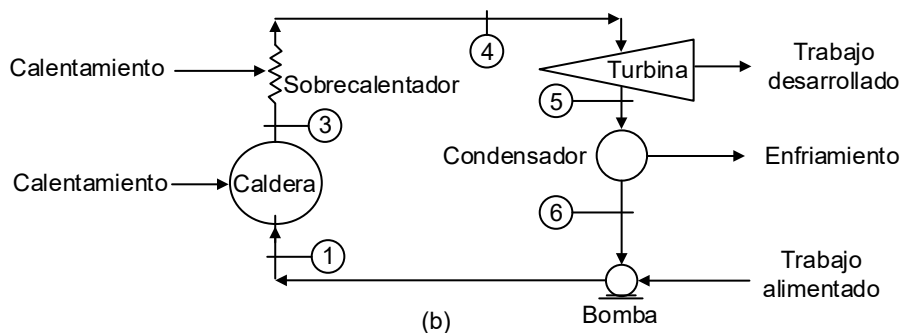
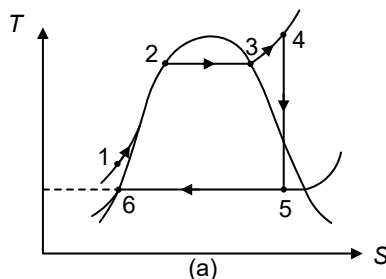
$C_e$  = consumo específico

$h_n$  = entalpía en el estado (kJ/kg) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

$v_n$  = volumen específico en el estado ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

$P_n$  = presión en el estado (kPa) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

### Ciclo Rankine con sobrecalentamiento



$$q_{ent} = h_4 - h_1$$

$$q_{sal} = h_5 - h_6$$

$$w_T = h_4 - h_5$$

$$w_b = h_1 - h_6 \approx v_6 (P_1 - P_6)$$

$q_{ent}$  = calor de entrada en el generador (kJ/kg)

$q_{sal}$  = calor de salida en el condensador (kJ/kg)

$w_T$  = trabajo en la turbina (kJ/kg)

$w_b$  = trabajo en la bomba (kJ/kg)

$h_n$  = entalpía en el estado (kJ/kg) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

$v_n$  = volumen específico en el estado ( $m^3/kg$ ) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

$P_n$  = presión en el estado (kPa) para  $n = 1, 2, 3, \dots$

### Estequiometría de la combustión

$$n = \frac{m}{M}$$

$$r = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}}$$

$n$  = número de moles (kmol)

$m$  = masa (kg)

$M$  = masa molecular (kg/kmol)

$r$  = relación aire combustible

$$W_{net\ cc} = W_{c\ de\ gas} + (r_m) (W_{c\ de\ vapor}) - (W_{aux\ de\ cc})$$

donde:

$W_{net\ cc}$  = Potencia neta del ciclo combinado

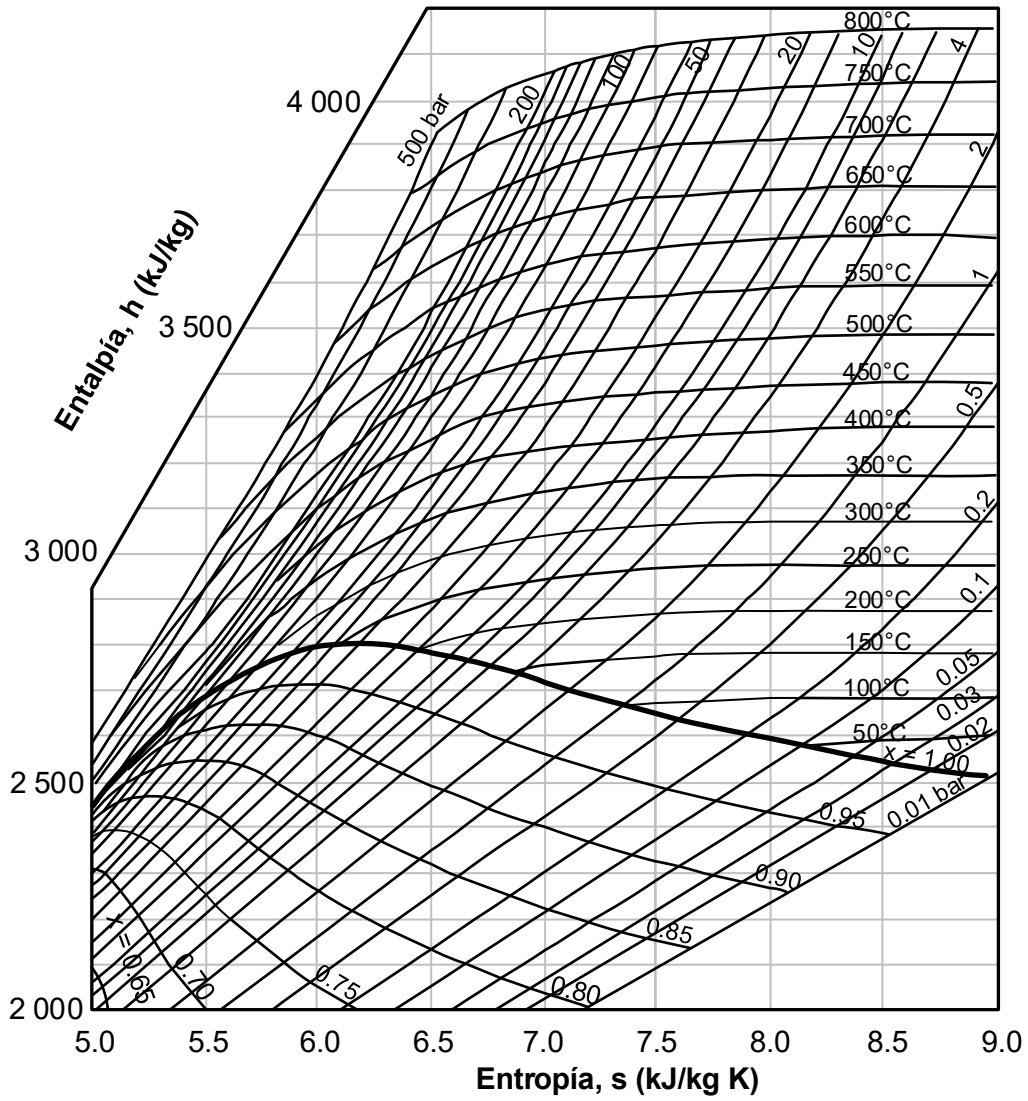
$W_{c\ de\ gas}$  = Potencia del ciclo de la turbina de gas

$r_m$  = relación de masas

$W_{c\ de\ vapor}$  = Potencia del ciclo de la turbina de vapor

$W_{aux\ de\ cc}$  = Potencia de los equipos auxiliares

Diagrama de Mollier para el agua

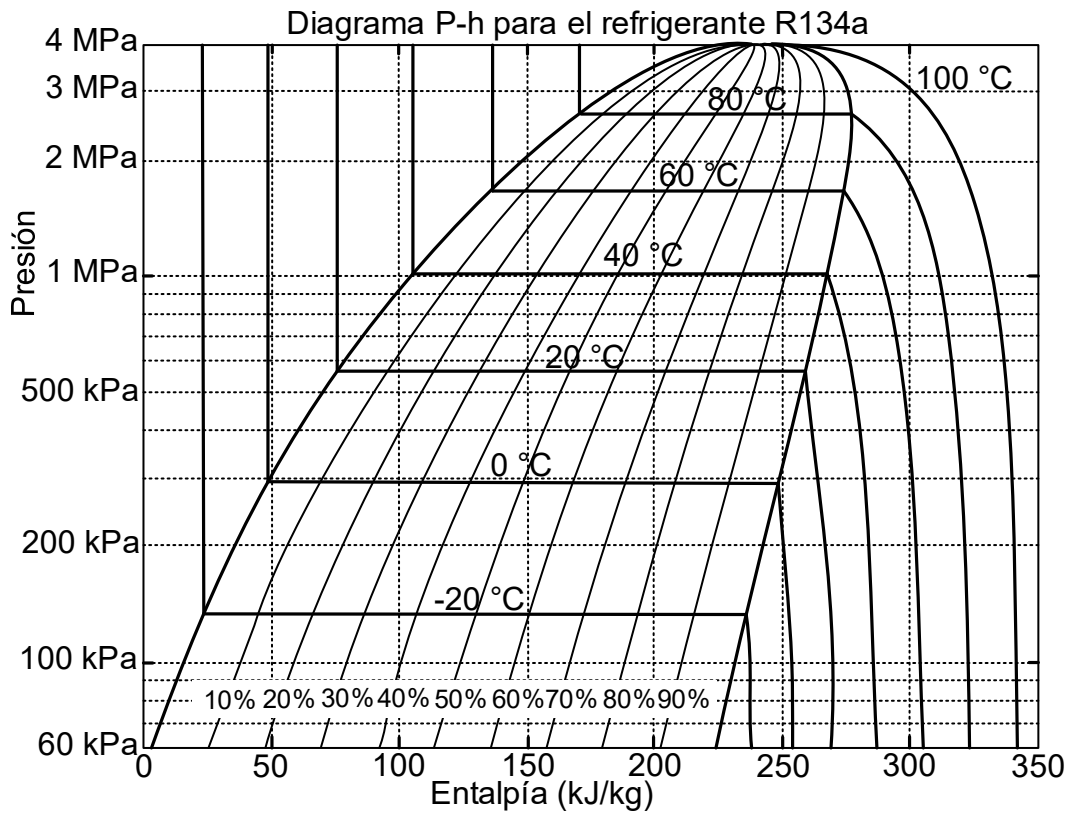


Condiciones de saturación

- $P_{sistema} > P_{saturación}$  es líquido comprimido
- $T_{sistema} < T_{saturación}$  es líquido comprimido
- $P_{sistema} < P_{saturación}$  es vapor sobrecalentado
- $T_{sistema} > T_{saturación}$  es vapor sobrecalentado

Tabla de agua saturada, donde los subíndices f y g, indican la fase líquido y vapor saturado, respectivamente.

| T<br>(°C) | P<br>(kPa) | $v_f$<br>(m <sup>3</sup> /kg) | $v_g$<br>(m <sup>3</sup> /kg) | $h_f$<br>(kJ/kg) | $h_g$<br>(kJ/kg) | $u_f$<br>(kJ/kg) | $u_g$<br>(kJ/kg) | $s_f$<br>(kJ/kg·K) | $s_g$<br>(kJ/kg·K) |
|-----------|------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 10        | 1.228      | 0.001                         | 106.3                         | 41.99            | 2388             | 41.99            | 2519             | 0.151              | 8.899              |
| 20        | 2.339      | 0.001002                      | 57.78                         | 83.83            | 2402             | 83.84            | 2537             | 0.2962             | 8.665              |
| 30        | 4.246      | 0.001004                      | 32.9                          | 125.7            | 2416             | 125.7            | 2555             | 0.4365             | 8.451              |
| 40        | 7.381      | 0.001008                      | 19.53                         | 167.5            | 2429             | 167.5            | 2573             | 0.5723             | 8.255              |
| 50        | 12.34      | 0.001012                      | 12.04                         | 209.3            | 2443             | 209.3            | 2591             | 0.7037             | 8.075              |
| 60        | 19.93      | 0.001017                      | 7.674                         | 251.1            | 2456             | 251.2            | 2609             | 0.8312             | 7.908              |
| 70        | 31.18      | 0.001023                      | 5.045                         | 293              | 2469             | 293              | 2626             | 0.9549             | 7.754              |
| 80        | 47.37      | 0.001029                      | 3.409                         | 334.9            | 2482             | 334.9            | 2643             | 1.075              | 7.611              |
| 90        | 70.12      | 0.001036                      | 2.362                         | 376.9            | 2494             | 376.9            | 2660             | 1.193              | 7.478              |
| 100       | 101.3      | 0.001043                      | 1.674                         | 419              | 2506             | 419.1            | 2676             | 1.307              | 7.354              |
| 110       | 143.2      | 0.001052                      | 1.211                         | 461.2            | 2518             | 461.3            | 2691             | 1.419              | 7.239              |
| 120       | 198.5      | 0.00106                       | 0.8922                        | 503.6            | 2529             | 503.8            | 2706             | 1.528              | 7.13               |
| 130       | 270        | 0.00107                       | 0.6687                        | 546.1            | 2540             | 546.4            | 2720             | 1.635              | 7.027              |
| 140       | 361.2      | 0.00108                       | 0.509                         | 588.9            | 2550             | 589.2            | 2734             | 1.739              | 6.93               |
| 150       | 475.7      | 0.00109                       | 0.3929                        | 631.8            | 2559             | 632.3            | 2746             | 1.842              | 6.838              |
| 160       | 617.7      | 0.001102                      | 0.3071                        | 675              | 2568             | 675.7            | 2758             | 1.943              | 6.75               |
| 170       | 791.5      | 0.001114                      | 0.2428                        | 718.4            | 2576             | 719.3            | 2768             | 2.042              | 6.666              |
| 180       | 1002       | 0.001127                      | 0.194                         | 762.1            | 2583             | 763.2            | 2778             | 2.14               | 6.585              |
| 190       | 1254       | 0.001141                      | 0.1565                        | 806.2            | 2590             | 807.6            | 2786             | 2.236              | 6.507              |
| 200       | 1554       | 0.001156                      | 0.1273                        | 850.6            | 2595             | 852.4            | 2793             | 2.331              | 6.431              |
| 210       | 1906       | 0.001173                      | 0.1044                        | 895.4            | 2599             | 897.7            | 2798             | 2.425              | 6.357              |
| 220       | 2318       | 0.00119                       | 0.08616                       | 940.7            | 2602             | 943.5            | 2801             | 2.518              | 6.285              |
| 230       | 2795       | 0.001209                      | 0.07155                       | 986.6            | 2603             | 990              | 2803             | 2.61               | 6.213              |
| 240       | 3345       | 0.001229                      | 0.05974                       | 1033             | 2603             | 1037             | 2803             | 2.701              | 6.142              |
| 250       | 3974       | 0.001251                      | 0.05011                       | 1080             | 2602             | 1085             | 2801             | 2.793              | 6.072              |
| 260       | 4689       | 0.001276                      | 0.04219                       | 1128             | 2598             | 1134             | 2796             | 2.884              | 6.001              |
| 270       | 5500       | 0.001303                      | 0.03564                       | 1177             | 2593             | 1185             | 2789             | 2.975              | 5.929              |
| 280       | 6413       | 0.001332                      | 0.03016                       | 1228             | 2586             | 1236             | 2779             | 3.067              | 5.857              |
| 290       | 7438       | 0.001366                      | 0.02556                       | 1279             | 2576             | 1289             | 2766             | 3.159              | 5.782              |
| 300       | 8584       | 0.001404                      | 0.02167                       | 1332             | 2563             | 1344             | 2749             | 3.253              | 5.704              |
| 310       | 9861       | 0.001447                      | 0.01834                       | 1387             | 2546             | 1401             | 2727             | 3.349              | 5.623              |
| 320       | 11279      | 0.001498                      | 0.01548                       | 1444             | 2525             | 1461             | 2700             | 3.448              | 5.536              |
| 330       | 12852      | 0.00156                       | 0.01298                       | 1505             | 2498             | 1525             | 2665             | 3.55               | 5.441              |
| 340       | 14594      | 0.001637                      | 0.01079                       | 1570             | 2464             | 1594             | 2621             | 3.659              | 5.335              |
| 350       | 16521      | 0.00174                       | 0.008812                      | 1642             | 2418             | 1670             | 2563             | 3.777              | 5.21               |
| 360       | 18655      | 0.001894                      | 0.006962                      | 1726             | 2352             | 1761             | 2482             | 3.915              | 5.054              |
| 370       | 21030      | 0.002207                      | 0.004993                      | 1843             | 2235             | 1890             | 2340             | 4.109              | 4.81               |



Fuente: Frionline. Soluciones para el profesional de la refrigeración y el aire acondicionado. <http://frionline.net/articulos-tecnicos/200-refrigerante-r134a-en-sistemas-frigorificos-comerciales-de-poca-potencia.html>

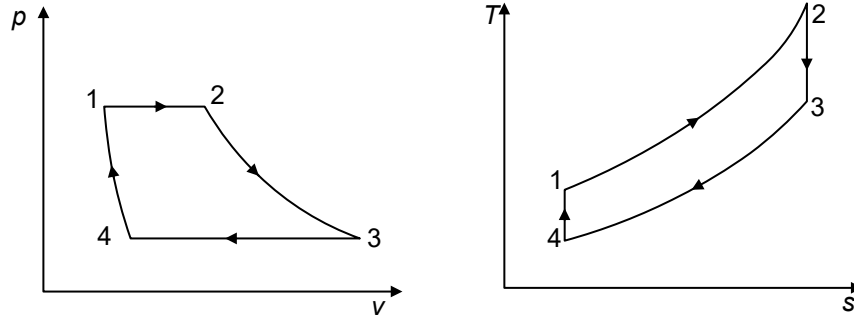
Tabla de aire como gas ideal

| T (K) | h (kJ/kg) | p <sub>r</sub> | u (kJ/kg) | v <sub>r</sub> | s <sup>o</sup> (kJ/kg·K) | T (K) | h (kJ/kg) | p <sub>r</sub> | u (kJ/kg) | v <sub>r</sub> | s <sup>o</sup> (kJ/kg·K) |
|-------|-----------|----------------|-----------|----------------|--------------------------|-------|-----------|----------------|-----------|----------------|--------------------------|
| 200   | 199.97    | 0.3363         | 142.56    | 1 707.0        | 1.29559                  | 760   | 778.18    | 39.27          | 560.01    | 55.54          | 2.66176                  |
| 210   | 209.97    | 0.3987         | 149.69    | 1 512.0        | 1.34444                  | 780   | 800.03    | 43.35          | 576.12    | 51.64          | 2.69013                  |
| 220   | 219.97    | 0.4690         | 156.82    | 1 346.0        | 1.39105                  | 800   | 821.95    | 47.75          | 592.30    | 48.08          | 2.71787                  |
| 230   | 230.02    | 0.5477         | 164.00    | 1 205.0        | 1.43557                  | 820   | 843.98    | 52.59          | 608.59    | 44.84          | 2.74504                  |
| 240   | 240.02    | 0.6355         | 171.13    | 1 084.0        | 1.47824                  | 840   | 866.08    | 57.60          | 624.95    | 41.85          | 2.77170                  |
| 250   | 250.05    | 0.7329         | 178.28    | 979.0          | 1.51917                  | 860   | 888.27    | 63.09          | 641.40    | 39.12          | 2.79783                  |
| 260   | 260.09    | 0.8405         | 185.45    | 887.8          | 1.55848                  | 880   | 910.56    | 68.98          | 657.95    | 36.61          | 2.82344                  |
| 270   | 270.11    | 0.9590         | 192.60    | 808.0          | 1.59634                  | 900   | 932.93    | 75.29          | 674.58    | 34.31          | 2.84856                  |
| 280   | 280.13    | 1.0889         | 199.75    | 738.0          | 1.63279                  | 920   | 955.38    | 82.05          | 691.28    | 32.18          | 2.87324                  |
| 285   | 285.14    | 1.1584         | 203.33    | 706.1          | 1.65055                  | 940   | 977.92    | 89.28          | 708.08    | 30.22          | 2.89748                  |
| 290   | 290.16    | 1.2311         | 206.91    | 676.1          | 1.66802                  | 960   | 1 000.55  | 97.00          | 725.02    | 28.40          | 2.92128                  |
| 295   | 295.17    | 1.3068         | 210.49    | 647.9          | 1.68515                  | 980   | 1 023.25  | 105.2          | 741.98    | 26.73          | 2.94468                  |
| 298   | 298.18    | 1.3543         | 212.64    | 631.9          | 1.69528                  | 1 000 | 1 046.04  | 114.0          | 758.94    | 25.17          | 2.96770                  |
| 300   | 300.19    | 1.3860         | 214.07    | 621.2          | 1.70203                  | 1 020 | 1 068.89  | 123.4          | 776.10    | 23.72          | 2.99034                  |
| 305   | 305.22    | 1.4686         | 217.67    | 596.0          | 1.71865                  | 1 040 | 1 091.85  | 133.3          | 793.36    | 23.29          | 3.01260                  |
| 310   | 310.24    | 1.5546         | 221.25    | 572.3          | 1.73498                  | 1 060 | 1 114.86  | 143.9          | 810.62    | 21.14          | 3.03449                  |
| 315   | 315.27    | 1.6442         | 224.85    | 549.8          | 1.75106                  | 1 080 | 1 137.89  | 155.2          | 827.88    | 19.98          | 3.05608                  |
| 320   | 320.29    | 1.7375         | 228.42    | 528.6          | 1.76690                  | 1 100 | 1 161.07  | 167.1          | 845.33    | 18.896         | 3.07732                  |
| 325   | 325.31    | 1.8345         | 232.02    | 508.4          | 1.78249                  | 1 120 | 1 184.28  | 179.7          | 862.79    | 17.886         | 3.09825                  |
| 330   | 330.34    | 1.9352         | 235.61    | 489.4          | 1.79783                  | 1 140 | 1 207.57  | 193.1          | 880.35    | 16.946         | 3.11883                  |
| 340   | 340.42    | 2.149          | 242.82    | 454.1          | 1.82790                  | 1 160 | 1 230.92  | 207.2          | 897.91    | 16.064         | 3.13916                  |
| 350   | 350.49    | 2.379          | 250.02    | 422.2          | 1.85708                  | 1 180 | 1 254.34  | 222.2          | 915.57    | 15.241         | 3.15916                  |
| 360   | 360.58    | 2.626          | 257.24    | 393.4          | 1.88543                  | 1 200 | 1 277.79  | 238.0          | 933.33    | 14.470         | 3.17888                  |
| 370   | 370.67    | 2.892          | 264.46    | 367.2          | 1.91313                  | 1 220 | 1 301.31  | 254.7          | 951.09    | 13.747         | 3.19834                  |
| 380   | 380.77    | 3.176          | 271.69    | 343.4          | 1.94001                  | 1 240 | 1 324.93  | 272.3          | 968.95    | 13.069         | 3.21751                  |
| 390   | 390.88    | 3.481          | 278.93    | 321.5          | 1.96633                  | 1 260 | 1 348.55  | 290.8          | 986.90    | 12.435         | 3.23638                  |
| 400   | 400.98    | 3.806          | 286.16    | 301.6          | 1.99194                  | 1 280 | 1 372.24  | 310.4          | 1 004.76  | 11.835         | 3.25510                  |
| 410   | 411.12    | 4.153          | 293.43    | 283.3          | 2.01699                  | 1 300 | 1 395.97  | 330.9          | 1 022.82  | 11.275         | 3.27345                  |
| 420   | 421.26    | 4.522          | 300.69    | 266.6          | 2.04142                  | 1 320 | 1 419.76  | 352.5          | 1 040.88  | 10.747         | 3.29160                  |
| 430   | 431.43    | 4.915          | 307.99    | 251.1          | 2.06533                  | 1 340 | 1 443.60  | 375.3          | 1 058.94  | 10.247         | 3.30959                  |
| 440   | 441.61    | 5.332          | 315.30    | 236.8          | 2.08870                  | 1 360 | 1 467.49  | 399.1          | 1 077.10  | 9.780          | 3.32724                  |
| 450   | 451.80    | 5.775          | 322.62    | 223.6          | 2.11161                  | 1 380 | 1 491.44  | 424.2          | 1 095.26  | 9.337          | 3.34474                  |
| 460   | 462.02    | 6.245          | 329.97    | 211.4          | 2.13407                  | 1 400 | 1 515.42  | 450.5          | 1 113.52  | 8.919          | 3.36200                  |
| 470   | 472.24    | 6.742          | 337.32    | 200.1          | 2.15604                  | 1 420 | 1 539.44  | 478.0          | 1 131.77  | 8.526          | 3.37901                  |
| 480   | 482.49    | 7.268          | 344.70    | 189.5          | 2.17760                  | 1 440 | 1 563.51  | 506.9          | 1 150.13  | 8.153          | 3.39586                  |
| 490   | 492.74    | 7.824          | 352.08    | 179.7          | 2.19876                  | 1 460 | 1 587.63  | 537.1          | 1 168.49  | 7.801          | 3.41247                  |
| 500   | 503.02    | 8.411          | 359.49    | 170.6          | 2.21952                  | 1 480 | 1 611.79  | 568.8          | 1 186.95  | 7.468          | 3.42892                  |
| 510   | 513.32    | 9.031          | 366.92    | 162.1          | 2.23993                  | 1 500 | 1 635.97  | 601.9          | 1 205.41  | 7.152          | 3.44516                  |
| 520   | 523.63    | 9.684          | 374.36    | 154.1          | 2.25997                  | 1 520 | 1 660.23  | 636.5          | 1 223.87  | 6.854          | 3.46120                  |
| 530   | 533.98    | 10.37          | 381.84    | 146.7          | 2.27967                  | 1 540 | 1 684.51  | 672.8          | 1 242.43  | 6.569          | 3.47712                  |
| 540   | 544.35    | 11.10          | 389.34    | 139.7          | 2.29906                  | 1 560 | 1 708.82  | 710.5          | 1 260.99  | 6.301          | 3.49276                  |
| 550   | 555.74    | 11.86          | 396.86    | 133.1          | 2.31809                  | 1 580 | 1 733.17  | 750.0          | 1 279.65  | 6.046          | 3.50829                  |
| 560   | 565.17    | 12.66          | 404.42    | 127.0          | 2.33685                  | 1 600 | 1 757.57  | 791.2          | 1 298.30  | 5.804          | 3.52364                  |
| 570   | 575.59    | 13.50          | 411.97    | 121.2          | 2.35531                  | 1 620 | 1 782.00  | 834.1          | 1 316.96  | 5.574          | 3.53879                  |
| 580   | 586.04    | 14.38          | 419.55    | 115.7          | 2.37348                  | 1 640 | 1 806.46  | 878.9          | 1 335.72  | 5.355          | 3.55381                  |
| 590   | 596.52    | 15.31          | 427.15    | 110.6          | 2.39140                  | 1 660 | 1 830.96  | 925.6          | 1 354.48  | 5.147          | 3.56867                  |
| 600   | 607.02    | 16.28          | 434.78    | 105.8          | 2.40902                  | 1 680 | 1 855.50  | 974.2          | 1 373.24  | 4.949          | 3.58335                  |
| 610   | 617.53    | 17.30          | 442.42    | 101.2          | 2.42644                  | 1 700 | 1 880.1   | 1 025          | 1 392.7   | 4.761          | 3.5979                   |
| 620   | 628.07    | 18.36          | 450.09    | 96.92          | 2.44356                  | 1 750 | 1 941.6   | 1 161          | 1 439.8   | 4.328          | 3.6336                   |
| 630   | 638.63    | 19.84          | 457.78    | 92.84          | 2.46048                  | 1 800 | 2 003.3   | 1 310          | 1 487.2   | 3.994          | 3.6684                   |
| 640   | 649.22    | 20.64          | 465.50    | 88.99          | 2.47716                  | 1 850 | 2 065.3   | 1 475          | 1 534.9   | 3.601          | 3.7023                   |

|     |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |        |
|-----|--------|-------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|--------|
| 650 | 659.84 | 21.86 | 473.25 | 85.34 | 2.49364 | 1 900 | 2 127.4 | 1 655 | 1 582.6 | 3.295 | 3.7354 |
| 660 | 670.47 | 23.13 | 481.01 | 81.89 | 2.50985 | 1 950 | 2 189.7 | 1 852 | 1 630.6 | 3.022 | 3.7677 |
| 670 | 681.14 | 24.46 | 488.81 | 78.61 | 2.52589 | 2 000 | 2 252.1 | 2 068 | 1 678.7 | 2.776 | 3.7994 |
| 680 | 691.82 | 25.85 | 496.62 | 75.50 | 2.54175 | 2 050 | 2 314.6 | 2 303 | 1 726.8 | 2.555 | 3.8303 |
| 690 | 702.52 | 27.29 | 504.45 | 72.56 | 2.55731 | 2 100 | 2 377.7 | 2 559 | 1 775.3 | 2.356 | 3.8605 |
| 700 | 713.27 | 28.80 | 512.33 | 69.76 | 2.57277 | 2 150 | 2 440.3 | 2 837 | 1 823.8 | 2.175 | 3.8901 |
| 710 | 724.04 | 30.38 | 520.23 | 67.07 | 2.58810 | 2 200 | 2 503.2 | 3 138 | 1 872.4 | 2.012 | 3.9191 |
| 720 | 734.82 | 32.02 | 528.14 | 64.53 | 2.60319 | 2 250 | 2 566.4 | 3 464 | 1 921.3 | 1.864 | 3.9474 |
| 730 | 745.62 | 33.72 | 536.07 | 62.13 | 2.61803 |       |         |       |         |       |        |
| 740 | 756.44 | 35.50 | 544.02 | 59.82 | 2.63280 |       |         |       |         |       |        |
| 750 | 767.29 | 37.35 | 551.99 | 57.63 | 2.64737 |       |         |       |         |       |        |

Fuente: Cengel, Y. A. (2012). *Termodinámica* (7ª ed.). McGraw Hill/Interamericana Editores.

### Ciclo Brayton



$$q_{ent} = C_p (T_2 - T_1) = h_2 - h_1$$

$$q_{sal} = C_p (T_3 - T_4) = h_3 - h_4$$

$$\eta_t = 1 - \frac{q_{sal}}{q_{ent}}$$

Para los procesos isentrópicos:

$$\frac{T_2}{T_3} = \left( \frac{p_2}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad \frac{T_1}{T_4} = \left( \frac{p_1}{p_4} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$r_p = \frac{p_1}{p_4} = \frac{p_2}{p_3}$$

$$w_{neto} = C_p (T_2 - T_1) - C_p (T_3 - T_4)$$

$$w_{neto} = C_p (T_2 - T_3) - C_p (T_1 - T_4)$$

$$\eta_c = (h_1 - h_4) / (h_{1r} - h_4);$$

$q_{ent}$  = calor de entrada (kJ/kg)

$q_{sal}$  = calor de salida (kJ/kg)

$\eta_t$  = eficiencia térmica

$\eta_c$  = eficiencia del compresor

$r_p$  = relación de presiones

$w_{neto}$  = trabajo neto durante el ciclo (kJ/kg)

$C_p$  = calor específico a presión constante (kJ/kg·K)

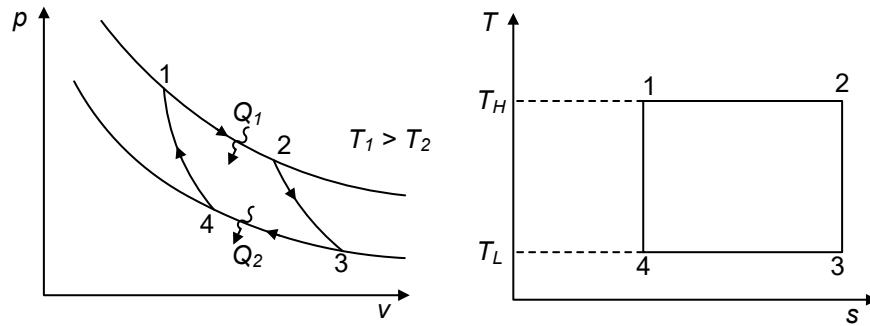
$C_v$  = calor específico a volumen constante  
(kJ/kg·K)

$k$  = relación de calores específicos

$h_i$  = entalpía específica (kJ/kg)

$h_{ir}$  = entalpía específica real (kJ/kg)

Ciclo Carnot



$$\eta_t = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2}$$

$$r_p = \frac{p_1}{p_4} = \frac{p_2}{p_3}$$

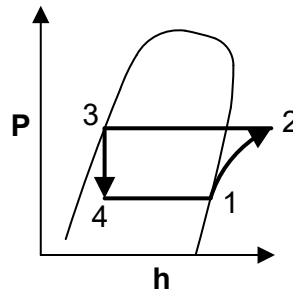
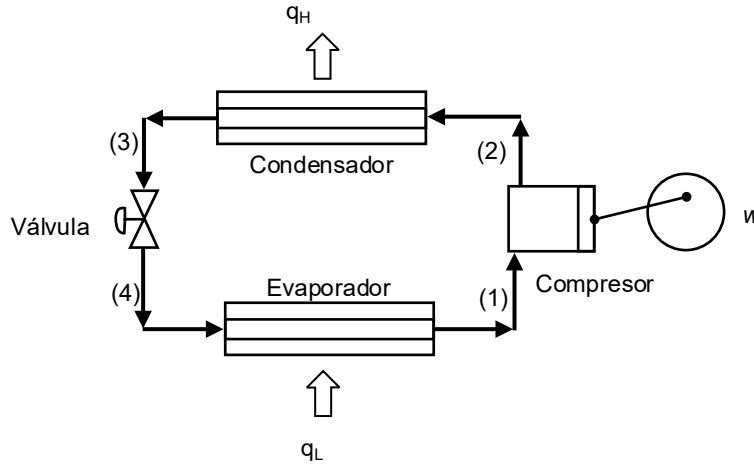
$$pme = \frac{W_{neto}}{V_3 - V_1}$$

$r_p$  = relación de presiones

$\eta_t$  = eficiencia térmica

$pme$  = presión media efectiva (kPa)

Ciclo de refrigeración por compresión



COP de refrigerador

$$COP_R = \frac{q_L}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

COP de bomba de calor

$$COP_{BC} = \frac{q_H}{w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

COP de bomba de calor ideal y refrigerador ideal

$$COP_R = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

$$COP_{BC} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

$COP_R$  = coeficiente de desempeño de refrigerador

$COP_{BC}$  = coeficiente de desempeño de bomba de calor

$q_L$  = calor de entrada (kJ/kg)

$q_H$  = calor de salida (kJ/kg)

$h$  = entalpías (kJ/kg)

$w$  = trabajo neto del compresor (kJ/kg)

$T_L$  = temperatura de entrada (K)

$T_H$  = temperatura de salida (K)

### El efecto de refrigeración

$$ER = h_{fg\_B} - (h_{f\_A} - h_{f\_B}) = h_{g\_B} - h_{f\_A}$$

donde:

$ER$  = efecto de refrigeración

$h_{fg\_B}$  = entalpía de mezcla estado B (kJ/kg)

$h_{f\_A}$  = entalpía fase líquido del estado A (kJ/kg)

$h_{f\_B}$  = entalpía fase líquido del estado B (kJ/kg)

$h_{g\_B}$  = entalpía fase vapor de estado B (kJ/kg)

### Procesos de cogeneración

$$Fu = (W + Q_c) / Q_s$$

$Fu$  = factor de utilización

$W$  = potencia producida (W)

$Q_c$  = flujo de calor para calentamiento (W)

$Q_s$  = flujo de calor total suministrado (W)

### Aplicación de motocompresores

| hp       | Sistema (en pies cúbicos) | Tipo                         |
|----------|---------------------------|------------------------------|
| 1/12     | 3 a 4                     | Servibares-frigobares        |
| 1/10-1/8 | 5 a 7                     | Sencillos                    |
| 1/8-1/6  | 8 a 11                    | Sencillos                    |
| 1/5-1/4  | 12 a 13                   | Sencillos-dúplex             |
| 1/4      | 14 a 16                   | Dúplex                       |
| 1/3      | 17 a 26                   | Dúplex                       |
| 1/2      | 27 a 30                   | Dúplex-triplex y comerciales |

### Diferencia de temperatura en sólidos generadores de calor

$$\dot{q} = \frac{2(T_c - T_w)}{\frac{L^2}{k}}$$

Placa sólida

$\dot{q}$  = generación interna de calor (W/m<sup>3</sup>)

$T_c$  = temperatura al centro del sólido (K)

$T_w$  = temperatura de la superficie del sólido (K)

$r_E$  = radio del cilindro o esfera (m)

$L$  = mitad del grosor de la placa sólida o distancia del centro del sólido a la superficie (m)

$$\dot{q} = \frac{4(T_c - T_w)}{\frac{r_E^2}{k}}$$

Cilindro sólido

$$\dot{q} = \frac{6(T_c - T_w)}{\frac{r_E^2}{k}}$$

Esfera sólida

$k$  = conductividad térmica  $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

### Calor transferido por conducción, convección y radiación

Conducción

$$Q = -kA \left( \frac{dT}{dx} \hat{i} + \frac{dT}{dy} \hat{j} + \frac{dT}{dz} \hat{k} \right) \cdot \hat{n}$$

$Q$  = flujo de calor (W)

$h$  = coeficiente de transferencia de calor por convección (W/(m<sup>2</sup>·K))

$k$  = conductividad térmica (W/(m·K))

$A$  = área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)

$\Delta L$  = grosor de la placa (m)

Conducción a través de placa

$$Q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta L}$$

Convección

$$Q = hA(T_s - T_\infty)$$

Radiación

$$Q = \sigma \varepsilon A(T_s^4 - T_w^4)$$

Transferencia de calor global

$$Q = UA\Delta T$$

Flujo de calor

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

Resistencia global de calor en pared en capas

$$R = \frac{1}{UA} = \frac{1}{h_I A_I} + \frac{\Delta x_1}{k_1 A_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2 A_2} + \dots + \frac{1}{h_E A_E}$$

Resistencia térmica de cilindros en capas

$$R = \frac{1}{UA} = \frac{1}{h_I A_I} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 L} + \dots + \frac{1}{h_E A_E}$$

Resistencia por convección

$$R_{cv} = \frac{1}{hA}$$

Resistencia por conducción de pared plana

$$R_p = \frac{\Delta x}{kA}$$

Resistencia por conducción de pared cilíndrica

$$R_c = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL}$$

Resistencia por conducción de pared esférica

$$R_e = \frac{(r_2 - r_1)}{4\pi r_2 r_1 k}$$

$U$  = coeficiente global de transferencia de calor ( $W/(m^2 \cdot K)$ )

$\Delta T$  = diferencia total de temperatura (K)

$T_s$  = temperatura de la superficie que intercambia calor (K)

$T_w$  = temperatura de la superficie circundante al cuerpo que intercambia calor (K)

$T_\infty$  = temperatura del fluido circundante (K)

$T_1, T_2$  = temperatura de las secciones "1" y "2" de una placa (K)

$\varepsilon$  = emisividad del cuerpo que transfiere calor.

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$  ( $W/(m^2 \cdot K^4)$ ), constante de Stefan Boltzmann

$R$  = resistencia térmica total (K/W)

$A_i$  = área de la pared "i-ésima"

$k_i$  = conductividad de la pared "i-ésima"

$h_I, h_E$  = coeficientes de transferencia de calor por convección interno y externo

$A_I$  = área interior de transferencia de calor ( $m^2$ )

$A_E$  = área exterior de transferencia de calor ( $m^2$ )

$R_{cv}$  = resistencia térmica por convección (W/K)

$R_p$  = resistencia térmica de una pared plana (W/K)

$R_c$  = resistencia térmica de pared cilíndrica (W/K)

$R_e$  = resistencia térmica de pared esférica (W/K)

$Q_i$  = flujo de Calor de la sección "i" (W)

$\Delta T_i$  = diferencia de temperatura de la sección "i" (K)

$R_i$  = resistencia térmica de la sección "i" (K/W)

$\Delta x$  = grosor de pared (m)

$r_2$  = radio exterior (m)

$r_1$  = radio interior (m)

$L$  = longitud del cilindro (m)

$R_{eq}$  = resistencia equivalente en serie y en paralelo ( $m^2 K/W$ )

Flujo de calor

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

Flujo de calor en la sección "i"

$$Q_i = \frac{\Delta T_i}{R_i}$$

Resistencia total de resistencias en serie

$$R = \sum R_i$$

Resistencia total de resistencias en paralelo

$$R = \frac{1}{\sum(1/R_i)}$$

Resistencia equivalente en serie y en paralelo

$$R_{eq} = R_{cond} + \frac{R_{conv} * R_{rad}}{R_{conv} + R_{rad}}$$

### Cálculo de transferencia de calor con cambio de fase

*Calor por ebullición*

$$Q_{ebull} = \dot{m} * h_{fg}$$

donde:

$Q_{ebull}$  = flujo de calor por ebullición (kW)

$\dot{m}$  = flujo de masa ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$h_{fg}$  = entalpía de vaporización ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ )

*Calor por condensación*

$$Q_{cond} = h * A_s * (T_{sat} - T_s)$$

donde:

$Q_{cond}$  = flujo de calor por condensación (kW)

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$ )

$A_s$  = área de superficie ( $\text{m}^2$ )

$T_{sat}$  = temperatura de saturación ( $^\circ\text{C}$ )

$T_s$  = temperatura de la superficie ( $^\circ\text{C}$ )

$$Q_{cond} = \dot{m} * h_{fg, mod}$$

donde:

$h_{fg, mod}$  = entalpía de vaporización modificada ( $\frac{kJ}{kg}$ )

$$h_{fg, mod} = h_{fg} + 0.68 * c_{pi} (T_{sat} - T_s)$$

$c_{pi}$  = calor específico a presión constante del líquido ( $\frac{J}{kg * ^\circ C}$ )

### Transferencia de calor por convección en superficies extendidas

*Transferencia de calor desde la aleta será:*

$$\dot{Q}_{m\acute{a}x\_aleta} = h * A_{aleta} * (T_b - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{aleta} = \eta_{aleta} * h * A_{aleta} * (T_b - T_\infty)$$

donde:

$\dot{Q}_{aleta}$  = flujo de calor a través de la aleta (kW)

$\eta_{aleta}$  = eficiencia de la aleta

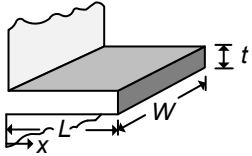
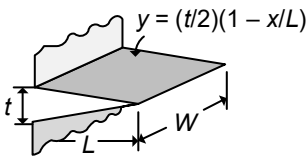
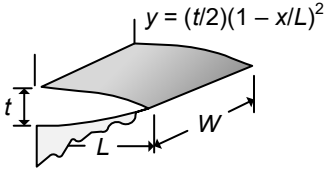
$h$  = coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$ )

$A_{aleta}$  = área de la aleta ( $m^2$ )

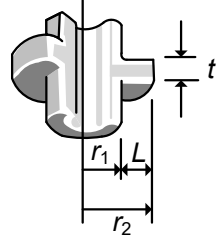
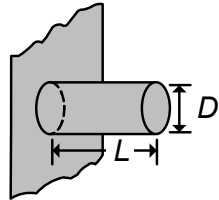
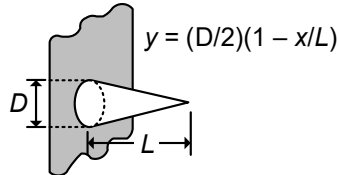
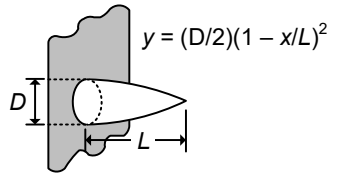
$T_b$  = temperatura de la base de la aleta ( $^\circ C$ )

$T_\infty$  = temperatura del medio ( $^\circ C$ )

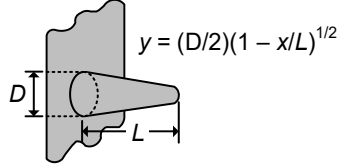
Tabla para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección para superficies específicas

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>Aletas rectangulares rectas</b></p> $m = \sqrt{\frac{2h}{kt}}$ $L_c = L + \frac{t}{2}$ $A_{aleta} = 2WL_c$   | $\eta_{aleta} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$                |   |
| <p><b>Aletas triangulares rectas</b></p> $m = \sqrt{\frac{2h}{kt}}$ $A_{aleta} = 2w\sqrt{L^2 + \left(\frac{t}{2}\right)^2}$  | $\eta_{aleta} = \frac{1}{mL} \frac{I_1(2mL)}{I_0(2mL)}$ |   |
| <p><b>Aletas parabólicas rectas</b></p> $m = \sqrt{\frac{2h}{kt}}$ $A_{aleta} = wL \left[ C_1 \left( \frac{L}{t} \right) \ln \left( \frac{t}{L} + C_1 \right) \right]$ $C_1 = \sqrt{1 + \left( \frac{t}{L} \right)^2}$ | $\eta_{aleta} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2mL)^2 + 1}}$       |  |

Preguntas o dudas en ayuda@ceneval.net

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p><b>Aletas circulares de perfil rectangular</b></p> $m = \sqrt{\frac{2h}{kt}}$ $r_{2c} = r_2 + \frac{t}{2}$ $A_{aleta} = 2\pi(r_{2c}^2 - r_1^2)$   | $\eta_{aleta} = C_2 \frac{K_1(mr_1)I_1(mr_{2c}) - I_1(mr_1)K_1(mr_{2c})}{I_0(mr_1)K_1(mr_{2c}) + K_0(mr_1)I_1(mr_{2c})}$ $C_2 = \frac{2r_1/m}{r_{2c}^2 - r_1^2}$ |    |
| <p><b>Aletas de espiga de perfil rectangular</b></p> $m = \sqrt{\frac{4h}{kD}}$ $L_c = L + \frac{D}{4}$ $A_{aleta} = \pi D L_c$  | $\eta_{aleta} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$   |    |
| <p><b>Aletas de espiga de perfil triangular</b></p> $m = \sqrt{\frac{4h}{kD}}$ $A_{aleta} = \frac{\pi D}{2} \sqrt{L^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}$   | $\eta_{aleta} = \frac{2 I_2(2mL)}{mL I_1(2mL)}$  |   |
| <p><b>Aletas de espiga de perfil parabólico</b></p> $m = \sqrt{\frac{4h}{kD}}$ $A_{aleta} = \frac{\pi L^3}{8D} \left[ C_3 C_4 - \frac{L}{2D} \ln \left( \frac{2DC_4}{L} + C_3 \right) \right]$ $C_3 = 1 + 2(D/L)$ $C_4 = \sqrt{1 + (D/L)^2}$ | $\eta_{aleta} = \frac{2}{1 + \sqrt{\left(\frac{2mL}{3}\right)^2 + 1}}$   |  |

preguntas en ayuda@ceneval.net

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p><b>Aletas de espiga de perfil parabólico (punta truncada)</b></p> $m = \sqrt{\frac{4h}{kD}}$ $A_{aleta} = \frac{\pi D^4}{96L^2} \left\{ \left[ 16 \left( \frac{L}{D} \right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\}$ | $\eta_{aleta} = \frac{3}{2mL} \frac{I_1 \frac{4mL}{3}}{I_0 \frac{4mL}{3}}$ |  |
|---|--|---|

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

### Enfriamiento o calentamiento en estado transitorio

Transmisión de calor

$$Q = \rho c V \frac{dT}{dt}$$

Historial de temperatura de cuerpo sólido

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}} = e^{-\frac{hAt}{\rho c V}}$$

Calor

$$q = \rho c V (T_o - T)$$

Flujo de aire de enfriamiento o calentamiento

$$m = \frac{Q}{Cp(T_c - T_i)}$$

Q = flujo de calor (W)  
 h = coeficiente de transferencia de calor (W/(m<sup>2</sup>·K))  
 A = área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)  
 c = capacidad calorífica (J/(kg·K))  
 V = volumen del sólido o sistema (m<sup>3</sup>)  
 T = temperatura del medio o sistema (K)  
 T<sub>o</sub> = temperatura inicial del medio o sistema (K)  
 T<sub>∞</sub> = temperatura del fluido circundante (K)  
 t = tiempo (s)  
 q = calor (J)

m = flujo de aire (kg/s)  
 Q = carga (W)  
 Cp = calor específico a presión constante (J/kg K)  
 T<sub>c</sub> = temperatura de confort (K)  
 T<sub>i</sub> = temperatura interna (K)

### Intercambiadores de calor y temperatura media logarítmica

Flujo de calor en intercambiador

$$Q = U A \Delta T_{mlog}$$

Diferencia de temperaturas media logarítmica

$$\Delta T_{mlog} = \frac{\Delta T_I - \Delta T_{II}}{\ln\left(\frac{\Delta T_I}{\Delta T_{II}}\right)}$$

Diferencia de temperatura en extremo I

$$\Delta T_I = T_{CI} - T_{FI}$$

Diferencia de temperatura en extremo II

$$\Delta T_{II} = T_{CII} - T_{FII}$$

Q = flujo de calor (W)  
 A = área del intercambiador de calor (m<sup>2</sup>)  
 ΔT<sub>mlog</sub> = diferencia de temperatura media logarítmica (K)  
 U = coeficiente global de transferencia de calor (W/(m<sup>2</sup>·K))  
 ΔT<sub>I</sub> = diferencia de temperatura entre fluido caliente y frío en el lado I o zona I (K)  
 ΔT<sub>II</sub> = diferencia de temperatura entre fluido caliente y frío en el lado II o zona II (K)  
 T<sub>CI</sub>, T<sub>FI</sub> = temperaturas del fluido caliente y del fluido frío en el lado I o zona I (K)  
 T<sub>CII</sub>, T<sub>FII</sub> = temperaturas del fluido caliente y del fluido frío en el lado II o zona II (K)

## Propiedades y comportamiento de los fluidos

### Densidad absoluta para líquidos

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

a 4 °C:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

### Viscosidad absoluta

$$\mu = \tau \frac{y}{v} \quad \tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy}$$

### Viscosidad cinemática

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

### Presión

$$p = \frac{F}{A}$$

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = masa del fluido (kg)

$V$  = volumen del fluido (m<sup>3</sup>)

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

$v$  = velocidad (m/s)

$y$  = espesor (m)

$\mu$  = viscosidad absoluta (Pa s)

$\tau$  = esfuerzo cortante del fluido (Pa)

$\nu$  = viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

$p$  = presión (N/m<sup>2</sup> o Pa)

$F$  = fuerza (N)

## Conversión

- 1 slug = 32.174 lb = 14.5939 kg  
 1 ft<sup>3</sup> = 0.0283 m<sup>3</sup> = 28.3 L  
 1 atm = presión atmosférica  
     = 760 torr  
     = 760 mm Hg  
     = 1.013 bar  
     = 10.33 mca (metros columna de agua)  
     = 101.325 kPa  
     = 14.69 psi  
     = 2116 lb/ft<sup>2</sup>  
     = 29.92 in Hg  
     = 33.91 pca (pies columna de agua)  
 1 cP (centiPoise) = 10<sup>-2</sup> P (Poise)  
 1 cP (centiPoise) = 10<sup>-3</sup> Pa·s  
 1 P (Poise) = 100 cP = 1 g/cm s = 0.1 Pa s  
 1 ct (centistoke) = 10<sup>-2</sup> st (stoke)  
 1 ct = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s  
 1 t (stoke) = 1 Dina/1 Poise = 1 cm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> = 0.0001 m<sup>2</sup>/s

## Estática de fluidos

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

$$\rho = \gamma \cdot h = \rho g h$$

### Principio de Pascal

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$\gamma$  = peso específico (N/m<sup>3</sup>)

$W$  = peso (N)

$V$  = volumen (m<sup>3</sup>)

$\rho$  = presión hidrostática (N/m<sup>2</sup> o Pa)

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = altura (m)

$f$  = fuerza aplicada en el émbolo menor (N)

$a$  = área del émbolo menor (m<sup>2</sup>)

$F$  = fuerza obtenida en el émbolo mayor (N)

$A$  = área del émbolo mayor (m<sup>2</sup>)

### Principio de Arquímedes o empuje hidrostático

$$E = \rho V g$$

$E$  = empuje hidrostático (N)

$\rho$  = densidad del fluido en reposo (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = volumen desplazado (m<sup>3</sup>)

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

### Ecuaciones de potencia y eficiencia

$$P = F \cdot v$$

$$w = \frac{W}{m}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}}$$

$$P_h = \gamma QH$$

$$Q = A \cdot v$$

$$p = \frac{F}{A}$$

$P_h$  = potencia hidráulica (W)

$F$  = fuerza (N)

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

$m$  = masa (kg)

$v$  = velocidad (m/s)

$p$  = presión (Pa)

$w$  = trabajo por unidad de masa (kJ/kg)

$W$  = trabajo (kJ)

$\eta$  = eficiencia

$\gamma$  = peso específico del fluido ( $\gamma_{H_2O} = 9\,807 \text{ N/m}^3$ )

$Q$  = flujo o gasto volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

$H$  = carga de altura (m)

### Ecuación de potencia eólica disponible (hélice de aerogeneradores)

$$P_e = \frac{1}{2} \eta \rho A v^3$$

$P_e$  = potencial eólico (W)

$\eta$  = eficiencia

$\rho$  = densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = área de la hélice (m<sup>2</sup>)

$v$  = velocidad del viento (m/s)

### Potencia aprovechable de aerogenerador

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \eta_t \eta_e$$

$P$  = potencia mecánica de aerogenerador (W)

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = velocidad promedio del viento (m/s)

$C_p$  = coeficiente de potencia

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

$\eta_t$  = coeficiente de transmisión

$\eta_e$  = eficiencia del generador

Ecuación de eficiencia del aerogenerador

$\eta_a$  = eficiencia del aerogenerador

$$\eta_a = \frac{P}{P_e}$$

## Bombas y turbinas

$$P = Q\rho gh$$

$$\eta = \frac{P_s}{P}$$

Ley de afinidad

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

$$\frac{P_A}{P_B} = \left(\frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \left(\frac{N_A}{N_B}\right)^3 \left(\frac{D_A}{D_B}\right)^5$$

$$\frac{H_A}{H_B} = \left(\frac{D_A N_A}{D_B N_B}\right)^3$$

$P$  = potencia requerida por la bomba

$P_s$  = potencia suministrada al fluido

$V_1$  = volumen específico ( $m^3/kg$ )

$\eta$  = eficiencia

$p_1$  = presión inicial (Pa)

$p_2$  = presión final (Pa)

$H_1$  = carga de la bomba 1 ( $N\cdot m/N$ )

$H_2$  = carga de la bomba 2 ( $N\cdot m/N$ )

$N_1$  = rpm de la bomba 1

$N_2$  = rpm de la bomba 2

$\dot{m}$  = flujo másico ( $kg/s$ )

$Q_1$  = Flujo nominal de la bomba 1

$Q_2$  = flujo nominal de la bomba 2

$P_1$  = potencia nominal de la bomba 1

$P_2$  = potencia nominal de la bomba 2

$P_A$  = potencia de la bomba o turbina de diseño tipo A (W)

$P_B$  = potencia de la bomba o turbina de diseño tipo B (W)

$\rho_A$  = densidad del fluido usado en la bomba o turbina de diseño A ( $kg/m^3$ )

$\rho_B$  = densidad del fluido usado en la bomba o turbina de diseño B ( $kg/m^3$ )

$N_A$  = rapidez angular de bomba o turbina de diseño A (1/s)

$N_B$  = rapidez angular de bomba o turbina de diseño A (1/s)

$D_A$  = diámetro del impulsor o álabe de diseño tipo A (m)

$D_B$  = diámetro del impulsor o álabe de diseño tipo B (m)

$H_A$  = carga de bomba o turbina de diseño tipo A (m)

$H_B$  = carga de bomba o turbina de diseño tipo B (m)

## Ecuaciones de flujo volumétrico para sistemas de bombas

$$Q = v A \quad \text{En general}$$

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 \quad \text{En serie}$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 \quad \text{En paralelo}$$

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$v$  = velocidad del fluido (m/s)

$A$  = Área transversal de la tubería ( $m^2$ )

## Ecuación de eficiencia de la bomba

$$\eta_B = \frac{v_s(p_d - p_s)}{w_B}$$

$\eta_B$  = eficiencia de la bomba

$p_d$  = Presión en la descarga (Pa)

$p_s$  = presión en la succión (Pa)

$v_s$  = volumen específico en la succión ( $m^3/kg$ )

$w_B$  = trabajo de la bomba (J/kg)

Ecuaciones para cálculo de compresores

$$w_e = \left(\frac{k}{k-1}\right) * R T_1 * \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right)$$

$$w_s = C_p (T_2 - T_1)$$

$$q_e = w_e - w_s$$

$w_e$  = trabajo de entrada (kJ/kg)

$w_s$  = trabajo de salida (kJ/kg)

$q_e$  = calor de entrada (kJ/kg)

$p_1$  = presión inicial (kPa)

$p_2$  = presión final (kPa)

$T_1$  = temperatura constante (K)

$C_p$  = calor específico a presión constante (kJ/(kg·K))

$R$  = constante de los gases ideales (kJ/(kg·K))

$k$  = coeficiente adiabático (isentrópico)

$h_f$  = pérdidas de carga (m)

$f$  = coeficiente de fricción

$D$  = diámetro de la tubería (m)

$L$  = longitud de la tubería (m)

$v$  = velocidad (m/s)

$v^2/2g$  = altura de velocidad (m)

$Z$  = altura geodésica (m)

$Re$  = número de Reynolds

$\nu$  = viscosidad cinemática

$p$  = presión (Pa)

$\frac{p}{\gamma}$  = altura de presión (m)

$h_f$  = pérdidas hidráulicas por fricción en tuberías y accesorios (m)

$h_B$  = altura proporcionada por la bomba (m)

$h_T$  = altura absorbida por la turbina (m)

$e$  = coeficiente de rugosidad

**Pérdidas de carga**

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$\left(\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z\right)_{IN} = \left(\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z\right)_{OUT} + h_f - h_B + h_T$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Régimen laminar

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

Régimen turbulento en tubería lisa

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$$

Régimen turbulento en tubería rugosa

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

**Superficies planas sumergidas**

$$h_c = L_c \text{ sen}\theta$$

$$F_R = \gamma h_c A$$

$$\gamma = \rho g$$

$$L_p = L_c + \frac{I_c}{L_c A}$$

$h_c$  = distancia vertical de la superficie del fluido al centroide (m)

$L_c$  = distancia inclinada de la superficie del fluido al centroide (m)

$L_p$  = distancia inclinada de la superficie del fluido al centro de presión (m)

$F_R$  = fuerza resultante

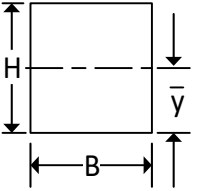
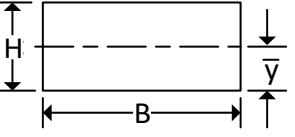
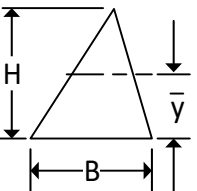
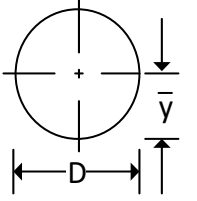
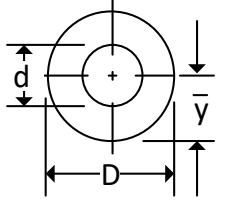
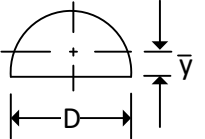
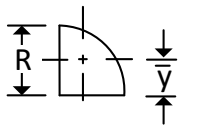
$\gamma$  = peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

$\rho$  = densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = aceleración de la gravedad en (m/s<sup>2</sup>)

$I_c$  = momento de inercia (m<sup>4</sup>)

$A$  = área de la superficie plana (m<sup>2</sup>)

| Sección  | Área de la sección A        | Distancia al eje $\bar{y}$ centroidal | Momento de inercia respecto del eje centroidal $I_c$ |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| Cuadrado<br>      | $H^2$                       | $H/2$                                 | $H^4/12$   |
| Rectángulo<br>    | $BH$                        | $H/2$                                 | $BH^3/12$  |
| Triángulo<br>     | $BH/2$                      | $H/3$                                 | $BH^3/36$  |
| Círculo<br>      | $\pi D^2/4$                 | $D/2$                                 | $\pi D^4/64$   |
| Anillo<br>      | $\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$ | $D/2$                                 | $\frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$                         |
| Semicírculo<br> | $\pi D^2/8$                 | $0.212D$                              | $(6.86 \times 10^{-3})D^4$                           |
| Cuadrante<br>   | $\pi D^2/16$                | $0.212D$                              | $(3.43 \times 10^{-3})D^4$                           |
|  | $\pi R^2/4$                 | $0.424R$                              | $(5.49 \times 10^{-2})R^4$                           |

## Mecánica de fluidos

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

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

$$N_s = n \sqrt{Q} / H^{3/4}$$

$$D_s = DH^{1/4} / \sqrt{Q}$$

$$1 \text{ in H}_2\text{O} = 248.8 \text{ Pa}$$

$$H_L = K \frac{V^2}{2g}$$

$V_1 A_1 = V_2 A_2 =$  ecuación de continuidad hidráulica

$\dot{m}$  = flujo másico (kg/s)

$\dot{V}$  = flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

$N_s$  = velocidad específica (m/s)

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$H$  = altura o carga hidráulica (m) (ft)

$n$  = revoluciones por minuto (rpm)

$D_s$  = diámetro específico (m)

$H_L$  = pérdida de energía (m)

$K$  = coeficiente de resistencia

$V$  = velocidad del fluido (m/s)

$g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

## Ecuación de Bernoulli

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g z_2$$

$p_1, p_2$  = presión (Pa)

$v_1, v_2$  = velocidad (m/s)

$z$  = altura (m)

$g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\rho_1, \rho_2$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

## Ecuación de continuidad

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

$A_1, A_2$  = áreas transversales de las secciones "1" y "2" respectivamente (m<sup>2</sup>)

$v_1, v_2$  = velocidades en las secciones "1" y "2" respectivamente (m/s)

$\rho_1, \rho_2$  = densidades en las secciones "1" y "2" respectivamente (kg/m<sup>3</sup>)

## Fórmula de Euler:

Potencia para bombas

$$P = \rho Q u_2 \left( u_2 - \frac{Q \cot \beta_2}{2 \pi r_2 b_2} \right)$$

$P$  = potencia (W)

$\rho$  = densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$u_2$  = velocidad del volumen de control, impulsor o álabe en la descarga (m/s)

$r_2$  = radio de la descarga del álabe o impulsor (m)

$b_2$  = ancho del impulsor (m)

$\beta_2$  = ángulo del álabe de la descarga

$Q$  = caudal o gasto volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

$H_u$  = altura de Euler

Los puntos 1 y 2 se refieren a la entrada y salida del rodete

$c_u$  = componente periférica de la velocidad absoluta

$u$  = velocidad periférica

Altura de Euler para turbomaquinaria:

Bombas y compresores

$$H_u = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g}$$

Turbinas:

$$H_u = \frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{g}$$

$$C_t = n_p \cdot d_h$$

$$N_p = r_e \cdot 2 + 1$$

$$C_c = d_t \cdot r d_t = N_p \cdot d_h$$

$$r = d_t$$

$$hp = \frac{8.3 \left[ \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right] \cdot H}{33000} \text{ Sistema Inglés}$$

$$hp = \frac{9.575 \cdot G \cdot H}{33000} \text{ Sistema Internacional}$$

$$C = (2.9727 d^2 L) / 231$$

$$V = \sqrt{((2\ 500 \cdot H \cdot D) / 13.9L)}$$

$$T = \frac{CmPu}{4W}$$

$C_t$  = capacidad del tinaco  
 $n_p$  = número de personas  
 $d_h$  = dotación por habitante  
 $N_p$  = número de personas  
 $r_e$  = recámaras

$C_c$  = capacidad de la cisterna  
 $d_t$  = dotación total  
 $r$  = reserva  
 $r d_t$  = reserva dotación total  
 $d_h$  = dotación por habitante  
 $N_p$  = número de personas  
 $r_e$  = recámaras

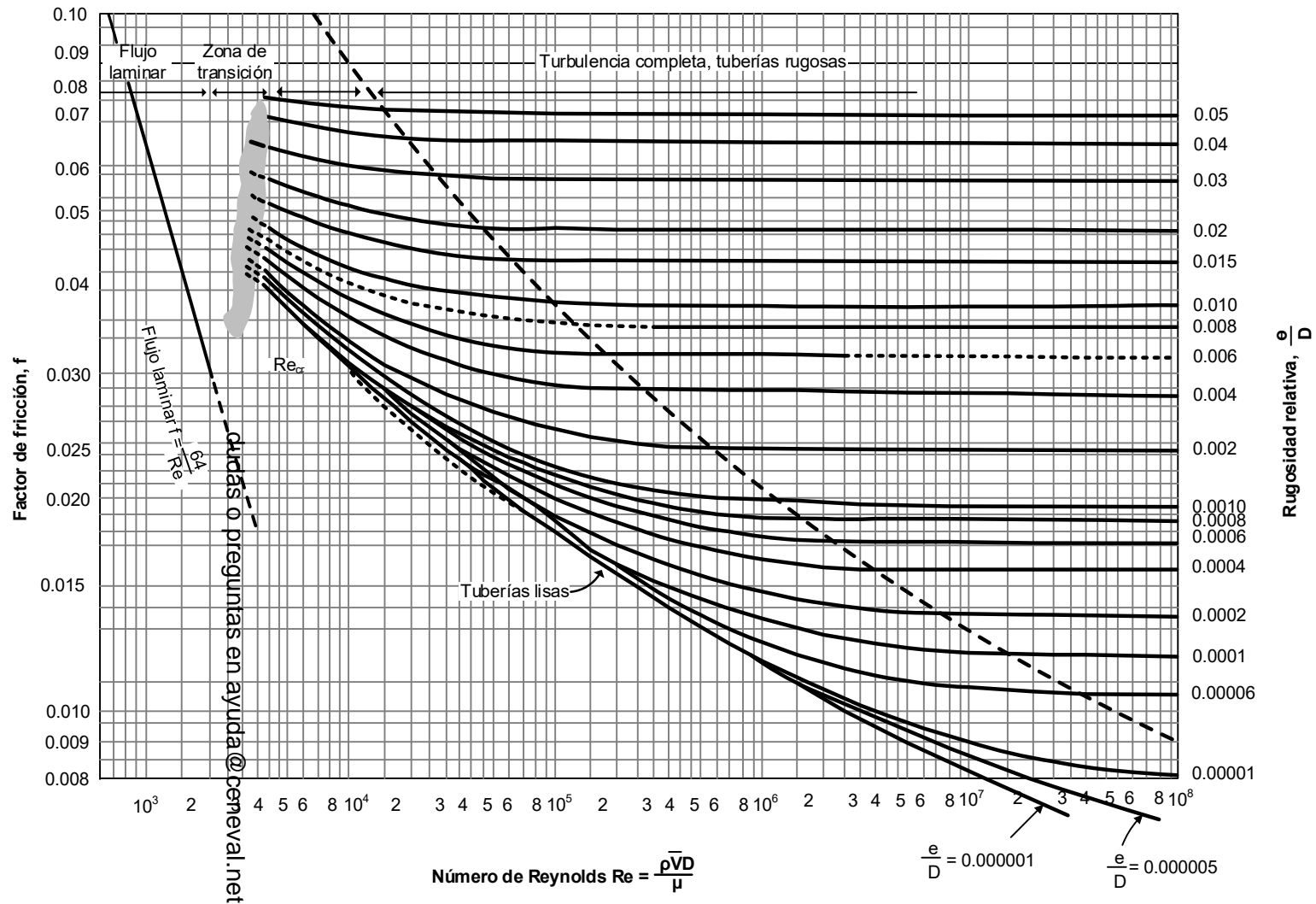
$\frac{\text{gal}}{\text{min}}$  = galones por minuto  
 $G$  = gasto (L/min)  
 $H$  = altura o carga hidráulica (m) (ft)

$C$  = capacidad de la tubería (L)

$V$  = velocidad en tuberías (ft/s)  
 $D$  = diámetro de la tubería (in)  
 $H$  = carga de agua arriba del centro de la tubería (ft)  
 $L$  = longitud de la tubería (in)

$T$  = capacidad del tanque hidroneumático  
 $Cm$  = ciclos de trabajo de la bomba cada hora  
 $Pu$  = capacidad de la bomba en (L/min)  
 $W$  = abatimiento del agua del tanque en %

### Diagrama de Moody



Fuente: Moody, N.L.F. (1994). *Friction factors for pipe flow*. Trans ASME, Vol. 66

**Tabla de calores específicos de gas ideal de varios gases comunes a 300 K**

| Gas                 | Fórmula                        | Constante de gas, R | $c_p$   | $c_v$   | k     |
|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------|---------|-------|
|                     |                                | kJ/kg K             | kJ/kg K | kJ/kg K |       |
| Aire                | —                              | 0.2870              | 1.005   | 0.718   | 1.400 |
| Argón               | Ar                             | 0.2081              | 0.5203  | 0.3122  | 1.667 |
| Butano              | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 0.1433              | 1.7164  | 1.5734  | 1.091 |
| Dióxido de carbono  | CO <sub>2</sub>                | 0.1889              | 0.846   | 0.657   | 1.289 |
| Etano               | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | 0.2765              | 1.7662  | 1.4897  | 1.186 |
| Etileno             | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>  | 0.2964              | 1.5482  | 1.2518  | 1.237 |
| Helio               | He                             | 2.0769              | 5.1926  | 3.1156  | 1.667 |
| Hidrógeno           | H <sub>2</sub>                 | 4.1240              | 14.307  | 10.183  | 1.405 |
| Metano              | CH <sub>4</sub>                | 0.5182              | 2.2537  | 1.7354  | 1.299 |
| Monóxido de carbono | CO                             | 0.2968              | 1.040   | 0.744   | 1.400 |
| Neón                | Ne                             | 0.4119              | 1.0299  | 0.6179  | 1.667 |
| Nitrógeno           | N <sub>2</sub>                 | 0.2968              | 1.039   | 0.743   | 1.400 |
| Octano              | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> | 0.0729              | 1.7113  | 1.6385  | 1.044 |
| Oxígeno             | O <sub>2</sub>                 | 0.2598              | 0.918   | 0.658   | 1.395 |
| Propano             | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | 0.1885              | 1.6794  | 1.4909  | 1.126 |
| Vapor               | H <sub>2</sub> O               | 0.4615              | 1.8723  | 1.4108  | 1.327 |

Nota: La unidad kJ/kg·K es equivalente a kJ/kg·°C

Fuente: Kyle, B. G., (2000). *Chemical and Process Thermodynamics* ( 3ª. ed.). Prentice Hall

## Sistemas eléctricos

### Fórmulas básicas de circuitos de corriente alterna

#### Leyes de Kirchhoff

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0$$

Cálculo de la potencia eléctrica en función del tiempo para una resistencia

$$P_R(t) = \frac{V_0^2}{R} \left[ 1 - e^{-Rt/L} \right]^2 u(t)$$

#### Ley de Ohm

$$V = ZI$$

$$I = YV$$

#### Impedancia/admitancia

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

$$Z = \frac{1}{Y}$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

#### Potencias monofásicas

$$P_\phi = V_{LN} I_F \cos \theta_\phi$$

$$Q_\phi = V_{LN} I_F \text{sen} \theta_\phi$$

$$S_\phi = V_{LN} I_F$$

$$f.p. = \frac{P_\phi}{S_\phi} = \cos \theta_\phi$$

$I_i$  = corrientes que inciden en un nodo (A)  
 $V_i$  = tensiones (voltajes) alrededor de una malla (V)

$P_R$  = potencia de la resistencia (W)

$t$  = tiempo (ms)

$V_0$  = voltaje de la fuente (V)

$R$  = resistencia ( $\Omega$ )

$L$  = inductancia (mH)

$u(t)$  = valor de voltaje dado por un escalón unitario

$V$  = caída de tensión (voltaje) en la impedancia (V)

$Z$  = impedancia ( $\Omega$ )

$I$  = corriente a través de la impedancia (A)

$I$  = corriente a través de la admitancia (A)

$V$  = caída de voltaje en la admitancia (V)

$Y$  = admitancia (S)

$|Z|$  = magnitud de la impedancia ( $\Omega$ )

$R$  = resistencia ( $\Omega$ )

$X$  = reactancia ( $\Omega$ )

$P_\phi$  = potencia activa monofásica (W)

$Q_\phi$  = potencia reactiva monofásica (var)

$S_\phi$  = potencia aparente monofásica (VA)

$f.p.$  = factor de potencia

$V_{LN}$  = tensión (voltaje) de línea a neutro (V)

$V_{LL}$  = tensión (voltaje) de línea a línea (V)

$I_L$  = corriente de línea (A)

$I_F$  = corriente de fase (A)

$P$  = potencia eléctrica (W)

$V_L$  = tensión (voltaje) de línea (V)

$\eta$  = eficiencia (%)

$S_{VA}$  = potencia aparente de acometida (kVA)

$V_{LL}$  = voltaje de línea a línea (V)

$Z_{pu}$  = impedancia en por unidad (%)

Equivalente de impedancias en serie:

$$ZS = Z1 + Z2 \text{ (%)}$$

Equivalente de impedancias en paralelo:

$$ZP = (Z1 * Z2) / (Z1 + Z2) \text{ (%)}$$

Corriente de línea

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \eta \cdot \cos \theta}$$

Relaciones de tensión (voltaje) y corriente en la conexión en estrella

$$V_{LL} = \sqrt{3}(V_{LN})$$

$$I_L = I_F$$

Relaciones de tensión (voltaje) y corriente en la conexión en delta

$$V_{LL} = V_{LN}$$

$$I_L = \sqrt{3}(I_F)$$

Corriente de corto circuito simétrica para un sistema trifásico balanceado

$$I_{CC} = \frac{S_{VA}}{\sqrt{3}V_{LL}Z_{pu}} \text{ (kA)}$$

### Señales con componentes armónicas

Coefficiente de distorsión armónico total para voltaje y corriente

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

Factor de potencia

$$f.p. = \frac{\cos \phi}{\sqrt{1+THD^2}}$$

Potencia de distorsión

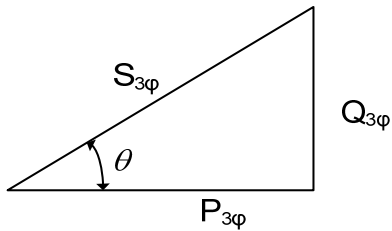
$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

Triángulo de potencia en sistemas trifásicos

$P_{3\phi}$  = potencia activa trifásica (W)

$Q_{3\phi}$  = potencia reactiva trifásica (var)

$S_{3\phi}$  = potencia aparente trifásica (VA)



Potencias con tensión (voltaje)/corriente de fase

$$P_{3\varphi} = 3V_{LN}I_F \cos \theta_\varphi$$

$$Q_{3\varphi} = 3V_{LN}I_F \operatorname{sen} \theta_\varphi$$

$$S_{3\varphi} = 3V_{LN}I_F$$

$$f.p. = \frac{P_{3\varphi}}{S_{3\varphi}} = \cos \theta_\varphi$$

Potencias con tensión (voltaje)/corriente de línea

$$P_{3\varphi} = \sqrt{3}V_{LL}I_L \cos \theta_\varphi$$

$$Q_{3\varphi} = \sqrt{3}V_{LL}I_L \operatorname{sen} \theta_\varphi$$

$$S_{3\varphi} = \sqrt{3}V_{LL}I_L$$

$$f.p. = \frac{P_{3\varphi}}{S_{3\varphi}} = \cos \theta_\varphi$$

Compensación del factor de potencia en sistemas trifásicos (con banco de capacitores)

$$Q_{3\varphi C} = Q_{3\varphi \text{ antes } C} - Q_{3\varphi \text{ después } C}$$

$$Q_{3\varphi C} = \frac{3V_{LN}^2}{X_\varphi}$$

$$C_\varphi = -\frac{1}{(2\pi f X_\varphi)}$$

$f.p.$  = factor de potencia

$V_{LN}$  = tensión (voltaje) de línea a neutro (V)

$I_F$  = corriente de fase (A)

$V_{LL}$  = tensión (voltaje) de línea a línea (V)

$I_L$  = corriente de línea (A)

$Q_{3\varphi C}$  = potencia reactiva del banco de capacitores (var)

$Q_{3\varphi \text{ antes } C}$  = potencia reactiva del sistema antes del banco de capacitores (var)

$Q_{3\varphi \text{ después } C}$  = potencia reactiva del sistema después del banco capacitores (var)

$X_\varphi$  = reactancia capacitiva por fase ( $\Omega$ )

$C_\varphi$  = capacitancia por fase (F)

$f$  = frecuencia (Hz)

## Fórmulas para el sistema en por unidad

Cantidades en por unidad (p.u.)

$$\text{Valor en por unidad} = \frac{\text{valor real}}{\text{valor base}}$$

Potencia activa en p.u.

$$P = \frac{V_1 V_2}{X} \text{sen}(\theta_2 - \theta_1)$$

Tensiones (voltajes), corrientes e impedancias en p.u.

$$V_{pu} = \frac{V}{V_B}$$

$$I_{pu} = \frac{I}{I_B}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_B}$$

$$Z_B = \frac{V_B}{I_B}$$

$$I_B = \frac{S_{B1\phi}}{V_{BLN}}$$

$$I_B = \frac{S_{B3\phi}}{\sqrt{3}(V_{BLL})}$$

$$Z_B = \frac{V_{BLN}}{I_B}$$

$$Z_B = \frac{V_{BLL}}{\sqrt{3}I_B} = \frac{(V_{BLL})^2}{S_{B3\phi}}$$

Fórmulas en por unidad con cambio de base en el sistema

$$S_{pu2} = S_{pu1} \left( \frac{S_{B3\phi2}}{S_{B3\phi1}} \right)$$

$$V_{pu2} = V_{pu1} \left( \frac{V_{BLL1}}{V_{BLL2}} \right)$$

$V_2$  = tensión (voltaje)

$V_1$  = tensión (voltaje)

$X$  = reactancia del enlace de transmisión

$V_{pu}$  = tensión (voltaje) en por unidad (p.u.)

$I_{pu}$  = corriente en por unidad (p.u.)

$Z_{pu}$  = impedancia en por unidad (p.u.)

$V$  = tensión (voltaje) real (V)

$I$  = corriente real (A)

$Z$  = impedancia real ( $\Omega$ )

$Z_B$  = impedancia base ( $\Omega$ )

$V_B$  = tensión (voltaje) base (V)

$I_B$  = corriente base (A)

$V_{BLN}$  = tensión (voltaje) base línea-neutro (V)

$S_{B1\phi}$  = potencia aparente base monofásica (VA)

$V_{BLL}$  = tensión (voltaje) base línea-línea (V)

$S_{B3\phi}$  = potencia aparente base trifásica (VA)

$S_{pu2}$  = potencia aparente en por unidad nueva (p.u.)

$S_{pu1}$  = potencia aparente en por unidad dada (p.u.)

$V_{pu2}$  = tensión (voltaje) en por unidad nueva (p.u.)

$V_{pu1}$  = tensión (voltaje) en por unidad dada (p.u.)

$Z_{pu2}$  = impedancia en por unidad nueva (p.u.)

$Z_{pu1}$  = impedancia en por unidad dada (p.u.)

$V_{BLL1}$  = voltaje base línea-línea dado (V)

$V_{BLL2}$  = voltaje base línea-línea nuevo (V)

Nota: es común elegir como base los kV del sistema de potencia

$S_{B3\phi1}$  = potencia aparente base trifásica dada (VA)

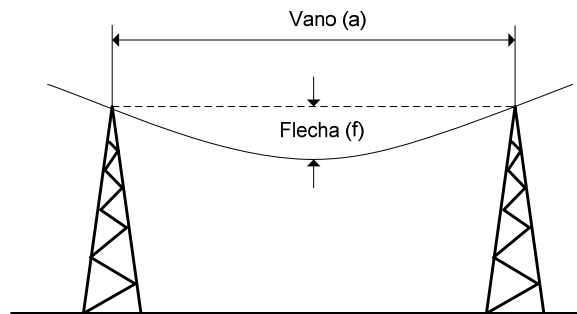
$S_{B3\phi2}$  = potencia aparente base trifásica nueva (VA)

Nota: es común elegir los MVA del sistema de potencia como base.

Las fórmulas de potencia aparente también pueden utilizarse para potencia activa (P) y reactiva (Q), utilizando sus valores base correspondientes. Las fórmulas de impedancia pueden utilizarse para resistencia (R) y reactancia (X) utilizando sus valores base correspondientes.

$$Z_{pu2} = Z_{pu1} \left( \frac{V_{BLL1}}{V_{BLL2}} \right)^2 \left( \frac{S_{B3\phi2}}{S_{B3\phi1}} \right)$$

Fórmulas para el cálculo de flechas

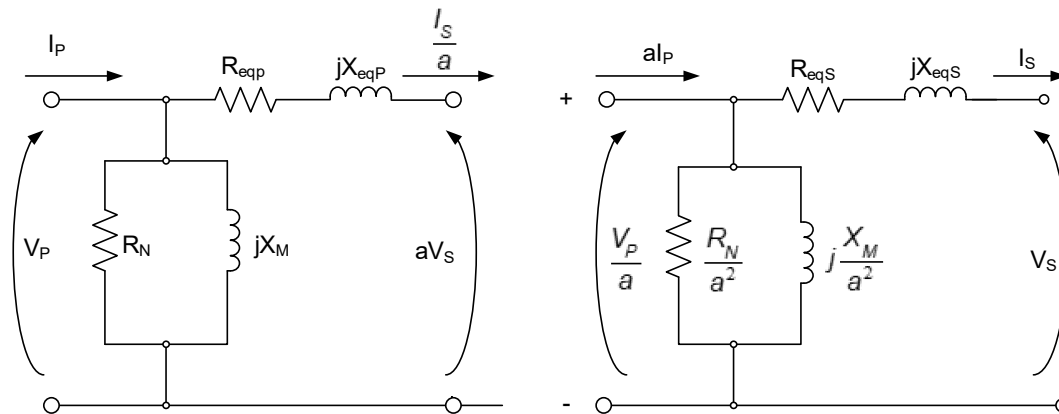


$$T_A = \frac{Wa^2}{8f}$$

$$FS = \frac{T_r}{T_A}$$

$T_A$  = tensión en el cable (N)  
 $W$  = peso del conductor por unidad de longitud (N/m)  
 $a$  = distancia del vano (m)  
 $f$  = distancia de flecha (m)  
 FS = factor de seguridad  
 $T_r$  = la tensión de ruptura (N)

Fórmulas para el análisis de transformadores



Ecuación para el modelo referido al secundario

$$\frac{V_p}{a} = V_s + R_{eqs} I_s + jX_{eqs} I_s$$

Ecuación para el modelo referido al primario

$$V_p = aV_s + R_{eqp} \frac{I_s}{a} + jX_{eqp} \frac{I_s}{a}$$

$R_{eqp}$  = resistencia equivalente referida al primario ( $\Omega$ )  
 $X_{eqp}$  = reactancia equivalente referida al primario ( $\Omega$ )  
 $V_p$  = tensión (voltaje) del primario (V)  
 $V_s$  = tensión (voltaje) del secundario (V)  
 $I_p$  = corriente del primario (A)  
 $I_s$  = corriente de secundario (A)  
 $R_N$  = resistencia de la rama de excitación ( $\Omega$ )  
 $X_M$  = reactancia de la rama de excitación ( $\Omega$ )  
 $a$  = relación de transformación  
 $R_{eqs}$  = resistencia equivalente referida al secundario ( $\Omega$ )  
 $X_{eqs}$  = reactancia equivalente referida al secundario ( $\Omega$ )

Cálculo de regulación de voltaje para generadores síncronos

$$\%RV = \frac{(V_{sc} - V_{pc})}{V_{pc}} \times 100$$

Cálculo de pérdidas y eficiencia para transformadores

$$P_{ent} = P_{sal} + P_{cu} + P_{nu}$$

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \times 100$$

$$a = \frac{V_p}{V_s}$$

$\%RV$  = porcentaje de regulación de tensión (voltaje)

$V_{sc}$  = tensión (voltaje) sin carga (V)

$V_{pc}$  = tensión (voltaje) de plena carga (V)

$P_{sal}$  = potencia de salida del transformador (W)

$P_{ent}$  = potencia de entrada del transformador (W)

$P_{cu}$  = pérdidas en el cobre,  $I^2R$ , (W)

$P_{nu}$  = pérdidas en el núcleo, por histéresis y corrientes parásitas, (W)

$\eta$  = eficiencia del transformador

### Cálculo de corriente de falla

#### Corrientes de cortocircuito y reactancias de máquinas síncronas

Corriente subtransitoria

$$\bar{I}'' = \frac{\bar{I}_m''}{\sqrt{2}} = \frac{\bar{E}_g}{X_d''}$$

Corriente transitoria

$$\bar{I}' = \frac{\bar{I}_m'}{\sqrt{2}} = \frac{\bar{E}_g}{X_d'}$$

Corriente permanente

$$\bar{I} = \frac{\bar{I}_m}{\sqrt{2}} = \frac{\bar{E}_g}{X_d}$$

#### Tensiones (voltajes) internas de las máquinas síncronas en condiciones transitorias

Para generadores

$$\bar{E}_g'' = \bar{V}_t + j\bar{I}_L X'' \quad \bar{I}_g'' = \frac{\bar{E}_g''}{X_{dg}''}$$

Para motores

$$\bar{E}_m'' = \bar{V}_t - j\bar{I}_L X'' \quad \bar{I}_m'' = \frac{\bar{E}_m''}{X_{dm}''}$$

Corriente de falla subtransitoria

$$\bar{I}_f'' = \bar{I}_g'' = \bar{I}_m''$$

Pérdidas por corriente

$$P_f = \frac{2.2f^2 \beta_{\max}^2 \Delta^2}{10^{11}}$$

Potencia activa

$$P = \frac{V_s \cdot V_r \cdot \text{sen}(-10)}{X_l - X_c}$$

$\bar{I}''$  = corriente subtransitoria (A)

$\bar{I}'$  = corriente transitoria (A)

$\bar{I}$  = corriente estado estable (A)

$X_d''$  = reactancia subtransitoria ( $\Omega$ )

$X_d'$  = reactancia transitoria ( $\Omega$ )

$X_d$  = reactancia modo estable ( $\Omega$ )

$\bar{E}_g$  = tensión interna del generador estable

$\bar{E}_g''$  = tensión (voltaje) interna del generador en el periodo subtransitorio (V)

$\bar{V}_t$  = tensión (voltaje) en terminales del generador (V)

$\bar{I}_L$  = corriente de carga (A)

$X_d''$  = reactancia subtransitoria ( $\Omega$ )

$X_{dg}''$  = reactancia subtransitoria del generador ( $\Omega$ )

$X_{dm}''$  = reactancia subtransitoria del motor ( $\Omega$ )

$\bar{E}_m''$  = tensión (voltaje) interna del motor en el periodo subtransitorio (V)

$\bar{I}_f''$  = corriente de falla subtransitoria (A)

$\bar{I}_g''$  = corriente de falla subtransitoria del generador (A)

$\bar{I}_m''$  = corriente de falla subtransitoria del motor (A)

$\bar{I}_m'$  = corriente de falla transitoria del motor (A)

$\bar{I}_m$  = corriente de falla permanente del motor (A)

$P_f$  = pérdidas por corriente (W/kg)

f = frecuencia (Hz)

$\beta_{\max}$  = inducción máxima (Gauss)

$\Delta$  = espesor de la chapa magnética (mm)

P = potencia activa en una línea de transmisión (W)

$X_l$  = reactancia inductiva ( $\Omega$ )

$X_c$  = reactancia capacitiva ( $\Omega$ )

### Cálculo de sección de conductores

Resistencia de un conductor

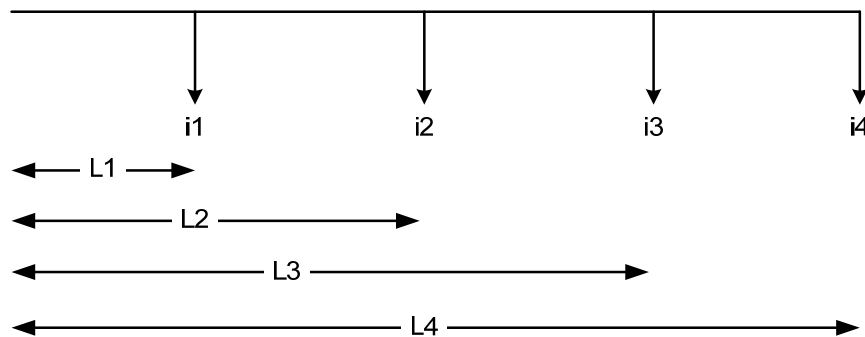
$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Cálculo por caída de tensión trifásico a tres hilos (conexión delta)

$$S = \frac{\rho \sqrt{3} L I}{V_{LL} e} \times 100$$

$R$  = resistencia del conductor ( $\Omega$ )  
 $\rho$  = resistividad del material del conductor ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )  
 $S$  = sección transversal del conductor ( $\text{mm}^2$ )  
 $L$  = longitud del circuito considerado (m)  
 $I$  = corriente eléctrica (A)  
 $V_{LL}$  = tensión (voltaje) de línea a línea (V)  
 $e$  = porcentaje de caída de tensión (%)

Para circuitos derivados como el que se muestra en la figura:



$$S = \frac{\rho}{V_P} \sum_1^n (L_n I_n)$$

$S$  = sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )  
 $\rho$  = resistividad específica del conductor ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )  
 $V_P$  = caída de tensión (voltaje) (V)  
 $L$  = longitud de trayecto de la corriente (m)  
 $I$  = corriente (A)

### Fórmulas para calcular el consumo eléctrico y el cálculo del kW-h

$$P_C = P_D \cdot t$$

$$C = P_C \cdot P_r$$

$P_C$  = potencia consumida (kW-h)  
 $P_D$  = potencia demandada (kW)  
 $t$  = tiempo (h)  
 $C$  = costo de la potencia consumida  
 $P_r$  = precio \$/kW-h

### Flujo total de iluminación

$$\phi = (\text{nivel de iluminación} \cdot \text{superficie}) / (\text{factor de utilización} \cdot \text{factor de mantenimiento})$$

### Índice de calidad respecto al nivel de voltaje $\Delta V_k$ (%)

$$\Delta V_k = \left| \frac{V_k - V_n}{V_n} \right| * 100$$

$V_k$  = Promedio de la sumatoria de voltajes registrados  
 $V_n$  = Voltaje nominal

$$V_k = (V_1 + V_2 + V_3) / 3$$

Tabla: características de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.

| Clase NEMA | Par de arranque (# de veces el nominal) | Corriente de arranque | Regulación de velocidad (%) | Nombre de clase del motor                             |
|------------|---|-----------------------|-----------------------------|---|
| A          | 1.5-1.75                                | 5-7                   | 2-4                         | Normal  |
| B          | 1.4-1.6                                 | 4.5-5                 | 3.5                         | De propósito general                                  |
| C          | 2-2.5                                   | 3.5-5                 | 4-5                         | De doble jaula alto par                               |
| D          | 2.5-3.0                                 | 3-8                   | 5-8, 8-13                   | De alto par alta resistencia                          |
| F          | 1.25                                    | 2-4                   | mayor de 5                  | De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque |

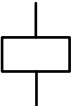
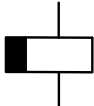
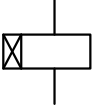
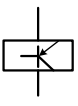
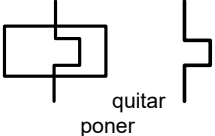
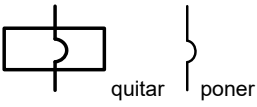
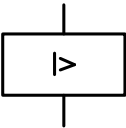
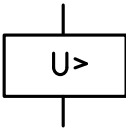
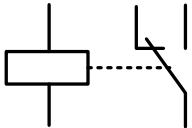
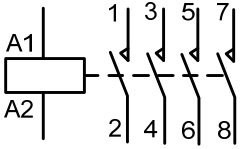
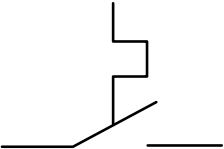
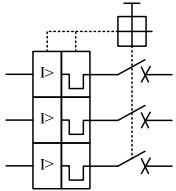
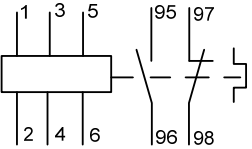






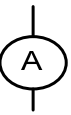
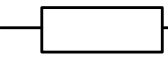
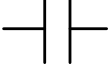

Símbolos de acuerdo con NMX-J-136-ANCE-2019




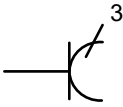
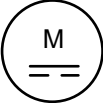
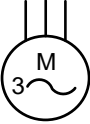


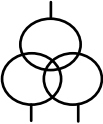


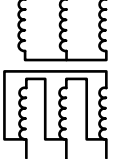
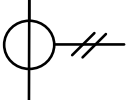


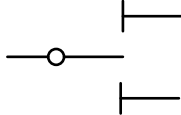
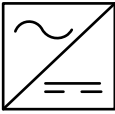
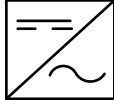

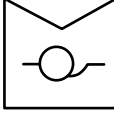
| Descripción   | Símbolo | Descripción  | Símbolo |
|---|---------|--|---------|
| Circuito, símbolo general (diagrama unifilar)                         |         | Circuitos (conductor o tubo)Nota: La letra N indica el número de conductores |         |
| Conexión en cruz (conexión cuatro vías)                               |         | Ensamble de conductores que no se conectan                                   |         |
| Tierra, puesta a tierra, conexión de puesta a tierra, símbolo general |         | Interruptor  |         |
| Interruptor termomagnético (automático)                               |         | Arrancador (con protección contra sobrecarga)                                |         |
| Arrancador a tensión plena  |         | Arrancador a tensión reducida  |         |
| Fusible   |         | Acometida  |         |
| Receptáculos sencillo   |         | Receptáculo doble  |         |
| Receptáculo trifásico   |         | Interruptor sencillo   |         |
| Receptáculo de piso   |         | Receptáculo con terminal de puesta a tierra                                  |         |
| Interruptor de un polo  |         | Interruptor de 3 polos   |         |
| Lámpara   |         | Resistencia, símbolo general   |         |
| Capacitor, símbolo general  |         | Devanado   |         |
| Motor   |         | Transformador con dos devanados  |         |

| Descripción   | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Transformador con tres devanados                      |         | Autotransformador, símbolo general                    |         |
| Transformador de potencial                            |         | Vóltmetro   |         |
| Ampérmetro  |         | Zumbador  |         |
| Tablero eléctrico general                             |         | Tablero de distribución general                       |         |
| Tablero de distribución de alumbrado                  |         | Medio de desconexión                                  |         |
| Interruptor de seguridad (desconectador de seguridad) |         | Apartarrayos  |         |
| Transformador de corriente                            |         | Equipo de medición                                    |         |
| Grupo generador                                       |         | Interruptor de seguridad (desconectador de seguridad) |         |
| Barra de neutro                                       |         | Barra de puesta a tierra                              |         |
| Tablero de fuerza                                     |         |   |         |







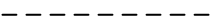


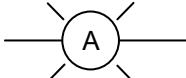
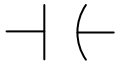

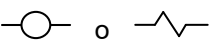
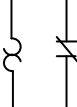
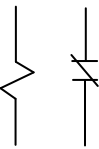





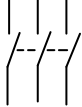
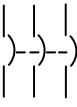
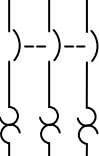
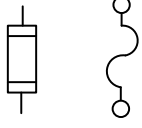

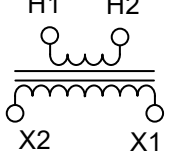
Símbolos de acuerdo con EN-60617 o IEC 60617

| Descripción                                  | Símbolo | Descripción  | Símbolo |
|--|---------|--|---------|
| Empalme de conductores en una misma línea    |         | Unifilar 3 circuitos   |         |
| Unifilar 3 conductores                       |         | Regletero de bornes de conexión                                  |         |
| Punto de conexión entre conectores           |         | Borne de conexión  |         |
| Representación de la toma de tierra          |         | Tierra de protección   |         |
| Masa, chasis                                 |         | Caja de empalme  |         |
| Falla  |         | Convertidor, símbolo general                                     |         |
| Interruptor normalmente abierto              |         | Interruptor normalmente cerrado                                  |         |
| Contacto principal de cierre de un contactor |         | Seccionador  |         |
| Pulsador normalmente cerrados                |         | Pulsador normalmente abierto                                     |         |
| Trinquete, retén o retorno no automático.    |         | Enclavamiento mecánico entre dos dispositivos                    |         |
| Accionador manual, símbolo general           |         | Accionador manual protegido contra una operación no intencionada |         |
| Pulsador con retención                       |         | Interruptor bipolar  |         |
| Accionamiento por efecto electromagnético    |         | Accionamiento por dispositivo térmico                            |         |

| Descripción   | Símbolo   | Descripción                               | Símbolo   |
|---|---|---|---|
| Bobina de un relevador  |    | Conexión retardada al desactivar el mando |    |
| Conexión retardada al activar el mando                                      |    | Mando de un relevador electrónico         |    |
| Relevador térmico   |    | Relevador de protección electromagnético  |    |
| Relevador de máxima intensidad  |    | Relevador de máxima tensión               |    |
| Bobina en general de relevadores, contactores y otros dispositivos de mando |    | Contacto y contactos principales          |    |
| Contacto auxiliar de cierre autoaccionado por un relevador térmico          |  | Interruptor automático tripolar           |  |
| Relevador térmico   |  | Fusible                                   |  |
| Fusible interruptor   |  | Sirena                                    |  |
| Lámpara símbolo general   |  | Zumbador                                  |  |
| Voltímetro  |  | Amperímetro                               |  |
| Resistencia   |  | Capacitor                                 |  |
| Bobina  |  |   |   |

| Descripción  | Símbolo   | Descripción   | Símbolo   |
|--|---|---|---|
| Clavija de enchufe   |    | Arrancador de motor   |    |
| Clavija y receptáculo  |    | Toma de corriente múltiple  |    |
| Motor de corriente continua                                    |    | Motor de inducción trifásico de Jaula de ardilla                          |    |
| Generador no rotativo  |    | Generador síncrono trifásico, con inducido en estrella y neutro accesible |    |
| Transformador de tres arrollamientos. Unifilar                 |    | Transformador de tres arrollamientos. Desarrollada                        |    |
| Transformador trifásico, conexión estrella-triángulo. Unifilar |  | Transformador trifásico, conexión estrella-triángulo. Desarrollada        |  |
| Transformador de corriente. Unifilar                           |  | Transformador de corriente. Desarrollada                                  |  |
| Pararrayos   |  | Seccionador de dos posiciones con posición intermedia                     |  |
| Rectificador   |  | Ondulador, inversor   |  |
| Arrancador estrella-delta                                      |  | Arrancado por autotransformador   |  |

Símbolos de acuerdo a la ANSI

| Descripción                                 | Símbolo   | Descripción                                 | Símbolo   |
|---|---|---|---|
| Conductor                                   |    | Conductores no conectados                   |    |
| Conductores conectados                      |    | Terminal del conductor                      |    |
| Representación de la toma de tierra         |    | Bloqueo mecánico                            |    |
| Conexión mecánica                           |    | Vóltmetro                                   |    |
| Ampérmetro                                  |    | Lámpara piloto                              |    |
| Capacitor                                   |    | Resistencia                                 |    |
| Bobinas                                     |    | Relevador de sobrecarga térmico             |    |
| Relevador de sobrecarga magnético           |   | Contacto de empuje normalmente abierto      |  |
| Contacto de empuje normalmente cerrado      |  | Contacto de empuje doble                    |  |
| Contactos instantáneos, normalmente abierto |  | Contactos instantáneos, normalmente cerrado |  |
| Desconectador                               |  | Interruptor                                 |  |
| Interruptor con protección térmica          |  | Fusible                                     |  |
| Transformador de corriente                  |  | Transformador de voltaje simple             |  |

| Descripción                          | Símbolo | Descripción                           | Símbolo |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
| Transformador de voltaje doble.      |         | Motor de corriente alterna monofásico |         |
| Motor de corriente alterna trifásico |         | Zumbador                              |         |
| Tomacorriente sencillo               |         | Tomacorriente doble                   |         |
| Contacto térmico                     |         |                                       |         |

Artículos con referencia a la NOM-001-SEDE-2012

Instalaciones eléctricas (utilización). Sustituye a la NOM-001-SEDE-2005

**ARTÍCULO 210. CIRCUITOS DERIVADOS**

**210-19. Conductores. Ampacidad y tamaños mínimos.**

**NOTA 4:** Los conductores de circuitos derivados como están definidos en el Artículo 100, dimensionados para evitar una caída de tensión mayor que 3 por ciento en la salida más lejana que alimente a cargas de calefacción, fuerza, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión combinada de los circuitos alimentadores y de los circuitos derivados hasta el contacto más lejano no supere 5 por ciento, proporcionarán una razonable eficiencia de funcionamiento.

**ARTÍCULO 215. ALIMENTADORES**

**215-2. Capacidad y tamaños mínimos del conductor.**

**NOTA 2:** Los conductores de los alimentadores tal como están definidos en el Artículo 100, con un tamaño que evite una caída de tensión superior al 3 por ciento en la salida más lejana para cargas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentadores y derivados hasta la salida más lejana no supere el 5 por ciento, ofrecerán una eficiencia de funcionamiento razonable.

**ARTÍCULO 250 - PUESTA A TIERRA Y UNIÓN**

**Tabla 250-66.- Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna**

| Tamaño del mayor conductor de entrada a la acometida o área equivalente para conductores en paralelo |                   |                  |                   | Tamaño del conductor al electrodo de puesta a tierra |             |                 |             |
|--|-------------------|------------------|-------------------|--|-------------|-----------------|-------------|
| Cobre  |                   | Aluminio         |                   | Cobre  |             | Aluminio        |             |
| mm <sup>2</sup>  | AWG o kcmil       | mm <sup>2</sup>  | AWG o kcmil       | mm <sup>2</sup>                                      | AWG o kcmil | mm <sup>2</sup> | AWG o kcmil |
| 33.6 o menor   | 2 o menor         | 53.50 o menor    | 1/0 o menor       | 8.37   | 8           | 13.3            | 6           |
| 42.4 o 53.5  | 1 o 1/0           | 67.40 o 85.00    | 2/0 o 3/0         | 13.3   | 6           | 21.2            | 4           |
| 67.4 o 85.0  | 2/0 o 3/0         | 107 o 127        | 4/0 o 250         | 21.2   | 4           | 33.6            | 2           |
| Más de 85.0 a 177  | Más de 3/0 a 350  | Más de 127 a 253 | Más de 250 a 500  | 33.6   | 2           | 53.5            | 1/0         |
| Más de 177 a 304.0   | Más de 350 a 600  | Más de 253 a 456 | Más de 500 a 900  | 53.5   | 1/0         | 85.0            | 3/0         |
| Más de 304 a 557.38  | Más de 600 a 1100 | Más de 456 a 887 | Más de 900 a 1750 | 67.4   | 2/0         | 107             | 4/0         |
| Más de 557.38  | Más de 1 100      | Más de 887       | Más de 1 750      | 85.0   | 3/0         | 127             | 250         |

**Tabla 250-122.- Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos**

| Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección<br>contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos,<br>canalizaciones, etc., sin exceder de:<br>(amperes) | Tamaño          |                |   |                |
|---|-----------------|----------------|---|----------------|
|   | Cobre           |                | Cable de aluminio o<br>aluminio con cobre |                |
|   | mm <sup>2</sup> | AWG o<br>kcmil | mm <sup>2</sup>                           | AWG o<br>kcmil |
| 15  | 2.08            | 14             | —   | —              |
| 20  | 3.31            | 12             | —   | —              |
| 60  | 5.26            | 10             | —   | —              |
| 100   | 8.37            | 8              | —   | —              |
| 200   | 13.30           | 6              | 21.20                                     | 4              |
| 300   | 21.20           | 4              | 33.60                                     | 2              |
| 400   | 33.60           | 2              | 42.40                                     | 1              |
| 500   | 33.60           | 2              | 53.50                                     | 1/0            |
| 600   | 42.40           | 1              | 67.40                                     | 2/0            |
| 800   | 53.50           | 1/0            | 85.00                                     | 3/0            |
| 1 000   | 67.40           | 2/0            | 107                                       | 4/0            |
| 1 200   | 85.00           | 3/0            | 127                                       | 250            |
| 1 600   | 107             | 4/0            | 177                                       | 350            |
| 2 000   | 127             | 250            | 203                                       | 400            |
| 2 500   | 177             | 350            | 304                                       | 600            |
| 3 000   | 203             | 400            | 304                                       | 600            |
| 4 000   | 253             | 500            | 380                                       | 750            |
| 5 000   | 355             | 700            | 608                                       | 1 200          |
| 6 000   | 405             | 800            | 608                                       | 1 200          |

Para cumplir con lo establecido en 250-4(a)(5) o (b)(4), el conductor de puesta a tierra de equipos podría ser de mayor tamaño que lo especificado en esta Tabla.

\*Véase 250-120 para restricciones de instalación.

Tabla 310-15(b)(2)(a).- Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 30 °C

| Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación: |                                    |       |       |
|---|------------------------------------|-------|-------|
| Temperatura ambiente (°C)   | Rango de temperatura del conductor |       |       |
|   | 60 °C                              | 75 °C | 90 °C |
| 10 o menos  | 1.29                               | 1.20  | 1.15  |
| 11-15   | 1.22                               | 1.15  | 1.12  |
| 16-20   | 1.15                               | 1.11  | 1.08  |
| 21-25   | 1.08                               | 1.05  | 1.04  |
| 26-30   | 1.00                               | 1.00  | 1.00  |
| 31-35   | 0.91                               | 0.94  | 0.96  |
| 36-40   | 0.82                               | 0.88  | 0.91  |
| 41-45   | 0.71                               | 0.82  | 0.87  |
| 46-50   | 0.58                               | 0.75  | 0.82  |
| 51-55   | 0.41                               | 0.67  | 0.76  |
| 56-60   | -                                  | 0.58  | 0.71  |
| 61-65   | -                                  | 0.47  | 0.65  |
| 66-70   | -                                  | 0.33  | 0.58  |
| 91-75   | -                                  | -     | 0.50  |
| 76-80   | -                                  | -     | 0.41  |
| 81-85   | -                                  | -     | 0.29  |

Tabla 310-15(b)(2)(b).- Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 40 °C

| Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación: |   |       |       |        |        |        |
|---|---|-------|-------|--------|--------|--------|
| Temperatura ambiente (°C)   | Rango de temperatura de los conductores |       |       |        |        |        |
|   | 60 °C                                   | 75 °C | 90 °C | 150 °C | 200 °C | 250 °C |
| 10 o menos  | 1.58                                    | 1.36  | 1.26  | 1.13   | 1.09   | 1.07   |
| 11-15   | 1.50                                    | 1.31  | 1.22  | 1.11   | 1.08   | 1.06   |
| 16-20   | 1.41                                    | 1.25  | 1.18  | 1.09   | 1.06   | 1.05   |
| 21-25   | 1.32                                    | 1.20  | 1.14  | 1.07   | 1.05   | 1.04   |
| 26-30   | 1.22                                    | 1.13  | 1.10  | 1.04   | 1.03   | 1.02   |
| 31-35   | 1.12                                    | 1.07  | 1.05  | 1.02   | 1.02   | 1.01   |
| 36-40   | 1.00                                    | 1.00  | 1.00  | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 41-45   | 0.87                                    | 0.93  | 0.95  | 0.98   | 0.98   | 0.99   |
| 46-50   | 0.71                                    | 0.85  | 0.89  | 0.95   | 0.97   | 0.98   |
| 51-55   | 0.50                                    | 0.76  | 0.84  | 0.93   | 0.95   | 0.96   |
| 56-60   | -                                       | 0.65  | 0.77  | 0.90   | 0.94   | 0.95   |
| 61-65   | -                                       | 0.53  | 0.71  | 0.88   | 0.92   | 0.94   |
| 66-70   | -                                       | 0.38  | 0.63  | 0.85   | 0.90   | 0.93   |
| 91-75   | -                                       | -     | 0.55  | 0.83   | 0.88   | 0.91   |
| 76-80   | -                                       | -     | 0.45  | 0.80   | 0.87   | 0.90   |
| 81-90   | -                                       | -     | -     | 0.74   | 0.83   | 0.87   |
| 91-100  | -                                       | -     | -     | 0.67   | 0.79   | 0.85   |
| 101-110   | -                                       | -     | -     | 0.60   | 0.75   | 0.82   |
| 111-120   | -                                       | -     | -     | 0.52   | 0.71   | 0.79   |
| 121-130   | -                                       | -     | -     | 0.43   | 0.66   | 0.76   |
| 131-140   | -                                       | -     | -     | 0.30   | 0.61   | 0.72   |
| 141-160   | -                                       | -     | -     | -      | 0.50   | 0.65   |
| 161-180   | -                                       | -     | -     | -      | 0.35   | 0.58   |
| 181-200   | -                                       | -     | -     | -      | -      | 0.49   |
| 201-225   | -                                       | -     | -     | -      | -      | 0.35   |

**3) Factores de ajuste.**

a) Más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable. Cuando el número de conductores portadores de corriente en una canalización o cable es mayor de tres, o cuando los conductores individuales o cables multiconductores se instalan sin conservar su separación en una longitud continua mayor de 60 centímetros y no están instalados en canalizaciones, la ampacidad permisible de cada conductor se debe reducir como se ilustra en la Tabla 310-15(b)(3)(a). Cada conductor portador de corriente de un grupo de conductores en paralelo se debe contar como un conductor portador de corriente.

Cuando conductores de sistemas diferentes, como se establece en 300-3, están instalados en una canalización o cable común, los factores de ajuste mostrados en la Tabla 310-15(B(3))(a) se deben aplicar únicamente a los conductores de fuerza y alumbrado (Artículos 210, 215, 220 y 230).

**Tabla 310-15(b)(3)(a).- Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable**

| Número de conductores <sup>1</sup> | Porcentaje de los valores en las tablas 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19), ajustadas para temperatura ambiente, si es necesario. |
|------------------------------------|--|
| 4-6                                | 80   |
| 7-9                                | 70   |
| 10-20                              | 50   |
| 21-30                              | 45   |
| 31-40                              | 40   |
| 41 y más                           | 35   |

<sup>1</sup>Es el número total de conductores en la canalización o cable ajustado de acuerdo con 310-15(b)(5) y (6).

**NOTA 1:** Ver el apéndice A, Tabla B.310-15(b)(2)(11), para los factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable con carga diversificada.

**Tabla 310-15(b)(3)(a)Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable**

| Número de conductores <sup>1</sup> | Porcentaje de los valores de las tablas 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19),ajustado para la temperatura ambiente si es necesario |
|------------------------------------|---|
| 4 a 6                              | 80  |
| 7 a 9                              | 70  |
| 10 a 20                            | 50  |
| 21 a 30                            | 45  |
| 31 a 40                            | 40  |
| 41 y más                           | 35  |

<sup>1</sup>Es el número total de conductores en la canalización o cable ajustado de acuerdo con 310-15(b)(5) y (6).

**392-22. Número de cables o conductores.** a) Número de cables multiconductores de 2000 volts o menos, en charolas portacables. El número de cables multiconductores de 2000 volts o menos, permitidos en una sola charola portacables, no debe exceder lo establecido en esta sección. Los tamaños de los conductores que se indican, se aplican tanto a conductores de cobre como de aluminio. Tabla 392-22(a).- Área de ocupación permisible para cables multiconductores en charolas portacables de tipo escalera, fondo ventilado, tipo malla o fondo sólido para cables de 2000 volts o menos.

**Tabla 392-22(a).- Área de ocupación permisible para cables multiconductores en charolas portacables de tipo escalera, fondo ventilado, tipo malla o fondo sólido para cables de 2000 volts o menos.**

| Ancho interior de la charola en cm | Área de ocupación máxima permisible para cables multiconductores               |  |  |  |
|------------------------------------|--|--|--|--|
|                                    | Charolas portacables tipo escalera, tipo malla o fondo ventilado, 392-22(a)(1) |  | Charolas portacables tipo fondo sólido, 392-22(a)(3) |  |
|                                    | Columna 1<br>Aplicable sólo por 392-22(a)(1)(b)                                | Columna 2 <sup>a</sup><br>Aplicable sólo por 392-22(a)(1)(c) | Columna 1<br>Aplicable sólo por 392-22(a)(1)(b)      | Columna 2 <sup>a</sup><br>Aplicable sólo por 392-22(a)(1)(c) |
| cm                                 | mm <sup>2</sup>  | mm <sup>2</sup>  | mm <sup>2</sup>                                      | mm <sup>2</sup>  |
| 5                                  | 1 500  | 1 500 - (30 Sd)  | 1 200  | 1 200 - (30 Sd)  |
| 10                                 | 3 000  | 3 000 - (30 Sd)  | 2 300  | 2 300 - (30 Sd)  |
| 15                                 | 4 500  | 4 500 - (30 Sd)  | 3 500  | 3 500 - (30 Sd)  |
| 20                                 | 6 000  | 6 000 - (30 Sd)  | 4 500  | 4 500 - (30 Sd)  |
| 22.5                               | 6 800  | 6 800 - (30 Sd)  | 5 100  | 5 100 - (25 Sd)  |
| 30                                 | 9 000  | 9 000 - (30 Sd)  | 7 100  | 7 100 - (25 Sd)  |
| 40                                 | 12 000   | 12 000 - (30 Sd)   | 9 400  | 9 400 - (30 Sd)  |
| 45                                 | 13 500   | 13 500 - (30 Sd)   | 10 600   | 10 600 - (25 Sd)   |
| 50                                 | 15 000   | 15 000 - (30 Sd)   | 11 800   | 11 800 - (30 Sd)   |
| 60                                 | 18 000   | 18 000 - (30 Sd)   | 14 200   | 14 200 - (25 Sd)   |
| 75                                 | 22 500   | 22 500 - (30 Sd)   | 17 700   | 17 700 - (25 Sd)   |
| 90                                 | 27 000   | 27 000 - (30 Sd)   | 21 300   | 21 300 - (25 Sd)   |

<sup>a</sup> Se deben calcular las áreas de ocupación máxima permisible de las columnas 2 y 4. Por ejemplo, la ocupación máxima permisible, en milímetros cuadrados, para una charola portacables de 15 centímetros de ancho en la columna 2, debe ser 4500 menos (30 multiplicado por Sd).

<sup>b</sup> El término Sd de las columnas 2 y 4 es la suma de los diámetros, en milímetros, de todos los cables multiconductores de 107 mm<sup>2</sup> (4/0 AWG) y más grandes instalados en la misma charola con cables más pequeños.

**B. Conductores para circuitos de motores**

430-22. Un solo motor. Los conductores que alimenten un solo motor usado en una aplicación de servicio continuo, deben tener ampacidad no menor al 125 por ciento del valor nominal de corriente de plena carga del motor, como se determina en 430-6(a)(1), o no menos a la especificada a continuación. 19/11/2019 SENER [www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html](http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html) 304/780

a) Rectificador de motor de corriente continua. Para motores de corriente continua que operan desde una fuente de alimentación rectificadora, la ampacidad del conductor en la entrada del rectificador no debe ser menor al 125 por ciento de la corriente nominal de entrada al rectificador. Para motores de corriente continua que operan desde una fuente de alimentación monofásica rectificadora, los conductores entre las terminales de alambrado del campo del rectificador y el motor, deben tener una ampacidad no menor al siguiente porcentaje del valor nominal de corriente de plena carga del motor:

(1) El 190 por ciento, cuando se use un puente rectificador monofásico de media onda.

(2) El 150 por ciento, cuando se use un puente rectificador monofásico de onda completa.  
 b) Motor con velocidades múltiples. Para un motor con velocidades múltiples, la selección de los conductores del circuito derivado en el lado de línea del controlador debe estar basada en la mayor de las corrientes nominales de plena carga indicada en la placa de características del motor. La ampacidad de los conductores del circuito derivado entre el controlador y el motor no debe ser menor al 125 por ciento de la corriente nominal del devanado o devanados a los que energiza los conductores.

c) Motor con arranque en estrella y funcionamiento en delta. Para motores conectados con arranque en estrella y funcionamiento en delta, la ampacidad de los conductores del circuito derivado del lado de línea del controlador no debe ser menor al 125 por ciento de la corriente de plena carga del motor, tal como lo determina 430-6(a)(1). La ampacidad de los conductores entre el controlador y el motor no debe ser menor al 72 por ciento del valor nominal de la corriente de plena carga del motor, tal como lo determina 430-6(a)(1).

NOTA: Los conductores individuales del circuito de motor de un motor con arranque en estrella y funcionamiento en delta transportan

el 58 por ciento del valor nominal de la corriente de carga. El multiplicador del 72 por ciento se obtiene multiplicando el 58 por ciento por 1.25.

d) Motor con devanado dividido. Para motores conectados con devanado dividido, la ampacidad de los conductores del circuito derivado del lado de línea del controlador no debe ser menor al 125 por ciento de la corriente de plena carga del motor, tal como lo determina 430-6(a)(1). La ampacidad de los conductores entre el controlador y el motor no debe ser menor al 62.50 por ciento del valor nominal de la corriente de plena carga del motor, tal como lo determina 430-6(a)(1).

NOTA: El multiplicador del 62.50 por ciento se obtiene multiplicando el 50 por ciento por 1.25.

e) Servicio no continuo. Los conductores para un motor usado en aplicaciones de corta duración, intermitentes, periódicas o variables, deben tener ampacidad no menor al porcentaje del valor nominal de corriente de la placa de características del motor, mostrada en la Tabla 430-22(e).

**Tabla 430-22(e).- Servicio por régimen de tiempo**

| Clasificación del servicio   | Porcentajes del valor nominal de corriente de las placas de características |                         |                         |  |
|--|---|-------------------------|-------------------------|--|
|  | Motor especificado para   | Motor especificado para | Motor especificado para | Motor especificado para funcionamiento |
|  | 5 minutos   | 15 minutos              | 30 y 60 minutos         | continuo                               |
| Servicio de corto tiempo:<br>Accionamiento de válvulas, elevación o descenso de rodillos, etc.   | 110   | 120                     | 150                     | -                                      |
| Servicio intermitente:<br>Elevadores y montacargas, máquinas de herramientas, bombas, puentes levadizos, plataformas giratorias, etc. (Para soldadoras de arco, ver 630-11). | 85  | 85                      | 90                      | 140                                    |
| Servicio periódico:<br>Rodillos, máquinas de manipulación de minerales y carbón, etc.  | 85  | 90                      | 95                      | 140                                    |
| Servicio variable  | 110   | 120                     | 150                     | 200                                    |

Cualquier motor debe ser considerado como de ciclo continuo, a menos que la naturaleza de los aparatos que accione sea tal que el motor no operará continuamente con carga bajo cualquier condición de operación.

- f) Envolventes de terminales separadas. Se permitirá que los conductores entre un motor estacionario de 746 watts (1 hp nominal) o menos y con envoltorio de terminales separada como se permite en 430-245(b), sean de tamaño menor al 2.08 mm<sup>2</sup> (14 AWG) pero no menor al 0.824 mm<sup>2</sup> (18 AWG), siempre que tengan una ampacidad como se especifica en 430-22(a).
- g) Conductores para motores pequeños. Los conductores para motores pequeños no deben ser menores a 2.08 mm<sup>2</sup> (14 AWG) a menos que se permita lo contrario en 430-22(g)(1) o (g)(2).
- 1) Cobre tamaño 0.824 mm<sup>2</sup> (18 AWG). Cuando se instalen en un gabinete o envoltorio, se permitirán los conductores individuales de cobre de tamaño 0.824 mm<sup>2</sup> (18 AWG), los conductores de cobre que son parte de un ensamble de cables cubiertos multiconductores o los conductores de cobre en un cordón flexible, bajo cualquiera de las siguientes series de condiciones:
- (1) Circuitos de motor con una ampacidad de plena carga mayor a 3.50 amperes o menor a o igual a 5 amperes si se cumplen todas las siguientes condiciones:
- El circuito está protegido de acuerdo con 430-52.
  - El circuito proporcionado con máxima protección contra sobrecarga Clase 10 de acuerdo con 430-32. 19/11/2019 SENER [www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html](http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html) 305/780
  - La protección contra sobrecorriente es proporcionado de acuerdo con 240-4(d)(1)(2).
- (2) Circuitos de motor con una ampacidad de plena carga de 3.50 amperes o menos si se cumplen las siguientes condiciones:
- El circuito está protegido de acuerdo con 430-52.
  - El circuito es proporcionado con máxima protección contra sobrecarga Clase 20 de acuerdo con 430-32.
  - La protección contra sobrecorriente es proporcionada de acuerdo con 240-4(d)(1)(2).
- 2) Cobre tamaño 1.31 mm<sup>2</sup> (16 AWG). Cuando se instalen en un gabinete o envoltorio, se permitirán los conductores individuales de cobre de tamaño 1.31 mm<sup>2</sup> (16 AWG), los conductores de cobre que son parte de un ensamble de cables cubiertos multiconductores o los conductores de cobre en un cordón flexible, bajo cualquiera de las siguientes series de condiciones:
- (1) Circuitos de motor con una ampacidad de plena carga mayor a 5.50 amperes o menor o igual a 8 amperes si se cumplen todas las siguientes condiciones:
- El circuito está protegido de acuerdo con 430-52.
  - El circuito es proporcionado con máxima protección contra sobrecarga Clase 10 de acuerdo con 430-32.
  - La protección contra sobrecorriente es proporcionada de acuerdo con 240-4(d)(2)(2).
- (2) Circuitos de motor con una ampacidad de plena carga de 5.50 amperes o menos si se cumplen las siguientes condiciones:
- El circuito está protegido de acuerdo con 430-52.
  - El circuito es proporcionado con máxima protección contra sobrecarga Clase 20 de acuerdo con 430-32.
  - La protección contra sobrecorriente es proporcionada de acuerdo con 240-4(d)(2)(2).
- 430-23. Secundario del motor de rotor devanado.
- Servicio continuo. Para servicio continuo, los conductores que conectan el secundario de un motor de corriente alterna de rotor devanado con su controlador, deben tener una ampacidad no menor al 125 por ciento de la corriente de plena carga del secundario del motor.
  - Servicio no continuo. Para servicio diferente del continuo, estos conductores deben tener una ampacidad, en porcentaje de la corriente de plena carga del secundario, no menor a la especificada en la Tabla 430-22(e).
  - Resistencia separada del controlador. Cuando la resistencia del secundario esté separada del controlador, la ampacidad de los conductores entre el controlador y la resistencia no debe ser menor a la indicada en la Tabla 430-23(c)

**Tabla 430-23(c).- Conductor del secundario**

| <b>Clasificación en función de la resistencia</b> | <b>Ampacidad del conductor en porcentaje de la corriente a plena carga del secundario</b> |
|---|---|
| Arranque ligero                                   | 35  |
| Arranque pesado                                   | 45  |
| Arranque extra-pesado                             | 55  |
| Arranque ligero intermitente                      | 65  |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Arranque intermitente medio  | 75  |
| Arranque intermitente pesado | 85  |
| Servicio continuo            | 110 |

430-24. Varios motores o motores y otras cargas. Los conductores que alimentan varios motores o motores y otras cargas deben tener una ampacidad no menor a la suma de cada uno de los siguientes: (1) 125 por ciento de la corriente nominal de plena carga del motor con el valor nominal más alto, tal como se determina en 430- 6(a). (2) La suma de las corrientes nominales de plena carga de todos los otros motores del grupo, tal como se determina en 430- 6(a). (3) 100 por ciento de las cargas no continuas que no son motores. (4) 125 por ciento de las cargas continuas que no son motores. Excepción 1: Cuando uno o más de los motores del grupo se utilicen para servicio de corta duración, intermitente, periódico o variable, el valor nominal en amperes de dichos motores utilizada en la suma, se debe determinar de acuerdo con 430-22(e). En la suma se debe utilizar el motor de mayor capacidad y debe ser uno de los dos valores siguientes: valor nominal de corriente en amperes de 430-22(e) o la corriente más alta de plena carga en servicio continuo del motor multiplicada por 1.25. Excepción 2: La ampacidad de los conductores que alimentan equipos eléctricos fijos para calefacción de ambiente, operados con motor, debe cumplir lo establecido en 424-3(b). Excepción 3: Cuando el circuito se pueda bloquear de modo que impida el funcionamiento simultáneo de determinados motores y otras cargas, se permitirá que la ampacidad de los conductores se base en la suma de las corrientes de los motores y de las otras cargas que van a funcionar simultáneamente, y que den como resultado la mayor corriente total.

#### ARTÍCULO 430 - MOTORES, CIRCUITOS DE MOTORES Y CONTROLADORES

##### 430-32. Motores de servicio continuo.

a) De más de 746 watts (1 hp). Todos los motores de servicio continuo de más de 746 watts (1 hp nominal) deben estar protegidos contra sobrecargas por uno de los medios indicados en (1) hasta (4) siguientes:

1) Dispositivo separado de protección contra sobrecarga. Un dispositivo separado de protección contra sobrecarga que sea sensible a la corriente del motor. Este dispositivo se debe seleccionar para que se dispare o debe tener valor nominal no mayor al siguiente porcentaje del valor nominal de corriente de plena carga, de la placa de características del motor:

- Motores con un factor de servicio marcado de 1.15 o más 125 por ciento
- Motores con un aumento de temperatura marcado de 40 °C o menos 125 por ciento
- Todos los demás motores 115 por ciento

2) Protector térmico. Un protector térmico integrado con el motor, aprobado para su uso con el motor que protege, con el fin de evitar el sobrecalentamiento peligroso del motor debido a la sobrecarga y a las fallas al arrancar. La corriente máxima de disparo en un motor protegido térmicamente no debe superar los siguientes porcentajes de la corriente de plena carga del motor:

- Corriente de plena carga del motor de 9 amperes o menos 170 por ciento
- Corriente de plena carga del motor entre 9.1 y 20 amperes inclusive 156 por ciento
- Corriente de plena carga del motor mayor a 20 amperes 140 por ciento

Si el dispositivo de interrupción de corriente del motor está separado de él y su circuito de control es operado por un dispositivo protector integrado en el motor, debe estar dispuesto de manera que, al abrirse el circuito de control, resulte en una interrupción de la corriente del motor.

3) Integrado al motor. Se permitirá instalar un dispositivo de protección integrado al motor que lo proteja contra los daños debidos a las fallas al arrancar, si el motor forma parte de un ensamble aprobado que normalmente no somete al motor a sobrecargas.

4) De más de 1 120 kilowatts (1 500 caballos de fuerza). Para motores de más de 1 120 kilowatts (1 500 hp), un dispositivo de protección con detectores de temperatura incorporados en el motor que cause la interrupción del paso de corriente cuando el motor alcance un aumento de la temperatura por encima del marcado en la placa de características, para una temperatura ambiente de 40 °C.

Tabla de ampacidades permisibles de conductores eléctricos

Tabla 310-15(b)(16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C

| Área<br>mm <sup>2</sup> | Tamaño o<br>designación<br>AWG o kcmil | Temperatura nominal de conductor |   |   |                 |  |   |
|-------------------------|--|----------------------------------|---|---|-----------------|--|---|
|                         |  | 60 °C                            |   | 75 °C   |                 | 90 °C  |   |
|                         |  | Tipos W,<br>UF                   | Tipos LSOH,<br>RHW, THHW,<br>THHW-LS,<br>THW, THW-<br>LS, THWN,<br>XHHW, USE,<br>ZW | Tipos TBS, SA, SIS,<br>FEP, FEPB, LSOH,<br>MI, RHH, RHW-2,<br>THHN, THHW, THW-<br>2, THWN-2, USE-2,<br>XHH, XHHW,<br>XHHW-2, ZW-2 | Tipos<br>TW, UF | Tipos RHW,<br>THHW,<br>THHW-LS,<br>THW, THW-<br>LS, THWN,<br>XHHW, USE | Tipos TBS, SA, SIS,<br>THHN, THHW, THHW-<br>LS, THW-2, HWN-2,<br>RHH, RHW-2, USE-2,<br>HH, XHHW, HHW-2,<br>ZW-2 |
| Cobre                   |  |                                  | Aluminio o aluminio recubierto de cobre   |   |                 |  |   |
| 0.824                   | 18                                     | -                                | -   | 14  | -               | -  | -   |
| 1.31                    | 16                                     | -                                | -   | 18  | -               | -  | -   |
| 2.08                    | 14                                     | 15                               | 20  | 25  | -               | -  | -   |
| 3.31                    | 12                                     | 20                               | 25  | 30  | -               | -  | -   |
| 5.26                    | 10                                     | 30                               | 35  | 40  | -               | -  | -   |
| 8.37                    | 8                                      | 40                               | 50  | 55  | -               | -  | -   |
| 13.3                    | 6                                      | 55                               | 65  | 75  | 40              | 50   | 55  |
| 21.3                    | 4                                      | 70                               | 85  | 95  | 55              | 65   | 75  |
| 26.7                    | 3                                      | 85                               | 100   | 115   | 65              | 75   | 85  |
| 33.6                    | 2                                      | 95                               | 115   | 130   | 75              | 90   | 100   |
| 42.4                    | 1                                      | 110                              | 130   | 145   | 85              | 100  | 115   |
| 53.49                   | 1/0                                    | 125                              | 150   | 170   | 100             | 120  | 135   |
| 67.43                   | 2/0                                    | 145                              | 175   | 195   | 115             | 135  | 150   |
| 85.01                   | 3/0                                    | 165                              | 200   | 225   | 130             | 155  | 175   |
| 107.2                   | 4/0                                    | 195                              | 230   | 260   | 150             | 180  | 205   |
| 127                     | 250                                    | 215                              | 255   | 290   | 170             | 205  | 230   |
| 152                     | 300                                    | 240                              | 285   | 320   | 195             | 230  | 260   |
| 177                     | 350                                    | 260                              | 310   | 350   | 210             | 250  | 280   |
| 203                     | 400                                    | 280                              | 335   | 380   | 225             | 270  | 305   |
| 253                     | 500                                    | 320                              | 380   | 430   | 260             | 310  | 350   |
| 304                     | 600                                    | 350                              | 420   | 475   | 285             | 340  | 385   |
| 355                     | 700                                    | 385                              | 460   | 520   | 315             | 375  | 425   |
| 380                     | 750                                    | 400                              | 475   | 535   | 320             | 385  | 435   |
| 405                     | 800                                    | 410                              | 490   | 555   | 330             | 395  | 445   |
| 456                     | 900                                    | 435                              | 520   | 585   | 355             | 425  | 480   |
| 507                     | 1 000                                  | 455                              | 545   | 615   | 375             | 445  | 500   |
| 633                     | 1 250                                  | 495                              | 590   | 665   | 405             | 485  | 545   |
| 760                     | 1 500                                  | 525                              | 625   | 705   | 435             | 520  | 585   |
| 887                     | 1 750                                  | 545                              | 650   | 735   | 455             | 545  | 615   |
| 1 013                   | 2 000                                  | 555                              | 665   | 750   | 470             | 560  | 630   |

D. Protección de circuitos derivados para motores contra cortocircuito y fallas a tierra

430-52. Capacidad nominal o ajuste para circuitos de un solo motor.

a) Generalidades. Los dispositivos de protección contra cortocircuito y fallas a tierra de los circuitos derivados de motores deben cumplir lo establecido en (b) y (c) o (d) siguientes, según sea aplicable.

b) Todos los motores. El dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra del circuito derivado del motor, debe ser capaz de soportar la corriente de arranque del motor.

c) Capacidad nominal o ajuste.

1) De acuerdo con la Tabla 430-52. Se debe emplear un dispositivo de protección con valor nominal o un ajuste que no exceda el valor calculado de acuerdo con los valores dados en la Tabla 430-52.

Excepción 1: Cuando los valores de los dispositivos de protección contra cortocircuito y fallas a tierra de los circuitos derivados determinados según la Tabla 430-52, no correspondan a los tamaños o valores nominales estándar de los fusibles, interruptores automáticos y dispositivos térmicos de protección no ajustables o posibles ajustes de disparo de los interruptores automáticos ajustables, se permitirá utilizar el tamaño, valor nominal o posible ajuste que no exceda el valor nominal estándar de corriente inmediatamente superior.

Excepción 2: Cuando el valor nominal especificado en la Tabla 430-52, o el valor nominal modificado por la Excepción 1, no sea suficiente para la corriente de arranque del motor:

(1) Se permitirá aumentar el valor nominal de un fusible sin retardo de tiempo que no exceda de 600 amperes o de un fusible con retardo de tiempo de Clase C, pero en ningún caso debe exceder el 400 por ciento de la corriente de plena carga.

- (2) Se permitirá aumentar el valor nominal de un fusible de acción retardada (de elemento dual), pero en ningún caso debe exceder el 225 por ciento de la corriente de plena carga.
- (3) Se permitirá aumentar el valor nominal de un interruptor automático de tiempo inverso, pero sin que en ningún caso exceda el 400 por ciento para corrientes de plena carga de 100 amperes o menos, o el 300 por ciento para corrientes de plena carga de más de 100 amperes.
- (4) Se permitirá aumentar la capacidad nominal de un fusible clasificado entre 601 a 6000 amperes, pero sin que en ningún caso exceda el 300 por ciento de la corriente de plena carga.

**Tabla 430-52.- Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores**

| Tipo de motor   | En porcentaje de la corriente a plena carga |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|   | Fusible sin retardo de tiempo <sup>1</sup>  | Fusible de dos elementos <sup>1</sup> (con retardo de tiempo) | Interruptor automático de disparo instantáneo | Interruptor automático de tiempo inverso <sup>2</sup> |
| Motores monofásicos   | 300   | 175   | 800   | 250   |
| Motores polifásicos de corriente alterna distintos a los de rotor devanado    | 300   | 175   | 800   | 250   |
| De jaula de ardilla: diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes | 300   | 175   | 800   | 250   |
| De diseño B energéticamente eficientes  | 300   | 175   | 1100  | 250   |
| Sincrónicos <sup>3</sup>  | 300   | 175   | 800   | 250   |
| Con rotor devanado  | 150   | 150   | 800   | 150   |
| De corriente continua (tensión constante)                                     | 150   | 150   | 250   | 150   |

Para algunas excepciones a los valores especificados, ver 430-54.

1 Los valores de la columna fusible sin retardo de tiempo se aplican a fusibles de Clase CC de acción retardada.

2 Los valores de la última columna también cubren los valores nominales de los interruptores automáticos de tiempo inverso no ajustables, que se pueden modificar como se describe en 430-52(c)(1), Excepción 1 y 2.

3 Los motores sincrónicos de bajo par y baja velocidad (usualmente 450 rpm o menos), como los utilizados para accionar compresores alternativos, bombas, etc. que arrancan sin carga, no requieren que el valor nominal de los fusibles o el ajuste de los interruptores automáticos sea mayor al 200 por ciento de la corriente a plena carga.

2) Tabla del relevador de sobrecarga. Cuando la capacidad nominal del dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra del circuito derivado se muestre en la tabla que proporciona el fabricante del relevador de sobrecarga para su uso con el controlador del motor, o esté marcada de cualquier otra forma en el equipo, ese valor no se debe exceder aun cuando se permitan valores superiores en las disposiciones anteriores.

3) Interruptor automático de disparo instantáneo. Sólo se debe utilizar un interruptor automático de disparo instantáneo si es ajustable y forma parte de una combinación aprobada de motor y controlador con protección coordinada del motor contra sobrecarga y cortocircuito y falla a tierra en cada conductor, y si el ajuste se regula a no más del valor especificado en la Tabla 430-52.

NOTA: Para el propósito de este Artículo, los interruptores automáticos de disparo instantáneo pueden incorporar un amortiguador de corrientes transitorias de irrupción o de energización (Inrush current) del motor, sin disparos inconvenientes del interruptor automático.

Excepción 1: Cuando el ajuste especificado en la Tabla 430-52 no sea suficiente para la corriente de arranque del motor, se permitirá aumentar el ajuste del interruptor automático de disparo instantáneo, pero sin que en ningún caso exceda el 1300 por ciento de la corriente de plena carga del motor para motores distintos de los de diseño B energéticamente eficientes, ni más del 1700 por ciento de la corriente de plena carga del motor para motores de diseño B energéticamente eficientes. Se permitirán ajustes de disparo mayores al 800 por ciento para otros motores distintos de los del diseño B energéticamente eficientes y mayor al 1100 por ciento para los motores del diseño B

energéticamente eficientes, cuando su necesidad se haya demostrado por evaluación de ingeniería. En tales casos, no será necesario aplicar primero un interruptor automático con disparo instantáneo al 800 por ciento o al 1100 por ciento.

Excepción 2: Cuando la corriente de plena carga del motor sea de 8 amperes o menos, se permitirá aumentar hasta el valor marcado en el controlador el ajuste del interruptor automático de disparo instantáneo con una corriente nominal continua de 15 amperes o menos, en una combinación aprobada de controlador de motor que proporcione protección coordinada del circuito derivado del motor contra sobrecarga, cortocircuito y fallas a tierra.

4) Motor de velocidades múltiples. Para motores de varias velocidades se permitirá instalar un solo dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra para dos o más devanados del motor, siempre que el valor nominal del dispositivo de protección no exceda los porcentajes aplicables anteriores del valor nominal en la placa de características del devanado más pequeño protegido.

Excepción: En un motor de varias velocidades se permitirá utilizar un solo dispositivo de protección contra cortocircuito y falla a tierra, dimensionado de acuerdo con la corriente de plena carga del devanado de mayor corriente, siempre que se cumplan todas las condiciones siguientes:

a. Cada devanado está equipado con protección individual contra sobrecargas dimensionada de acuerdo con su corriente de plena carga.

b. Los conductores del circuito derivado que alimentan a cada devanado están dimensionados de acuerdo con la corriente de plena carga del devanado de mayor corriente de plena carga.

c. El controlador de cada devanado tiene un valor nominal en caballos de fuerza no menor a la exigida para el devanado que posee el mayor valor nominal en caballos de fuerza.

5) Dispositivos electrónicos de potencia. Para los dispositivos electrónicos de potencia en los sistemas de controladores de motores de estado sólido se permitirá utilizar fusibles adecuados en lugar de los dispositivos aprobados en la Tabla 430-52, siempre que al lado de los fusibles se marque claramente el valor nominal de los fusibles de repuesto.

6) Controlador combinado auto-protegido. Se permitirá un controlador combinado auto-protegido aprobado, en lugar de los dispositivos especificados en la Tabla 430-52. Los ajustes de disparo instantáneo regulables no deben exceder el 1300 por ciento de la corriente de plena carga del motor para motores diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes, ni más de 1700 por ciento de la corriente de plena carga de un motor, para motores de diseño B energéticamente eficientes.

NOTA: Aplicación adecuada de combinación de controladores auto-protegidos en sistemas trifásicos, distintos de los puestos a tierra sólidamente en conexión estrella, particularmente en los sistemas de conexión delta puestos a tierra en una esquina, considerados los controladores de combinación auto-protegidos de polo individual con habilidad de interrupción.

7) Protector del motor contra cortocircuito. Se permitirá un protector contra cortocircuito del motor en lugar de los dispositivos especificados en la Tabla 430-52, si dicho protector es parte de una combinación aprobada de controlador de motor que posee protección coordinada contra sobrecarga del motor y protección contra cortocircuito y fallas a tierra en cada conductor, y que abrirá el 19/11/2019 SENER [www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html](http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html) 312/780 circuito a corrientes que exceden el 1300 por ciento de la corriente de plena carga del motor para motores diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes y el 1700 por ciento de la corriente de plena carga para motores de diseño B energéticamente eficientes.

d) Motores de alto par. Los circuitos derivados de los motores de alto par se deben proteger a la corriente nominal de la placa de características del motor, según 240-4(b)

#### **ARTÍCULO 450. TRANSFORMADORES Y BÓVEDAS PARA TRANSFORMADORES**

**450-3. Protección contra sobrecorriente.** La protección contra sobrecorriente de los transformadores debe cumplir (a), (b) o (c) siguientes. Tal como se usa en esta sección, la palabra transformador significará un transformador o un banco polifásico de dos o más transformadores monofásicos que funcionan como una unidad.

**a) Transformadores de más de 600 volts nominales.** La protección contra sobrecorriente se debe suministrar de acuerdo con la Tabla 450-3(a).

**b) Transformadores de 600 volts nominales o menos.** La protección contra sobrecorriente se debe suministrar de acuerdo con la Tabla 450-3(b).

**Tabla 450-3(a).- Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador).**

|   |                                      | Protección del secundario (ver la Nota 2) |                           |  |                           |  |
|---|--------------------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------|--|
|   |                                      | Protección del primario, más de 600 volts |                           | Más de 600 volts                       |                           | 600 volts o menos                                  |
| Limitaciones sobre el lugar                   | Impedancia nominal del transformador | Interruptor automático (ver la Nota 4)    | Valor nominal del fusible | Interruptor automático (ver la Nota 4) | Valor nominal del fusible | Valor nominal del interruptor automático o fusible |
| Cualquier lugar                               | No más del 6%                        | 600%<br>(ver Nota 1)                      | 300%<br>(ver Nota 1)      | 300%<br>(ver Nota 1)                   | 250%<br>(ver Nota 1)      | 125%<br>(ver Nota 1)                               |
|   | Más del 6%, pero máximo el 10%       | 400%<br>(ver Nota 1)                      | 300%<br>(ver Nota 1)      | 250%<br>(ver Nota 1)                   | 225%<br>(ver Nota 1)      | 125%<br>(ver Nota 1)                               |
| Lugares supervisados únicamente (ver Nota 3). | Cualquiera                           | 300%<br>(ver Nota 1)                      | 250%<br>(ver Nota 1)      | No se exige                            | No se exige               | No se exige  |
|   | No más del 6%                        | 600%                                      | 300%                      | 300%<br>(ver Nota 5)                   | 250%<br>(ver Nota 5)      | 250%<br>(ver Nota 5)                               |
|   | Más del 6% pero máximo el 10%        | 400%                                      | 300%                      | 250%<br>(ver Nota 5)                   | 250%<br>(ver Nota 5)      | 250%<br>(ver Nota 5)                               |

**NOTAS:**

1. Cuando el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste estándares, se permitirá tomar el valor nominal o ajuste estándar inmediatamente superior.
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente del secundario, se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del secundario esté compuesto por un máximo de seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de los valores nominales de los dispositivos no debe exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente. Si como dispositivo de protección contra sobrecorriente se utilizan tanto interruptores como fusibles, el total de los valores nominales del dispositivo no debe exceder el permitido para los fusibles.
3. Un lugar supervisado es aquel en que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solamente personal calificado supervisará y prestará servicio a la instalación de transformadores.
4. Los fusibles accionados electrónicamente que se puedan ajustar para abrir a una corriente específica se deben ajustar de acuerdo con los ajustes para interruptores automáticos.
5. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga no tenga protección independiente del secundario.

**Tabla 450-3(b).- Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 600 volts y menos (como un porcentaje nominal de la corriente nominal del transformador)**

| Método de protección                 | Protección del primario       |                                  |                                  | Protección del secundario     |                                  |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|                                      | Corrientes de 9 amperes o más | Corrientes de menos de 9 amperes | Corrientes de menos de 2 amperes | Corrientes de 9 amperes o más | Corrientes de menos de 9 amperes |
| Protección del primario solamente    | 125%<br>(véase nota 1)        | 167%                             | 300%                             | No se requiere                | No se requiere                   |
| Protección del primario y secundario | 250%<br>(véase nota 3)        | 250%<br>(véase nota 3)           | 250%<br>(véase nota 3)           | 125%<br>(véase nota 1)        | 167%                             |

**NOTAS:**

1. Cuando el 125 por ciento de la corriente no corresponde a un valor estándar de un fusible o interruptor automático ajustable, se permitirá elegir el valor nominal estándar inmediatamente superior.
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente en el secundario, se permitirá que el dispositivo de sobrecorriente del secundario esté compuesto por máximo seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de todos los valores nominales de los dispositivos no deben exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente.
3. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga y dispuesta para interrumpir la corriente del primario, tenga protección contra sobrecorriente en el primario con valor nominal o ajuste a un valor de corriente que no sea más de seis veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que no tienen una impedancia de más del 6 por ciento y no más de cuatro veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que tienen una impedancia de más del 6 por ciento pero no más del 10 por ciento.

**Selección de elementos térmicos, protección por sobrecorriente para motores.**

| PARA USARSE CON |       |             | CORRIENTE A PLENA CARGA | NÚMERO DE ELEMENTO | CORRIENTE A PLENA CARGA | NÚMERO DE ELEMENTO | CORRIENTE A PLENA CARGA | NÚMERO DE ELEMENTO | CORRIENTE A PLENA CARGA | NÚMERO DE ELEMENTO | CORRIENTE A PLENA CARGA | NÚMERO DE ELEMENTO |             |      |
|-----------------|-------|-------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------|------|
| CLASE           | TIPO  | TAMAÑO      |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
| 9065            | CG    | 25 A        | 0.34 - 0.38             | B 0 44             | 0.89 - 0.99             | B 1 16             | 2.29 - 2.52             | B 300              | 5.92 - 6.25             | B 7 70             | 12.5 - 14.1             | B 17 5             |             |      |
|                 |       |             | 0.39 - 0.43             | B 0 51             | 1.00 - 1.10             | B 1 30             | 2.53 - 2.87             | B 310              | 6.26 - 6.83             | B 8 20             | 14.2 - 15.7             | B 19 5             |             |      |
|                 |       |             | 0.44 - 0.48             | B 0 57             | 1.11 - 1.26             | B 1 45             | 2.88 - 3.28             | B 3 20             | 6.84 - 7.65             | B 9 10             | 15.8 - 17.9             | B 22               |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             | 0.49 - 0.51             | B 0 63             | 1.27 - 1.43             | B 1 67             | 3.29 - 3.75             | B 4 15             | 7.66 - 8.55             | B 1 02             | 18.0 - 20.1             | B 25               |             |      |
|                 |       |             | 0.54 - 0.62             | B 0 71             | 1.44 - 1.59             | B 1 80             | 3.76 - 4.27             | B 4 85             | 8.56 - 9.56             | B 1 15             | 20.2 - 22.5             | B 28 0             |             |      |
|                 |       |             | 0.63 - 0.69             | B 0 81             | 1.60 - 1.81             | B 2 10             | 4.28 - 4.77             | B 5 50             | 9.57 - 10.3             | B 1 28             | 22.6 - 25.0             | B 32               |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 | CO    |             |                         | 0.70 - 0.78        | B 0 92                  | 1.82 - 2.00        | B 2 40                  | 4.78 - 5.27        | B 6 25                  | 10.4 - 11.3        | B 14                    |                    |             |      |
|                 |       |             |                         | 0.79 - 0.88        | B 1 03                  | 2.01 - 2.28        | B 2 65                  | 5.28 - 5.91        | B 6 90                  | 11.4 - 12.4        | B 15 5                  |                    |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 | TG    | 50 A        |                         | 0.31 - 0.35        | B 0 44                  | 0.93 - 1.03        | B 1 30                  | 2.66 - 2.97        | B 3 70                  | 7.32 - 8.71        | B 10 2                  | 20.1 - 22.9        | B 28 0      |      |
|                 |       |             |                         | 0.36 - 0.39        | B 0 51                  | 1.04 - 1.19        | B 1 45                  | 2.98 - 3.47        | B 4 15                  | 8.72 - 9.18        | B 11 5                  | 23.0 - 25.7        | B 32        |      |
|                 |       |             |                         | 0.40 - 0.44        | B 0 57                  | 1.20 - 1.34        | B 1 62                  | 3.48 - 3.94        | B 4 85                  | 9.19 - 9.90        | B 12 8                  | 25.8 - 28.6        | B 36        |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             |                         | 0.45 - 0.50        | B 0 63                  | 1.35 - 1.50        | B 1 88                  | 3.95 - 4.44        | B 5 50                  | 10.0 - 11.0        | B 14                    | 28.7 - 32.2        | B 40        |      |
|                 |       |             |                         | 0.51 - 0.58        | B 0 71                  | 1.51 - 1.67        | B 2 10                  | 4.45 - 4.94        | B 6 25                  | 11.1 - 12.4        | B 15 5                  | 32.3 - 35.8        | B 45        |      |
|                 |       |             |                         | 0.59 - 0.65        | B 0 81                  | 1.68 - 1.89        | B 2 40                  | 4.95 - 5.52        | B 6 90                  | 12.5 - 13.9        | B 17 5                  | 35.9 - 40.1        | B 50        |      |
|                 |       |             |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             |                         | 0.66 - 0.73        | B 0 92                  | 1.90 - 2.14        | B 2 65                  | 5.53 - 5.88        | B 7 70                  | 14.0 - 15.7        | B 19 5                  | 40.2 - 45.0        | B 56        |      |
|                 |       |             |                         | 0.74 - 0.82        | B 1 03                  | 2.15 - 2.36        | B 3 00                  | 5.89 - 6.52        | B 8 20                  | 15.8 - 17.8        | B 22                    |                    |             |      |
|                 |       |             |                         | 0.83 - 0.92        | B 1 16                  | 2.37 - 2.65        | B 3 30                  | 6.53 - 7.31        | B 9 10                  | 17.9 - 20.0        | B 25                    |                    |             |      |
|                 |       |             |                         | UG                 | 100 A                   |                    | 15.3 - 15.7             | C 20               | 25.9 - 30.4             | C 34               | 38.9 - 44.2             | C 51               | 63.3 - 68.6 | C 83 |
| 16.8 - 19.8     | C 22  | 30.5 - 31.9 | C 40                    |                    |                         |                    | 44.3 - 50.2             | C 58               | 68.1 - 78.6             | C 90               |                         |                    |             |      |
| 19.9 - 22.8     | C 26  | 32.0 - 34.2 | C 42                    |                    |                         |                    | 50.3 - 57.1             | C 66               | 78.7 - 86.0             | C 103              |                         |                    |             |      |
| 22.9 - 25.8     | C 30  | 34.3 - 38.8 | C 45                    |                    |                         |                    | 57.2 - 63.2             | C 75               |                         |                    |                         |                    |             |      |
| FG              | 100 A |             | 43.6 - 47.3             | CC 54 5            | 54.7 - 59.7             | CC 68.5            | 70.2 - 75.1             | CC 87 7            | 89.3 - 96.5             | CC 112             | 114 - 123               | CC 143             |             |      |
|                 |       |             | 47.4 - 51.3             | CC 59 4            | 59.8 - 65.1             | CC 74.6            | 75.2 - 82.2             | CC 94 0            | 96.6 - 104              | CC 121             | 124 - 133               | CC 156             |             |      |
|                 |       |             | 51.4 - 54.6             | CC 64 3            | 62.2 - 70.1             | CC 81.5            | 82.3 - 89.2             | CC 10 3            | 105 - 113               | CC 137             |                         |                    |             |      |
| GG              | 100 A |             | 40.8 - 44.9             | DD 51              | 57.6 - 62.6             | DD 68              | 86.5 - 91.9             | DD 105             | 132 - 139               | DD 150             | 190 - 209               | DD 230             |             |      |
|                 |       |             | 45.0 - 49.3             | DD 55              | 62.7 - 67.6             | DD 73              | 92.0 - 1.00             | DD 112             | 140 - 156               | DD 160             | 210 - 225               | DD 250             |             |      |
|                 |       |             |                         |                    | 67.7 - 72.9             | DD 79              | 1.01 - 1.09             | DD 121             | 157 - 166               | DD 185             | 226 - 238               | DD 265             |             |      |
|                 |       |             | 49.4 - 52.8             | DD 59              |                         |                    |                         |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |
|                 |       |             | 52.9 - 57.5             | DD 63              | 73.0 - 79.4             | DD 91              | 1.10 - 1.19             | DD 128             | 167 - 180               | DD 213             | 239 - 266               | DD 280             |             |      |
|                 |       | 79.5 - 86.4 | DD 98                   | 1.20 - 1.31        | DD 140                  | 181 - 189          | DD 220                  |                    |                         |                    |                         |                    |             |      |

| Clave                | Descripción   |
|----------------------|---|
| BS EN 61340-5-1:2007 | Electrostatics. Protection of electronic devices from electrostatic phenomena. General requirements (Electrostática. Protección de dispositivos electrónicos de descargas electrostáticas. Requisitos generales)  |
| IEC/CEI 61537:2006   | Cable management - Cable tray systems and cable ladder systems (Conducción de cables – sistemas de bandejas y de bandejas de escalera)  |
| NMX-J-511-ANCE-1999  | <p>Esta Norma Mexicana establece las especificaciones de construcción, funcionamiento y métodos de prueba para los diferentes soportes metálicos tipo charola para cables como son tipo canal, tipo escalera, tipo fondo sólido, tipo fondo ventilado y tipo malla, con o sin recubrimientos resistentes a la corrosión y a sus accesorios asociados, destinados a soportar cables eléctricos, de control y sistemas de canalizaciones.</p> <p>5.1 Materiales</p> <p>Los soportes tipo charolas para cables y sus accesorios, deben ser de metal resistente a la corrosión, tal como aluminio o acero inoxidable, o de acero al carbón con un recubrimiento resistente a la corrosión.</p> <p>Los accesorios deben ser de acero, aluminio o alguna de sus aleaciones, siempre y cuando tengan la rigidez y resistencia mecánica para proporcionar el soporte adecuado al sistema de soportes tipo charola para cables. Los accesorios deben tener un recubrimiento resistente a la corrosión, a excepción de los fabricados con acero inoxidable o aluminio.</p> <p>5.2.1 Recubrimiento para tramos rectos, curvas y derivaciones</p> <p>Los tramos rectos, curvas y derivaciones deben protegerse contra la corrosión por alguno de los recubrimientos siguientes:</p> <p>Tipo 1: Galvanizado por inmersión en caliente después de su fabricación o ensamble.</p> <p>NOTA. - Los productos fabricados y galvanizados por inmersión en caliente deben lavarse totalmente, secados y sumergidos en un baño de zinc fundido donde reaccione para formar un recubrimiento de zinc depositado metalúrgicamente.</p> |

|                          |  |
|--------------------------|--|
|                          | <p>Tipo 2: Galvanizado por inmersión en caliente para laminado. El recubrimiento es homogéneo, dúctil y adherente. Este tipo de galvanizado no debe usarse para aplicaciones en lugares corrosivos o mojados.</p> <p>NOTA. - El galvanizado por inmersión en caliente para laminado con un promedio de recubrimiento de zinc en peso de 0.38 kg/m<sup>2</sup>, y un recubrimiento total de ambos lados con un espesor mínimo de 27 μm por lado. El recubrimiento por inmersión en caliente para laminado es producido por el rolado de hojas o tiras de acero en bobinas que pasa a través de un baño de zinc fundido. El proceso involucra un pretratamiento al acero para hacer que la superficie reaccione fácilmente con el zinc fundido conforme el acero se mueve a través del baño a altas velocidades.</p> <p>Tipo 3: Galvanizado electrolítico. Este método no debe usarse para aplicaciones en lugares corrosivos o mojados.</p>   |
| <p>NOM-022-STPS-2015</p> | <p>Establece las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.</p> <p>8. Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas<br/>             Instalar o verificar el sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas<br/>             Nota: Aplica para las áreas o instalaciones de los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas</p> <p>a) Instalar un arreglo del sistema de puesta a tierra y proveer una superficie de alta resistividad en la zona de tránsito de trabajadores, tal como grava triturada de 0.10 metros de espesor como mínimo, entre el terreno natural y los elementos del sistema de puesta a tierra;</p> <p>b) Proveer una canalización no metálica con resistencia a la intemperie sobre la superficie del conductor de bajada con el objeto de reducir la posibilidad de contacto accidental o incidental de los trabajadores;</p> <p>c) Colocar en la canalización avisos de precaución que indiquen el "PELIGRO: EVENTUAL CORRIENTE DE RAYO"</p> <p>d) Unir eléctricamente al sistema de puesta a tierra (por debajo del nivel de piso) todos los elementos metálicos y acero de refuerzo de la estructura a proteger, mediante electrodos de puesta a tierra horizontales colocados a una profundidad mínima de 0.60 metros</p> <p>e) Instalar el conductor de bajada de tal forma que su recorrido sea lo más corto posible y se eviten cruces con instalaciones eléctricas.</p> |

## Procesos productivos

Procesos de producción

### Comportamiento mecánico de los materiales

Comportamiento mecánico en la zona elástica

$$s = \frac{F_0}{A_0}$$

$$e = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$$

$$s = Ee \quad \text{ó} \quad \sigma = E\varepsilon$$

$s$  = esfuerzo ingenieril o nominal

$F$  = fuerza

$A_0$  = área de sección transversal inicial

$e$  = deformación ingenieril o nominal

$L_0$  = longitud inicial

$L_1$  = longitud final

$L$  = longitud instantánea

$\sigma$  = esfuerzo real

$A$  = área de sección transversal instantánea

$\varepsilon$  = deformación real

$E$  = módulo de Young (de elasticidad)

Comportamiento mecánico en la zona plástica

$$\sigma_{f \text{ frío}} = K\varepsilon^n$$

$$\sigma_{f \text{ caliente}} = C\dot{\varepsilon}^m$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{V}{L}$$

$$\sigma_f' = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_f$$

$\sigma_{f \text{ frío}}$  = esfuerzo de flujo en frío

$\varepsilon$  = deformación real

$K$  = coeficiente de resistencia

$n$  = exponente de endurecimiento por deformación

$\sigma_{f \text{ caliente}}$  = esfuerzo de flujo en caliente

$\dot{\varepsilon}$  = velocidad de deformación real

$C$  = coeficiente de resistencia

$m$  = exponente de sensibilidad a la velocidad de deformación

$V$  = rapidez de deformación

$L$  = longitud instantánea

$\sigma_f'$  = esfuerzo de flujo en deformación plana

### Acabado superficial

$$Ra = 32.1 / (r \cdot ((Vc/(\pi \cdot D)) \cdot t)^2)$$

$Ra$  = rugosidad

$r$  = radio de la punta de la herramienta

$Vc$  = velocidad de corte

$D$  = diámetro de la pieza

$t$  = tiempo

### Procesos de deformación masiva o volumétrica

#### Forja

$$F = A P_{prom}$$

Forja abierta: piezas rectangulares

$$P_{prom} \approx \sigma_f' \left( 1 + \frac{\mu a}{h} \right)$$

Forja abierta: piezas circulares

$$P_{prom} \approx \sigma_f' \left( 1 + \frac{2 \mu r}{3 h} \right)$$

Forja cerrada

$$P_{prom} \approx K_p \sigma_f'$$

$F$  = fuerza de forja

$A$  = área proyectada

$P_{prom}$  = presión promedio en forja

$\sigma_f'$  = esfuerzo de flujo en deformación plana

$\mu$  = coeficiente de fricción

$a$  = mitad del ancho de la pieza

$h$  = altura instantánea de la pieza

$\sigma_f'$  = esfuerzo de flujo

$r$  = radio

$K_p$  = factor de incremento de presión:

- 3 – 5 para formas simples sin rebaba
- 5 – 8 para formas simples con rebaba
- 8 – 12 para formas complejas con rebaba

#### Laminación

Para condiciones de baja fricción

$$F = \bar{\sigma}_f' L w$$

Para condiciones de alta fricción

$$F = \bar{\sigma}_f' \left( 1 + \frac{\mu L}{2 h_{prom}} \right) L w$$

$$\bar{\sigma}_f' = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f'$$

$$L = \sqrt{R \Delta h}$$

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

$$\Delta h_{max} = \mu^2 R$$

$$\bar{\sigma}_f'_{frio} = \frac{K \varepsilon^n}{n + 1}$$

$$\bar{\sigma}_f'_{caliente} = C \dot{\varepsilon}^m$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{V}{L} \ln \left( \frac{h_0}{h_1} \right) = \frac{2 \pi R N}{L} \ln \left( \frac{h_0}{h_1} \right)$$

$$P = \frac{\pi F L N}{30\,000}$$

$F$  = fuerza de laminado (entre rodillos)

$\bar{\sigma}_f'$  = esfuerzo de flujo promedio en def. plana

$L$  = longitud de contacto

$w$  = ancho del área de contacto

$R$  = radio de rodillo

$\mu$  = coeficiente de fricción

$h_{prom}$  = altura promedio

$\Delta h$  = diferencia entre espesor inicial y final

$h_0$  = espesor inicial

$h_1$  = espesor final

$\bar{\sigma}_f'_{frio}$  = esfuerzo de flujo promedio en frío

$\varepsilon$  = deformación real

$K$  = coeficiente de resistencia

$n$  = exponente de endurecimiento por deformación

$\bar{\sigma}_f'_{caliente}$  = esfuerzo de flujo promedio en caliente

$\dot{\varepsilon}$  = velocidad de deformación real

$C$  = coeficiente de resistencia

$m$  = exponente de sensibilidad a la velocidad de deformación

$V$  = velocidad de deformación vertical

$L$  = longitud instantánea

$P$  = potencia de laminado (kW)

$N$  = velocidad de rotación (rev/min)

### Trefilado

$$F = \sigma_d A_1$$

$$R = \frac{A_0}{A_1}$$

Para condiciones sin fricción

$$\sigma_d = \overline{\sigma_f} \ln(R)$$

Para condiciones fricción

$$\sigma_d = \overline{\sigma_f} \left( 1 + \frac{\mu}{\tan \alpha} \right) \phi \ln R$$

$$\phi = 0.88 + 0.12 \frac{\sin \alpha (D_0 + D_1)}{D_0 - D_1}$$

$$\overline{\sigma_{f \text{ frío}}} = K \frac{\varepsilon^n}{n+1}$$

$$\varepsilon = \ln R$$

$F$  = fuerza de extrusión

$\sigma_d$  = esfuerzo de trefilado

$R$  = relación de trefilado

$A_0$  = área inicial

$A_1$  = área final

$\overline{\sigma_f}$  = esfuerzo de flujo promedio

$\overline{\sigma_{f \text{ frío}}}$  = esfuerzo de flujo promedio en frío

$K$  = coeficiente de resistencia

$\varepsilon$  = deformación real

$n$  = exponente de endurecimiento por deformación

$\mu$  = coeficiente de fricción

$\alpha$  = ángulo de entrada al dado

$\Phi$  = factor de presión

### Extrusión

$$F = P_{prom} A_0$$

$$R = \frac{A_0}{A_1}$$

Para condiciones sin fricción

$$P_{prom} = \overline{\sigma_f} \ln(R)$$

Para condiciones fricción

$$P_{prom} = \overline{\sigma_f} \left( 0.8 + 1.5 \varepsilon + \frac{2L}{D_0} \right)$$

$$\varepsilon = \ln R$$

$$\overline{\sigma_{f \text{ frío}}} = K \frac{\varepsilon^n}{n+1}$$

$$\overline{\sigma_{f \text{ caliente}}} = C \dot{\varepsilon}^{-m}$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{6 V D_0^2 \tan \alpha}{D_0^3 - D_1^3} \varepsilon \quad \wedge \quad \alpha \leq 45^\circ$$

$F$  = fuerza de extrusión

$P_{prom}$  = presión promedio

$R$  = relación de extrusión

$A_0$  = área inicial

$A_1$  = área final

$\overline{\sigma_f}$  = esfuerzo de flujo promedio

$L$  = longitud de contacto a lo largo del contenedor

$D_0$  = diámetro inicial

$D_1$  = diámetro final

$\varepsilon$  = deformación real

$\overline{\sigma_{f \text{ frío}}}$  = esfuerzo de flujo promedio en frío

$K$  = coeficiente de resistencia

$n$  = exponente de endurecimiento por deformación

$\overline{\sigma_{f \text{ caliente}}}$  = esfuerzo de flujo promedio en caliente

$\dot{\varepsilon}$  = velocidad de deformación promedio real

$C$  = coeficiente de resistencia

$m$  = exponente de sensibilidad a la velocidad de deformación

$V$  = velocidad de prensa

$\alpha$  = ángulo de entrada al dado de trefilado

### Procesos de deformación de hojas metálicas

#### Corte

$$F_{par} = 0.7 RT t L$$

$$F_{ang} = \frac{Y t^2}{8 \tan \alpha}$$

$F_{par}$  = fuerza de corte con filos paralelos

$RT$  = resistencia a la tensión

$t$  = espesor de la hoja

$L$  = longitud total de corte

$F_{ang}$  = fuerza de corte con filos angulados

$Y$  = resistencia a la cedencia

$\alpha$  = ángulo entre cuchillas (ángulo de cizalla)

#### Embutido

$$R = \frac{D_0}{D_1}$$

$$F_{emb} = \pi D_1 t_0 RT (R - 0.7)$$

$$F_{pis} = 0.015 Y \pi$$

$$\left[ D_0^2 - (D_1 + 2.2t_0 + 2R_M)^2 \right]$$

$R$  = razón de embutido

$F_{emb}$  = fuerza de embutido

$F_{pis}$  = fuerza de pisador

$D_0$  = diámetro inicial del blanco

$D_1$  = diámetro final del producto

$t_0$  = espesor inicial de la hoja

$RT$  = resistencia a la tensión

$Y$  = resistencia a la cedencia

$R_M$  = radio de entrada de la matriz

#### Doblado

$$F = k_d \left( \frac{RT L t^2}{W} \right)$$

$$\Delta \theta = -3(1 - \eta^2) \left( \frac{R Y}{t E} \right) \theta$$

$$L_b = \theta (R + k_b t)$$

$F$  = fuerza de doblado

$k_d$  = constante de fuerza de doblado

- 1.25 para doblado en "V"
- 0.35 para doblado al aire
- 2.50 para doblado en "U"

$RT$  = resistencia a la tensión

$L$  = longitud del lomo doblado

$t$  = espesor de la hoja

$W$  = apertura de la herramienta de doblado

$\Delta \theta$  = cambio de ángulo

$\eta$  = módulo de Poisson

$R$  = radio de doblado

$Y$  = resistencia a la cedencia

$E$  = módulo de Young

$\theta$  = ángulo de doblado

$L_b$  = longitud del eje neutro en el área de doblado

$k_b$  = constante ajusta de doblado:

- $k_b = 0.33$  si  $R \leq 2 t$
- $k_b = 0.50$  si  $R > 2 t$

Procesos de fundición

Vaciado en molde de arena

a)  $H = h$

b)  $H = h - \frac{c}{2}$

c)  $H = h - \frac{p^2}{2c}$

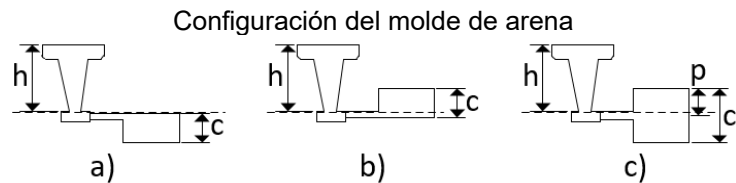
$v = \sqrt{2gH}$

$t_s = C_{mm} \left( \frac{V_p}{A_p} \right)^n$

$\frac{A_R}{A_P} = (1 - \beta) \frac{V_R}{V_P} - \beta$

$A_E = \frac{W_{ef}}{\rho_L t C \sqrt{2gH}}$

$W_{ef} = \frac{W}{\eta}$



- $H$  = cabezal hidráulico
- $h$  = altura de la colada (mazarota)
- $c$  = espesor promedio de la pieza colada
- $p$  = altura de la pieza por encima de plano de partición
- $v$  = velocidad del fluido en la base de la colada
- $g$  = constante gravitacional (9.81 m/s<sup>2</sup>, 386.09 in/s<sup>2</sup>)
- $t_s$  = tiempo de solidificación
- $C_{mm}$  = constante de molde-metal
- $V_p$  = volumen de la pieza colada
- $A_p$  = área de transferencia de calor de la pieza
- $n$  = exponente de molde: 1 (conductores), 2 (aislantes)
- $V_R$  = volumen de rebosadero
- $A_R$  = área de transferencia de calor del rebosadero
- $A_E$  = área de estrangulamiento
- $W_{ef}$  = masa total colada al molde
- $\rho_L$  = densidad del metal líquido
- $t$  = tiempo de llenado del molde
- $C$  = eficiencia del sistema de alimentación
- $\eta$  = eficiencia de la fundición
- $\beta$  = factor de expansión

Fierro gris,  $W_{ef} < 450$  kg

$t = K \left( 1.41 + \frac{d}{14.59} \right) \sqrt{W_{ef}}$

Fierro gris,  $W_{ef} \geq 450$  kg

$t = K \left( 1.236 + \frac{d}{16.65} \right) \sqrt[3]{W_{ef}}$

Fierro dúctil

$t = K_1 \sqrt{W_{ef}}$

Aceros

$t = (2.4335 - 0.3953 \log W_{ef}) \sqrt{W_{ef}}$

Aleaciones base cobre

$t = K_2 \sqrt[3]{W_{ef}}$

$A_0 = A_E \sqrt{\frac{h_E}{h_0}}$

- $t$  = tiempo de llenado del molde
- $W_{ef}$  = masa total colada al molde
- $K$  = fluidez del metal líquido (40 in=100%)
- $K_1 = 2.08$  secciones delgadas
- $= 2.67$  secciones entre 10 to 25 mm
- $= 2.97$  secciones gruesas
- $K_2 = 1.30$  cobre con alimentación superior
- $= 1.80$  cobre con alimentación inferior
- $= 1.90$  latón
- $= 2.80$  bronce

- $A_0$  = área de entrada a la colada (mazarota)
- $A_E$  = área de estrangulamiento
- $h_E$  = cabezal hidráulico sobre el área de estrangulamiento
- $h_0$  = cabezal hidráulico sobre el área de entrada a la colada

| Constantes para moldes y metales <sup>1</sup> |                  |                   |                       |
|---|------------------|-------------------|-----------------------|
| Material sólido                               | Calor específico | Densidad          | Conductividad térmica |
|   | kJ/kg · K        | kg/m <sup>3</sup> | W/m · K               |
| Arena   | 1.13             | 1 500             | 0.61                  |
| Yeso  | 0.84             | 1 100             | 0.35                  |
| Mulita  | 0.75             | 1 600             | 0.38                  |
| Fierro  | 0.67             | 7 300             | 2.93                  |
| Aluminio                                      | 0.84             | 2 700             | 222                   |
| Cobre   | 0.38             | 9 000             | 394                   |
| Magnesio                                      | 1.05             | 1 700             | 159                   |

| Metal líquido | Punto de fusión | Calor latente de fusión | Calor específico | Contracción por solidificación |
|---------------|-----------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|
|               | K               | kJ/kg                   | kJ/kg · K        | %                              |
| Fierro        | 1 813           | 272                     | 0.75             | 4.00                           |
| Aluminio      | 933             | 398                     | 1.09             | 6.60                           |
| Cobre         | 1,356           | 214                     | 0.50             | 4.90                           |
| Magnesio      | 923             | 373                     | 1.34             | 4.20                           |










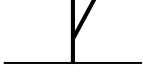

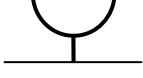




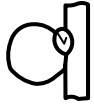
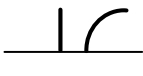
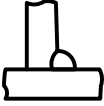

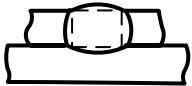


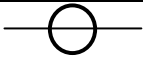

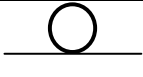
<sup>1</sup> Adaptado de: Flemings, M.C., *Solidification Processing*, McGraw-Hill, U.S.A., 1974.






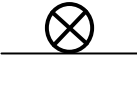




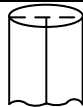
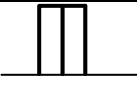




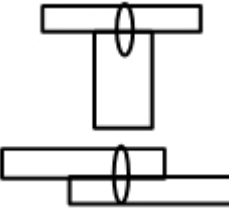
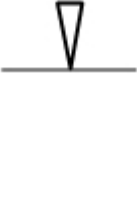
Soldadura

$$\tau = \frac{F}{H \cdot L}$$

$\tau$  = esfuerzo cortante promedio  
 $H$  = garganta de la soldadura  
 $L$  = longitud de la soldadura  
 $F$  = fuerza aplicada

Símbolos elementales de soldadura

|    | Designación  | Representación   | Símbolo   |
|----|--|--|---|
| 1  | Soldadura a tope con los flancos rectos  |    |    |
| 2  | Soldadura a tope en V simple   |    |    |
| 3  | Soldadura a tope en V simple con talón de raíz amplio                          |    |    |
| 4  | Soldadura a tope en bisel simple   |    |    |
| 5  | Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz simple                      |   |   |
| 6  | Soldadura a tope con U simple  |  |  |
| 7  | Soldadura a tope en J simple   |  |  |
| 8  | Soldadura con bisel doble redondeado   |  |  |
| 9  | Soldadura con bisel redondeado   |  |  |
| 10 | Soldadura de ángulo  |  |  |
| 11 | Soldadura de tapón (en ojal o botón)   |  |  |
| 12 | Punto de resistencia (incluyendo el soldeo por protuberancias en el sistema A) |  |  |
| 13 | Punto de fusión (incluyendo el soldeo por protuberancias en el sistema B)      |  |  |

|    | Designación   | Representación   | Símbolo   |
|----|---|--|---|
| 14 | Soldadura por costura                                       |    |    |
| 15 | Soldadura por fusión  |    |    |
| 16 | Soldadura de espárrago                                      |    |    |
| 17 | Soldadura a tope en V simple con flancos empinados          |    |    |
| 18 | Soldadura a tope en bisel simple con flancos empinados      |    |    |
| 19 | Soldadura de canto  |     |    |
| 20 | Soldadura a tope rebordeada y uniones en esquina rebordeada |    |    |
| 21 | Recargue  |   |   |
| 22 | Soldadura en puntal   |  |  |

### Procesos de soldadura

Soldadura por arco eléctrico

$$Q_R = \frac{1}{\eta} V * \rho [c_p \Delta T + H]$$

$$Q_A = E I \left( \frac{L}{v} \right)$$

$Q_R$  = calor requerido  
 $\eta$  = eficiencia del proceso  
 $V$  = volumen de material a fundir  
 $\rho$  = densidad del material a fundir  
 $c_p$  = calor específico del material a fundir  
 $\Delta T$  = diferencia de temperatura (fusión – ambiente)  
 $H$  = calor latente de fusión del material a fundir  
 $Q_A$  = calor aportado  
 $E$  = voltaje de arco estable  
 $I$  = corriente  
 $L$  = longitud de cordón  
 $v$  = velocidad de aplicación del cordón

Soldadura por resistencia eléctrica

$$R_E = \rho_E \frac{L}{A}$$

$$R_{T_2} = R_{T_1} [1 + \alpha (T_2 - T_1)]$$

$$R_C = \frac{\rho_C}{A_C}$$

$$Q_R = \frac{1}{\eta} V * \rho [c_P \Delta T + H]$$

$$Q_A = I^2 R t$$

$R_E$  = resistencia eléctrica del electrodo  
 $\rho_E$  = resistividad del material del electrodo  
 $A$  = área transversal del electrodo  
 $R_{T_2}$  = resistencia del electrodo a la temperatura  $T_2$   
 $R_{T_1}$  = resistencia del electrodo a la temperatura  $T_1$   
 $\alpha$  = coeficiente de sensibilidad a la temperatura  
 $\rho_C$  = resistividad de contacto  
 $A_C$  = área transversal de contacto  
 $Q_R$  = calor requerido  
 $\eta$  = eficiencia del proceso  
 $V$  = volumen de material a fundir  
 $\rho$  = densidad del material a fundir  
 $c_P$  = calor específico del material a fundir  
 $\Delta T$  = diferencia de temperatura (fusión – ambiente)  
 $H$  = calor latente de fusión del material a fundir  
 $Q_A$  = calor aportado  
 $I$  = corriente  
 $R$  = resistencia total  
 $t$  = tiempo de aplicación de corriente

Parámetros para el cálculo del consumo de material de aporte, electrodo revestido

| Clasificación AWS     | Dimensiones (mm) |       | Kilogramos metal depositado por kilogramo de electrodo | Volumen (cm <sup>3</sup> ) depositado por kilogramo de electrodo |
|-----------------------|------------------|-------|--|--|
|                       | Diámetro         | Largo |  |  |
| E 6013                | 3.25             | 350   | 0.60   | 107  |
|                       | 4.00             | 350   | 0.59   | 111  |
| E 7015                | 3.25             | 350   | 0.66   | 107  |
|                       | 4.00             | 450   | 0.64   | 111  |
| E 7018                | 3.25             | 450   | 0.67   | 107  |
|                       | 4.00             | 450   | 0.68   | 111  |
| E FeMn-B              | 3.25             | 450   | 0.62   | 85   |
|                       | 4.00             | 450   | 0.62   | 86   |
| E FeMn-A              | 3.25             | 450   | 0.56   | 86   |
|                       | 4.00             | 460   | 0.57   | 86   |
| E 307-16              | 3.25             | 300   | 0.64   | 84   |
|                       | 4.00             | 350   | 0.65   | 84   |
| E FeCr-A <sub>1</sub> | 3.25             | 350   | 0.65   | 86   |
|                       | 4.00             | 350   | 0.66   | 86   |

### Procesos de mecanizado

#### Fresado

$$N = \frac{V_c}{\pi D}$$

$$V_f = f N z$$

$$MRR = d_r d_a V_f$$

$$T_m = \frac{L + A}{V_f}$$

Para corte periférico

$$A = \sqrt{D d_r}$$

Para careado:

$$A = \frac{D}{2}$$

$$P = P_u MRR$$

$N$  = velocidad de giro (rev/min)

$V_c$  = velocidad de corte

$D$  = diámetro de la herramienta

$V_f$  = velocidad de avance

$f$  = avance

$z$  = número de dientes de la herramienta

$MRR$  = rapidez de remoción de material

$d_r$  = profundidad de corte radial

$d_a$  = profundidad de corte axial

$T_m$  = tiempo de maquinado

$L$  = longitud a maquinar

$A$  = aproximación

$P$  = potencia requerida

$P_u$  = potencia unitaria

#### Torneado

$$N = \frac{V_c}{\pi D_0}$$

$$V_f = f N$$

$$D_{prom} = \frac{D_0 + D_1}{2}$$

$$MRR = V_c f d$$

$$T_m = \frac{L}{V_f}$$

$$P = P_u MRR$$

$N$  = velocidad de giro (rev/min)

$V_c$  = velocidad de corte

$D_0$  = diámetro inicial de la pieza

$V_f$  = velocidad de avance

$f$  = avance

$D_{prom}$  = diámetro promedio de la pieza

$D_1$  = diámetro final de la pieza

$MRR$  = rapidez de remoción de material

$d$  = profundidad de corte

$T_m$  = tiempo de maquinado

$L$  = longitud a maquinar

$P$  = potencia requerida

$P_u$  = potencia unitaria

#### Taladrado

$$N = \frac{V_c}{\pi D}$$

$$V_f = f N$$

$$MRR = \frac{\pi D}{4} V_f$$

$$T_m = \frac{L + A}{V_f}$$

$$A = \frac{D}{2} \tan\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)$$

$$P = P_u MRR$$

$N$  = velocidad de giro (rev/min)

$V_c$  = velocidad de corte

$D$  = diámetro de la herramienta

$V_f$  = velocidad de avance

$f$  = avance

$MRR$  = rapidez de remoción de material

$T_m$  = tiempo de maquinado

$L$  = longitud a maquinar

$A$  = aproximación

$\theta$  = ángulo incluido de la punta de la herramienta

$P$  = potencia requerida

$P_u$  = potencia unitaria

Procesos lineales: cepillado y brochado

$$G = \frac{V_c}{2L}$$

$$MRR = w d V_c$$

Para cepillado

$$T_m = \frac{W}{w} G$$

Para brochado

$$T_m = \frac{D}{d} G$$

$$P = P_u MRR$$

$G$  = Golpes por unidad de tiempo

$V_c$  = velocidad de corte

$L$  = longitud a maquinar

$MRR$  = rapidez de remoción de material

$w$  = avance o ancho del corte

$d$  = profundidad de corte

$T_m$  = tiempo de maquinado

$W$  = ancho total a maquinar

$D$  = profundidad total a maquinar

$P$  = potencia requerida

$P_u$  = potencia unitaria

Desgaste en herramientas de corte

$$V_c t^n = C$$

$$\frac{V_{c1}}{V_{c2}} = \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^n$$

$V_c$  = velocidad de corte

$t$  = tiempo de vida de la herramienta

$n$  = exponente de Taylor

$C$  = constante de Taylor

| Torneado: parámetros de proceso recomendados <sup>2</sup> |  |   |                              |   |                              |
|---|--|---|------------------------------|---|------------------------------|
| Materiales de la pieza de trabajo                         | Material de la herramienta de corte        | Condiciones generales para desbaste     |                              | Condiciones generales para acabado      |                              |
|   |  | Velocidad de corte<br>m/min<br>(ft/min) | Avance<br>mm/rev<br>(in/rev) | Velocidad de corte<br>m/min<br>(ft/min) | Avance<br>mm/rev<br>(in/rev) |
| Acero bajo carbón y de libre maquinado                    | Acero alta velocidad                       | 34<br>(110)                             | 0.30<br>(0.012)              | 55<br>(180)                             | 0.10-0.20<br>(0.004-0.008)   |
|   | Carburo sin recubrimiento                  | 90<br>(300)                             | 0.35<br>(0.014)              | 60-135<br>(200-450)                     | 0.15-1.10<br>(0.006-0.045)   |
|   | Carburo con recubrimiento cerámico         | 245-275<br>(800-900)                    | "                            | 120-425<br>(400-1400)                   | "                            |
|   | Carburo con triple recubrimiento           | 185-200<br>(350-500)                    | "                            | 90-245<br>(300-800)                     | "                            |
|   | Carburo con recubrimiento de TiN           | 105-150<br>(350-500)                    | "                            | 60-230<br>(200-750)                     | "                            |
|   | Cerámico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 395-440<br>(1300-1450)                  | 0.25<br>(0.01)               | 365-550<br>(1200-1800)                  | "                            |
|   | Cermet                                     | 215-290<br>(700-950)                    | 0.3<br>(0.012)               | 105-455<br>(350-1500)                   | "                            |
| Aceros de medio y alto carbono                            | Acero alta velocidad                       | 21<br>(70)                              | 0.25<br>(0.010)              | 55<br>(115)                             | 0.15-0.20<br>(0.006-0.045)   |
|   | Carburo sin recubrimiento                  | 75<br>(250)                             | 0.30<br>(0.012)              | 45-120<br>(150-400)                     | 0.15-0.75<br>(0.006-0.030)   |
|   | Carburo con recubrimiento de cerámico      | "                                       | "                            | 120-410<br>(400-1350)                   | "                            |
|   | Carburo con triple recubrimiento           | "                                       | "                            | 75-215<br>(250-700)                     | "                            |
|   | Carburo con recubrimiento de TiN           | "                                       | "                            | 45-215<br>(150-700)                     | "                            |
|   | Cerámico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 335<br>(1100)                           | 0.25<br>(0.01)               | 245-455<br>(800-1500)                   | "                            |
|   | Cermet                                     | 170-245<br>(550-800)                    | 0.25<br>(0.01)               | 105-305<br>(350-1000)                   | "                            |
| Fundición de hierro gris                                  | Acero alta velocidad                       | 34<br>(110)                             | 0.35<br>(0.014)              | 55<br>(180)                             | 0.15-1.10<br>(0.006-0.045)   |
|   | Carburo sin recubrimiento                  | 90<br>(300)                             | 0.32<br>(0.013)              | 75-185<br>(250-600)                     | 0.1-0.75<br>(0.004-0.030)    |
|   | Carburo con recubrimiento de cerámico      | 200<br>(650)                            | "                            | 60-125<br>(200-700)                     | "                            |
|   | Carburo con recubrimiento de TiN           | 90-135<br>(300-450)                     | "                            | 365-855<br>(1200-2800)                  | "                            |
|   | Cerámico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 455-490<br>(1500-1600)                  | 0.25<br>(0.01)               | 365-855<br>(1200-2800)                  | "                            |
|   | Cerámico de SiN                            | 730<br>(2400)                           | 0.32<br>(0.013)              | 200-990<br>(650-3250)                   | "                            |

<sup>2</sup> Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

| Fresado: parámetros de proceso recomendados <sup>3</sup> |  |   |                              |   |                              |
|--|--|---|------------------------------|---|------------------------------|
| Materiales de la pieza de trabajo                        | Material de la herramienta de corte        | Condiciones generales para desbaste     |                              | Condiciones generales para acabado      |                              |
|  |  | Velocidad de corte<br>m/min<br>(ft/min) | Avance<br>mm/rev<br>(in/rev) | Velocidad de corte<br>m/min<br>(ft/min) | Avance<br>mm/rev<br>(in/rev) |
| Acero bajo carbón y de libre maquinado                   | Acero alta velocidad                       | 50-100<br>(160-330)                     | 0.30<br>(0.012)              | 70-120<br>(230-400)                     | 0.10-0.20<br>(0.004-0.008)   |
|  | Carburo sin recubrimiento                  | 150-230<br>(520-780)                    | 0.35<br>(0.014)              | 70-170<br>(260-580)                     | 0.15-1.10<br>(0.006-0.044)   |
|  | Carburo con recubrimiento cerámico         | 310-350<br>(1040-1170)                  | "                            | 150-550<br>(520-1820)                   | "                            |
|  | Carburo con triple recubrimiento           | 240-260<br>(450-650)                    | "                            | 110-310<br>(390-1040)                   | "                            |
|  | Carburo con recubrimiento de TiN           | 130-190<br>(450-650)                    | "                            | 70-290<br>(260-970)                     | "                            |
|  | Cerámico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 510-570<br>(160--10)                    | 0.25<br>(0.01)               | 470-710<br>(1560-2340)                  | "                            |
|  | Cermet                                     | 270-370<br>(910-1230)                   | 0.30<br>(0.012)              | 130-590<br>(450-1950)                   | "                            |
| Aceros de medio y alto carbono                           | Acero alta velocidad                       | 20-50<br>(80-160)                       | 0.25<br>(0.01)               | 70-90<br>(140-295)                      | 0.15-0.20<br>(0.006-0.008)   |
|  | Carburo sin recubrimiento                  | 90-130<br>(320-440)                     | 0.30<br>(0.012)              | 50-150<br>(190-520)                     | 0.15-0.70<br>(0.006-0.028)   |
|  | Carburo con recubrimiento de cerámico      | "                                       | "                            | 150-530<br>(520-1750)                   | "                            |
|  | Carburo con triple recubrimiento           | "                                       | "                            | 90-270<br>(320-910)                     | "                            |
|  | Carburo con recubrimiento de TiN           | "                                       | "                            | 50-270<br>(190-910)                     | "                            |
|  | Cerámico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 220-310<br>(710-1040)                   | 0.25<br>(0.01)               | 320-580<br>(1040-1900)                  | "                            |
|  | Cermet                                     |   | 0.25<br>(0.01)               | 130-390<br>(450-1300)                   | "                            |
| Fundición de hierro gris                                 | Acero alta velocidad                       | 40<br>(140)                             | 0.35<br>(0.014)              | 95-240<br>(320-780)                     | 0.15-1.10<br>(0.006-0.044)   |
|  | Carburo sin recubrimiento                  | 110<br>(390)                            | 0.32<br>(0.013)              | 70-275<br>(260-910)                     | 0.10-0.70<br>(0.004-0.028)   |
|  | Carburo con recubrimiento de cerámico      | 260<br>(840)                            | "                            | 470-1110<br>(1560-3640)                 | "                            |
|  | Carburo con recubrimiento de TiN           | 110-170<br>(390-580)                    | "                            | 470-1110<br>(1560-3640)                 | "                            |
|  | Cerámico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 590-630<br>(1950-2080)                  | 0.25<br>(0.01)               | 260-1280<br>(840-4220)                  | "                            |
|  | Cerámico de SiN                            | 940<br>(3120)                           | 0.32<br>(0.013)              | "                                       | "                            |

<sup>3</sup> Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

| <b>Taladrado: parámetros de proceso recomendados<sup>4</sup></b> |   |   |  |
|--|---|---|--|
| Material de trabajo  | Velocidad de corte<br><br>m/min<br>(ft/min) | Avance  |  |
|  |   | Broca de 1.5 mm<br>(0.060 in)<br>mm/rev<br>(in/rev) | Broca de 12.5 mm<br>(0.500 in)<br>mm/rev<br>(in/rev) |
| Aleaciones de aluminio   | 30–120<br>(100–400)                         | 0.025<br>(0.001)                                    | 0.30<br>(0.012)                                      |
| Aleaciones de magnesio   | 45–120<br>(150–400)                         | 0.025<br>(0.001)                                    | 0.30<br>(0.012)                                      |
| Aleaciones de cobre  | 15–60<br>(50–200)                           | 0.025<br>(0.001)                                    | 0.25<br>(0.010)                                      |
| Aceros al carbón   | 20–30<br>(60–100)                           | 0.025<br>(-0.001)                                   | 0.30<br>(0.012)                                      |
| Aceros inoxidable  | 10–20<br>(40–60)                            | 0.025<br>(-0.001)                                   | 0.18<br>(0.007)                                      |
| Aleaciones de titanio  | 6–20<br>(20–60)                             | 0.010<br>(0.0004)                                   | 0.15<br>(0.006)                                      |
| Fierros colados  | 20–60<br>(60–200)                           | 0.025<br>(0.001)                                    | 0.30<br>(0.012)                                      |
| Polímeros termoplásticos   | 30–60<br>(100–200)                          | 0.025<br>(0.001)                                    | 0.13<br>(0.005)                                      |
| Polímeros termofijos   | 20–60<br>(60–200)                           | 0.025<br>(0.001)                                    | 0.10<br>(0.004)                                      |

| <b>Cepillado: parámetros de proceso recomendados<sup>5</sup></b> |                               |                |
|--|-------------------------------|----------------|
| Material   | Velocidad de corte<br>(m/min) | Avance<br>(mm) |
| Fierro colado  | 60                            | 0.762          |
| Acero para maquinaria  | 70                            | 0.508          |
| Acero para herramienta   | 50                            | 0.381          |
| Bronce   | 100                           | 1.016          |

| <b>Potencia unitaria para operaciones de corte<sup>6</sup><br/>(para herramientas desafiladas, multiplique por 1.25)</b> |                        |                           |
|--|------------------------|---------------------------|
| Material   | Potencia unitaria      |                           |
|  | W/(mm <sup>3</sup> /s) | hp/(in <sup>3</sup> /min) |
| Aleaciones de aluminio   | 0.4–1.0                | 0.15–0.40                 |
| Fierros colados  | 1.1–5.4                | 0.4–2.0                   |
| Aleaciones de cobre  | 1.4–3.2                | 0.5–1.2                   |
| Aleaciones de alta temperatura   | 3.2–8.0                | 1.2–3.0                   |
| Aleaciones de magnesio   | 0.3–0.6                | 0.1–0.2                   |
| Aleaciones de níquel   | 4.8–6.7                | 1.8–2.5                   |
| Aleaciones refractarias  | 3.0–9.0                | 1.1–3.5                   |
| Aceros inoxidable  | 2.0–5.0                | 0.8–1.9                   |
| Aceros en general  | 2.0–9.0                | 0.7–3.4                   |
| Aleaciones de titanio  | 2.0–5.0                | 0.7–2.0                   |

<sup>4</sup> Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

<sup>5</sup> Adaptado de: *Machining Data Handbook*. (1986). Cincinnati, OH: Machinability Data Center.

<sup>6</sup> Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

| Desgaste de herramientas de corte <sup>7</sup> |                      |                      |  |           |
|--|----------------------|----------------------|--|-----------|
| Desgaste de flanco permitido                   |                      |                      | Exponente de desgaste de Taylor            |           |
| Proceso  | Acero alta velocidad | Carburo de tungsteno | Material de herramienta                    | n         |
| Torneado                                       | 1.50<br>(0.060)      | 0.40<br>(0.015)      | Acero alta velocidad                       | 0.08-0.10 |
| Fresado/careado                                | 1.50<br>(0.060)      | 0.40<br>(0.015)      | Carburo sin recubrimiento                  | 0.20-0.30 |
| Fresado;<br>periférico                         | 0.30<br>(0.012)      | 0.30<br>(0.012)      | Carburo con recubrimiento de<br>cerámico   | 0.30-0.50 |
| Taladrado                                      | 0.30<br>(0.012)      | 0.30<br>(0.012)      | Carburo con recubrimiento de TiN           | 0.40-0.60 |
| Rimado   | 0.15<br>(0.006)      | 0.15<br>(0.006)      | Cerámico de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.50-0.70 |

| Designación y rangos de composición para aceros al carbón y aceros máquina <sup>8</sup> |                    |  |           |           |                           |
|---|--------------------|--|-----------|-----------|---------------------------|
| Designación<br>AISI/SAE   | Designación<br>UNS | Rangos de composición<br>(%en peso de elementos de aleación además de C) |           |           |                           |
|   |                    | Ni   | Cr        | Mo        | Otros                     |
| 10xx  | G10xx0             |  |           |           |                           |
| 11xx  | G11xx0             |  |           |           | 0.08–0.33S                |
| 12xx  | G12xx0             |  |           |           | 0.10–0.35S,<br>0.04–0.12P |
| 13xx  | G13xx0             |  |           |           | 1.60–1.90Mn               |
| 23xx  | G23xx0             | 3.00-3.50  |           |           |                           |
| 40xx  | G40xx0             |  |           | 0.20–0.30 |                           |
| 41xx  | G41xx0             |  | 0.80–1.10 | 0.15–0.25 |                           |
| 43xx  | G43xx0             | 1.65–2.00  | 0.40–0.90 | 0.20–0.30 |                           |
| 46xx  | G46xx0             | 0.70–2.00  |           | 0.15–0.30 |                           |
| 48xx  | G48xx0             | 3.25–3.75  |           | 0.20–0.30 |                           |
| 51xx  | G51xx0             |  | 0.70–1.10 |           |                           |
| 61xx  | G61xx0             |  | 0.80–0.95 |           | 0.10–0.15V                |
| 86xx  | G86xx0             | 0.40–0.70  | 0.40–0.60 | 0.15–0.25 |                           |
| 92xx  | G92xx0             |  |           |           | 1.80–2.20Si               |
| 94xx  | G94xx0             | 0.40–0.50  | 0.40–0.60 | 0.10–0.15 |                           |
| 98xx  | G98xx0             | 0.90–1.10  | 0.80–0.95 | 0.20–0.30 |                           |

<sup>7</sup> Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

<sup>8</sup> Adaptado de: Clark, D. S., & Varney, W. R. (1962). *Physical metallurgy for engineers, by D.S. Clark and W.R. Varney*. (2nd ed.). Van Nostrand, Canada.

| Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos <sup>9</sup> |                        |                         |                                  |                             |                         |                                       |                                      |                   |                                      |  |
|---|------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--|
| Material  | Grado                  | Condición               | Densidad<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Módulo de<br>Young<br>(GPa) | Módulo<br>de<br>Poisson | Resistencia<br>a la cedencia<br>(MPa) | Resistencia<br>a la tensión<br>(MPa) | Elongación<br>(%) | Tenacidad<br>(MPa m <sup>1/2</sup> ) |  |
| <b>Metales ferrosos</b>   |                        |                         |                                  |                             |                         |                                       |                                      |                   |                                      |  |
| Acero al<br>carbón  | A36                    | Laminado en caliente    | 7.85                             | 207                         | 0.30                    | 220–250                               | 400–500                              | 23                |                                      |  |
|   | 1020                   | Laminado en caliente    | 7.85                             | 207                         | 0.30                    | 210                                   | 380                                  | 25                |                                      |  |
|   |                        | Laminado en frío        |                                  |                             |                         | 350                                   | 420                                  | 15                |                                      |  |
|   |                        | Recocido                |                                  |                             |                         | 295                                   | 395                                  | 36.5              |                                      |  |
|   |                        | Normalizado             |                                  |                             |                         | 345                                   | 440                                  | 38.5              |                                      |  |
|   | 1040                   | Laminado en caliente    | 7.85                             | 207                         | 0.30                    | 290                                   | 520                                  | 18                | 54                                   |  |
|   |                        | Laminado en frío        |                                  |                             |                         | 490                                   | 590                                  | 12                |                                      |  |
|   |                        | Recocido                |                                  |                             |                         | 355                                   | 520                                  | 30.2              |                                      |  |
|   |                        | Normalizado             |                                  |                             |                         | 375                                   | 590                                  | 28                |                                      |  |
|   | Acero baja<br>aleación | 4140                    | Recocido                         | 7.85                        | 207                     | 0.30                                  | 417                                  | 655               | 25.7                                 |  |
|   |                        |                         | Normalizado                      |                             |                         |                                       | 655                                  | 1020              | 17.7                                 |  |
|   |                        |                         | Aceite/revenido @315 °C          |                             |                         |                                       | 1570                                 | 1720              | 11.5                                 |  |
| Aceite/revenido @370 °C   |                        |                         | 1375–1585                        |                             |                         |                                       |                                      |                   | 55–65                                |  |
| Aceite/revenido @482 °C   |                        |                         | 1100–1200                        |                             |                         |                                       |                                      |                   | 75–93                                |  |
| 4340  |                        | Recocido                | 7.85                             | 207                         | 0.30                    | 472                                   | 745                                  | 22                |                                      |  |
|   |                        | Normalizado             |                                  |                             |                         | 862                                   | 1280                                 | 12.2              |                                      |  |
|   |                        | Aceite/revenido @315 °C |                                  |                             |                         | 1620                                  | 1760                                 | 12                |                                      |  |
|   |                        | Aceite/revenido @260 °C |                                  |                             |                         | 1640                                  |                                      |                   | 50                                   |  |
|   |                        | Aceite/revenido @425 °C |                                  |                             |                         | 1420                                  |                                      |                   | 87.4                                 |  |
| Acero<br>inoxidable   | 304                    | Lam. en frío y recocido | 8.00                             | 193                         | 0.30                    | 205                                   | 515                                  | 40                |                                      |  |
|   |                        | Lam. en caliente y rec. |                                  |                             |                         | 515                                   | 860                                  | 10                |                                      |  |
|   | 316                    | Lam. en frío y recocido | 8.00                             | 193                         | 0.30                    | 205                                   | 515                                  | 40                |                                      |  |
|   |                        | Lam. en caliente y rec. |                                  |                             |                         | 310                                   | 620                                  | 30                |                                      |  |
|   | 405                    | Recocido                | 7.80                             | 200                         | 0.30                    | 170                                   | 415                                  | 20                |                                      |  |

<sup>9</sup> Adaptado de: Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction*. New York: Wiley.

| Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos <sup>9</sup> |           |                          |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
|---|-----------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Material  | Grado     | Condición                | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Módulo de Young (GPa) | Módulo de Poisson | Resistencia a la cedencia (MPa) | Resistencia a la tensión (MPa) | Elongación (%) | Tenacidad (MPa m <sup>1/2</sup> ) |
|   | 440A      | Recocido                 | 7.80                          | 200                   | 0.30              | 415                             | 725                            | 20             |                                   |
|   |           | Revenido                 |                               |                       |                   | 1650                            | 1790                           | 5              |                                   |
|   | 17-7PH    | Laminado en frío         | 7.65                          | 204                   | 0.30              | 1210                            | 1380                           | 1              |                                   |
|   |           | Endurecido/precipitación |                               |                       |                   | 1310                            | 1450                           | 3.5            | 76                                |
| Fierro dúctil   | 60-40-18  | Recocido                 | 7.10                          | 169                   | 0.29              | 276                             | 414                            | 18             |                                   |
|   | 80-55-06  | Colado                   | 7.10                          | 168                   | 0.31              | 379                             | 552                            | 6              |                                   |
|   | 120-90-02 | Templado y revenido      | 7.10                          | 164                   | 0.28              | 621                             | 827                            | 2              |                                   |
| Fierro gris   | G1800     | Colado                   | 7.30                          | 66–97 a               | 0.26              | —                               | 124                            | —              |                                   |
|   | G3000     | Colado                   | 7.30                          | 90–113 a              | 0.26              | —                               | 207                            | —              |                                   |
|   | G4000     | Colado                   | 7.30                          | 110–138 a             | 0.26              | —                               | 276                            | —              |                                   |
| <b>Metales no ferrosos</b>  |           |                          |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| Aluminio  | 1100      | Recocido O               | 2.71                          | 69.0                  | 0.33              | 34                              | 90                             | 40             |                                   |
|   |           | Trabajado en frío H14    |                               |                       |                   | 117                             | 124                            | 15             |                                   |
|   | 2024      | Recocido O               | 2.77                          | 72.4                  | 0.33              | 75                              | 185                            | 20             |                                   |
|   |           | Tratado T3               |                               |                       |                   | 345                             | 485                            | 18             | 44                                |
|   |           | Tratado T361             |                               |                       |                   | 325                             | 470                            | 20             |                                   |
|   | 6061      | Recocido O               | 2.70                          | 69.0                  | 0.33              | 55                              | 124                            | 30             |                                   |
|   |           | Tratado T6 & T651        |                               |                       |                   | 276                             | 310                            | 17             |                                   |
|   | 7075      | Recocido O               | 2.80                          | 71.0                  | 0.33              | 103                             | 228                            | 17             |                                   |
|   |           | Tratado T6               |                               |                       |                   | 505                             | 572                            | 11             | 24                                |
|   | 356       | Colado                   | 2.69                          | 72.4                  | 0.33              | 124                             | 164                            | 6              |                                   |
| Tratado T6  |           | 164                      |                               |                       |                   | 228                             | 3.5                            |                |                                   |
| Cobre   | C11000    | Laminado en caliente     | 8.89                          | 115                   | 0.33              | 69                              | 220                            | 50             |                                   |
|   |           | Laminado en frío         |                               |                       |                   | 310                             | 345                            | 12             |                                   |
|   | C17200    | Homogenizado W           | 8.25                          | 128                   | 0.30              | 195–380                         | 415–540                        | 35–60          |                                   |
|   |           | Envejecido               |                               |                       |                   | 965–1205                        | 1140–1310                      | 4–10           |                                   |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

| Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos <sup>9</sup> |                           |                         |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
|---|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Material  | Grado                     | Condición               | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Módulo de Young (GPa) | Módulo de Poisson | Resistencia a la cedencia (MPa) | Resistencia a la tensión (MPa) | Elongación (%) | Tenacidad (MPa m <sup>1/2</sup> ) |
|   | C26000 (latón)            | Recocido O              | 8.53                          | 110                   | 0.35              | 75–150                          | 300–365                        | 54–68          |                                   |
|   |                           | Trabajado en frío H04   |                               |                       |                   | 435                             | 525                            | 8              |                                   |
|   | C36000 (latón)            | Recocido O              | 8.50                          | 97                    | 0.34              | 125                             | 340                            | 53             |                                   |
|   |                           | Trabajado en frío H02   |                               |                       |                   | 310                             | 400                            | 25             |                                   |
|   | C71500 (níquel 30%)       | Laminado en caliente    | 8.94                          | 150                   | 0.34              | 140                             | 380                            | 45             |                                   |
|   |                           | Laminado en frío        |                               |                       |                   | 545                             | 580                            | 3              |                                   |
| C93200 (bronce)   | Colado                    | 8.93                    | 100                           | 0.34                  | 125               | 240                             | 20                             |                |                                   |
| Estaño  | Comercialmente puro       |                         | 7.17                          | 44.3                  | 0.33              | 11                              | --                             | 57             |                                   |
| Magnesio  | AZ31B                     | Laminado                | 1.77                          | 45                    | 0.35              | 220                             | 290                            | 15             |                                   |
|   |                           | Extruido                |                               |                       |                   | 200                             | 262                            | 15             | 28                                |
|   | AZ91D                     | Colado                  | 1.81                          | 45                    | 0.35              | 97–150                          | 165–230                        | 3              |                                   |
| Metales preciosos   | Oro                       | Recocido                | 19.32                         | 77                    | 0.42              | nulo                            | 130                            | 45             |                                   |
|   |                           | Trabajado en frío (60%) |                               |                       |                   | 205                             | 220                            | 4              |                                   |
|   | Platino                   | Recocido                | 21.45                         | 171                   | 0.39              | <13.8                           | 125–165                        | 30–40          |                                   |
|   |                           | Trabajado en frío (50%) |                               |                       |                   | --                              | 205–240                        | 1–3            |                                   |
|   | Plata                     | Recocido                | 10.49                         | 74                    | 0.37              | --                              | 170                            | 44             |                                   |
|   |                           | Trabajado en frío (50%) |                               |                       |                   | --                              | 296                            | 3.5            |                                   |
| Metales refractarios  | Molibdeno                 |                         | 10.22                         | 320                   | 0.32              | 500                             | 630                            | 25             |                                   |
|   | Tántalo                   |                         | 16.60                         | 185                   | 0.35              | 165                             | 205                            | 40             |                                   |
|   | Tungsteno                 |                         | 19.30                         | 400                   | 0.28              | 760                             | 960                            | 2              |                                   |
| Plomo   | Plomo químico             |                         | 11.34                         | 13.5                  | 0.44              | 6–8                             | 16–19                          | 30–60          |                                   |
|   | Plomo-6% antimonio        | En coquilla             | 10.88                         | --                    | --                | --                              | 47.2                           | 24             |                                   |
|   | 60Sn-40Pb                 |                         | 8.52                          | 30                    |                   | --                              | 52.5                           | 30–60          |                                   |
| Silicio   | Monocristalino/ dir <100> | Corte y grabado láser   | 2.33                          | 129                   | 0.28              | --                              | 81.8                           | --             | 0.95                              |

| Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos <sup>9</sup> |                           |                          |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
|---|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Material  | Grado                     | Condición                | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Módulo de Young (GPa) | Módulo de Poisson | Resistencia a la cedencia (MPa) | Resistencia a la tensión (MPa) | Elongación (%) | Tenacidad (MPa m <sup>1/2</sup> ) |
|   | Monocristalino/ dir <110> |                          |                               | 168                   |                   | --                              |                                | --             | 0.9                               |
|   | Monocristalino/ dir <111> |                          |                               | 187                   | 0.36              | --                              |                                | --             | 0.82                              |
| Súper aleaciones  | Níquel 200                | Recocido                 | 8.89                          | 204                   | 0.31              | 148                             | 462                            | 47             |                                   |
|   | Inconel 625               | Recocido                 | 8.44                          | 207                   | 0.31              | 517                             | 930                            | 42.5           |                                   |
|   | Monel 400                 | Recocido                 | 8.80                          | 180                   | 0.32              | 240                             | 550                            | 40             |                                   |
|   | Haynes alloy 25           | Recocido                 | 9.13                          | 236                   |                   | 445                             | 970                            | 62             |                                   |
| Titanio   | Comercialmente puro       | Recocido                 | 4.51                          | 103                   | 0.34              | 170                             | 240                            | 30             |                                   |
|   | Ti-5Al-2.5Sn              | Recocido                 | 4.48                          | 110                   | 0.34              | 760                             | 790                            | 16             | 71.4                              |
|   | Ti-6Al-4V                 | Recocido                 | 4.43                          | 114                   | 0.34              | 830                             | 900                            | 14             |                                   |
|   |                           | Envejecido               |                               |                       |                   | 1103                            | 1172                           | 10             | 44–66                             |
| Zinc  | Comercialmente puro       | Laminado en caliente     | 7.14                          | 104.5                 | 0.25              | --                              | 134–159                        | 50–65          |                                   |
|   |                           | Laminado en frío         |                               |                       |                   | --                              | 145–186                        | 40–50          |                                   |
| Zirconio  | Grado 702                 | Trabajado en frío y rec. | 6.51                          | 99.3                  | 0.35              | 207                             | 379                            | 16             |                                   |
| Misceláneos   | Invar                     | Recocido                 | 8.05                          | 141                   |                   | 276                             | 517                            | 30             |                                   |
|   | Súper invar               | Recocido                 | 8.10                          | 144                   |                   | 276                             | 483                            | 30             |                                   |
|   | Kovar                     | Recocido                 | 8.36                          | 207                   |                   | 276                             | 517                            | 30             |                                   |
| <b>Cerámicos</b>  |                           |                          |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| Alúmina   | Pura                      |                          | 3.98                          | 380                   | 0.22              | --                              | 282–551                        | --             | 4.2–5.9                           |
| Concreto  | Estándar                  |                          | 2.40                          | 25.4–36.6 a           | 0.20              | --                              | 37.3–41.3 e                    | --             | 0.2–1.4                           |
| Diamante  | Natural                   |                          | 3.51                          | 700–1200              | 0.1–0.3           | --                              | 1050                           | --             | 3.4                               |
|   | Sintético                 |                          | 3.20–3.52                     | 800–925               | 0.20              | --                              | 800–1400                       | --             | 6.0–10.7                          |
| Vidrio  | Boro silicato (Pyrex®)    |                          | 2.23                          | 70                    | 0.20              | --                              | 69                             | --             | 0.77                              |
|   | Común                     |                          | 2.50                          | 69                    | 0.20              | --                              | 69                             | --             | 0.75                              |
|   | Pyroceram®                |                          | 2.60                          | 120                   | 0.25              | --                              | 123–370                        | --             | 1.6–2.1                           |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

| Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos <sup>9</sup> |                                      |                          |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
|---|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Material  | Grado                                | Condición                | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Módulo de Young (GPa) | Módulo de Poisson | Resistencia a la cedencia (MPa) | Resistencia a la tensión (MPa) | Elongación (%) | Tenacidad (MPa m <sup>1/2</sup> ) |
| Grafito   |                                      | Extruido                 | 1.71                          | 11                    |                   | --                              | 13.8–34.5                      | --             |                                   |
|   |                                      | Moldeado isostático      | 1.78                          | 11.7                  |                   | --                              | 31–69                          | --             |                                   |
| Silica  |                                      | Fusionada                | 2.20                          | 73                    | 0.17              | --                              | 104                            | --             | 0.79                              |
| Carburo de silicio  |                                      | Prensado en caliente     | 3.30                          | 207–483               | 0.17              | --                              | 230–825                        | --             | 4.8–6.1                           |
|   |                                      | Sinterizado              | 3.20                          | 207–483               | 0.16              | --                              | 96–520                         | --             | 4.8                               |
| Nitruro de silicio  |                                      | Prensado en caliente     | 3.30                          | 304                   | 0.30              | --                              | 700–1000                       | --             | 4.1–6.0                           |
|   |                                      | Consolidado por reacción |                               | 304                   | 0.22              | --                              | 250–345                        | --             | 3.6                               |
|   |                                      | Sinterizado              | 3.30                          | 304                   | 0.28              | --                              | 414–650                        | --             | 5.3                               |
| Zirconia  | 3 mol% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Sinterizado              | 6.00                          | 205                   | 0.31              | --                              | 800–1500                       | --             | 7.0–12.0                          |
| <b>Polímeros</b>  |                                      |                          |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| Elastómero  | Acrilonitrilo-butadieno              |                          | 0.98                          | 0.0034 b              |                   | --                              | 6.9–24.1                       | 400–600        |                                   |
|   | Estireno-butadieno                   |                          | 0.94                          | 0.002–0.010 b         |                   | --                              | 12.4–20.7                      | 450–500        |                                   |
|   | Silicón                              |                          | 1.10–1.60                     |                       |                   | --                              | 10.3                           | 100–800        |                                   |
| Termofijo   | Epoxi                                |                          | 1.11–1.40                     | 2.41                  |                   | --                              | 27.6–90.0                      | 3–6            | 0.6                               |
|   | Fenólica                             |                          | 1.28                          | 2.76–4.83             |                   | --                              | 34.5–62.1                      | 1.5–2.0        |                                   |
|   | Polyester                            |                          | 1.04–1.46                     | 2.06–4.41             |                   |                                 | 41.4–89.7                      | <2.6           | 0.6                               |
| Termoplástico   | Nylon                                | Moldeado, seco           | 1.14                          | 1.59–3.79             | 0.39              | 55.1–82.8                       | 94.5                           | 15–80          |                                   |
|   |                                      | 50% humedad rel.         |                               |                       |                   | 44.8–58.6                       | 75.9                           | 150–300        | 2.5–3.0                           |
|   | Tereftalato de polibutadieno (PBT)   |                          | 1.34                          | 1.93–3.00             |                   | 56.6–60.0                       | 56.6–60.0                      | 50–300         |                                   |
|   | Policarbonato (PC)                   |                          | 1.20                          | 2.38                  | 0.36              | 62.1                            | 62.8–72.4                      | 110–150        | 2.2                               |
|   | Polyetheretherqueton (PEEK)          |                          | 1.31                          | 1.10                  |                   | 91                              | 70.3–103                       | 30–150         |                                   |

| Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos <sup>9</sup> |                                       |              |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
|---|---------------------------------------|--------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Material  | Grado                                 | Condición    | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Módulo de Young (GPa) | Módulo de Poisson | Resistencia a la cedencia (MPa) | Resistencia a la tensión (MPa) | Elongación (%) | Tenacidad (MPa m <sup>1/2</sup> ) |
|   | Polietileno baja densidad             |              | 0.93                          | 0.172–0.282           |                   | 9.0–14.5                        | 8.3–31.4                       | 100–650        |                                   |
|   | Polietileno alta densidad             |              | 0.96                          | 1.08                  |                   | 26.2–33.1                       | 22.1–31.0                      | 10–1200        |                                   |
|   | Polietileno ultra alto peso molecular |              | 0.94                          | 0.69                  |                   | 21.4–27.6                       | 38.6–48.3                      | 350–525        |                                   |
|   | Tereftalato de polietileno (PET)      |              | 1.35                          | 2.76–4.14             |                   | 59.3                            | 48.3–72.4                      | 30–300         | 5                                 |
|   | Polimetilmetacrilato (PMMA)           |              | 1.19                          | 2.24–3.24             |                   | 53.8–73.1                       | 48.3–72.4                      | 2.0–5.5        | 0.7–1.6                           |
|   | Polipropileno (PP)                    |              | 0.91                          | 1.14–1.55             |                   | 31.0–37.2                       | 31.0–41.4                      | 100–600        | 3.0–4.5                           |
|   | Polyestireno (PS)                     |              | 1.05                          | 2.28–3.28             | 0.33              |                                 | 35.9–51.7                      | 1.2–2.5        | 0.7–1.1                           |
|   | Polytetrafluoroethylene (PTFE)        |              | 2.17                          | 0.40–0.55             | 0.46              | --                              | 20.7–34.5                      | 200–400        |                                   |
|   | Cloruro de polivinilo (PVC)           |              | 1.30–1.58                     | 2.41–4.14             | 0.38              | 40.7–44.8                       | 40.7–51.7                      | 40–80          | 2.0–4.0                           |
| <b>Fibras de refuerzo</b>   |                                       |              |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| Aramid  | (Kevlar 49)                           |              | 1.44                          | 131                   |                   | --                              | 3600–4100                      | 2.8            |                                   |
| Carbón (precursor PAN)  | Módulo estándar                       |              | 1.78                          | 230                   |                   | --                              | 3800–4200                      | 2              |                                   |
|   | Módulo intermedio                     |              | 1.78                          | 285                   |                   | --                              | 4650–6350                      | 1.8            |                                   |
|   | Módulo alto                           |              | 1.81                          | 400                   |                   | --                              | 2500–4500                      | 0.6            |                                   |
| Vidrio  | E                                     |              | 2.58                          | 72.5                  | 0.22              | --                              | 3450                           | 4.3            |                                   |
| <b>Materiales compuestos</b>  |                                       |              |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
|   |                                       | Longitudinal | 1.40                          | 76                    | 0.34              | --                              | 1380                           | 1.8            |                                   |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

| Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos <sup>9</sup>                           |                        |                |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
|---|------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Material  | Grado                  | Condición      | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Módulo de Young (GPa) | Módulo de Poisson | Resistencia a la cedencia (MPa) | Resistencia a la tensión (MPa) | Elongación (%) | Tenacidad (MPa m <sup>1/2</sup> ) |
| Aramid-epoxi  | 60% fracción volumen   | Transversal    |                               | 5.5                   |                   | --                              | 30                             | 0.5            |                                   |
| Carbón alto módulo-epoxi  | 60% fracción volumen   | Longitudinal   | 1.70                          | 220                   | 0.25              | --                              | 760                            | 0.3            |                                   |
|   |                        | Transversal    |                               | 6.9                   |                   | --                              | 28                             | 0.4            |                                   |
| Vidrio E-epoxi  | 60% fracción volumen   | Longitudinal   | 2.10                          | 45                    | 0.19              | --                              | 1020                           | 2.3            |                                   |
|   |                        | Transversal    |                               | 12                    |                   | --                              | 40                             | 0.4            |                                   |
| <b>Maderas</b>  |                        |                |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| Abeto de Douglas  | Paralelo al grano      | 12% de humedad | 0.46–0.50                     | 10.8–13.6 c           |                   | --                              | 108                            | --             |                                   |
|   | Perpendicular al grano | 12% de humedad |                               | 0.54–0.68 c           |                   | --                              | 2.4                            | --             |                                   |
| Roble rojo  | Paralelo al grano      | 12% de humedad | 0.61–0.67                     | 11.0–14.1 c           |                   | --                              | 112                            | --             |                                   |
|   | Perpendicular al grano | 12% de humedad |                               | 0.55–0.71 c           |                   | --                              | 7.2                            | --             |                                   |
| a Módulo secante tomado al 20% de la resistencia última.  |                        |                |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| b Módulo tomado al 100% de cargamiento.   |                        |                |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| c Medido en flexión.  |                        |                |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| d La resistencia del grafito, la cerámica y los materiales semiconductores se toma como resistencia a la flexión. |                        |                |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |
| e La resistencia del concreto se mide en compresión.  |                        |                |                               |                       |                   |                                 |                                |                |                                   |

dudas o sugerencias en ayuda@ceneval.net

| Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos <sup>10</sup> |           |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |                        |
|--|-----------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|------------------------|
| Material   | Grado     | Coef. de expansión térmica |                       | Conductividad térmica |             | Calor específico |                               | Calor latente de fusión |               | Resistividad eléctrica |
|  |           | 10 <sup>-6</sup> /° C      | 10 <sup>-6</sup> /° F | W/m/K                 | BTU/ft/h/°F | J/kg/K           | 10 <sup>-2</sup> BTU /lbm/° F | J/kg                    | BTU /ft/h/° F | Ω·m                    |
| <b>Metales ferrosos</b>  |           |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |                        |
| Acero al carbón  | A36       | 11.7                       | 6.5                   | 51.9                  | 30.0        | 486 c            | 11.6 c                        |                         |               | 1.60x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 1020      | 11.7                       | 6.5                   | 51.9                  | 30.0        | 486 c            | 11.6 c                        |                         |               | 1.60x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 1040      | 11.3                       | 6.3                   | 51.9                  | 30.0        | 486 c            | 11.6 c                        |                         |               | 1.60x10 <sup>-7</sup>  |
| Acero baja aleación  | 4140      | 12.3                       | 6.8                   |                       |             |                  |                               |                         |               | 2.20x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 4340      | 12.3                       | 6.8                   |                       |             |                  |                               |                         |               | 2.48x10 <sup>-7</sup>  |
| Acero inoxidable   | 304       | 17.2                       | 9.6                   | 16.2                  | 9.4         | 500              | 12                            |                         |               | 7.20x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 316       | 15.9                       | 8.8                   | 16.2                  | 9.4         | 500              | 12                            |                         |               | 7.40x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 405       | 10.8                       | 6                     | 27.0                  | 15.6        | 460              | 11                            |                         |               | 6.00x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 440A      | 10.2                       | 5.7                   | 24.2                  | 14.0        | 460              | 11                            |                         |               | 6.00x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 17-7PH    | 11                         | 6.1                   | 16.4                  | 9.5         | 460              | 11                            |                         |               | 8.30x10 <sup>-7</sup>  |
| Fierro dúctil  | 60-40-18  | 11.2                       | 6.2                   | 36.0                  | 20.8        | 544              | 13                            |                         |               | 5.50x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 80-55-06  | 10.6                       | 5.9                   | 36.0                  | 20.8        | 544              | 13                            |                         |               | 6.20x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 120-90-02 |                            |                       | 36.0                  | 20.8        | 544              | 13                            |                         |               | 6.20x10 <sup>-7</sup>  |
| Fierro gris  | G1800     | 11.4                       | 6.3                   | 46.0                  | 26.6        | 544              | 13                            |                         |               | 15.00x10 <sup>-7</sup> |
|  | G3000     | 11.4                       | 6.3                   | 46.0                  | 26.6        | 544              | 13                            |                         |               | 9.50x10 <sup>-7</sup>  |
|  | G4000     | 11.4                       | 6.3                   | 46.0                  | 26.6        | 544              | 13                            |                         |               | 8.50x10 <sup>-7</sup>  |
| <b>Metales no ferrosos</b>   |           |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |                        |
| Aluminio   | 1100 O    | 23.6                       | 13.1                  | 222                   | 128.0       | 904              | 21.6                          |                         |               | 2.90x10 <sup>-8</sup>  |
|  | 2024 O    | 22.9                       | 12.7                  | 190                   | 110.0       | 875              | 20.9                          |                         |               | 3.40x10 <sup>-8</sup>  |
|  | 6061 O    | 23.6                       | 13.1                  | 180                   | 104.0       | 896              | 21.4                          |                         |               | 3.70x10 <sup>-8</sup>  |

<sup>10</sup> Adaptado de: Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction*. New York: Wiley.

| Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos <sup>10</sup> |                     |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |                        |
|--|---------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|------------------------|
| Material   | Grado               | Coef. de expansión térmica |                       | Conductividad térmica |             | Calor específico |                               | Calor latente de fusión |               | Resistividad eléctrica |
|  |                     | 10 <sup>-6</sup> /° C      | 10 <sup>-6</sup> /° F | W/m/K                 | BTU/ft/h/°F | J/kg/K           | 10 <sup>-2</sup> BTU /lbm/° F | J/kg                    | BTU /ft/h/° F | Ω·m                    |
|  | 7075 T6             | 23.4                       | 13                    | 130                   | 75.0        | 960 a            | 23.0 a                        |                         |               | 5.22x10 <sup>-8</sup>  |
|  | 356 T6              | 21.5                       | 11.9                  | 151                   | 87.0        | 963 a            | 23.0 a                        |                         |               | 4.42x10 <sup>-8</sup>  |
| Cobre  | C11000              | 17                         | 9.4                   | 388                   | 224.0       | 385              | 9.2                           |                         |               | 1.72x10 <sup>-8</sup>  |
|  | C17200              | 16.7                       | 9.3                   | 105–130               | 60.0–75.0   | 420              | 10.0                          |                         |               | 5.70x10 <sup>-7</sup>  |
|  | C26000 (latón)      | 19.9                       | 11.1                  | 120                   | 70.0        | 375              | 9.0                           |                         |               | 6.20x10 <sup>-8</sup>  |
|  | C36000 (latón)      | 20.5                       | 11.4                  | 115                   | 67.0        | 380              | 9.1                           |                         |               | 6.60x10 <sup>-8</sup>  |
|  | C71500 (níquel 30%) | 16.2                       | 9                     | 29                    | 16.8        | 380              | 9.1                           |                         |               | 37.50x10 <sup>-8</sup> |
|  | C93200 (bronce)     | 18                         | 10                    | 59                    | 34.0        | 376              | 9.0                           |                         |               | 14.40x10 <sup>-8</sup> |
| Estaño   | Comercialmente puro | 23.76                      | 13.2                  | 61                    | 35.1        | 222              | 5.3                           |                         |               | 1.11x10 <sup>-7</sup>  |
| Magnesio   | AZ31B               | 26                         | 14.4                  | 96 a                  | 55 a        | 1024             | 24.5                          |                         |               | 9.20x10 <sup>-8</sup>  |
|  | AZ91D               | 26                         | 14.4                  | 72 a                  | 43 a        | 1050             | 25.1                          |                         |               | 17.00x10 <sup>-8</sup> |
| Metales preciosos  | Oro                 | 14.22                      | 7.9                   | 315                   | 182.0       | 130              | 3.1                           |                         |               | 2.35x10 <sup>-8</sup>  |
|  | Platino             | 9.18                       | 5.1                   | 71 b                  | 41 b        | 132 b            | 3.2 b                         |                         |               | 10.60x10 <sup>-8</sup> |
|  | Plata               | 19.62                      | 10.9                  | 428                   | 247.0       | 235              | 5.6                           |                         |               | 1.47x10 <sup>-8</sup>  |
| Metales refractarios   | Molibdeno           | 4.86                       | 2.7                   | 142                   | 82.0        | 276              | 6.6                           |                         |               | 5.20x10 <sup>-8</sup>  |
|  | Tántalo             | 6.48                       | 3.6                   | 54.4                  | 31.4        | 139              | 3.3                           |                         |               | 13.50x10 <sup>-8</sup> |
|  | Tungsteno           | 4.5                        | 2.5                   | 155                   | 89.4        | 138              | 3.3                           |                         |               | 5.30x10 <sup>-8</sup>  |
| Plomo  | Plomo químico       | 29.34                      | 16.3                  | 35                    | 20.2        | 129              | 3.1                           |                         |               | 2.06x10 <sup>-7</sup>  |
|  | Plomo-6% Antimonio  | 27.18                      | 15.1                  | 29                    | 16.8        | 135              | 3.2                           |                         |               | 2.53x10 <sup>-7</sup>  |
|  | 60Sn-40Pb           | 23.94                      | 13.3                  | 50                    | 28.9        | 150              | 3.6                           |                         |               | 1.50x10 <sup>-7</sup>  |
| Silicio  |                     | 2.5                        | 1.4                   | 141                   | 82.0        | 700              | 16.7                          |                         |               | 2.5x10 <sup>-3</sup>   |

Dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

| Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos <sup>10</sup> |                       |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |   |
|--|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|---|
| Material   | Grado                 | Coef. de expansión térmica |                       | Conductividad térmica |             | Calor específico |                               | Calor latente de fusión |               | Resistividad eléctrica                  |
|  |                       | 10 <sup>-6</sup> /° C      | 10 <sup>-6</sup> /° F | W/m/K                 | BTU/ft/h/°F | J/kg/K           | 10 <sup>-2</sup> BTU /lbm/° F | J/kg                    | BTU /ft/h/° F | Ω·m                                     |
| Súper aleación   | Níquel 200            | 13.32                      | 7.4                   | 70                    | 40.5        | 456              | 10.9                          |                         |               | 0.95x10 <sup>-7</sup>                   |
|  | Inconel 625           | 12.78                      | 7.1                   | 9.8                   | 5.7         | 410              | 9.8                           |                         |               | 12.90x10 <sup>-7</sup>                  |
|  | Monel 400             | 13.86                      | 7.7                   | 22.0                  | 12.6        | 427              | 10.2                          |                         |               | 5.47x10 <sup>-7</sup>                   |
|  | Haynes alloy 25       | 12.24                      | 6.8                   | 9.8                   | 5.7         | 377              | 9.0                           |                         |               | 8.90x10 <sup>-7</sup>                   |
| Titanio  | Comercialmente puro   | 8.64                       | 4.8                   | 16.0                  | 9.2         | 528 d            | 12.6 d                        |                         |               | 4.20x10 <sup>-7</sup>                   |
|  | Ti-5Al-2.5Sn          | 9.36                       | 5.2                   | 7.6                   | 4.4         | 470 d            | 11.2 d                        |                         |               | 15.70x10 <sup>-7</sup>                  |
|  | Ti-6Al-4V             | 8.64                       | 4.8                   | 6.7                   | 3.9         | 610 d            | 14.6 d                        |                         |               | 17.10x10 <sup>-7</sup>                  |
| Zinc   | Comercialmente puro   | 23.0–32.5                  | 12.7–18.1             | 108.0                 | 62.0        | 395              | 9.4                           |                         |               | 62.00x10 <sup>-7</sup>                  |
| Zirconio   | Grado 702             | 5.94                       | 3.3                   | 22.0                  | 12.7        | 285              | 6.8                           |                         |               | 3.97x10 <sup>-7</sup>                   |
| Miscelá-neos   | Invar                 | 1.62                       | 0.9                   | 10.0                  | 5.8         | 500              | 12.0                          |                         |               | 8.20x10 <sup>-7</sup>                   |
|  | Súper Invar           | 0.72                       | 0.4                   | 10.0                  | 5.8         | 500              | 12.0                          |                         |               | 8.00x10 <sup>-7</sup>                   |
|  | Kovar                 | 5.04                       | 2.8                   | 17.0                  | 9.8         | 460              | 11.0                          |                         |               | 4.90x10 <sup>-7</sup>                   |
| <b>Cerámicos</b>   |                       |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |   |
| Alúmina  | Pura                  | 7.4                        | 4.1                   | 39                    | 22.5        | 775              | 18.5                          |                         |               | >1.00x10 <sup>-13</sup>                 |
| Concreto   | Estándar              | 10.0–13.6                  | 5.6–7.6               | 1.25–1.75             | 0.72–1.0    | 850 –1150        | 20.3–27.5                     |                         |               | 1.00x10 <sup>-9</sup>                   |
| Diamante   | Natural               | 0.11–1.23                  | 0.06–0.68             | 1450–4650             | 840–2700    | 520              | 12.4                          |                         |               | 10x10 <sup>-14</sup>                    |
|  | Sintético             |                            |                       | 3150                  | 1820.0      |                  |                               |                         |               | 1.50x10 <sup>-2</sup>                   |
| Vidrio   | Borosilicato (Pyrex®) | 3.3                        | 1.8                   | 1.4                   | 0.8         | 850              | 20.3                          |                         |               | ~1x10 <sup>-13</sup>                    |
|  | Común                 | 9                          | 5                     | 1.7                   | 1.0         | 840              | 20.0                          |                         |               | 1x10 <sup>10</sup> –1x10 <sup>-11</sup> |
|  | Pyroceram®            | 6.5                        | 3.6                   | 3.3                   | 1.9         | 975              | 23.3                          |                         |               | 2x10 <sup>-14</sup>                     |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

| Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos <sup>10</sup> |                                    |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
|--|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|--|
| Material   | Grado                              | Coef. de expansión térmica |                       | Conductividad térmica |             | Calor específico |                               | Calor latente de fusión |               | Resistividad eléctrica                   |
|  |                                    | 10 <sup>-6</sup> /° C      | 10 <sup>-6</sup> /° F | W/m/K                 | BTU/ft/h/°F | J/kg/K           | 10 <sup>-2</sup> BTU /lbm/° F | J/kg                    | BTU /ft/h/° F | Ω-m                                      |
| Grafito  | Extruido                           | 2.0–2.7                    | 1.1–1.5               | 130–190               | 75–110      | 830              | 19.8                          |                         |               | 7 x10 <sup>-6</sup> –20x10 <sup>-6</sup> |
|  | Moldeado isostático                | 2.2–6.0                    | 1.2–3.3               | 104–130               | 60–75       | 830              | 19.8                          |                         |               | 1x10 <sup>-6</sup> –18x10 <sup>-6</sup>  |
| Silica   | Fusionada                          | 0.4                        | 0.22                  | 1.4                   | 0.8         | 740              | 17.7                          |                         |               | >1x10 <sup>-18</sup>                     |
| Carburo de silicio   | Prensado en caliente               | 4.6                        | 2.6                   | 80                    | 46.2        | 670              | 16.0                          |                         |               | 1.0–1x10 <sup>-9</sup>                   |
|  | Sinterizado                        | 4.1                        | 2.3                   | 71                    | 41.0        | 590              | 14.1                          |                         |               | 1.0–1x10 <sup>-9</sup>                   |
| Nitruro de silicio   | Prensado en caliente               | 2.7                        | 1.5                   | 29                    | 17.0        | 750              | 17.9                          |                         |               | >1x10 <sup>-12</sup>                     |
|  | Consolidado por reacción           | 3.1                        | 1.7                   | 10                    | 6.0         | 870              | 20.7                          |                         |               | >1x10 <sup>-12</sup>                     |
|  | Sinterizado                        | 3.1                        | 1.7                   | 33                    | 19.1        | 1100             | 26.3                          |                         |               | >1x10 <sup>-12</sup>                     |
| Zirconia, 3 mol% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                       | Sinterizado                        | 9.6                        | 5.3                   | 2.0–3.3               | 1.2–1.9     | 481              | 11.5                          |                         |               | ~1x10 <sup>-10</sup>                     |
| <b>Polímeros</b>   |                                    |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Elastómero   | Acrilnitrilo-butadieno             |                            |                       | 0.25                  | 0.14        |                  |                               |                         |               | 4x10 <sup>8</sup>                        |
|  | Estireno-butadieno                 |                            |                       | 0.25                  | 0.14        |                  |                               |                         |               | 6x10 <sup>11</sup>                       |
|  | Silicón                            |                            |                       | 0.23                  | 0.13        |                  |                               |                         |               | 1x10 <sup>13</sup>                       |
| Termofijo  | Epoxi                              |                            |                       | 0.19                  | 0.11        | 1050             | 25                            |                         |               | 1x10 <sup>10</sup> –1x10 <sup>13</sup>   |
|  | Fenólica                           |                            |                       | 0.15                  | 0.087       | 1590–1760        | 38–42                         |                         |               | 1x10 <sup>9</sup> –1x10 <sup>10</sup>    |
|  | Polyester                          |                            |                       | 0.17                  | 0.10        | 710–920          | 17–22                         |                         |               | 1x10 <sup>13</sup>                       |
| Termoplástico  | Nylon                              |                            |                       | 0.24                  | 0.14        | 1670             | 40                            |                         |               | 1x10 <sup>12</sup> –1x10 <sup>13</sup>   |
|  | Tereftalato de polibutadieno (PBT) |                            |                       | 0.18–0.29             | 0.10–0.17   | 1170–2300        | 28–55                         |                         |               | 4x10 <sup>14</sup>                       |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

| Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos <sup>10</sup> |                                       |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
|--|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|--|
| Material   | Grado                                 | Coef. de expansión térmica |                       | Conductividad térmica |             | Calor específico |                               | Calor latente de fusión |               | Resistividad eléctrica                 |
|  |                                       | 10 <sup>-6</sup> /° C      | 10 <sup>-6</sup> /° F | W/m/K                 | BTU/ft/h/°F | J/kg/K           | 10 <sup>-2</sup> BTU /lbm/° F | J/kg                    | BTU /ft/h/° F | Ω-m                                    |
|  | Polycarbonato (PC)                    |                            |                       | 0.2                   | 0.12        | 840              | 20                            |                         |               | 2x10 <sup>14</sup>                     |
|  | Polyetheretherque ton (PEEK)          |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               | 6x10 <sup>14</sup>                     |
|  | Polietileno baja densidad             |                            |                       | 0.33                  | 0.19        | 2300             | 55                            |                         |               | 1x10 <sup>15</sup> –5x10 <sup>16</sup> |
|  | Polietileno alta densidad             |                            |                       | 0.48                  | 0.28        | 1850             | 44                            |                         |               | 1x10 <sup>15</sup> –5x10 <sup>16</sup> |
|  | Polietileno ultra alto peso molecular |                            |                       | 0.33                  | 0.19        |                  |                               |                         |               | >5x10 <sup>14</sup>                    |
|  | Tereftalato de polietileno (PET)      |                            |                       | 0.15                  | 0.087       | 1170             | 28                            |                         |               | 1x10 <sup>12</sup>                     |
|  | Polimetilmetacrilato (PMMA)           |                            |                       | 0.17–0.25             | 0.10–0.15   | 1460             | 35                            |                         |               | >1x10 <sup>12</sup>                    |
|  | Polipropileno (PP)                    |                            |                       | 0.12                  | 0.069       | 1925             | 46                            |                         |               | >1x10 <sup>14</sup>                    |
|  | Poliestireno (PS)                     |                            |                       | 0.13                  | 0.075       | 1170             | 28                            |                         |               | >1x10 <sup>14</sup>                    |
|  | Polytetrafluoroethylene (PTFE)        |                            |                       | 0.25                  | 0.14        | 1050             | 25                            |                         |               | 1x10 <sup>17</sup>                     |
|  | Cloruro de polivinilo (PVC)           |                            |                       | 0.15–0.21             | 0.08–0.12   | 1050–1460        | 25–35                         |                         |               | >1x10 <sup>14</sup>                    |
| <b>Fibras de refuerzo</b>  |                                       |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Aramid (kevlar 49)   | Longitudinal                          | -2                         | -1.1                  |                       |             | 1300             | 31                            |                         |               |  |
|  | Transversal                           | 60                         | 33                    |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Carbón (precursor)   | Longitudinal                          | -0.6                       | -0.3                  | 11                    | 6.4         |                  |                               |                         |               | 17x10 <sup>-6</sup>                    |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

| Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos <sup>10</sup> |                        |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
|--|------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|--|
| Material   | Grado                  | Coef. de expansión térmica |                       | Conductividad térmica |             | Calor específico |                               | Calor latente de fusión |               | Resistividad eléctrica                   |
|  |                        | 10 <sup>-6</sup> /° C      | 10 <sup>-6</sup> /° F | W/m/K                 | BTU/ft/h/°F | J/kg/K           | 10 <sup>-2</sup> BTU /lbm/° F | J/kg                    | BTU /ft/h/° F | Ω-m                                      |
| PAN) módulo estándar   | Transversal            | 10                         | 5.6                   |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Carbón (precursor PAN) módulo intermedio   | Longitudinal           | -0.6                       | -0.3                  | 15                    | 8.7         |                  |                               |                         |               | 15x10 <sup>-6</sup>                      |
|  | Transversal            |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Carbón (precursor PAN) módulo alto   | Longitudinal           | -0.5                       | -0.28                 | 70                    | 40          |                  |                               |                         |               | 10x10 <sup>-6</sup>                      |
|  | Transversal            | 7                          | 3.9                   |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Vidrio   | E                      | 5                          | 2.8                   | 1.3                   | 0.75        | 810              | 19.3                          |                         |               | 4 x10 <sup>14</sup>                      |
| <b>Materiales compuestos</b>   |                        |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Aramid-Epoxi 60% fracción volumen  | Longitudinal           | -4                         | -2.2                  |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
|  | Transversal            | 70                         | 40                    |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Carbón Alto Módulo-Epoxi 60% fracción volumen  | Longitudinal           | -0.5                       | -0.3                  |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
|  | Transversal            | 32                         | 18                    |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Vidrio E-Epoxi 60% fracción volumen  | Longitudinal           | 6.6                        | 3.7                   |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
|  | Transversal            | 30                         | 16.7                  |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| <b>Maderas</b>   |                        |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |  |
| Abeto de Douglas 12% de humedad  | Paralelo al grano      | 3.8–5.1                    | 2.2–2.8               |                       |             | 2900             | 69.3                          |                         |               | 1x10 <sup>-14</sup> - x10 <sup>-16</sup> |
|  | Perpendicular al grano | 25.4–33.8                  | 14.1–18.8             | 0.14                  | 0.08        |                  |                               |                         |               |  |
| Roble rojo 12% de humedad  | Paralelo al grano      | 4.6–5.9                    | 2.6–3.3               |                       |             | 2900             | 69.3                          |                         |               | 1x10 <sup>-14</sup> -x10 <sup>-16</sup>  |
|  | Perpendicular al grano | 30.6–39.1                  | 17.0–21.7             | 0.18                  | 0.11        |                  |                               |                         |               |  |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

| Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos <sup>10</sup> |       |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |                        |
|--|-------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|------------------------|
| Material   | Grado | Coef. de expansión térmica |                       | Conductividad térmica |             | Calor específico |                               | Calor latente de fusión |               | Resistividad eléctrica |
|  |       | 10 <sup>-6</sup> /° C      | 10 <sup>-6</sup> /° F | W/m/K                 | BTU/ft/h/°F | J/kg/K           | 10 <sup>-2</sup> BTU /lbm/° F | J/kg                    | BTU /ft/h/° F | Ω-m                    |
| a A 100 °C.<br>b A 0 °C.<br>c A temperaturas entre 50 °C y 100 °C.<br>d A 50 °C.     |       |                            |                       |                       |             |                  |                               |                         |               |                        |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

## Control numérico por computadora

| Código  | Descripción   |
|---------|---|
| M00     | Paro de programa  |
| M01     | Paro opcional de programa   |
| M02     | Fin de programa   |
| M03     | Encendido del husillo en sentido de las manecillas del reloj (CW)<br>S = velocidad del husillo en rpm   |
| M04     | Encendido del husillo en sentido contrario a las manecillas del reloj (CCW)<br>S = velocidad del husillo en rpm   |
| M05     | Apagado del husillo   |
| M06     | Cambio de herramienta<br>T = número de herramienta  |
| M08     | Encendido del refrigerante  |
| M09     | Apagado del refrigerante  |
| M30     | Fin de programa con cursor al inicio de programa  |
| G00     | Interpolación lineal rápida   |
| G01     | Interpolación lineal a la velocidad programada  |
| G02     | Movimiento circular en el sentido horario   |
| G03     | Movimiento circular en el sentido antihorario   |
| G04     | Compás de espera  |
| G10     | Ajuste del valor de offset del programa   |
| G20     | Comienzo de uso de unidades imperiales (pulgadas)   |
| G21     | Comienzo de uso de unidades métricas  |
| G28     | Volver al home de la máquina  |
| G32     | Maquinar una rosca en una pasada  |
| G36     | Compensación automática de herramienta en X   |
| G37     | Compensación automática de herramienta en Z   |
| G40     | Cancelación de compensación de diámetro   |
| G41     | Compensación a la izquierda<br>D = número de registro o diámetro del cortador   |
| G42     | Compensación a la derecha<br>D = número de registro o diámetro del cortador   |
| G43     | Compensación de altura<br>H = número de registro  |
| G49     | Cancelación de compensación de altura   |
| G54-G59 | Selección de sistema de coordenadas (punto cero)  |
| G70     | Ciclo de acabado  |
| G71     | Ciclo de maquinado en torneado  |
| G72     | Ciclo de maquinado en refrentado  |
| G73     | Repetición de patrón  |
| G74     | Taladrado intermitente, con salida para retirar virutas   |
| G76     | Maquinar una rosca en múltiples pasadas   |
| G80     | Cancelación de ciclo de taladrado   |
| G82     | Ciclo de taladrado con pausa<br>X, Y = posición del agujero<br>Z = profundidad del agujero<br>R = plano de retracción<br>P = pausa  |
| G83     | Ciclo de taladrado profundo<br>X, Y = posición del agujero<br>Z = profundidad del agujero<br>R = plano de retracción<br>D = profundidad por picoteo<br>Q = distancia de seguridad |
| G90     | Coordenadas absolutas   |
| G91     | Coordenadas incrementales   |
| G94     | Velocidad de avance en unidades/minuto (para fresa)   |
| G95     | Velocidad de avance en unidades/revolución (para fresa)   |
| G96     | Comienzo de desbaste a velocidad tangencial constante (para torno)  |
| G97     | Fin de desbaste a velocidad tangencial constante (para torno)   |
| G98     | Retorno al plano de acercamiento en ciclos (para fresa)   |
| G99     | Retorno al plano de retracción en ciclos (para fresa)   |
| G98     | Velocidad de avance en unidades/minuto (para torno)   |
| G99     | Velocidad de avance en unidades/revolución (para torno)   |

### Softwares utilizados en Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica, Electromecánica y afines

| Nombre              | Descripción   |
|---------------------|---|
| Actran, SPICE, TINA | Son programas para la simulación de la acústica, vibro acústica, acústica y aerodinámica.   |
| Adams               | Es un software de simulación de la dinámica de mecanismos, sistemas multicuerpo y de análisis de movimiento. Ayuda a estudiar la dinámica de las partes móviles, como las cargas y las fuerzas se distribuyen a lo largo de los sistemas mecánicos, y a mejorar y optimizar el rendimiento de sus productos. Es un programa de análisis cinemático y dinámico para simulación de sistemas mecánicos.  |
| ALGOR               | Conjunto de herramientas para un variado campo de análisis mecánico o estructural, basado en el método del elemento finito (FEA). Se basa en el estudio de esfuerzos y deformaciones, como resultado de la aplicación de cargas estáticas, presiones o desplazamientos conocidos aplicados a la estructura o temperaturas que generaran tensiones térmicas. El extender de vibraciones añade al módulo estático de Algor las posibilidades de análisis de modos propios (frecuencias naturales), análisis transitorio por superposición modal para bajas frecuencias, análisis transitorio por integración directa para altas frecuencias, y el análisis de espectro de respuesta (sísmico) y DDAM para el cálculo de tensiones originado por fuerzas repentinas (terremotos o explosiones, por ejemplo). También se incluyen en el extender el análisis de pandeo para vigas o vigas/placas, análisis modal con fuerzas rigidizadoras, vibración aleatoria (power spectral density) y respuesta en frecuencia para predecir las respuestas ante funciones de onda simples. |
| ANSYS               | Es un procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no-lineales), análisis de transferencia de calor y fluido dinámico, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Este software es usado también en ingeniería civil y eléctrica, física y química.  |
| AutoCAD             | Es un software de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones, tiene un amplio uso en diseño gráfico y dibujo técnico digital en general.   |
| Autodesk Inventor   | Es un modelador paramétrico; esto es, permite modelar la geometría, dimensión y material de manera que si se alteran las dimensiones, la geometría se actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones. Se basan en bocetos (dibujos en 2D) y después utilizaría una herramienta del programa para dar altura y volumen.   |
| CATIA               | Es un programa que trata de una solución para la Gestión del Ciclo de vida del Producto (PLM, Product Lifecycle Management), que proporciona un conjunto integrado de aplicaciones de Diseño Asistido por computadora (CAD, Computer Aided Design), Ingeniería Asistida por computadora (CAE, Computer Aided Engineering), Fabricación Asistida por computadora (CAM, Computer Aided Manufacturing) simulaciones de movimiento y análisis por FEM, para la definición y simulación de productos digitales.  |
| COMSOL              | COMSOL Multiphysics es un paquete de software de análisis y resolución por elementos finitos para varias aplicaciones físicas y de ingeniería, especialmente fenómenos acoplados, o multifísicos. COMSOL Multiphysics también ofrece una amplia y bien gestionada interfaz a MATLAB y sus toolboxes que proporcionan una amplia variedad de posibilidades de programación, preprocesado y posprocesado. También proporciona una interfaz similar a COMSOL Script. Además de las interfaces de usuario convencionales basadas en físicas, COMSOL Multiphysics también permite entrar sistemas acoplados de ecuaciones en derivadas parciales (EDP).  |
| DELMIA              | Es un software de optimización de toma de decisiones que permite, aumentar las cadenas de suministro a nivel mundial mientras aumenta el nivel de calidad, reaccionar inmediatamente ante una interrupción en la cadena de suministro con el fin de cumplir los objetivos de rendimiento, reducir los costos de producción relacionados con los inventarios y la repetición de tareas y crear un nivel superior de productividad y seguridad  |
| EES                 | Engineering Equation Solver (EES) es un paquete de software comercial utilizado para la solución de sistemas de ecuaciones no lineales simultáneas. Proporciona muchas funciones y ecuaciones especializados útiles para la solución de la termodinámica y los problemas de transferencia de calor, por lo que es un programa útil y ampliamente utilizado para los ingenieros mecánicos que trabajan en estos campos. Almacena EES propiedades termodinámicas, lo que elimina la solución de problema iterativo a mano mediante el uso de código que llama propiedades a las propiedades termodinámicas especificados.   |
| HyperMesh           | Es un programa para los procesos previos de elementos finitos, incluye diversos algoritmos para tetraedro, hexaedro, "flujo de malla", malla de superficie media. Además incluye la capacidad para ver los elementos en una dimensión como objetos 3D, para verificar de forma visual la información de modelado de precisión, que los modelos de elementos finitos sean modelados a la perfección o que "encajen" con una superficie o con un grupo de nodos.  |
| Maple               | Maple es un programa matemático de propósito general capaz de realizar cálculos simbólicos, algebraicos y de álgebra computacional.   |
| Mathcad             | Mathcad es un programa algebraico de computadora, distribuido por PTC. En comparación a otros <i>software</i> como Scilab y MATLAB, MathCad es menos poderoso y no permite aprovechar el hardware. Su filosofía es que color un programa más de documentación que de cálculo, aunque  |

| Nombre                      | Descripción   |
|-----------------------------|---|
|                             | también es potente en este ámbito, es muy visual y permite el uso de plantillas de funciones en las que solo es necesario escribir los valores deseados, incluso para graficar funciones.   |
| MATLAB                      | Es un entorno de programación que permite el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización, y computación numérica. Se usa en una gran variedad de aplicaciones como pruebas y mediciones, control dinámico y optimización.  |
| NX Nastran o NX UNIGRAPHICS | Software que presenta varios módulos de trabajo como diseño mecánico con su simulación de movimiento y análisis por FEM, diseño de sistemas electromecánicos que incluye la simulación para modos de fallo primarios correspondientes a temperatura, vibración, polvo o humedad. Además proporciona información visual y análisis de alta definición en tecnología 3D (HD3D) para recopilar datos PLM al instante; aplicaciones para diseñar utillajes, moldes, troqueles y accesorios precisos; simulación de mecanizado para programar máquinas-herramienta; gestión de procesos de ingeniería para obtener información sobre ingeniería de productos y procesos integrada a la perfección con CAD, CAM y CAE; simulación multidisciplinar para la preparación de modelos, resolución de problemas y posprocesamiento.  |
| Pro/ENGINEER                | Es un software de diseño paramétrico usado en diseño mecánico, que permite el análisis de esfuerzos y creación de archivos CAM. Permite el modelado de superficies, de sólidos, de montaje, la animación, el intercambio de datos con otros CAD, hacer dibujos y documentación de diseño, cálculo del PLM y administración de la producción.  |
| Simulink                    | Es un entorno de programación visual que funciona sobre el entorno de programación de MATLAB que se usa para la simulación y el diseño basado en modelos de sistemas dinámicos y embebidos.   |
| Solid Edge                  | Es un sistema parametrizado que contiene herramientas para eliminar los errores de diseño y reducir así el tiempo de desarrollo y los costes. Se crean prototipos virtuales en 3D de los productos y se aprovecha el conocimiento con el que se consigue un proceso de ingeniería preciso y sin errores. Puede emplearse para operaciones específicas para el proceso de modelado de la industria de los plásticos, gestión de datos de conjunto desde las primeras fases de planificación del proyecto hasta los ciclos de revisión, fabricación, mantenimiento del proyecto y archivado, verificación visual del movimiento en un ensamble o verificación de interferencias en todo el rango de movimiento. En el diseño de ensamblajes, admite tanto la técnica "top-down" como "bottom-up", permite dividir las tareas de diseño entre los miembros del equipo, presentar los subensamblajes a medida que se terminan y garantizar un producto final homogéneo. Permite la simulación de desplazamientos complejos, detección de interferencias y creación de animaciones de un ensamblaje con facilidad y precisión, además puede realizar análisis con elementos finitos. Puede compartir los datos de diseño y colaborar: SmartView, WebPublisher. |
| SolidWorks                  | Permite el modelado en 3D, la validación (simulación o análisis CAE o FEM), así como administración de datos de los productos o datos de ingeniería, y la documentación de productos, tal como creación de manuales, instructivos y guías, entre otros. Provee herramientas para: Modelar productos de plástico, lámina, estructurales, moldes, componentes mecánicos, tuberías, cableados, manufactura de plásticos, simulación cinemática del funcionamiento y de accionamientos mecánicos obteniendo velocidades, aceleraciones, torques y potencias, por mencionar algunos.   |

### Índice RIME o ICGM

$$I = MT$$

$I$  = índice Rime O ICGM

$M$  = código máquina

$T$  = código trabajo

## Calidad

### Tiempo de ciclo

$$t_c = \frac{t_d}{U_p} \quad U = \frac{P_R}{C_D} \cdot 100$$

$$ET = \frac{\sum_{i=1}^n \text{tiempo de la tarea } i}{\text{tiempo del ciclo}}$$

$t_c$  = tiempo de ciclo  
 $t_d$  = tiempo disponible  
 $U_p$  = unidades por procesar  
 $U$  = porcentaje de utilización  
 $P_R$  = producción real  
 $C_D$  = capacidad diseñada  
 $ET$  = número de estaciones de trabajo

### Modelo de tamaño del lote económico básico (EOQ)

$$Q' = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{H}}$$

$Q'$  = tamaño de lote económico  
 $D$  = demanda anual  
 $S$  = costo promedio de hacer un pedido de material  
 $H$  = costo de almacenar una unidad en el inventario

### Eficiencia en el trabajo

$$\varepsilon = \frac{P_R}{C_e}$$

$$i_m = \frac{t_m}{t_u}$$

$\varepsilon$  = eficiencia en el trabajo  
 $P_R$  = producción real  
 $C_e$  = capacidad efectiva  
 $i_m$  = índice de utilización de la máquina  
 $t_m$  = tiempo de marcha  
 $t_u$  = tiempo utilizable

### Número de ciclos por observar

$$n = \frac{s \cdot t^2}{k \cdot x}$$

$n$  = número de ciclos a observar  
 $t$  = valor en tabla "t Student"  
 $s$  = desviación estándar  
 $k$  = porcentaje de error  
 $x$  = tiempo medio

### Correlación

$$r_{XY} = \frac{\sum(X \cdot Y) - (\bar{X} \cdot \bar{Y})}{S_X \cdot S_Y}$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum X^2}{N} - \bar{X}^2}$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum Y^2}{N} - \bar{Y}^2}$$

$r_{XY}$  = coeficiente de correlación  
 $S_X$  = desviación estándar de X  
 $S_Y$  = desviación estándar de Y  
 $\bar{X}$  = media de X  
 $\bar{Y}$  = media de Y  
 $N$  = número de datos

### Error estándar de la producción

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p \cdot q}{n}}$$

$\sigma_p$  = error estándar  
 $p$  = porcentaje de tiempo inactivo  
 $q$  = porcentaje de tiempo en marcha  
 $n$  = número de observaciones o tamaño de la muestra

### Pronóstico (suavización exponencial)

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1}$$

$F_t$  = pronóstico para el periodo  $t$   
 $F_{t-1}$  = pronóstico para el periodo  $t-1$   
 $A_{t-1}$  = valor real del periodo  $t-1$   
 $\alpha$  = constante de suavización de 0 a 1

### Índice de prioridad de riesgo

$$IPR = F \times G \times D$$

$F$  = frecuencia de que ocurra un evento  
 $G$  = gravedad del modo de fallo  
 $D$  = valor detectado

### Balanceo de líneas

$$t_c = \frac{t_p}{P}$$

$$N = \frac{\sum t}{t_c}$$

$$E = \frac{\sum t}{N_r \cdot t_e}$$

$t_c$  = tiempo de ciclo  
 $t_p$  = tiempo de producción por día  
 $P$  = producción por día  
 $N$  = número de estaciones  
 $t$  = tiempo de las tareas  
 $E$  = eficiencia  
 $N_r$  = número real de estaciones de trabajo  
 $t_e$  = tiempo de ciclo de la estación de trabajo

### Inventarios

$$CT = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

$CT$  = costo total anual  
 $D$  = demanda (anual)  
 $C$  = costo por unidad  
 $Q$  = volumen de la orden (cantidad óptima)  
 $S$  = costo por preparación o por colocar una orden  
 $L$  = tiempo de entrega  
 $H$  = costo anual de mantener y almacenar una unidad del inventario promedio

### Punto de reorden

$$R = L \cdot D$$

$R$  = punto de reorden  
 $D$  = demanda diaria promedio  
 $L$  = tiempo de entrega en días

### Punto de reorden considerando existencia de seguridad

$$R = D \cdot L + z \cdot \sigma_L$$

$R$  = punto de reorden  
 $D$  = demanda diaria promedio  
 $L$  = tiempo de entrega en días  
 $z$  = número de desviaciones estándar para una probabilidad específica de servicio

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad \sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^L \sigma_{d_i}^2}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_i^2}$$

$\sigma_L$  = desviación estándar de uso durante el tiempo de entrega

$n$  = número de días

$d$  = demanda diaria

$\sigma_d$  = desviación estándar de la demanda a lo largo de un periodo de  $n$  días

$\sigma_s$  = desviación estándar de una serie de demandas independientes

### Cantidad óptima de la orden en un periodo fijo

$$q = D \cdot (T + L) + z \cdot \sigma_{T+L} - I$$

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_{d_i}^2}$$

$q$  = punto de reorden

$D$  = demanda diaria promedio

$T$  = cantidad de días entre revisiones

$L$  = tiempo de entrega en días

$z$  = número de desviaciones estándar para una probabilidad específica de servicio

$\sigma_{T+L}$  = desviación estándar de la demanda entre revisiones y tiempo de entrega

$I$  = nivel corriente del inventario

### Punto de equilibrio

$$PE = \frac{CFT}{P - CV}$$

$PE$  = punto de equilibrio, en términos de unidades vendidas

$CFT$  = costos fijos totales

$CV$  = costo variable unitario

$P$  = precio unitario del producto

## Ingeniería económica

### Valor del dinero en el tiempo

$$VF = VP(1+i)^n$$

$$PR = VF \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

$$PR = VP \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$VF = PR \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

$$VP = PR \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{FE_t}{(1+i)^t}$$

$$VPN = FE_{fijo} \left[ \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^{n+1}}{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)} \right]; i \neq 0$$

$VF$  = valor futuro de un activo

$VP$  = valor presente de un activo

$i$  = interés cargado por período de capitalización

$n$  = número de períodos de capitalización

$PR$  = pago recurrente

$VPN$  = valor presente neto de flujos de efectivo futuros

$FE_t$  = flujos de efectivo variables en el tiempo  $t$

$FE_{fijo}$  = flujos de efectivo constantes en el tiempo

### Retorno sobre inversiones

$$RI = \frac{GI - CI}{CI}$$

$$N = \frac{CI}{GI_N}$$

$RI$  = retorno sobre la inversión simple

$GI$  = ganancias producto de una inversión

$CI$  = costo de una inversión

$N$  = número de períodos para recuperación de una inversión

$GI_N$  = ganancias de una inversión en un período  $N$

### Depreciación

$$DU = \frac{CI - VR}{N}$$

$$DA = DU \cdot n$$

$$DU_n = \frac{(N+1) - n}{N(N+1) \frac{1}{2}} (CI - VR)$$

$$DA_n = \sum_{t=1}^n \frac{(N+1) - t}{N(N+1) \frac{1}{2}} (CI - VR)$$

$DU$  = depreciación simple por unidad de tiempo

$CI$  = costo de una inversión

$VR$  = valor residual de una inversión

$N$  = número de períodos para depreciar una inversión

$DA$  = depreciación simple acumulada al período  $n$

$n$  = período de acumulación

$DU_n$  = depreciación acelerada\* por unidad de tiempo

$DA_n$  = depreciación acelerada\* acumulada al período  $n$

\* Por el método de suma de dígitos.

Mejora continua

Tabla I. Criterios de los modelos de mejora continua

| Criterios                | Modelo |        |        |             |            |               |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------------|------------|---------------|
|                          | EFQM   | Deming | Kaizen | Los 7 pasos | Seis-Sigma | Philip Crosby |
| Cientes                  | x      | x      | x      | x           | x          | x             |
| Liderazgo                | x      | x      | x      | x           | x          | x             |
| Planeación               | x      | x      | x      | x           | x          | x             |
| Información/conocimiento |        |        |        | x           | x          | x             |
| Personal                 | x      | x      | x      | x           |            | x             |
| Procesos                 | x      | x      | x      | x           | x          | x             |
| Mejoramiento continuo    | x      | x      | x      | x           | x          | x             |
| Impacto social           | x      |        | x      |             |            |               |
| Resultados               | x      | x      | x      | x           | x          | x             |

Estadística descriptiva

Para datos no agrupados

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$M_e = X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad \text{para } n \text{ impar}$$

$$M_e = \frac{X_{\left(\frac{n}{2}\right)} + X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}}{2} \quad \text{para } n \text{ par}$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$\bar{X}$  = media aritmética

$X_i$  = valores de la variable X (datos de la muestra)

$n$  = número de datos

$M_e$  = mediana

$s_x^2$  = varianza para una muestra

$\sigma_x^2$  = varianza para una población

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2$$

Para datos agrupados

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n (f_i)}$$

$$M_e = L_i + \left( \frac{\frac{n}{2} - f_{i-1}}{f_i} \right) \cdot c$$

$$M_o = L_i + \left( \frac{D_1}{D_1 + D_2} \right) \cdot c$$

$$D_1 = f_i - f_{i-1} \quad D_2 = f_i - f_{i+1}$$

$\bar{X}$  = media aritmética

$X_i$  = valores de la variable X (datos de la muestra)

$f_i$  = frecuencia del intervalo

$f_{i-1}$  = frecuencia premodal

$f_{i+1}$  = frecuencia posmodal

$c$  = intervalo o marca de clase

$n$  = número de datos

$M_e$  = mediana

$M_o$  = moda

$s_x^2$  = varianza para una muestra

$\sigma_x^2$  = varianza para una población

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})^2 \cdot f_i]$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(X_i - \mu)^2 \cdot f_i]$$

### Análisis de regresión lineal simple

$$\text{Si } \bar{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\bar{x}$$

Y se cuenta con  $n$  parejas de datos  $x, y$   
entonces

$$\hat{\beta} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$
$$\hat{\alpha} = \frac{\sum y - \hat{\beta} \sum x}{n}$$

$x$  = variable independiente

$y$  = variable dependiente

$\hat{\alpha}$  = mejor estimador de la ordenada al  
origen

$\hat{\beta}$  = mejor estimador de la pendiente

## Automatización y control

### Ingeniería de control

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{k}{\tau s + 1}$$

Función de transferencia de sistema de primer orden

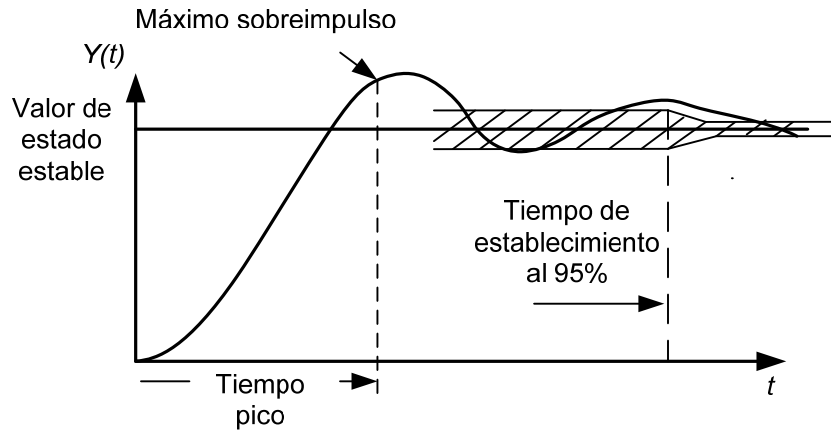
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

Función de transferencia de sistema de primer orden con tiempo muerto diferente de cero

$$\omega_d = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \zeta^2}$$

Frecuencia natural amortiguada

### Respuesta escalón de un elemento de transferencia

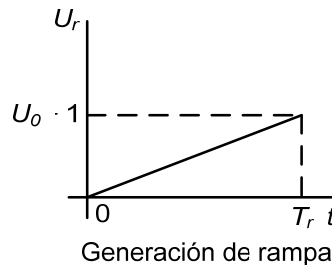


$$U_r(t) = \frac{U_0}{T_r} r(t) = \frac{U_0}{T_r} \int_0^t \varepsilon(t) dt = \frac{U_0}{T_r} t \varepsilon(t)$$

Respuesta rampa

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & \text{para } t < 0 \\ 1 & \text{para } t \geq 0 \end{cases}$$

$T_r$  = tiempo de rampa  
 $\varepsilon(t)$  = escalón unitario



Elementos de un diagrama de control

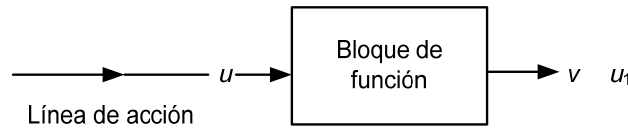


Diagrama de un sistema de lazo cerrado.

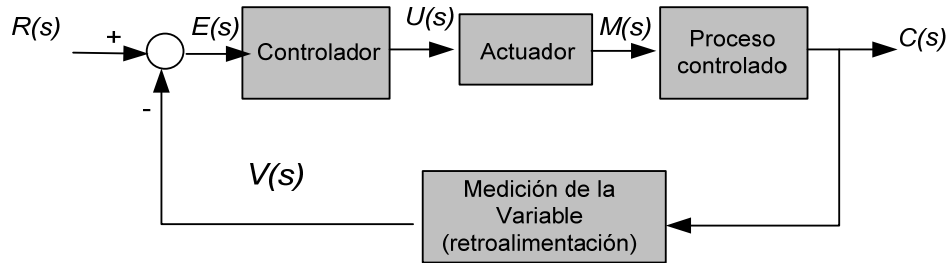
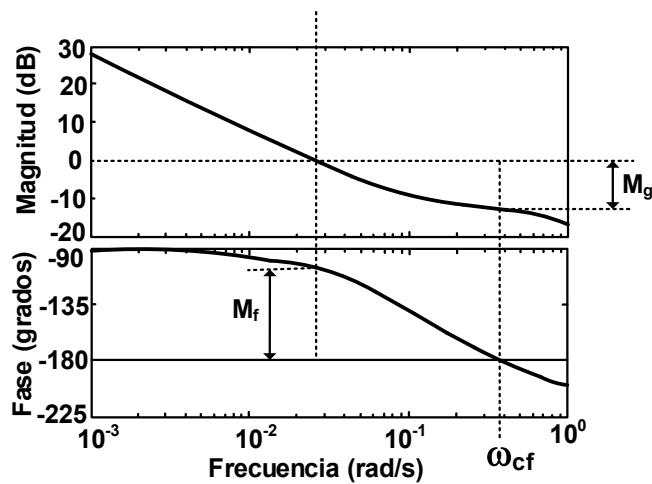


Diagrama de Bode



$M_g$  = margen de ganancia  
 $M_f$  = margen de fase  
 $\omega_{cg}$  = frecuencia de cruce de ganancia  
 $\omega_{cf}$  = frecuencia de cruce de fase

Reglas para determinar la función de transferencia del circuito de control total

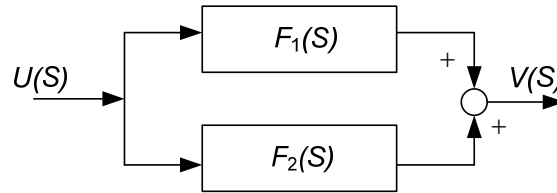
$$\frac{V(s)}{U(s)} = F_1(s) \cdot F_2(s)$$

Combinación en serie



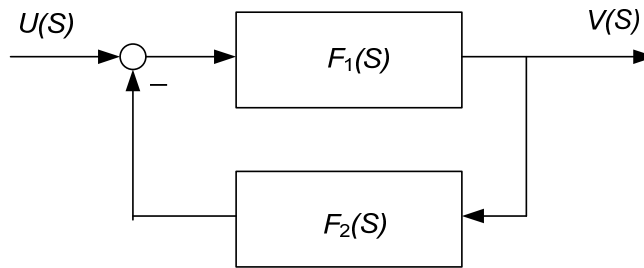
$$\frac{V(s)}{U(s)} = F_1(s) + F_2(s)$$

Combinación en paralelo



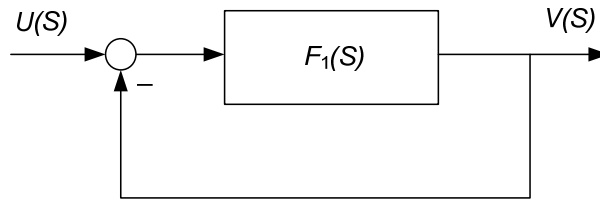
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{F_1(s)}{1 + F_1(s) \cdot F_2(s)}$$

Retroalimentación



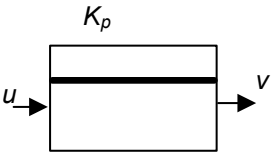
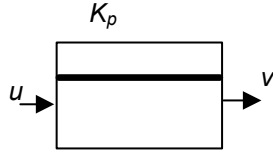
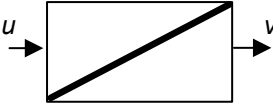
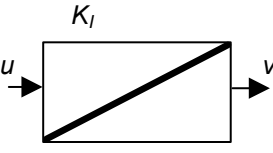
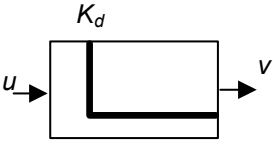
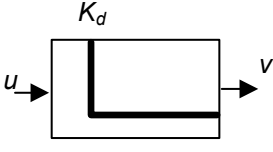
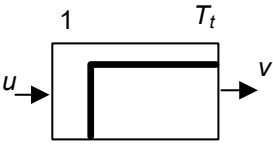
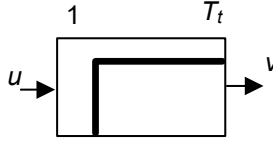
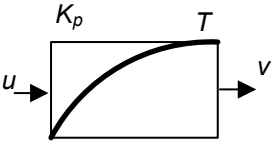
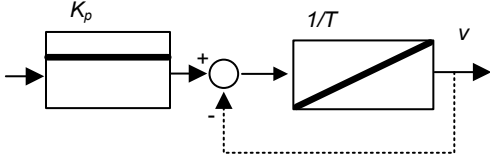
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{F_1(s)}{1 + F_1(s)}$$

Retroalimentación directa



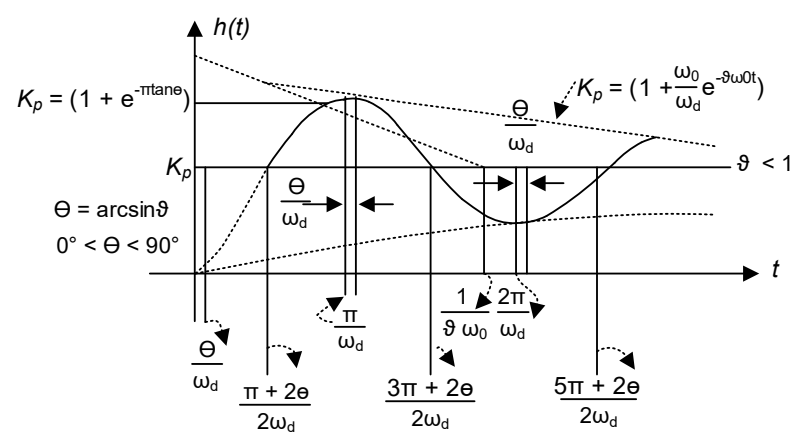
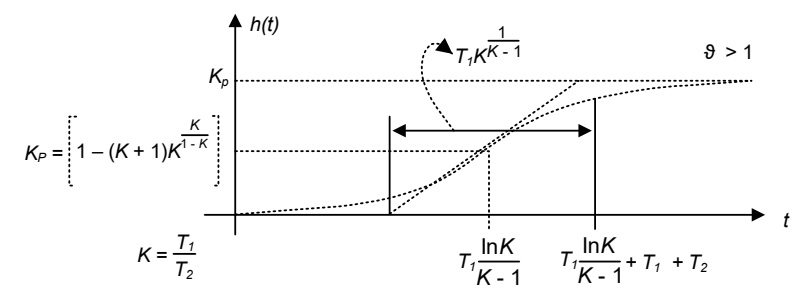
Elementos primitivos de transferencia

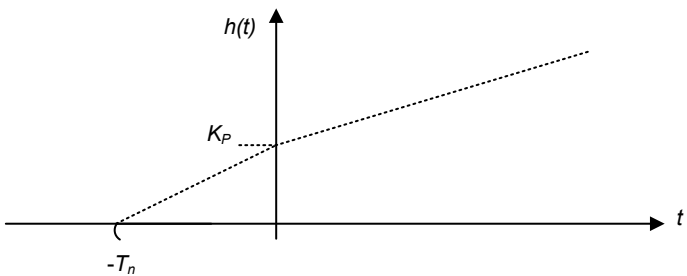
Elementos de retardo de primer orden

| <p>Identificador</p> <p>-----</p> <p>Símbolo en el diagrama de control</p>   | <p>Ecuación en el dominio del tiempo</p>                           | <p>Ejemplos de estructura</p>   |
|--|--|---|
| <p>P</p> <p>-----</p>                       | $v = K_p \cdot u$  |  <p>Elemento proporcional</p>       |
| <p>I</p> <p>-----</p>                       | $v = K_I \int u dt$ $= K_I \int_0^t u dt + v(0)$ $\dot{v} = K_I u$ |  <p>Elemento integral</p>           |
| <p>D</p> <p>-----</p>                     | $v = K_d \cdot \dot{u}$ $\int v dt = K_d \cdot u$                  |  <p>Elemento derivativo</p>        |
| <p><math>T_t</math></p> <p>-----</p>      | $v(t) = u(t - T_t)$  |  <p>Elemento de tiempo muerto</p> |
| <p><math>P - T_1</math></p> <p>-----</p>  | $v + T \dot{v} = K_p \cdot u$                                      |  <p>Elemento P - T</p>            |

Elementos de retraso de segundo orden

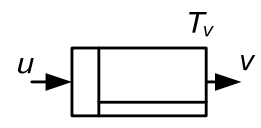
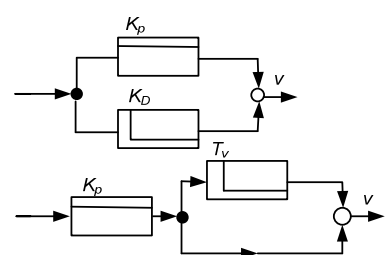
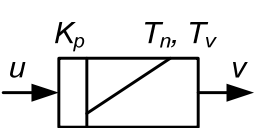
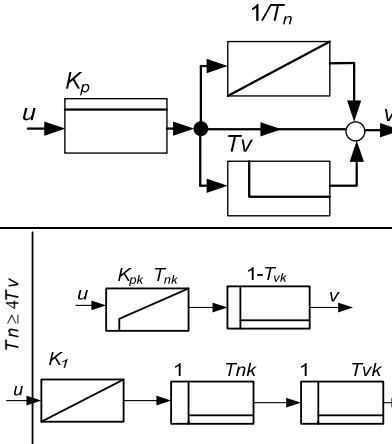
Elemento PI de combinación en paralelo

| <p><b>Función de transferencia</b></p> $\frac{V(s)}{U(s)} =$  | <p><b>Respuesta escalón unitario, ecuación <math>h(t) =</math></b></p> <hr/> <p><b>Diagrama</b></p>   |
|---|---|
| $\frac{K_p}{1 + 2\frac{g}{\omega_0} + \left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 \cdot s^2}$ <p><math>0 &lt; g &lt; \infty</math></p>              | $k_p \left[ 1 - \frac{\omega_0}{\omega_d} e^{g\omega_0 t} \cdot \cos(\omega_d t - \theta) \right]; \omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - g^2}$ <p><math>\theta = \arcsin g</math></p> <p><math>0 \leq \theta \leq 90^\circ</math></p> <hr/>  |
| $\frac{K_p}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$ <p><math>T_{1,2} = \frac{1}{\omega_0} (g \pm \sqrt{g^2 - 1})</math></p> <p><math>g &gt; 1</math></p> | $K_p = \left[ 1 - \frac{1}{T_1 - T_2} \left( T_1 e^{\frac{t}{T_1}} - T_2 e^{\frac{t}{T_2}} \right) \right]$ <hr/>   |

|  |  |
|--|--|
| <b>Función de transferencia</b><br>$\frac{V(s)}{U(s)} =$ | <b>Respuesta escalón unitario, ecuación <math>h(t) =</math></b><br><hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <b>Diagrama</b>             |
| $\frac{K_I T}{s} + K_p$                                  | $K_I t + K_p = K_p \left( 1 + \frac{t}{T_n} \right)$<br> |

**Elementos PD, PID de combinación en paralelo**

**Elementos I-TT y D-T1 de combinación serie**

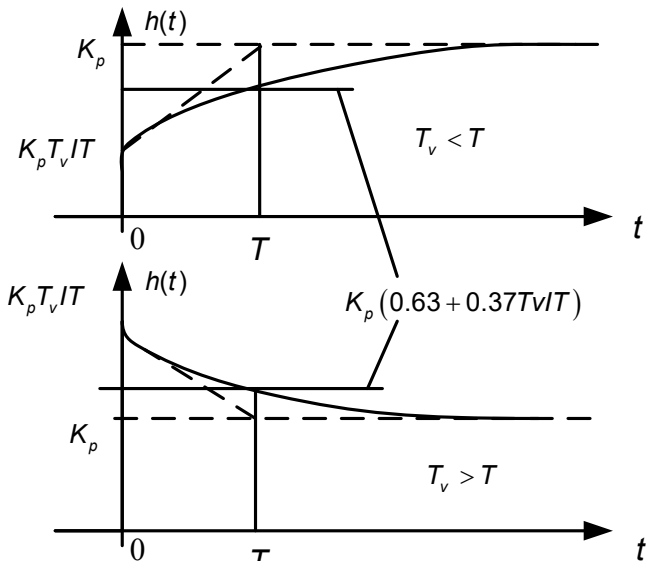
| <b>Identificador símbolo en el diagrama de control</b>   | <b>Ecuación del dominio del tiempo</b>   | <b>Ejemplos de estructura</b>  |
|--|--|--|
| <p style="text-align: center;">PD</p>   | $v = K_p \cdot u + K_D \cdot \dot{u}$ $= K_p \left( u + T_v \cdot \dot{u} \right)$ $T_v = \frac{K_D}{K_p}$   |  |
| <p style="text-align: center;">PID</p>  | $v = k_i \int u dt + K_p \cdot u + K_D \cdot \dot{u}$ $= K_p \left[ \frac{1}{T_n} \int u dt + u + T_v \cdot \dot{u} \right]$ $T_n = \frac{K_p}{K_i} ; T_v = \frac{K_D}{K_p}$ |  |

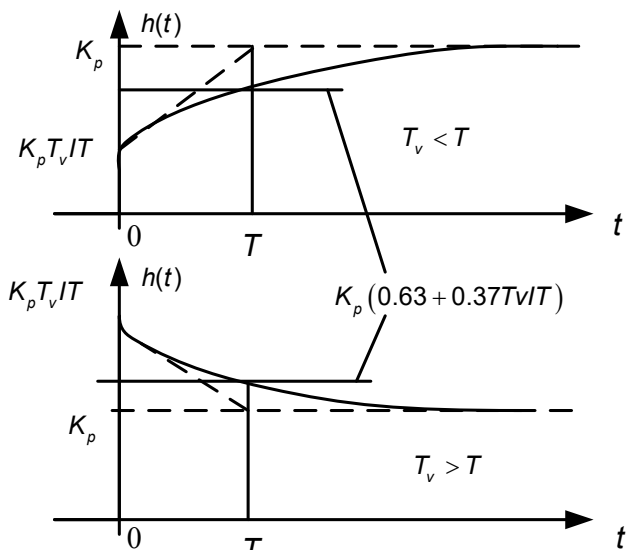
| Identificador símbolo en el diagrama de control | Ecuación del dominio del tiempo     | Ejemplos de estructura |
|---|-------------------------------------|------------------------|
|   | $v + T \dot{v} = K_I \int u dt$     |                        |
|   | $v + T \dot{v} = K_D \cdot \dot{u}$ |                        |

**Elementos de combinación en serie**

**Elementos (PD)-T<sub>1</sub> y PID-tT<sub>1</sub> de combinación en grupo**

| Función de transferencia $\frac{V(s)}{U(s)}$   | Respuesta escalón unitario, ecuación $h(t) =$<br>Diagrama  |
|--|--|
| $\frac{K_D \cdot s}{1 + 2 \frac{\vartheta}{\omega_0} s + \left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 s^2}$ | $K_D = \frac{\omega_0^2}{\omega_d} \cdot e^{-\theta \omega_0 t}; \quad \omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \vartheta^2}$<br>                 |
|  | $K_p + \left[ \frac{K_D}{T} - k_p \right] e^{-\frac{t}{T}} = K_p \left[ 1 + \left( \frac{t_v}{T} - 1 \right) e^{-\frac{t}{T}} \right]$ |

| <b>Función de transferencia</b><br>$\frac{V(s)}{U(s)} =$  | <b>Respuesta escalón unitario, ecuación <math>h(t) =</math></b><br><b>Diagrama</b> |
|---|--|
| $\frac{K_p + K_D \cdot s}{1 + T \cdot s} = K_p \frac{1 + T_v \cdot s}{1 + T \cdot s}$ $= K_p + K_p \frac{(T_v - T) \cdot s}{1 + T \cdot s}$ $T_v - T = T_v^*$ |  |

| <b>Función de transferencia</b><br>$\frac{V(s)}{U(s)} =$  | <b>Respuesta escalón unitario, ecuación <math>h(t)</math></b><br><b>Diagrama</b>  |
|---|---|
| $\frac{\frac{K_1}{s} + K_p + K_D \cdot s}{1 + T \cdot s} = K_p \frac{1}{(T_n \cdot s) + 1 + T_v \cdot s}$ $= K_p \left[ \frac{1}{T_n \cdot s} + \frac{T_n^*}{T_n} + \frac{T_n T_v - T T_n^*}{T_n (1 + T \cdot s)} \right]$ $T_n = \frac{K_p}{K_1}; \quad T_v = \frac{K_D}{K_p}$ $T_n^* = T_n - T$ | $K_p - K_1 T + K_1 t + \left[ K_1 T - K_p + K_D \frac{1}{T} \right] e^{-\frac{t}{T}}$ $= K_p \left[ 1 - \frac{T}{t_n} + \frac{t}{T_n} + \left( \frac{T}{T_n} - 1 + \frac{T_v}{T} \right) e^{-\frac{t}{T}} \right]$  |

*Reglas empíricas para ajustar elementos de control P, PI y PID*

Se conocen  $K_{py}$ ,  $T_y$  y  $T_{ty}$  del sistema controlado:

| Controlador | $K_{pr}$                              | $T_n$       | $t_v$       |
|-------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
| P           | $\frac{T_y}{K_{py} \cdot T_{ty}}$     |             |             |
| PI          | $0.9 \frac{T_y}{K_{py} \cdot T_{ty}}$ | $3.3T_{ty}$ |             |
| PID         | $1.2 \frac{T_y}{K_{py} \cdot T_{ty}}$ | $2T_{ty}$   | $0.5T_{ty}$ |

Se desconocen los datos característicos del sistema controlado:

| Controlador | $K_{pr}$           | $T_n$            | $t_v$             |
|-------------|--------------------|------------------|-------------------|
| P           | $0.5K_{pRcrit^*}$  |                  |                   |
| PI          | $0.45K_{pRcrit^*}$ | $0.83T_{crit^*}$ |                   |
| PID         | $0.6K_{pRcrit^*}$  | $0.5T_{crit^*}$  | $0.125T_{crit^*}$ |

*Métodos de Hurwitz para determinar la estabilidad*

Ecuación característica:

$$a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n = 0$$

Condiciones de estabilidad para ecuaciones de:

primer grado

$$a_0 \text{ y } a_1 > 0$$

segundo grado

$$a_0, a_1, a_2 > 0$$

tercer grado

$$a_1 \cdot a_2 - a_3 \cdot a_0 > 0$$

*Métodos de Routh-Hurwitz para determinar la estabilidad*

Ecuación característica:

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

$$\begin{array}{c|cccc}
 s^n & a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots \\
 s^{n-1} & a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots \\
 s^{n-2} & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \dots \\
 s^{n-3} & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 s^2 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 s^1 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 s^0 & \delta_1 & & & 
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{l}
 \alpha_1 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-2}) - (a_n * a_{n-3})}{a_{n-1}} \\
 \alpha_2 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-4}) - (a_n * a_{n-5})}{a_{n-1}} \\
 \alpha_3 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-6}) - (a_n * a_{n-7})}{a_{n-1}} \\
 \vdots
 \end{array}
 \right|
 \left|
 \begin{array}{l}
 \beta_1 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-3}) - (a_{n-1} * \alpha_2)}{\alpha_1} \\
 \beta_2 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-5}) - (a_{n-1} * \alpha_3)}{\alpha_1} \\
 \beta_3 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-7}) - (a_{n-1} * \alpha_4)}{\alpha_1} \\
 \vdots
 \end{array}
 \right|
 \dots$$

Fuente: Miranda Medrano, J. A. Fundamentos de la Medición y Control de Procesos. Palibrio

### Abreviaturas

#### Tipos de elementos de transferencia

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <i>D</i>                   | Elemento derivado                                      |
| <i>D-T<sub>1</sub></i>     | Elemento derivado con retraso de 1 <sup>er</sup> orden |
| <i>D-T<sub>2</sub></i>     | Elemento derivado con retraso de 2 <sup>o</sup> orden  |
| <i>I</i>                   | Elemento integral                                      |
| <i>I-T<sub>1</sub></i>     | Elemento integral con retraso de 1 <sup>er</sup> orden |
| <i>P</i>                   | Elemento proporcional                                  |
| <i>PD</i>                  | Elemento derivado proporcional                         |
| <i>PI</i>                  | Elemento integral proporcional                         |
| <i>PID</i>                 | Elemento derivado integral proporcional                |
| <i>P-T<sub>1</sub></i>     | Elemento de retraso de 1 <sup>er</sup> orden           |
| <i>P-T<sub>2</sub></i>     | Elemento de retraso de 2 <sup>o</sup> orden            |
| <i>(PD)-T<sub>1</sub></i>  | Elemento PD con retraso de 1 <sup>er</sup> orden       |
| <i>(PID)-T<sub>1</sub></i> | Elemento PID con retraso de 1 <sup>er</sup> orden      |
| <i>T<sub>1</sub></i>       | Elemento de tiempo muerto                              |

### Símbolos usados para términos de ingeniería de control

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| $e$                                | Variable de error  |
| $m_F$                              | Pendiente de la amplitud de la respuesta en el diagrama de Bode  |
| $r$                                | Variable de retroalimentación  |
| $u$                                | Variable de entrada  |
| $v$                                | Variable de salida   |
| $v_m$                              | Sobrepaso de la función escalón unitario de un elemento de transferencia   |
| $w$                                | Variable de referencia   |
| $w^*$                              | Variable objetivo  |
| $x$                                | Variable controlada  |
| $x_A$                              | Variable controlada final  |
| $x_m$                              | Sobretiro de la variable controlada  |
| $y$                                | Variable reguladora  |
| $z$                                | Variable de perturbación   |
| $F(j\omega)$                       | Frecuencia de la respuesta   |
| $V(s)/U(s)$                        | Función de transferencia   |
| $F(\omega)$                        | Amplitud de la respuesta   |
| $F_o(j\omega)$                     | Frecuencia de la respuesta del circuito abierto de control   |
| $F_o(s)$                           | Función de transferencia del circuito abierto de control   |
| $F_o(\omega)$                      | Amplitud de la respuesta del circuito abierto de control   |
| $F_R(\omega)$                      | Amplitud de la respuesta del elemento de control   |
| $F_y(\omega)$                      | Amplitud de la respuesta de la conexión en serie del sistema controlado y el equipo de medición  |
| $K_D$                              | Coefficiente de acción derivada  |
| $K_I$                              | Coefficiente de acción integral  |
| $K_P$                              | Coefficiente de acción proporcional  |
| $R_F(0)$                           | Factor de control  |
| $K_{Pk}(\omega)$                   | Coefficiente de acción proporcional en la representación en serie del elemento PID con $T_n > 4T_v$  |
| $K_{IR}(\omega)$                   | Coefficiente de acción integral del elemento controlado  |
| $K_{PR}$                           | Coefficiente de acción proporcional del elemento controlado  |
| $T$                                | Tiempo de retraso  |
| $T_g$                              | Tiempo de crecimiento  |
| $T_h$                              | Periodo de vida media  |
| $T_n$                              | Tiempo de restablecimiento   |
| $T_{fin}$                          | Tiempo para alcanzar el estado estable   |
| $T_{inicio}$                       | Tiempo para alcanzar la tolerancia inferior  |
| $T_u$                              | Tiempo muerto equivalente  |
| $T_v$                              | Tiempo de derivada   |
| $T_{nk}, (T_{vk})$                 | Tiempo de restablecimiento (tiempo de derivada) en la representación en serie del elemento PID con $T_n > 4T_v$  |
| $T_{nk\delta}, (T_{vk\delta})$     | Tiempo de restablecimiento (tiempo de derivada) en la representación en serie del elemento PID con $T_n > 4T_v$ , determinado según el requisito de la fase                |
| $T_{nk\epsilon}, (T_{vk\epsilon})$ | Tiempo de restablecimiento (tiempo de derivada) en la representación en serie del elemento PID con $T_n > 4T_v$ , determinado según el requisito del margen de ganancia    |
| $\epsilon$                         | Margen de ganancia   |
| $\delta$                           | Margen de fase   |
| $\phi\delta$                       | Fase de la conexión en serie (sistema controlado, equipo de medición) en la frecuencia angular de cruce de ganancia $\omega_D$ , que cumple con el margen de fase $\delta$ |
| $\phi\epsilon$                     | Fase de la conexión en serie (sistema controlado, equipo de medición) en la frecuencia angular de cruce de fase $\omega_\pi$   |
| $\phi(\omega)$                     | Fase de la respuesta   |
| $\phi_o(\omega)$                   | Fase de la respuesta del circuito abierto de control   |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| $\phi_R(\omega)$          | Fase de la respuesta del elemento de control  |
| $\phi_Y(\omega)$          | Fase de la respuesta de la conexión en serie del sistema controlado y el equipo de medición |
| $\beta$                   | Frecuencia de amortiguamiento   |
| $\omega$                  | Frecuencia angular  |
| $\omega_0$                | Frecuencia angular característica   |
| $\omega_\delta$           | Frecuencia angular propia   |
| $\omega_D$                | Frecuencia angular de cruce de ganancia   |
| $\omega_E$                | Frecuencia angular en el quiebre  |
| $\omega_{D\delta}$        | Frecuencia angular de cruce de ganancia al cumplir con la condición de margen de fase       |
| $\omega_{D\varepsilon}$   | Frecuencia angular de cruce de ganancia al cumplir con la condición de margen de ganancia   |
| $\omega_\pi$              | Frecuencia angular de cruce de fase   |
| $\omega_{\pi\varepsilon}$ | Frecuencia angular de cruce de fase, cumpliendo con el margen de ganancia $\varepsilon$     |
| $\tau$                    | Constante de tiempo del sistema   |
| $\zeta$                   | Factor de amortiguamiento   |

Simbología de control

| Designación | Tabla de función   | Ecuación | Símbolo DIN 40900-12 | Símbolo ISO 1219/1 neumática | Símbolo DIN en 60617-7 eléctrico |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
|-------------|--|----------|----------------------|------------------------------|----------------------------------|---|---|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------------|--|--|--|
| Identidad   | <table border="1"> <tr><th>E</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>  | E        | A                    | 0                            | 0                                | 1 | 1 | $A = E$       |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| E           | A  |          |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 0  |          |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 1  |          |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| Negación    | <table border="1"> <tr><th>E</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>  | E        | A                    | 0                            | 1                                | 1 | 0 | $A = \bar{E}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| E           | A  |          |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 1  |          |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 0  |          |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| OR          | <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>E3</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table> | E1       | E2                   | E3                           | 0                                | 0 | 0 | 0             | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | $A = E1 \vee E2$            |  |  |  |
| E1          | E2   | E3       |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 1  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 1  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| AND         | <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>  | E1       | E2                   | A                            | 0                                | 0 | 0 | 0             | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | $A = E1 \wedge E2$          |  |  |  |
| E1          | E2   | A        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 1  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| Inhibición  | <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>  | E1       | E2                   | A                            | 0                                | 0 | 0 | 0             | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | $A = E1 \wedge \bar{E2}$    |  |  |  |
| E1          | E2   | A        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| Implicación | <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>  | E1       | E2                   | A                            | 0                                | 0 | 1 | 0             | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | $A = E1 \vee \bar{E2}$      |  |  |  |
| E1          | E2   | A        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 1  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| NOR         | <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>  | E1       | E2                   | A                            | 0                                | 0 | 1 | 0             | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | $A = \overline{E1 \vee E2}$ |  |  |  |
| E1          | E2   | A        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 0           | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |
| 1           | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |                             |  |  |  |

## Algebra de Boole

a) Propiedad conmutativa:

$$\begin{aligned} a + b + c + d &= d + c + b + a \\ a \cdot b \cdot c \cdot d &= d \cdot c \cdot b \cdot a \\ d \cdot c \cdot b \cdot a + d \cdot c \cdot a + b \cdot c &= d \cdot c \cdot a + c \cdot b + d \cdot a \cdot c \cdot b \end{aligned}$$

b) Propiedad asociativa:

$$\begin{aligned} a + b + c + d &= (a + b) + (c + d) \\ d \cdot c \cdot b \cdot a &= (d \cdot c) \cdot (b \cdot a) \end{aligned}$$

c) Propiedad distributiva:

$$\begin{aligned} a \cdot (b + c) &= a \cdot b + a \cdot c \\ a + (b \cdot c) &= (a + b) \cdot (a + c) \end{aligned}$$

d) Propiedad de identidad de elementos neutros 0 y 1:

$$\begin{aligned} 0 + a &= a \\ 1 \cdot a &= a \end{aligned}$$

e) Leyes del algebra de Boole:

$$\begin{array}{lll} a + 0 = a & a \cdot 0 = 0 & \bar{\bar{a}} = a \\ a + 1 = 1 & a \cdot 1 = a & a + ab = a \\ a + a = a & a \cdot a = a & a + \bar{a}b = a + b \\ a + \bar{a} = 1 & a \cdot \bar{a} = 0 & (a+b)(a+c) = a + bc \end{array}$$

f) Suma y resta binaria:

$$\begin{array}{ll} 0 + 0 = 0 & 0 - 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 & 0 - 1 = 1 \\ 1 + 0 = 1 & 1 - 0 = 1 \\ 1 + 1 = 10 & 1 - 1 = 0 \end{array}$$

g) Teorema de Shanon: Cualquier expresión booleana negada es equivalente a la misma expresión en la que todas las variables son negadas y se sustituyen las operaciones (+) por (·) y viceversa:

$$((a + b) \cdot c)' = (a \cdot b)' + c'$$

h) Primer teorema de De Morgan: El complemento de un producto de variables es igual a la suma de los complementos de las variables:

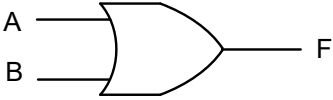
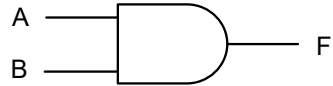
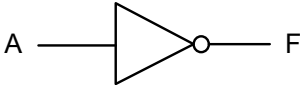
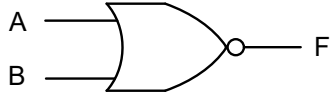
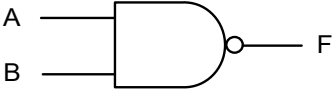
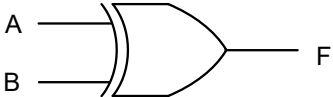
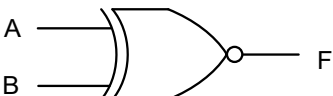
$$(a \cdot b)' = a' + b'$$

- i) Segundo teorema de De Morgan: El complemento de una suma de variables es igual al producto de los complementos de las variables:

$$(a + b)' = a' \cdot b'$$

| Designación     | Tabla de función   | Ecuación | Símbolo DIN 40900-12 | Símbolo ISO 1219/1 neumática | Símbolo DIN en 60617-7 eléctrico |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
|-----------------|--|----------|----------------------|------------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------------------|---|---|---|---|--|--|--|--|
| NAND            | <table border="1"> <tr> <td>E1</td> <td>E2</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>  | E1       | E2                   | A                            | 0                                | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | $A = \overline{E1 \wedge E2}$ |   |   |   |   |  |  |  |  |
| E1              | E2   | A        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 1  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 1               | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 1               | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| Memoria         | <table border="1"> <tr> <td>S</td> <td>R</td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </table> | S        | R                    | A                            | B                                | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1                             | 0 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |
| S               | R  | A        | B                    |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 1               | 0  | 1        | 0                    |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 0  | 1        | 0                    |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 1  | 0        | 1                    |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 0  | 0        | 1                    |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| Timer on delay  | <table border="1"> <tr> <td>E</td> <td>Tiempo vencido</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>   | E        | Tiempo vencido       | A                            | 0                                | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| E               | Tiempo vencido   | A        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 1               | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 1               | 1  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| Timer off delay | <table border="1"> <tr> <td>E</td> <td>Tiempo vencido</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>   | E        | Tiempo vencido       | A                            | 0                                | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| E               | Tiempo vencido   | A        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 0  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 1               | 0  | 1        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |
| 0               | 1  | 0        |                      |                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                               |   |   |   |   |  |  |  |  |

Circuitos digitales básicos

| Compuerta | Función                     | Tabla de verdad   | Símbolo |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|-----------|-----------------------------|---|---------|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| OR        | $F = A + B$                 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | A       | B | F | 0 | 0 | 0 | 0  | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |    |
| A         | B                           | F   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 0                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 1                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 0                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 1                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| AND       | $F = A \cdot B$             | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | A       | B | F | 0 | 0 | 0 | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |    |
| A         | B                           | F   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 0                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 1                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 0                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 1                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| NOT       | $F = \bar{A}$               | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>  | A       | F | 0 | 1 | 1 | 0 |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| A         | F                           |   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 1                           |   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 0                           |   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| NOR       | $F = \overline{A + B}$      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> | A       | B | F | 0 | 0 | 1 | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |    |
| A         | B                           | F   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 0                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 1                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 0                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 1                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| NAND      | $F = \overline{A \cdot B}$  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> | A       | B | F | 0 | 0 | 1 | 0  | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |   |
| A         | B                           | F   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 0                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 1                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 0                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 1                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| XOR       | $F = A \oplus B$            | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> | A       | B | F | 0 | 0 | 0 | 0  | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |  |
| A         | B                           | F   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 0                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 1                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 0                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 1                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| XNOR      | $F = \overline{A \oplus B}$ | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | A       | B | F | 0 | 0 | 1 | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |  |
| A         | B                           | F   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 0                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 0         | 1                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 0                           | 0   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1         | 1                           | 1   |         |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |

Simbología hidráulica – neumática

| Descripción   | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Compresor   |         | Bomba de desplazamiento constante                         |         |
| Bomba de desplazamiento variable                            |         | Bomba de vacío  |         |
| Motor neumático   |         | Motor neumático bidireccional                             |         |
| Motor hidráulico monodireccional de desplazamiento variable |         | Motor hidráulico bidireccional de desplazamiento variable |         |
| Motor neumático de giro limitado (rotring)                  |         | Cilindro simple efecto                                    |         |
| Cilindro doble efecto                                       |         | Cilindro doble efecto con amortiguamiento variable        |         |
| Cilindro doble vástago                                      |         | Cilindro telescópico                                      |         |
| Cilindro sin vástago  |         | Flujómetro  |         |
| Manómetro   |         | Mirilla   |         |
| Tacómetro   |         | Línea   |         |
| Línea flexible  |         | Alimentación neumática                                    |         |
| Alimentación hidráulica                                     |         | Línea de conexión   |         |
| Cruce de líneas   |         | Conexión rápida (racor) con check                         |         |
| Silenciador   |         | Salida de aire sin racor                                  |         |
| Salida de aire con racor                                    |         | Bloqueo   |         |
| Conexión rotatoria  |         | Acoplamiento conectado                                    |         |

| Descripción                                | Símbolo | Descripción                               | Símbolo |
|--|---------|---|---------|
| Acoplamiento conectado con antirretorno    |         | Acoplamiento no conectado                 |         |
| Acoplamiento no conectado con antirretorno |         | Válvula de paso                           |         |
| Filtro                                     |         | Filtro con depósito manual                |         |
| Filtro con depósito automático             |         | Enfriador                                 |         |
| Enfriador con flujo volumétrico externo    |         | Secador                                   |         |
| Lubricador                                 |         | Unidad de mantenimiento                   |         |
| Depósito                                   |         | Sensor réflex                             |         |
| Boquilla reguladora de presión             |         | Boquilla                                  |         |
| Boquilla receptora con suministro de aire  |         | Interruptor neumático con imán permanente |         |
| Accionamiento general                      |         | Botón pulsador                            |         |
| Accionamiento de jalar                     |         | Accionamiento de palanca                  |         |
| Accionamiento de pedal                     |         | Accionamiento de Leva                     |         |
| Accionamiento de resorte                   |         | Accionamiento de rodillo                  |         |
| Accionamiento de rodillo escamoteable      |         | Accionamiento de posición inicial         |         |
| Accionamiento neumático                    |         | Accionamiento de presión diferencial      |         |

| Descripción   | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Accionamiento neumático y resorte   |         | Accionamiento de solenoide                          |         |
| Accionamiento de motor eléctrico  |         | Accionamiento de motor a pasos                      |         |
| Accionamiento múltiple  |         | Símbolo de accionamiento general                    |         |
| Enclavamiento   |         | Accionamiento de dispositivo central abierto        |         |
| Válvula monoestable 2/2 vías NC   |         | Válvula monoestable 2/2 vías NO                     |         |
| Válvula monoestable 3/2 vías NC   |         | Válvula monoestable 3/2 vías NO                     |         |
| Válvula biestable 3/3 vías NC   |         | Válvula biestable 4/2 vías NO                       |         |
| Válvula biestable 4/3 vías centros cerrados   |         | Válvula biestable 4/3 vías con derivación a tanque  |         |
| Válvula biestable 5/2 vías NO   |         | Válvula biestable 5/3 vías centros cerrados         |         |
| Válvula reguladora de caudal bidireccional  |         | Válvula reguladora de caudal bidireccional variable |         |
| Válvula reguladora de caudal bidireccional variable   |         | Divisor de flujo                                    |         |
| Válvula reguladora de caudal bidireccional variable, con accionamiento mecánico y regreso por resorte |         | Válvula de presión ajustable con alivio             |         |

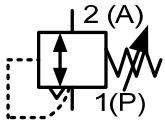
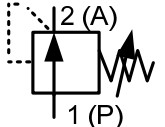
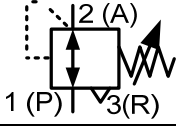
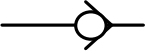
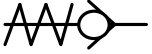
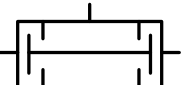
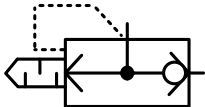
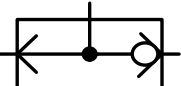

| Descripción  | Símbolo   | Descripción  | Símbolo   |
|--|---|--|---|
| Válvula de presión secuencial ajustable            |  | Válvula reguladora de presión ajustable sin alivio |  |
| Válvula reguladora de presión ajustable con alivio |  | Check  |  |
| Check con resorte                                  |  | Válvula de simultaneidad                           |  |
| Válvula de escape rápido                           |  | Válvula selectora                                  |  |
| Válvula reguladora de caudal monodireccional       |  |  |   |



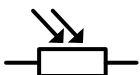


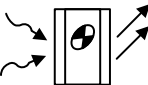

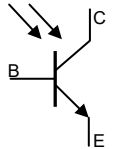




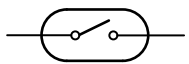
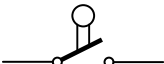
Tabla comparativa de los símbolos eléctricos

| Naturaleza de los símbolos gráficos           | Normas europeas | Normas EU |
|---|-----------------|-----------|
| Contacto de cierre "NA"<br>potencia-control   |                 |           |
| Contacto de apertura "NC"<br>potencia-control |                 |           |
| Contacto temporizado al accionamiento         |                 |           |
| Contacto temporizado al desaccionamiento      |                 |           |
| Cortocircuito fusible                         |                 |           |
| Relevador de protección                       |                 |           |
| Bobinas                                       |                 |           |
| Seccionadores                                 |                 |           |
| Disyuntores                                   |                 |           |
| Motores                                       |                 |           |
| Varistor (resistencia de tirolita)<br>        |                 |           |

Fuente: Schneider Electric. (1999). *Manual electrotécnico*. Recuperado de: <https://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>.

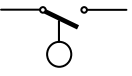
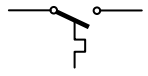
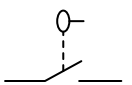
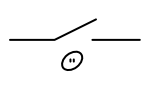
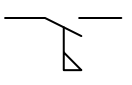
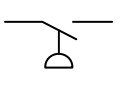
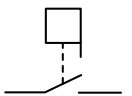
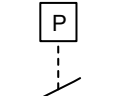
## Símbolos IEC

### Simbología / Símbolos de transductores, sensores y detectores

| Descripción  | Símbolo   | Descripción  | Símbolo   |
|--|---|--|---|
| Transductor<br>Símbolo genérico  |    | Transductor<br>piezoeléctrico                      |    |
| Resistencia /<br>Resistor LDR<br>Resistencia sensible<br>a la luz            |    | Micrófono<br>Detector de sonidos                   |    |
| Detector de líquidos   |    | Detector de<br>termoluminiscencia                  |    |
| Fotodiodo Diodo<br>sensible a la luz<br>visible o infrarroja                 |    | Fototransistor<br>Transistor sensible a la<br>luz  |    |
| Sensor<br>electrostático<br>Sensor sensible al<br>tacto                      |    | Sensor electrostático<br>Sensor sensible al tacto  |    |
| Sensor<br>electrostático<br>Sensor sensible al<br>tacto                      |   | Interruptor de mercurio<br>Detecta la inclinación  |   |
| Reed / Relevador<br>de láminas<br>Se cierra a la<br>proximidad de un<br>imán |  | Interruptor detector de fin<br>de carrera o límite |  |

Fuente: Molinero, A. (1998). *Símbolos eléctricos y electrónicos*. Recuperado de: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>.

### Símbolos de contactos por efectos o dependencias

| Descripción  | Símbolo   | Descripción  | Símbolo   |
|--|---|--|---|
| Contacto de nivel<br>Accionado por el<br>nivel de un fluido  |  | Contacto térmico<br>Accionado por un<br>relevador térmico por el<br>efecto de la temperatura |  |
| Contacto de nivel<br>Accionado por el<br>nivel de un fluido  |  | Contacto térmico<br>Accionado por el efecto<br>de la temperatura                             |  |
| Contacto por flujo<br>Accionado por el<br>flujo de un fluido |  | Presostato<br>Contacto accionado por<br>presión  |  |
| Contacto por flujo<br>Accionado por el<br>flujo de un fluido |  | Presostato<br>Contacto accionado por<br>presión  |  |

| Descripción                               | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Contacto accionado por el flujo de un gas |         | Termostato<br>Contacto térmico, accionado por el efecto de la temperatura |         |
| Contacto por frecuencia                   |         | Contacto accionado por un contador de impulsos                            |         |

Fuente: Molinero, A. (1998). *Símbolos eléctricos y electrónicos*. Recuperado de: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>.

### Símbolos de sensores por proximidad

| Descripción   | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Contacto por proximidad<br>Símbolo genérico   |         | Sensor sensible por proximidad<br>Representación unifilar<br>Símbolo genérico |         |
| Contacto por proximidad a un imán   |         | Contacto por proximidad al hierro   |         |
| Sensor sensible al tacto  |         | Sensor capacitivo sensible por proximidad a sólidos                           |         |
| Sensor de proximidad capacitivo, salida normalmente abierta                           |         | Sensor de proximidad capacitivo, salida normalmente cerrada                   |         |
| Sensor de proximidad capacitivo de 3 hilos, salida normalmente abierta                |         | Sensor de proximidad capacitivo de 3 hilos, salida normalmente cerrada        |         |
| Sensor de proximidad capacitivo de 4 hilos, con 2 salidas, una abierta y otra cerrada |         | Sensor con fibra óptica   |         |

Fuente: Molinero, A. (1998). *Símbolos eléctricos y electrónicos*. Recuperado de: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>.

### Símbolos de optoacopladores / optoaisladores, detectores fotoeléctricos y optoelectrónicos

| Descripción  | Símbolo | Descripción                                  | Símbolo |
|--|---------|--|---------|
| Optoacoplador / optoaislador diodo - semiconductor                           |         | Optoacoplador / optoaislador diodo - diac    |         |
| Optoacoplador de dos receptores  |         | Optoacoplador diodo - transistor             |         |
| Optoacoplador encapsulado diodo - transistor con hueco para el corte del haz |         | Optoacoplador encapsulado diodo - transistor |         |

Fuente: Molinero, A. (1998). *Símbolos eléctricos y electrónicos*. Recuperado de: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>.

### Símbolos de termopares / termocuplas, transductores y detectores de temperatura

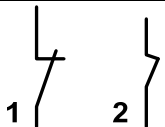
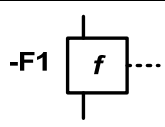









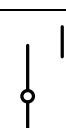

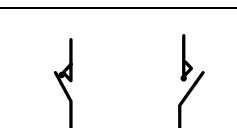

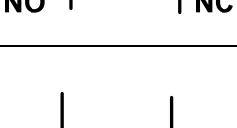

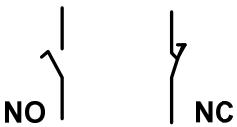


| Descripción   | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Termopar / termocupla termoacoplador                        |         | Termopar / termocupla termoacoplador                        |         |
| Termopar / termocupla                                       |         | Termopar / termocupla                                       |         |
| Termopar polarizado<br>El lado grueso es el polo negativo   |         | Termopar polarizado   |         |
| Termopar / termocupla<br>Con elemento calefactor no aislado |         | Termopar / termocupla<br>Con elemento calefactor no aislado |         |
| Termopar / termocupla<br>Con elemento calefactor aislado    |         | Termopar / termocupla<br>Con elemento calefactor aislado    |         |

Fuente: Molinero, A. (1998). *Símbolos eléctricos y electrónicos*. Recuperado de: <https://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-termoacopladores.htm>.

### Símbolos eléctricos

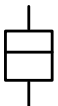
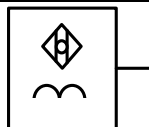

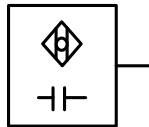
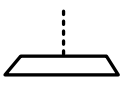
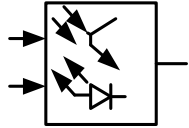
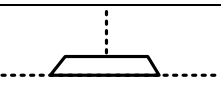
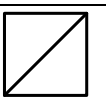
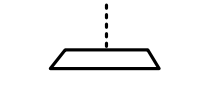
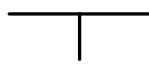

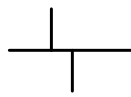
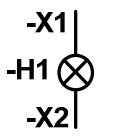
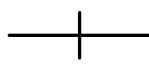
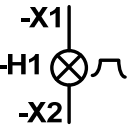
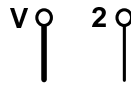
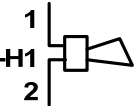
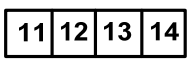
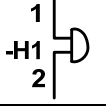
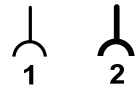
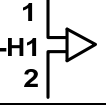
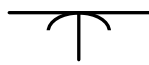
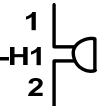
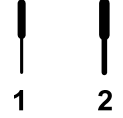
| Descripción  | Símbolo  | Descripción   | Símbolo |
|--|----------|---|---------|
| Corriente alterna  |          | Conductor, circuito auxiliar  |         |
| Corriente continua   |          | Conductor, circuito principal   |         |
| Corriente rectificadora                                    |          | Haz de 3 conductores  |         |
| Corriente alterna trifásica de 60 Hz                       | 3  60 Hz | Representación de un hilo   |         |
| Tierra   |          | Conductor neutro (N)  |         |
| Masa   |          | Conductor de protección (PE)  |         |
| Tierra de protección                                       |          | Conductor de protección y neutro unidos                               |         |
| Tierra sin ruido   |          | Conductores apantallados  |         |
| Fusible-seleccionador                                      |          | Conductores par trenzado  |         |
| 1 Enlace mecánico (forma 1)<br>2 Enlace mecánico (forma 2) | 1<br>2   | Interruptor de posición   |         |
| Dispositivo de retención                                   |          | Contactos de cierre o apertura temporizados al accionamiento          |         |
| Dispositivo de retención en toma                           |          | Contactos de cierre o apertura temporizados al desaccionamiento       |         |
| Dispositivo de retención liberado                          |          | Interruptor de posición de apertura, de maniobra de apertura positiva |         |
| Retorno automático   |          | Mando mecánico manual de palanca                                      |         |
| Retorno no automático                                      |          | Mando mecánico manual de palanca con maneta                           |         |
| Retorno no automático en toma                              |          | Mando mecánico manual de llave  |         |

| Descripción  | Símbolo | Descripción                                     | Símbolo |
|--|---------|---|---------|
| Enclavamiento mecánico                                   |         | Mando mecánico manual de manivela               | -S1     |
| Dispositivo de bloqueo                                   |         | Enganche de pulsador de desenganche automático  | -S1     |
| Mando electromagnético<br>Símbolo general                |         | Mando de roldana                                | -S1     |
| Mando electromagnético<br>Contactor auxiliar             |         | Mando de leva y roldana                         | -S1     |
| Mando electromagnético<br>Contactor                      |         | Control mediante motor eléctrico                |         |
| Mando electromagnético<br>de 2 devanados                 |         | Control por acumulación de energía mecánica     | -S1     |
| Mando electromagnético<br>de puesta en trabajo retardada |         | Relevador de medida o dispositivo emparentado   |         |
| Mando electromagnético<br>de puesta en reposo retardada  |         | Relevador de sobrecorriente de efecto magnético | -F1     |
| Mando electromagnético<br>de un relevador de remanencia  |         | Relevador de sobrecorriente de efecto térmico   | -F1     |
| Mando electromagnético<br>de enclavamiento mecánico      |         | Relevador de máxima corriente                   | -F1     |
| Mando electromagnético<br>de un relevador de polarizado  |         | Relevador de mínima tensión                     | -F1     |
| Contacto "NA" (de cierre)<br>1 – principal, 2 – auxiliar |         | Relevador de falta de tensión                   | -F1     |

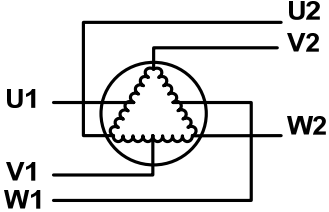
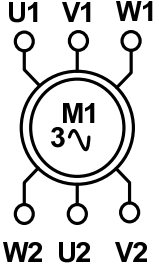
| Descripción  | Símbolo   | Descripción  | Símbolo   |
|--|---|--|---|
| Contacto "NC" (de apertura)<br>1 – principal, 2 – auxiliar |    | Dispositivo accionado por frecuencia   |    |
| Interruptor  |    | Dispositivo accionado por el nivel de un fluido  |    |
| Seccionador  |    | Dispositivo accionado por un número de sucesos   |    |
| Contactador  |    | Contactos de dos direcciones no solapado (apertura antes de cierre)  |    |
| Ruptor   |    | Contactos de dos direcciones solapado  |    |
| Disyuntor  |   | Contacto de dos direcciones con posición mediana de apertura   |   |
| Interruptor-seccionador                                    |  | Contactos presentados en posición accionada  |  |
| Interruptor-seccionador de apertura automática             |  | Contactos de apertura o cierre anticipado. Funcionan antes que los contactos restantes de un mismo conjunto    |  |
| Mando por efecto de proximidad                             |  | Contactos de apertura o cierre retardado. Funcionan más tarde que los contactos restantes de un mismo conjunto |  |
| Mando por roce   |  | Contacto de paso con cierre momentáneo al accionamiento de su mando  |  |

| Descripción   | Símbolo | Descripción  | Símbolo |
|---|---------|--|---------|
| Dispositivo sensible a la proximidad, controlado por la aproximación de un imán                             |         | Contacto de paso con cierre momentáneo al desaccionamiento de su mando |         |
| Dispositivo sensible a la proximidad, controlado por la aproximación del hierro                             |         | Contactos de cierre de posición mantenida                              |         |
| Diodo   |         | Cortocircuito fusible  |         |
| Rectificador en acoplamiento de doble vía (puente rectificador) símbolo desarrollado – símbolo simplificado |         | Cortocircuito fusible con percutor                                     |         |
| <b>Otros tipos de mandos</b>  |         |  |         |
| Transistor PNP  |         | Tiristor NPN   |         |
| Mando neumático o hidráulico de efecto simple   |         | Condensador  |         |
| Mando neumático o hidráulico de efecto doble  |         | Elemento de pila o de acumulador                                       |         |
| Mando electromagnético de un relevador intermitente   |         | Resistencia  |         |
| Mando electromagnético de accionamiento y desaccionamiento retardados                                       |         | Dispositivo accionado por caudal                                       |         |
| Bobina de relevador RH temporizado en reposo  |         | Dispositivo accionado por la presión                                   |         |

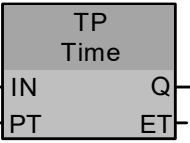
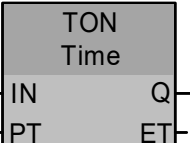
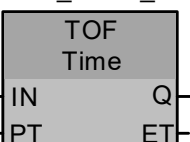
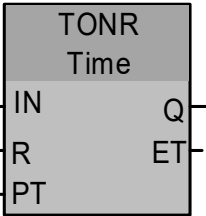
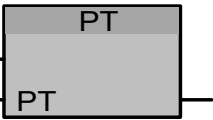
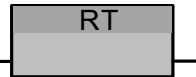
| Descripción  | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|--|---------|---|---------|
| Bobina de relevador RH de impulso en desactivación |         | Shunt   |         |
| Bobina de electroválvula                           |         | Inductancia   |         |
| Transformador de tensión                           |         | Potenciómetro   |         |
| Autotransformador                                  |         | Resistencia dependiente de la tensión: varistancia      |         |
| Transformador de corriente                         |         | Resistencia dependiente de la temperatura: termistancia |         |
| Chispómetro  |         | Fotorresistencia  |         |
| Pararrayos   |         | Fotodiodo   |         |
| Fototransistor (tipo PNP)                          |         | Válvula   |         |
| Aparato indicador<br>Símbolo general               |         | Electroválvula  |         |
| Ampérmetro   |         | Contador de impulsos                                    |         |
| Aparato grabador<br>Símbolo general                |         | Contador sensible al roce                               |         |
| Ampérmetro grabador                                |         | Contador sensible a la proximidad                       |         |

| Descripción                                | Símbolo   | Descripción   | Símbolo   |
|--|---|---|---|
| Contador<br>Símbolo general                |    | Detector de proximidad inductivo                    |    |
| Contador de ampers-hora                    |    | Detector de proximidad capacitivo                   |    |
| Freno<br>Símbolo general                   |    | Detector fotoeléctrico                              |    |
| Freno apretado                             |    | Convertidor<br>Símbolo general                      |    |
| Freno aflojado                             |    | Derivación  |    |
| Reloj                                      |    | Derivación doble                                    |    |
| Lámpara de señalización o de alumbrado (1) |   | Cruce sin conexión                                  |  |
| Dispositivo luminoso intermitente (1)      |  | Borna   |  |
| Avisador acústico                          |  | Puente de bornas, ejemplo con referencias de bornas |  |
| Timbre                                     |  | Toma<br>1 – mando, 2 – potencia                     |  |
| Sirena                                     |  | Conexión por contacto deslizante                    |  |
| Zumbador                                   |  | Clavija<br>1 – mando, 2 – potencia                  |  |

| Descripción   | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Motor asíncrono trifásico, rotor de anillos                                   |         | Motor de corriente continua de excitación compuesta         |         |
| Motor de imán permanente  |         | Generador de corriente alterna                              |         |
| Motor asíncrono equipado con sondas de termistancia                           |         | Generador de corriente continua                             |         |
| Motor asíncrono trifásico, de rotor en cortocircuito                          |         | Conmutador (trifásico/continuo) de excitación en derivación |         |
| Motor asíncrono monofásico  |         | Motor de corriente continua de excitación separada          |         |
| Motor asíncrono de dos devanados estator separados (motor de dos velocidades) |         | Motor de corriente continua de excitación en serie          |         |

| Descripción   | Símbolo   | Descripción   | Símbolo   |
|---|---|---|---|
| Motor asíncrono de acoplamiento de polos (motor de dos velocidades) |  | Motor asíncrono con seis bornes de salida (acoplamiento estrella-triángulo) |  |

Temporizadores

| Cuadros KOP/FUP   | Bobinas KOP                         | SCL  | Descripción   |
|---|-------------------------------------|--|---|
| IEC_Timer_0<br>  | TP_DB<br>—(TP)—<br>"PRESET_Tag"     | <pre>"IEC_Timer_0_DB".TP(   IN:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre>                    | El temporizador TP genera un impulso con una duración predeterminada.   |
| IEC_Timer_1<br>  | TON_DB<br>—(TON)—<br>"PRESET_Tag"   | <pre>"IEC_Timer_0_DB".TON (   IN:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre>                  | El temporizador TON pone la salida Q a ON tras un tiempo de retardo predeterminado.   |
| IEC_Timer_2<br>  | TOF_DB<br>—(TOF)—<br>"PRESET_Tag"   | <pre>"IEC_Timer_0_DB".TOF (   IN:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre>                  | El temporizador TOF pone la salida Q a OFF tras un tiempo de retardo predeterminado.  |
| IEC_Timer_3<br> | TONR_DB<br>—(TONR)—<br>"PRESET_Tag" | <pre>"IEC_Timer_0_DB".TONR (   IN:=_bool_in_,   R:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre> | El temporizador TONR pone la salida Q a ON tras un tiempo de retardo predeterminado. El tiempo transcurrido se acumula a lo largo de varios periodos de temporización hasta que la entrada R inicializa el tiempo transcurrido. |
| Solo FUP:<br>  | TON_DB<br>—(PT)—<br>"PRESET_Tag"    | <pre>PRESET_TIMER (   PT:=_time_in_,   TIMER=_iec_timer_in);</pre>   | La bobina PT (Carga temporizador) carga un nuevo valor de tiempo PRESET (predeterminado) en el IEC_Timer especificado.  |
| Solo FUP:<br>  | TON_DB<br>—(RT)—                    | <pre>RESET_TIMER (   _iec_timer_in);</pre>   | La bobina RT (Inicializar temporizador) inicializa el IEC_Timer especificado.   |

Fuente: SIEMENS. *Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2.3.* Recuperado de: [https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf).

## Contadores

| KOP/FUP               | SCL  | Descripción   |
|-----------------------|--|---|
| <p>"Counter name"</p> | <pre>"IEC_Counter_0_DB".CTU (   CU:=_bool_in_,   R:=_bool_in_,   PV:=_in,   Q=&gt;_bool_out_,   CV=&gt;_out);</pre>  | <p>Las instrucciones con contadores se utilizan para contar eventos del programa internos y eventos del proceso externos. Todo contador utiliza una estructura almacena en un bloque de datos para conservar sus datos. El bloque de datos se asigna al colocar la instrucción de contaje en el editor.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CTU es un contador ascendente</li> <li>• CTD es un contador descendente</li> <li>• CTUD es un contador ascendente/descendente</li> </ul> |
| <p>"Counter name"</p> | <pre>"IEC_Counter_0_DB".CTD (   CD:=_bool_in_,   LD:=_bool_in_,   PV:=_in,   Q=&gt;_bool_out_,   CV=&gt;_out);</pre>   |   |
| <p>"Counter name"</p> | <pre>"IEC_Counter_0_DB".CTUD (   CU:=_bool_in_,   CD:=_bool_in_,   R:=_bool_in_,   LD:=_bool_in_,   PV:=_in,   QU=&gt;_bool_out_,   QD=&gt;_bool_out_,   CV=&gt;_out);</pre> |   |

Fuente: SIEMENS. *Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2.3.* Recuperado de: [https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf).

## Comparadores

| KOP                                    | FUP | SCL  | Descripción   |
|--|-----|--|---|
| <p>"IN1"<br/>==<br/>Byte<br/>"IN2"</p> |     | <pre>out := in1 = in2; or IF in1 = in2   THEN out := 1;   ELSE out := 0;   END_IF;</pre> | <p>Compara varios elementos del mismo tipo de datos. Si la comparación de contactos KOP es TRUE (verdadera), se activa el contacto. Si la comparación de cuadros FUP es TRUE (verdadera), la salida del cuadro es TRUE.</p> |

Fuente: SIEMENS. *Controlador programable S7-1200. Manual de sistema, V4.2.3.* Recuperado de: [https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf).

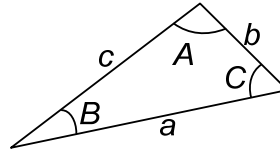
## Pulsaciones por revolución (PPR) del *encoder*

Resolución = paso/PPR

PPR = 1/(resolución × grado)

## Anexo

### Leyes trigonométricas



|                |  |
|----------------|--|
| Ley de senos   | $\frac{a}{\text{sen } A} = \frac{b}{\text{sen } B} = \frac{c}{\text{sen } C}$                                |
| Ley de cosenos | $c^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos C$<br>Los otros lados y ángulos están relacionados en forma similar |

### Identidades trigonométricas

|                                     |   |  |   |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Pitagóricas                         | $\text{sen}^2 \theta + \text{cos}^2 \theta = 1$                       | $1 + \tan^2 \theta = \text{sec}^2 \theta$  | $1 + \cot^2 \theta = \text{csc}^2 \theta$ |
| Inversas                            | $\text{sen } \theta = \frac{1}{\text{csc } \theta}$                   | $\text{cos } \theta = \frac{1}{\text{sec } \theta}$  | $\tan \theta = \frac{1}{\cot \theta}$     |
| Por cociente                        | $\tan \theta = \frac{\text{sen } \theta}{\text{cos } \theta}$         | $\cot \theta = \frac{\text{cos } \theta}{\text{sen } \theta}$  |   |
| Ángulo doble                        | $\text{sen } 2\theta = 2 \text{sen } \theta \cdot \text{cos } \theta$ | $\text{cos } 2\theta = \text{cos}^2 \theta - \text{sen}^2 \theta$<br>$= 2 \text{cos}^2 \theta - 1 = 1 - 2 \text{sen}^2 \theta$ |   |
| Senos cuadrados y cosenos cuadrados | $\text{sen}^2 \theta = \frac{1 - \text{cos } 2\theta}{2}$             | $\text{cos}^2 \theta = \frac{1 + \text{cos } 2\theta}{2}$  |   |

### Valores de las funciones de ángulos importantes

| $\theta$ | Sen $\theta$         | Cos $\theta$         | Tan $\theta$         |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0°       | 0                    | 1                    | 0                    |
| 30°      | $\frac{1}{2}$        | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{\sqrt{3}}{3}$ |
| 45°      | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | 1                    |
| 60°      | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{1}{2}$        | $\sqrt{3}$           |
| 90°      | 1                    | 0                    | $\infty$             |

### Áreas y volúmenes

$A_e = 4\pi r^2$  ... Área de superficie de esfera

$A_c = 2\pi rL$  ... Área de superficie curva de cilindro

$A_{bc} = \pi r^2$  ... Área de la base de un cilindro

$L$  = Longitud de un cilindro (m)  
 $r$  = Radio de cilindro o esfera (m)

$$V_e = \frac{4}{3} \pi r^3 \dots \text{Volumen de esfera}$$

$$V_c = L \pi r^2 \dots \text{Volumen de cilindro}$$

### Fórmulas para potencias y raíces

$$p \cdot a^n \pm q \cdot a^n = (p \pm q) \cdot a^n$$

$$\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\left(\frac{a^n}{b^n}\right) = \left(\frac{a}{b}\right)^n$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$\sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m = a^{\frac{m}{n}}$$

$$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}$$

$$\frac{1}{a^n} = a^{-n}$$

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$(ab)^n = a^n b^n$$

$$p \cdot \sqrt[n]{a} \pm q \cdot \sqrt[n]{a} = (p \pm q) \cdot \sqrt[n]{a}$$

$$(a^m)^n = a^{mn}$$

$$\sqrt{-a} = i \cdot \sqrt{a}$$

### Expresiones algebraicas usuales

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$(a + b + c)^2 = a^2 + 2ab + 2ac + b^2 + 2bc + c^2$$

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$$a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$$

$$ax^2 + bx + c = 0, \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$(a - b + c)^2 = a^2 - 2ab + 2ac + b^2 - 2bc + c^2$$

$$(a + b)^n = a^n + \frac{n}{1} a^{n-1} b + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} a^{n-2} b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} a^{n-3} b^3 + \dots + b^n$$

$$a^n + b^n = (a - b)(a^{n-1} - a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

### Propiedades de los logaritmos

$$\log(x \cdot y) = \log x + \log y$$

$$\log \frac{x}{y} = \log x - \log y$$

$$\log x^n = n \log x$$

$$\log \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \log x$$

Tablas de equivalencias

**Longitud**

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

**Masa**

|                          | kg                      | uma                    | lb                      |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 kilogramo              | 1                       | $6.022 \times 10^{26}$ | 2.205                   |
| 1 unidad de masa atómica | $1.661 \times 10^{-27}$ | 1                      | $3.662 \times 10^{-27}$ |
| 1 libra                  | 0.4536                  | $2.732 \times 10^{26}$ | 1                       |

**Fuerza**

|                    | dina                | N         | lbf                    | kgf                    |
|--------------------|---------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| 1 dina             | 1                   | $10^{-5}$ | $2.248 \times 10^{-6}$ | $1.020 \times 10^{-6}$ |
| 1 newton           | $10^5$              | 1         | 0.2248                 | 0.1020                 |
| 1 libra fuerza     | $4.448 \times 10^5$ | 4.448     | 1                      | 0.4536                 |
| 1 kilogramo fuerza | $9.807 \times 10^5$ | 9.807     | 2.205                  | 1                      |

$$1 \text{ rpm} = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s} = 2\pi \text{ rad/min} \approx 6.2832 \text{ rad/min}$$

**Presión**

|                      | atm                     | mm Hg                  | Pa                  | bar                     | psi                     | lb/ft <sup>2</sup>      |
|----------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 atm                | 1                       | 760                    | $1.013 \times 10^5$ | 1.013                   | 14.695                  | 2 116.216               |
| 1 mm Hg              | $1.316 \times 10^{-3}$  | 1                      | 133.3               | $1.333 \times 10^{-3}$  | $19.336 \times 10^{-3}$ | 2.785                   |
| 1 Pa                 | $9.869 \times 10^{-6}$  | $7.501 \times 10^{-3}$ | 1                   | $10^{-5}$               | $14.503 \times 10^{-5}$ | $20.885 \times 10^{-3}$ |
| 1 bar                | 0.987                   | 750.062                | $10^5$              | 1                       | 14.503                  | 2 088.5                 |
| 1 psi                | $68.045 \times 10^{-3}$ | 51.7149                | $6.894 \times 10^3$ | $6.894 \times 10^{-2}$  | 1                       | 144                     |
| 1 lb/ft <sup>2</sup> | $0.472 \times 10^{-3}$  | $359 \times 10^{-3}$   | 47.880              | $47.880 \times 10^{-5}$ | $6.944 \times 10^{-3}$  | 1                       |

$$1 \text{ MPa} = 10.1967 \text{ kg/cm}^2$$

**Energía, trabajo, calor**

|                | Btu                     | hp·h                    | J                       | cal                     | kWh                     | eV                     |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 Btu          | 1                       | $3.929 \times 10^{-4}$  | 1055                    | 252                     | $2.930 \times 10^{-4}$  | $6.585 \times 10^{21}$ |
| 1 hp·h         | 2545                    | 1                       | $2.385 \times 10^6$     | $6.413 \times 10^5$     | 0.7457                  | $1.676 \times 10^{25}$ |
| 1 joule        | $9.481 \times 10^{-4}$  | $3.725 \times 10^{-7}$  | 1                       | 0.2389                  | $2.778 \times 10^{-7}$  | $6.242 \times 10^{18}$ |
| 1 caloría      | $3.969 \times 10^{-3}$  | $1.560 \times 10^{-6}$  | 4.186                   | 1                       | $1.163 \times 10^{-6}$  | $2.613 \times 10^{19}$ |
| 1 kWh          | 3413                    | 1.341                   | $3.600 \times 10^6$     | $8.600 \times 10^5$     | 1                       | $2.247 \times 10^{25}$ |
| 1 electronvolt | $1.519 \times 10^{-22}$ | $5.967 \times 10^{-26}$ | $1.602 \times 10^{-19}$ | $3.827 \times 10^{-20}$ | $4.450 \times 10^{-26}$ | 1                      |

**Conversión de escalas de temperatura**

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}[T(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}(^{\circ}\text{C}) + 32$$

### Relación de escala

$$T_{ABS} (K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

$$T_{ABS} (R) = T(^{\circ}F) + 459.67$$

### Campo magnético

|         | gauss  | T         |
|---------|--------|-----------|
| 1 gauss | 1      | $10^{-4}$ |
| 1 tesla | $10^4$ | 1         |

### Flujo magnético

|           | maxwell | Wb        |
|-----------|---------|-----------|
| 1 maxwell | 1       | $10^{-8}$ |
| 1 weber   | $10^8$  | 1         |

Constantes físicas

| Constante                                   | Valor   |
|---|---|
| Carga eléctrica                             | $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$   |
| Masa electrón                               | $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$   |
| Masa protón                                 | $m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$  |
| Permisividad dieléctrica del vacío          | $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$<br>$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ |
| Permeabilidad en el vacío                   | $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} = 1.26 \times 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}$  |
| Constante gravitacional                     | $G = 6.672 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$   |
| Constante universal de los gases            | $R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$ $R = 0.082 \frac{\text{atm L}}{\text{K mol}}$  |
| Número de Avogadro                          | $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$   |
| Aceleración debida a la gravedad            | $g = 9.8 \text{ m/s}^2$   |
| Resistividad del cobre, en 20 °C a 25 °C    | $\rho_{\text{Cu}} = 1.71 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} = 0.017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  |
| Resistividad del aluminio, en 20 °C a 25 °C | $\rho_{\text{Al}} = 2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} = 0.0282 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$   |

Código de colores para resistencias eléctricas

| Color de la banda | Valor de la 1ª cifra significativa | Valor de la 2ª cifra significativa | Multiplicador | Tolerancia | Coefficiente de temperatura |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------------------|
| Negro             | 0                                  | 0                                  | 1             | -          | -                           |
| Marrón            | 1                                  | 1                                  | 10            | ±1%        | 100ppm/°C                   |
| Rojo              | 2                                  | 2                                  | 100           | ±2%        | 50 ppm/°C                   |
| Naranja           | 3                                  | 3                                  | 1 000         | -          | 15 ppm/°C                   |
| Amarillo          | 4                                  | 4                                  | 10 000        | ±4%        | 25 ppm/°C                   |
| Verde             | 5                                  | 5                                  | 100 000       | ±0.5%      | 20 ppm/°C                   |
| Azul              | 6                                  | 6                                  | 1 000 000     | ±0.25%     | 10 ppm/°C                   |
| Violeta           | 7                                  | 7                                  | 10 000 000    | ±0.1%      | 5 ppm/°C                    |
| Gris              | 8                                  | 8                                  | 100 000 000   | ±0.05%     | 1 ppm/°C                    |
| Blanco            | 9                                  | 9                                  | 1 000 000 000 | -          | -                           |
| Dorado            | -                                  | -                                  | 0.1           | ±5%        | -                           |
| Plateado          | -                                  | -                                  | 0.01          | ±10%       | -                           |
| Ninguno           | -                                  | -                                  | -             | ±20%       | -                           |

Normatividad aplicable

| Clave             | Descripción  |        |                           |               |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
|-------------------|--|--------|---------------------------|---------------|-----------------------|---------------|---|-----|-----|------|---|---|------|-------|------|---|---|-----|-------|------|---|---|-----|-------|------|---|---|------|------|------|---|---|------|------|------|---|----|------|------|------|---|----|------|------|------|---|----|------|-------|------|---|----|------|-------|------|---|----|------|-------|------|---|----|-------|-------|------|---|----|-------|-------|------|---|----|-------|-------|------|---|----|-------|-------|------|---|----|-------|-------|------|---|
| NOM-001-ENER-2000 | <p>Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.<br/>                     Tabla 1. Valores mínimos de eficiencia en el punto óptimo, en función del gasto y número de pasos.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño</th> <th colspan="2">Intervalo de gastos (L/s)</th> <th>Eficiencia mínima (%)</th> <th>Núm. de pasos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>64.0</td><td>9</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.66</td><td>11.55</td><td>71.0</td><td>9</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.9</td><td>24.97</td><td>70.0</td><td>8</td></tr> <tr><td>7</td><td>4.7</td><td>34.65</td><td>70.0</td><td>8</td></tr> <tr><td>8</td><td>10.0</td><td>68.0</td><td>73.0</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>17.0</td><td>69.3</td><td>77.0</td><td>7</td></tr> <tr><td>10</td><td>20.4</td><td>66.6</td><td>77.0</td><td>7</td></tr> <tr><td>11</td><td>39.7</td><td>75.0</td><td>80.0</td><td>5</td></tr> <tr><td>12</td><td>32.0</td><td>150.0</td><td>80.0</td><td>5</td></tr> <tr><td>13</td><td>85.8</td><td>141.6</td><td>80.0</td><td>5</td></tr> <tr><td>14</td><td>61.1</td><td>250.0</td><td>80.0</td><td>4</td></tr> <tr><td>15</td><td>101.0</td><td>209.0</td><td>81.0</td><td>4</td></tr> <tr><td>16</td><td>139.4</td><td>256.8</td><td>81.0</td><td>4</td></tr> <tr><td>18</td><td>222.6</td><td>353.9</td><td>81.0</td><td>4</td></tr> <tr><td>20</td><td>321.8</td><td>818.9</td><td>81.0</td><td>3</td></tr> <tr><td>24</td><td>533.6</td><td>902.2</td><td>81.0</td><td>3</td></tr> </tbody> </table> | Tamaño | Intervalo de gastos (L/s) |               | Eficiencia mínima (%) | Núm. de pasos | 4 | 1.0 | 3.0 | 64.0 | 9 | 5 | 3.66 | 11.55 | 71.0 | 9 | 6 | 2.9 | 24.97 | 70.0 | 8 | 7 | 4.7 | 34.65 | 70.0 | 8 | 8 | 10.0 | 68.0 | 73.0 | 8 | 9 | 17.0 | 69.3 | 77.0 | 7 | 10 | 20.4 | 66.6 | 77.0 | 7 | 11 | 39.7 | 75.0 | 80.0 | 5 | 12 | 32.0 | 150.0 | 80.0 | 5 | 13 | 85.8 | 141.6 | 80.0 | 5 | 14 | 61.1 | 250.0 | 80.0 | 4 | 15 | 101.0 | 209.0 | 81.0 | 4 | 16 | 139.4 | 256.8 | 81.0 | 4 | 18 | 222.6 | 353.9 | 81.0 | 4 | 20 | 321.8 | 818.9 | 81.0 | 3 | 24 | 533.6 | 902.2 | 81.0 | 3 |
| Tamaño            | Intervalo de gastos (L/s)  |        | Eficiencia mínima (%)     | Núm. de pasos |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 4                 | 1.0  | 3.0    | 64.0                      | 9             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 5                 | 3.66   | 11.55  | 71.0                      | 9             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 6                 | 2.9  | 24.97  | 70.0                      | 8             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 7                 | 4.7  | 34.65  | 70.0                      | 8             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 8                 | 10.0   | 68.0   | 73.0                      | 8             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 9                 | 17.0   | 69.3   | 77.0                      | 7             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 10                | 20.4   | 66.6   | 77.0                      | 7             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 11                | 39.7   | 75.0   | 80.0                      | 5             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 12                | 32.0   | 150.0  | 80.0                      | 5             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 13                | 85.8   | 141.6  | 80.0                      | 5             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 14                | 61.1   | 250.0  | 80.0                      | 4             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 15                | 101.0  | 209.0  | 81.0                      | 4             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 16                | 139.4  | 256.8  | 81.0                      | 4             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 18                | 222.6  | 353.9  | 81.0                      | 4             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 20                | 321.8  | 818.9  | 81.0                      | 3             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| 24                | 533.6  | 902.2  | 81.0                      | 3             |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| NOM-003-ENER-2011 | <p>Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado.</p>  |        |                           |               |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| NOM-004-ENER-2008 | <p>Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 kW a 0.746 kW. Límites, métodos de prueba y etiquetado.</p>   |        |                           |               |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |
| NOM-005-ENER-2016 | <p>Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.</p> <p><b>Objetivo</b><br/>                     Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer los niveles del factor de energía (FE) y consumo de energía que deben cumplir las lavadoras de ropa electrodomésticas. Establece además, los métodos de prueba con que debe verificarse dicho cumplimiento y el etiquetado.</p> <p><b>Campo de aplicación</b><br/>                     Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a las lavadoras de ropa electrodomésticas comercializadas en los Estados Unidos Mexicanos. Quedan excluidas de esta Norma Oficial Mexicana, aquellas lavadoras que no hacen uso de energía eléctrica, así como las lavadoras de uso industrial y comercial.</p>   |        |                           |               |                       |               |   |     |     |      |   |   |      |       |      |   |   |     |       |      |   |   |     |       |      |   |   |      |      |      |   |   |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |      |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |      |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |    |       |       |      |   |

**Especificaciones lavadoras de ropa automáticas**

Las lavadoras de ropa automáticas incluidas en el campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana, deben de cumplir con los siguientes requisitos:

El titular (fabricante, importador o comercializador) debe establecer los valores del FE, en L/kWh/ciclo, del FCA en L/ciclo/L y del consumo de energía, en kWh/año, según sea el caso, valores que además deben incluirse en la etiqueta del modelo, producto o familia de productos que se desee certificar.

El FE debe ser siempre igual o mayor al valor mínimo especificado en la Tabla 1. El método de prueba para determinarlo debe ser el indicado en el capítulo 8 de esta norma.

Si el titular establece en la etiqueta un valor de FE mayor al mínimo especificado en la Tabla 1, el valor en cualquier prueba debe ser igual o mayor al indicado en la etiqueta con una tolerancia de  $\pm 5\%$ , siempre y cuando este valor no sea menor al límite mínimo especificado en la Tabla 1.

**Tabla 1. Valores mínimos de factor de energía en L/kWh/ciclo para lavadora de ropa automática electrodoméstica**

| Tipo  |                                  | FE (L/kWh/ciclo) |
|---|----------------------------------|------------------|
| Lavadora de ropa automática de eje vertical   | Impulsor                         | 60               |
|   | Impulsor con elemento calefactor |                  |
|   | Agitador                         |                  |
|   | Agitador con elemento calefactor |                  |
| Lavadora de ropa automática de eje horizontal | Tambor                           | 60               |
|   | Tambor con elemento calefactor   |                  |

El valor del consumo de energía declarado por el titular y establecido en la etiqueta, en cualquier prueba, debe ser igual o menor al indicado en la etiqueta con una tolerancia de  $+ 3\%$ . El método de prueba para determinarlo debe ser el indicado en el capítulo 8 de esta norma.

El valor del FCA declarado por el titular y establecido en la etiqueta del producto, en cualquier prueba, no debe variar en  $\pm 10\%$ . El método de prueba para determinarlo debe ser el indicado en el capítulo 8 de esta norma.

### Especificaciones, lavadoras de ropa semiautomáticas y manuales

Las lavadoras de ropa semiautomáticas y manuales incluidas en el campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana, deben de cumplir con los siguientes requisitos:

El titular (fabricante, importador o comercializador) debe establecer los valores del FCA, en L/ciclo/L y del consumo de energía, en kWh/año, según sea el caso, que deben incluirse en la etiqueta del modelo, producto o familia de productos que se desee certificar.

El valor del consumo de energía declarado por el titular y establecido en la etiqueta, debe ser igual o menor al indicado en la Tabla 2. El método de prueba para determinarlo debe ser el indicado en el capítulo 8 de esta norma.

El valor obtenido en cualquier prueba de laboratorio debe ser igual o menor al valor indicado en la etiqueta. En el supuesto de que el valor sea mayor se permite únicamente una variación del 5%.

El valor del FCA declarado por el titular y establecido en la etiqueta del producto, en cualquier prueba, no debe variar en  $\pm 10\%$ . El método de prueba para determinarlo debe ser el indicado en el capítulo 8 de esta norma.

**Tabla 2. Valores de consumo de energía máximo permisible [kWh/año] para lavadoras de ropa semiautomáticas y manuales electrodomésticas.**

| Clasificación por tipo y capacidad |  | Manual (kWh/año) | Semiautomáticas (kWh/año) |
|------------------------------------|--|------------------|---------------------------|
| Impulsor                           | Menores de 4,0 kg de ropa              | 17               | 19                        |
|                                    | De 4,0 kg a menores de 6,0 kg de ropa  | 17               | 22                        |
|                                    | De 6,0 kg a menores de 10,0 kg de ropa | 22               | 22                        |
|                                    | De 10,0 kg de ropa en adelante         | 34               | 34                        |
| Agitador                           | Menores de 4,0 kg de ropa              | 29               | 34                        |
|                                    | De 4,0 kg a menores de 6,0 kg de ropa  | 40               | 86                        |

|  |    |     |
|--|----|-----|
| De 6,0 kg a menores de 8,0 kg de ropa  | 72 | 126 |
| De 8,0 kg a menores de 10,0 kg de ropa | 72 | 126 |
| De 10,0 kg de ropa en adelante         | 94 | 144 |

| Clave             | Descripción  |
|-------------------|--|
| NOM-006-ENER-2015 | Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación-límites y métodos de prueba.   |
| NOM-007-ENER-2014 | Establece la eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.   |
| NOM-008-ENER-2001 | <p>Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.</p> <p><b>Objetivo</b><br/>                     Esta norma limita la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.</p> <p>Campo de aplicación.<br/>                     Esta norma aplica a todos los edificios nuevos y las ampliaciones de edificios existentes.</p> <p>Quedan excluidos edificios cuyo uso primordial sea industrial o habitacional.</p> <p>Si el uso de un edificio dentro del campo de aplicación de esta norma constituye 90 por ciento o más del área construida, esta norma aplica a la totalidad del edificio.</p> <p><b>Especificaciones.</b><br/>                     Ganancia de calor. La ganancia de calor (<math>\Phi_p</math>) a través de la envolvente del edificio debe ser menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia (<math>\Phi_r</math>), es decir: <math>(\Phi_p) \leq (\Phi_r)</math>.</p> |
| NOM-009-ENER-1995 | Eficiencia energética en aislamientos térmicos.  |
| NOM-010-ENER-2004 | <p>Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.</p> <p><b>Objetivo:</b><br/>                     Fija los valores mínimos de eficiencia energética que debe cumplir el conjunto motor-bomba sumergible y establece el método de prueba para verificar en laboratorio dicha eficiencia.</p> <p><b>Campo de aplicación:</b><br/>                     Esta norma aplica únicamente a los conjuntos motor-bomba sumergible, distribuidos y vendidos en la República Mexicana, para el manejo de agua limpia con las propiedades que se especifican en esta norma</p>  |

**Tabla 1.- Valores de referencia para la eficiencia de la bomba sumergible**

| Capacidad de la bomba (L/s) | Eficiencia (%) |
|-----------------------------|----------------|
| Mayor que 0.3 hasta 0.5     | 40             |
| Mayor que 0.5 hasta 2.0     | 49             |
| Mayor que 2.0 hasta 5.0     | 62             |
| Mayor que 5.0 hasta 10.0    | 69             |
| Mayor que 10.0 hasta 15.0   | 71             |
| Mayor que 15.0 hasta 25.0   | 73             |
| Mayor que 25.0 hasta 30.0   | 74             |
| Mayor que 30.0 hasta 60.0   | 77             |
| Mayor que 60.0              | 78             |

**Tabla 2.- Valores de referencia para la eficiencia del motor sumergible**

| Motor (kW)                  | Motor (hp)                | Eficiencia (%) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| Hasta 1.492                 | Hasta 2.0                 | 68             |
| Mayor que 1.492 hasta 3.73  | Mayor que 2.0 hasta 5.0   | 73             |
| Mayor que 3.73 hasta 5.595  | Mayor que 5.0 hasta 7.5   | 75             |
| Mayor que 5.595 hasta 7.46  | Mayor que 7.5 hasta 10.0  | 77             |
| Mayor que 7.46 hasta 11.19  | Mayor que 10.0 hasta 15.0 | 79             |
| Mayor que 11.19 hasta 14.92 | Mayor que 15.0 hasta 20.0 | 80             |
| Mayor que 14.92 hasta 22.38 | Mayor que 20.0 hasta 30.0 | 81             |
| Mayor que 22.38 hasta 29.84 | Mayor que 30.0 hasta 40.0 | 83             |
| Mayor que 29.84 hasta 44.76 | Mayor que 40.0 hasta 60.0 | 86             |
| Mayores que 44.76           | Mayores que 60.0          | 87             |

| Clave                  | Descripción  |
|------------------------|--|
| NOM-011-ENER-2006      | Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.   |
| PROY-NOM-013-ENER-2012 | Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.  |
| NOM-014-ENER-2004      | Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0.180 kW a 1.500 kW. Límites, método de prueba y marcado. |
| NOM-015-ENER-2012      | Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.   |
| NOM-016-ENER-2010      | Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.                                      |
| NOM-017-ENER/SCFI-2012 | Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.   |
| NOM-018-ENER-2011      | Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba.  |
| NOM-019-ENER-2009      | Eficiencia térmica y eléctrica de máquinas tortilladoras mecanizadas. Límites, método de prueba y marcado.   |
| NOM-020-ENER-2011      | Eficiencia energética en edificaciones.- envolvente de edificios para uso habitacional.  |
| NOM-021-ENER/SCFI-2008 | Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.   |
| NOM-022-ENER/SCFI-2008 | Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial auto contenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.  |
| NOM-023-ENER-2010      | Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, método de prueba y etiquetado.   |
| NOM-024-ENER-2012      | Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones. Etiquetado y métodos de prueba.   |
| PROY-NOM-025-ENER-2012 | Eficiencia térmica de aparatos domésticos para cocción de alimentos que usan gas LP o gas natural. Límites, métodos de prueba y etiquetado.  |
| NOM-028-ENER-2010      | Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.   |
| NOM-030-ENER-2012      | Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.  |

| Clave             | Descripción   |
|-------------------|---|
| NOM-031-ENER-2012 | Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.  |
| NOM-085-ECOL-1994 | <p>Contaminación atmosférica - Fuentes fijas - Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión</p> <p><b>Objetivo.</b><br/>                     Norma Oficial Mexicana para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión; así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.</p> <p><b>Campo de aplicación.</b><br/>                     Norma Oficial Mexicana para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, será de observancia obligatoria para el uso de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como para los equipos de generación eléctrica que utilizan la tecnología de ciclo combinado. Será obligatoria igualmente sólo en emisiones de bióxido de azufre, para el uso de los equipos de calentamiento directo por combustión. Se exceptúan los equipos domésticos de calentamiento de agua, de calefacción y las estufas utilizados en casas habitación, escuelas, hospitales y centros recreativos, en las industrias cuando estos equipos sean utilizados en las áreas de servicios al personal, sin embargo, aplicará para el caso de industrias, comercios y servicios, cuando los equipos y sistemas de combustión en lo individual o la suma de varios rebasen los 10 cc de capacidad nominal en cada instalación. También se exceptúan los quemadores industriales de campo, el sistema de regeneración de las plantas de desintegración catalítica, las plantas recuperadoras de azufre y los procesos de calentamiento directo que producen bióxido de azufre adicional al proveniente del combustible.</p> |

**5.1** Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, óxidos de nitrógeno y bióxido de azufre de los equipos de combustión de las fuentes fijas a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, son los establecidos en las tablas 4 y 5.

**5.2** Cuando existan dos o más ductos de descarga cuyos equipos de combustión utilicen en forma independiente o conjunta combustibles fósiles sólidos, líquidos y gaseosos, podrán sujetarse a los valores de emisión contemplados en las tablas 4 y 5 o ponderar las emisiones de sus ductos de descarga en función de la capacidad térmica del equipo o conjunto de equipos de combustión mediante la utilización de la ecuación (1) y de la combinación de los combustibles fósiles utilizados de acuerdo a la tabla 1; y cuyo resultado deberá de cumplir con el límite máximo promedio permisible, que resulta de promediar ponderadamente los límites máximos permisibles de emisión contemplados en las tablas 4 y 5 de los equipos de combustión de una fuente fija al utilizar la ecuación (2).

**Tabla 1**

| Combinación de combustibles | Límite de Referencia |
|-----------------------------|----------------------|
| Gas/líquido                 | Líquidos             |
| Gas/sólido                  | Sólidos              |
| Líquido/sólido              | Líquidos             |
| Gas/líquido/sólido          | Líquidos             |

Como alternativa la ecuación (3) para aquellos equipos de combustión que individualmente no cuenten con un sistema de medición y registro de alimentación de combustible.

Ecuación 1 
$$Ep_{CT} = \frac{E_{CT1} \cdot CT_1 + E_{CT2} \cdot CT_2 + \dots + E_{CTn} \cdot CT_n}{CT_1 + CT_2 + \dots + CT_n}$$

- Ep<sub>CT</sub> = Emisión ponderada expresada en kg/10<sup>6</sup> kcal
- E<sub>CT1</sub> = Emisión de contaminante determinado en cada equipo de combustión expresada en kg/10<sup>6</sup> kcal.
- CT<sub>i</sub> = Carga térmica de cada equipo de combustión, expresada en kcal/h. Se obtiene al multiplicar el consumo de combustible por su poder calorífico.
- i = 1,2,...,n en donde "n" es el número de equipos de combustión existentes en una misma fuente.

Ecuación 2 
$$LEP = \frac{LE_1 \cdot C_1 + LE_2 \cdot C_2 + \dots + LE_n \cdot C_n}{C_1 + C_2 + \dots + C_n}$$

- LEP = Límite máximo promedio permisible por fuente fija expresada en kg/10<sup>6</sup> kcal o partes por millón en volumen.
- LE<sub>i</sub> = Límite máximo permisible de emisión de contaminantes para el equipo de combustión i, seleccionado de las tablas 4 o 5 en función del tipo de combustible, expresado en kg/10<sup>6</sup> kcal o partes por millón en volumen.
- C<sub>i</sub> = Consumo energético del equipo de combustión i expresado en kg/10<sup>6</sup> kcal por hora (anexo 5).
- i = Número consecutivo (1,2,3.....,n) que se asigna a las fuentes existentes.
- n = Número total de equipos de combustión existentes dentro de un mismo predio.

Ecuación 3 
$$Ep_Q = \frac{E_1 \cdot Q_1 + E_2 \cdot Q_2 + \dots + E_n \cdot Q_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}$$

- Ep<sub>Q</sub> = Emisión ponderada en base a flujo en chimenea, expresada en unidades de concentración según se indica en las tablas 4 y 5.
- E<sub>i</sub> = Emisión determinada en cada equipo de combustión, expresada en unidades de concentración según se indica en las tablas 4 y 5.
- i = 1,2,...,n
- Q = Flujo en chimenea expresado en m<sup>3</sup>/min a condiciones de 760 mm de Hg a 25 °C, base seca y 5% de oxígeno.

**5.3** Las fuentes fijas cuya capacidad total en equipos de combustión sea mayor a 43 000 MJ/h, deberán respaldar el total de las emisiones de bióxido de azufre con certificados de emisión, los cuales serán asignados con base en los niveles regionales establecidos en la Tabla 2 y no deberán sobrepasar los límites de emisión ponderada indicados en la tabla 5.

**Tabla 2**

| Región                                    | Emisión de SO <sub>2</sub><br>(kg/10 <sup>6</sup> kcal) |
|---|---|
| Zona metropolitana de la ciudad de México | 0.36  |
| Zonas críticas                            | 1.44  |

Conforme a las disposiciones jurídicas aplicables, la Secretaría de Desarrollo Social establecerá el esquema de regionalización, los procedimientos y el programa para que las fuentes fijas a que se refiere este numeral, cumplan con los límites de emisión ponderada por fuente fija, así como los niveles regionales de emisión, tomando en consideración el avance de los programas de infraestructura de suministro de combustibles.

**5.4** Los equipos de combustión existentes deberán cumplir con los límites de óxidos de nitrógeno consignados en la tabla 4 y a partir de 1998 con los límites de la tabla 5. Todo equipo de combustión nuevo deberá cumplir con los límites de emisiones de óxidos de nitrógeno consignados en la tabla 5.

**5.5** La operación de soplado que requieren los equipos de combustión de proceso continuo que utilicen combustibles sólidos o líquidos, deberá efectuarse con una frecuencia de por lo menos una vez por turno o de acuerdo a las especificaciones del fabricante. El tiempo de soplado no deberá exceder de 25 min por soplador o deshollinador, cuando se trate de equipos con capacidad mayor a 43 000 MJ/h y de 10 min para los menores.

**5.6** Los combustibles que se distribuyan en México deberán cumplir con la calidad ecológica necesaria para cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en esta norma. Las empresas que suministren combustibles sólidos y líquidos deberán certificar en las facturas de embarque de éstos, el contenido de azufre expresado en por ciento en peso. La descarga de bióxido de azufre a la atmósfera de equipos que usen combustibles gaseosos, sólidos y líquidos o cualquiera de sus combinaciones, se calculará con base en el consumo mensual de éstos y al contenido de azufre certificado por el proveedor.

Para efectos de verificación y en su caso, de sanción, el nivel de emisión se calculará mediante la ecuación 4:

Ecuación 4

$$Ne = \frac{\sum Qi \cdot FEC \cdot FCi}{\sum Qi \cdot FCi}$$

- i = Número de combustibles/equipos que se utilizan.
- Qi = Cantidad de combustible consumido en un equipo durante un periodo determinado.
- FECi = Factor de emisiones específico al tipo de combustible, según datos de la tabla 3.
- FCi = Factor de conversión para obtener el nivel de emisiones en kg de SO<sub>2</sub>/10<sup>6</sup> kcal.
- Ne = Nivel de emisión.

**Tabla 3**

| Combustible                          | Factor de emisión<br>(kg de SO <sub>2</sub> /10 <sup>6</sup> kcal) |
|--------------------------------------|--|
| Combustóleo con 1% en peso de azufre | 2.04   |
| Combustóleo con 2% en peso de azufre | 4.08   |
| Combustóleo con 4% en peso de azufre | 8.16   |
| Diésel con 0.5% en peso de azufre    | 0.91   |
| Gas natural                          | 0 (Cero)   |

Para los combustibles que no están contemplados en esta tabla, el factor de emisión se calculará de acuerdo a la ecuación 5.

Ecuación 5

$$\text{Factor de emisión} = \frac{\frac{\%S \left[ \frac{kg_S}{kg_{combustible}} \right]^2 \left[ \frac{kgSO_2}{kg_S} \right]}{100}}{\text{Poder calorífico} \left[ \frac{10^6 kcal}{kg_{combustible}} \right]} = \left[ \frac{kgSO_2}{10^6 kcal} \right]$$

% S = % en peso de azufre del combustible.

## 6. Requisitos y condiciones para la operación de los equipos de combustión.

### 6.1 Requisitos.

**6.1.1** Los responsables de los equipos de combustión de las fuentes fijas referidas en esta Norma Oficial Mexicana deben observar, según proceda, los siguientes requisitos de operación:

**6.1.1.1** Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de los equipos de combustión, medición y análisis de las emisiones y de los certificados de calidad del combustible empleado.

**6.1.1.2** La bitácora deberá tener como mínimo la siguiente información:

Control de operación: fecha, turno, hora de reporte, presión de vapor, temperatura de gases, temperatura del agua de alimentación, temperatura y presión de combustión, color de humo, purga de fondo, purga de nivel, disparo válvula de seguridad, consumo de combustible. Controles: de presión, bomba agua de alimentación paro y arranque, paro por fallo de flama.

Control de emisiones contaminantes: eficiencia, temperatura de gases, aire en exceso, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, opacidad de humo, datos del combustible empleado según certificado, análisis de emisiones según tabla 6: densidad de humo, partículas (PST), bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y análisis de agua de alimentación.

**6.1.1.3** La medición y análisis de las emisiones deben realizarse con la frecuencia y métodos que se indican en la tabla 6.

**6.1.1.4** Los métodos equivalentes a que se refiere la tabla 6 tendrán que ser los que se consideran en el anexo 3 de esta Norma Oficial Mexicana, o algún otro que demuestre la misma precisión con previa autorización de la autoridad competente.

### 6.2 Condiciones.

**6.2.1** Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidos en las tablas 4 y 5 de la presente Norma Oficial Mexicana sólo podrán rebasarse en el caso de:

**6.2.1.1** Operaciones de arranque del equipo de combustión, siempre que no excedan 15 min y la operación no se repita más de dos veces al día en equipos de capacidad menor a 43 000 MJ/h y 18 h para alcanzar la máxima carga o capacidad en los equipos mayores de 43 000 MJ/h.

Cuando por las características de los procesos y/o de los equipos de combustión se justifique técnicamente que se requiere mayor tiempo para su arranque, lo deberán comunicar a la autoridad competente.

**6.2.1.2** Operaciones de soplado, siempre y cuando se ajusten a lo establecido en el punto 5.5 de esta norma.

**6.2.2** Para los efectos de cuantificación de las emisiones de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno deben seguirse los procedimientos establecidos en las Normas Mexicanas correspondientes, o en su caso, los que establezca la autoridad competente.

**6.2.3** Cuando por una chimenea confluyan otras corrientes gaseosas para ser descargadas a la atmósfera conjuntamente con las generadas por las de combustión, la medición de las emisiones deberá realizarse por separado.

**6.2.4** En el caso de que no se cuente con las especificaciones sobre la capacidad nominal del equipo de combustión, ésta se determinará mediante la ecuación 6.

Ecuación 6

$$H_N = H_c \cdot V$$

H<sub>N</sub> = Capacidad térmica del equipo de combustión, expresada en megajoules por hora, (MJ/h).

H<sub>c</sub> = Poder calorífico del combustible empleado, expresado en megajoules por kilogramo, (MJ/kg).

V = Consumo de combustible, expresado en kilogramos por hora, (kg/h).

**Tabla 4.**  
**1994 al 31 de diciembre de 1997**

| Capacidad del equipo de combustión MJ/m | Tipo de combustible empleado | Densidad del humo           | Partículas (PST) mg/m <sup>3</sup> (kg/10 <sup>6</sup> kcal) |             |             | Bióxido de azufre ppm V (kg/10 <sup>6</sup> kcal) |              |              | Óxidos de nitrógeno ppm V (kg/10 <sup>6</sup> kcal) |             |             | Exceso de aire de combustión % volumen (4) |
|---|------------------------------|-----------------------------|--|-------------|-------------|---|--------------|--------------|---|-------------|-------------|--|
|   |                              | Número de mancha u opacidad | ZMCM   | ZC          | RP          | ZMCM  | ZC (5)       | RP           | ZMCM  | ZC (3)      | RP          |  |
| Hasta 5 250                             | Combustóleo o gasóleo        | 4                           | NA   | NA          | NA          | 1 100 (4.08)                                      | 2 100 (7.80) | 2 600 (9.81) | NA  | NA          | NA          | 60   |
|   | Otros líquidos               | 3                           | NA   | NA          | NA          | 1 100 (4.08)                                      | 2 100 (7.81) | 2 600 (9.81) | NA  | NA          | NA          |  |
|   | Gaseosos                     | 0                           | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | NA  | NA          | NA          |  |
| De 5 250 a 43 000                       | Líquidos                     | NA                          | 100 (0.142)  | 425 (0.604) | 600 (0.852) | 1 100 (4.08)                                      | 2 100 (7.80) | 2 600 (9.81) | 220 (0.588)   | 300 (0.801) | 400 (1.203) | 50   |
|   | Gaseosos                     | NA                          | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | 220 (0.563)   | 300 (0.767) | 400 (1.023) |  |
| De 43 000 a 110 000                     | Líquidos                     | NA                          | 100 (0.142)  | 425 (0.604) | 550 (0.781) | 1 100 (4.08)                                      | 2 100 (7.81) | 2 600 (9.81) | 180 (0.481)   | 300 (0.801) | 400 (1.203) | 40   |
|   | Gaseosos                     | NA                          | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | 180 (0.460)   | 300 (0.767) | 400 (1.023) |  |
| Mayor de 110 000                        | Sólidos                      | NA                          | 70 (0.105)   | 325 (0.496) | 435 (0.664) | 1 100 (4.32)                                      | 2 100 (8.24) | 2 600 (9.81) | 160 (9.81)  | 280 (0.785) | 400 (1.122) | 30   |
|   | Líquidos                     | NA                          | 70 (0.099)   | 325 (0.462) | 500 (0.710) | 1 100 (4.12)                                      | 2 100 (7.81) | 2 600 (9.81) | 160 (0.427)   | 280 (0.748) | 400 (1.069) |  |
|   | Gaseosos                     | NA                          | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | 160 (0.409)   | 280 (0.716) | 400 (1.023) |  |

**6.2.5** Cuando se utilicen simultánea o alternadamente dos o más combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, la capacidad nominal del equipo de combustión se determinará mediante la ecuación 7.

$$\text{Ecuación 7} \quad H_{pN} = \frac{H_{C1} \cdot V_1 + H_{C2} \cdot V_2 + \dots + H_{Cn} \cdot V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

- $H_{pN}$  = Capacidad térmica ponderada del equipo de combustión, expresada en megajoules por hora (MJ/h).
- $H_{C1}$  = Poder calorífico de cada uno de los combustibles empleados, expresado en megajoules por kilogramo (MJ/kg).
- $V_i$  = Consumo de cada combustible, expresado en kilogramos por hora (kg/h).
- $i$  = 1, 2, ..., n en donde "n" es el número de combustibles usados en un mismo equipo de combustión.

Para la presente Norma Oficial Mexicana se consideran los poderes caloríficos de los combustibles fósiles sólidos, líquidos y gaseosos indicados en el anexo 4. Notas y significados de siglas en anexo 1.

**Tabla 5.**  
**1° de enero de 1998 en adelante**

| Capacidad del equipo de combustión MJ/m | Tipo de combustible empleado | Densidad del humo           | Partículas (PST) mg/m <sup>3</sup> (kg/10 <sup>6</sup> kcal) |             |             | Bióxido de azufre ppm V (kg/10 <sup>6</sup> kcal) |              |              | Óxidos de nitrógeno ppm V (kg/10 <sup>6</sup> kcal) |             |             | Exceso de aire de combustión % volumen (4) |
|---|------------------------------|-----------------------------|--|-------------|-------------|---|--------------|--------------|---|-------------|-------------|--|
|   |                              | Número de mancha u opacidad | ZMCM   | ZC (3)      | RP          | ZMCM  | ZC (3)       | RP           | ZMCM  | ZC (4)      | RP          |  |
| Hasta 5 250                             | Combustóleo o gasóleo        | 3                           | NA   | NA          | NA          | 550 (2.04)  | 1 100 (4.08) | 2 200 (8.16) | NA  | NA          | NA          | 50   |
|   | Otros líquidos               | 2                           | NA   | NA          | NA          | 550 (2.04)  | 1 100 (4.08) | 2 200 (8.16) | NA  | NA          | NA          |  |
|   | Gaseosos                     | 0                           | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | NA  | NA          | NA          |  |
| De 5 250 a 43 000                       | Líquidos                     | NA                          | 75 (0.106)   | 350 (0.426) | 450 (0.568) | 550 (2.04)  | 1 100 (4.08) | 2 200 (8.16) | 190 (0.507)   | 190 (0.507) | 375 (1.0)   | 40   |
|   | Gaseosos                     | NA                          | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | 190 (0.486)   | 190 (0.486) | 375 (0.959) |  |
| De 43 000 a 110 000                     | Líquidos                     | NA                          | 60 (0.805)   | 300 (0.426) | 400 (0.568) | 550 (2.04)  | 1 100 (4.08) | 2 200 (8.16) | 190 (0.294)   | 190 (0.294) | 375 (1.0)   | 30   |
|   | Gaseosos                     | NA                          | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | 190 (0.281)   | 190 (0.281) | 375 (0.959) |  |
| Mayor de 110 000                        | Sólidos                      | NA                          | 60 (0.090)   | 250 (0.375) | 350 (0.525) | 550 (2.16)  | 1 100 (4.31) | 2 200 (8.16) | 190 (0.309)   | 190 (0.309) | 375 (1.052) | 25   |
|   | Líquidos                     | NA                          | 60 (0.085)   | 250 (0.355) | 350 (0.497) | 550 (2.04)  | 1 100 (4.08) | 2 200 (8.16) | 190 (0.294)   | 190 (0.294) | 375 (1.0)   |  |
|   | Gaseosos                     | NA                          | NA   | NA          | NA          | NA  | NA           | NA           | 190 (0.281)   | 190 (0.281) | 375 (0.959) |  |

Notas y significados de siglas en Anexo 2.

**Tabla 6**  
**Medición y análisis de gases de combustión**

| Capacidad del equipo de combustión MJ/m | Parámetro   | Frecuencia mínima de medición | Tipo de evaluación  | Tipo de combustible   |
|---|---|-------------------------------|---|-----------------------|
| Hasta 5 250                             | Densidad de humo                                      | Una vez cada 3 meses          | Puntual (3 muestras); mancha de hollín  | Líquido y gas         |
|   | CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> | Una vez cada 3 meses          | Puntual (3 muestras); ver anexo 3   | Líquido y gas         |
|   | SO <sub>2</sub>                                       | Una vez cada 3 meses          | Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor | Líquido               |
| De 5 250 a 43 000                       | Partículas suspendidas totales                        | Una vez al año                | Isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas (2)                           | Líquido               |
|   | NO <sub>x</sub>                                       | Una vez al año                | Continuo (4); quimioluminiscencia o equivalente   | Líquido y gas         |
|   | SO <sub>2</sub>                                       | Una vez al año                | Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor | Líquido               |
|   | CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub>                  | Diario                        | Puntual (3 muestras); ver anexo 3 o equivalente   | Líquido y gas         |
| De 43 000 a 110 000                     | Partículas suspendidas totales                        | Una vez al año                | Isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas                               | Líquido               |
|   | NO <sub>x</sub>                                       | Una vez cada 6 meses          | Continuo (4); quimioluminiscencia o equivalente   | Líquido y gas         |
|   | SO <sub>2</sub>                                       | Una vez al año                | Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor | Líquido               |
|   | CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub>                  | Una vez al año                | Puntual (3 muestras); ver anexo 3 o equivalente   | Líquido y gas         |
| Mayor de 110 000                        | Partículas suspendidas totales                        | Una vez cada 6 meses          | Isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas                               | Sólido, líquido       |
|   | NO <sub>x</sub>                                       | Permanente (3)                | Continuo (4); quimioluminiscencia o equivalente   | Sólido, líquido y gas |
|   | O <sub>2</sub>  | Permanente                    | Continúa; campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo o equivalente            | Líquido y gas         |
|   | SO <sub>2</sub>                                       | Una vez por año               | Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor | Sólido, líquido       |

NOTAS:

(1) Ver 6.1.1.4

- (2) Ver 6.1.1.5
- (3) El monitoreo continuo de NO<sub>x</sub> será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey; con una duración de cuando menos 7 días una vez cada 3 meses en las zonas críticas; y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada seis meses en el resto del país.
- (4) Ver 4.13  
Deberán realizarse las mediciones correspondientes a equipos de calentamiento industriales del ambiente de cualquier capacidad en enero y octubre de cada año.

### Anexo 1

#### Notas:

- (1) Concentraciones referidas a 25 °C, 760 mm Hg, 5% de oxígeno en volumen y base seca. Entre paréntesis se expresa el equivalente de la concentración en unidades de kg/10<sup>6</sup> kcal. El factor para corregir el O<sub>2</sub> a la base del 5% de oxígeno, se calcula de acuerdo a la ecuación 7.

Ecuación 7

$$E_r = \frac{21 - O_r}{21 - O_m} \cdot E_m$$

- $E_r$  = Emisión calculada al valor de referencia del O<sub>2</sub>  
 $E_m$  = Emisión medida (NO<sub>x</sub> o CO)  
 $O_m$  = Valor medido para el O<sub>2</sub>  
 $O_r$  = Nivel de referencia para el O<sub>2</sub>

- (2) Los valores de emisión de partículas, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno podrán ser determinados con promedios ponderados de fuente fija, haciendo uso del procedimiento descrito en el punto 5.2 de esta norma.
- (3) Se refiere únicamente a las zonas Metropolitanas de Monterrey y Guadalajara y a las Ciudades de Tijuana, Baja California y Cd. Juárez, Chihuahua.
- (4) Determinado con la siguiente ecuación y medido antes del precalentador de aire o de cualquier infiltración que diluya los gases de combustión:  $EA = (O_2 - 0.5CO)100 / (0.264N_2 - O_2 + 0.5CO)$ ; donde: O<sub>2</sub>, CO y N<sub>2</sub>, corresponden al porcentaje en volumen de oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno respectivamente contenidos en los gases de combustión en base seca.
- (5) Para efectos del cumplimiento de los límites del bióxido de azufre, el corredor industrial Tampico-Madero-Altamira en el estado de Tamaulipas deberá cumplir con el valor establecido para el resto del país.

### Anexo 2

#### Notas:

- (1) Concentraciones referidas a 25 °C, 760 mm Hg, 5% de oxígeno en volumen y base seca. Entre paréntesis se expresa el equivalente de la concentración en unidades de kg/10<sup>6</sup> kcal. El factor para corregir el O<sub>2</sub> a la base del 5% de oxígeno, se calcula de acuerdo a la ecuación 7.

Ecuación 7

$$E_r = \frac{21 - O_r}{21 - O_m} \cdot E_m$$

- $E_r$  = Emisión calculada al valor de referencia del O<sub>2</sub>  
 $E_m$  = Emisión medida (NO<sub>x</sub> o CO)  
 $O_m$  = Valor medido para él O<sub>2</sub>  
 $O_r$  = Nivel de referencia para él O<sub>2</sub>

- (2) Los valores de emisión de partículas, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno podrán ser determinados con promedios ponderados de fuente fija, al hacer uso del procedimiento descrito en el punto 5.2 de esta norma.
- (3) Zonas críticas (especificadas en el punto 4.22 de esta norma).

- (4) Se refiere únicamente a las Zonas metropolitanas de las ciudades de Monterrey y Guadalajara y las ciudades de Tijuana, Baja California y Cd. Juárez, Chihuahua.
- (5) Determinado con la siguiente ecuación y medido antes del precalentador de aire o de cualquier infiltración que diluya los gases de combustión:  
 $EA = (O_2 - 0.5CO)100/(0.264N_2 - O_2 + 0.5CO)$ ; donde  $O_2$ ,  $CO$  y  $N_2$ , corresponden al porcentaje en volumen de oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno respectivamente contenidos en los gases de combustión en base seca.

### Anexo 3

#### Contaminantes y sus métodos de evaluación para fuentes fijas y métodos equivalentes

| Contaminante                   | Método de evaluación   | Método equivalente  |
|--------------------------------|--|---|
| Densidad de humo               | * huella o mancha de hollín<br>* opacidad  | ----  |
| Partículas suspendidas totales | * isocinético  | ----  |
| Óxidos de nitrógeno            | * quimioluminiscencia<br>* infrarrojo no dispersivo  | * infrarrojo no dispersivo  |
| Óxidos de carbono              | * celdas electroquímicas*<br>* orsat ( $O_2$ , $CO_2$ y $CO$ )                                       | ----  |
| Oxígeno                        | * celdas electroquímicas<br>* paramagnéticos   | * orsat ( $O_2$ , $CO_2$ y $CO$ )<br>* óxidos de zirconio<br>(celdas electroquímicas)   |
| $SO_2$                         | * medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor MJ/h | Capacidad del equipo de combustión<br>Hasta 5 250:<br>*vía húmeda (torino)<br>*infrarrojo no dispersivo<br>*celdas electroquímicas<br>Mayores de 5 250:<br>*vía húmeda<br>*infrarrojo no dispersivo |

\* Se calcula el valor dado que no se obtiene por medición directa.

### Anexo 4

#### Poder calorífico

| Combustible        | MJ/kg de combustible |
|--------------------|----------------------|
| Gas natural        | 52                   |
| Gas LP             | 48                   |
| Butano             | 49                   |
| Isobutano          | 45                   |
| Propano            | 50                   |
| Butileno           | 49                   |
| Propileno          | 49                   |
| Metano             | 55                   |
| Petróleo diáfano   | 46                   |
| Gasolina           | 47                   |
| Diesel             | 48                   |
| Gasóleo            | 42                   |
| Combustóleo pesado | 42                   |
| Combustóleo ligero | 43                   |
| Carbón mineral     | Variable             |
| Coque de petróleo  | 31                   |

**Anexo 5**

**Tabla de equivalencias**

| Unidad          |                          | x                      | =               |
|-----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|
| MJ              | megajoule                | 239                    | kcal            |
| MJ              | megajoule                | 0.277                  | kWh             |
| kcal            | kilocaloría              | $4.186 \times 10^{-6}$ | MJ              |
| kcal            | kilocaloría              | $1.162 \times 10^{-3}$ | kWh             |
| kWh             | kilovatio hora           | 3.6                    | MJ              |
| kWh             | kilovatio hora           | 860.4                  | kcal            |
| kcal            | kilocaloría              | 3.968                  | B.T.U.          |
| B.T.U.          | unidad térmica británica | 0.252                  | kcal            |
| C.C.            | caballo caldera          | 35.3                   | MJ/h            |
| MJ/h            | megajoule                | 0.028                  | C.C.            |
| S               | azufre                   | 2                      | SO <sub>2</sub> |
| SO <sub>2</sub> | bióxido de azufre        | 0.5                    | S               |

| Clave                                      | Descripción  |
|--|--|
| PROY-NOM-163-SEM-ENER-SCF-2012             | Emisiones de bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos.  |
| IEEE 802.3-2008                            | IEEE Standard for Information technology-Specific requirements - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications (ethernet) (norma IEEE para tecnología de la información – requisitos específicos – parte 3: acceso múltiple de detección de portadora con detección de colisiones (csma/cd) método de acceso y especificaciones de la capa física (ethernet)  |
| IEEE 1159-2009                             | IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (Práctica recomendada por IEEE para la Supervisión de la Calidad de la Energía Eléctrica)  |
| NMX-CC-9001-IMNC-2015                      | Sistema de gestión de la calidad - requisitos  |
| NMX-EC-17025-IMNC-2006                     | <p>Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración (cancela a la NMXEC- 17025-IMNC-2000). Declaratoria de vigencia de las normas mexicanas NMX-AG-009-IMNC-2006, NMX-CH-049-IMNC-2006, NMX-CH-5725/5-IMNC-2006, NMX-EC-17025-IMNC-2006, NMX-EC-15189-IMNC-2006 y NMX-SAA-14015-IMNC-2006.</p> <p><b>Campo de aplicación</b><br/>                     Esta Norma Mexicana establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o de calibraciones, incluido el muestreo. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.<br/>                     Esta norma mexicana es aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo o de calibración.</p> <p><b>Concordancia con normas internacionales</b><br/>                     Esta Norma Mexicana es idéntica a la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005.</p> |
| ISO 14001:2004<br>(traducción certificada) | <p><b>1. Objeto y campo de aplicación</b><br/>                     Esta Norma Internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental, destinados a permitir que una organización</p>   |

| Clave                  | Descripción  |
|------------------------|--|
|                        | <p>desarrolle e implemente una política y unos objetivos que tengan en cuenta los requisitos legales y otros requisitos que la organización suscriba, y la información relativa a los aspectos ambientales significativos. Se aplica a aquellos aspectos ambientales que la organización identifica que puede controlar y aquel sobre los que la organización puede tener influencia. No establece por sí misma criterios de desempeño ambiental específicos.</p> <p>Esta Norma Internacional se aplica a cualquier organización que desee:</p>  |
|                        | <p><b>a)</b> establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión ambiental;</p> <p><b>b)</b> asegurarse de su conformidad con su política ambiental establecida;</p> <p><b>c)</b> demostrar la conformidad con esta Norma Internacional por:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La realización de una autoevaluación y autodeclaración, o</li> <li>2. La búsqueda de confirmación de dicha conformidad por las partes interesadas en la organización, tales como clientes; o</li> <li>3. La búsqueda de confirmación de su autodeclaración por una parte externa a la organización; o</li> <li>4. La búsqueda de la certificación/registro de su sistema de gestión ambiental por una parte externa a la organización.</li> </ol> <p>Todos los requisitos de esta Norma Internacional tienen como fin su incorporación a cualquier sistema de gestión ambiental. Su grado de aplicación depende de factores tales como la política ambiental de la organización, la naturaleza de sus actividades, productos y servicios y la localización donde y las condiciones en las cuales opera.</p> |
| ISO 216:2007 (DIN 476) | Writing paper and certain classes of printed matter -- Trimmed sizes -- A and B series, and indication of machine direction (papel para escritura y ciertas clases de material impreso – tamaños normalizados – serie A y B, y la indicación de dirección de máquina).   |
| ISO 4506               | Especifica el método para determinar la resistencia a la rotura y el límite elástico del carburo cementado mediante la aplicación de cargas uniaxiales a compresión  |
| ISO 1183               | Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares  |
| ISO 17162:2014         | Cerámica fina (cerámica avanzada, cerámica técnica avanzada) - Propiedades mecánicas de la cerámica monolítica a temperatura ambiente - Determinación de la resistencia a la compresión  |
| ISO 10218-2:2011       | Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots<br>En reconocimiento de la naturaleza variable de los peligros con la aplicación de robots industriales, esta parte de ISO 10218 proporciona una guía para garantizar la seguridad en la integración e instalación de robots. Dado que la seguridad en el uso de robots industriales está influenciada por el diseño del sistema de robot en particular, un propósito complementario, aunque igualmente importante, es proporcionar pautas para el diseño, construcción e información para el uso de sistemas y células   |
| ISO 9000:2015          | Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario<br>Esta Norma Internacional proporciona los conceptos fundamentales, los principios y el vocabulario para los sistemas de gestión de la calidad (SGC) y proporciona la base para otras normas de SGC. Esta Norma Internacional está prevista para ayudar al usuario a entender los conceptos fundamentales, los principios y el vocabulario de gestión de  |

| Clave         | Descripción  |
|---------------|--|
|               | <p>la calidad para que pueda ser capaz de implementar de manera eficaz y eficiente un SGC y obtener valor de otras normas de SGC.</p> <p><b>1 Objeto y campo de aplicación</b></p> <p>Esta Norma Internacional describe los conceptos y los principios fundamentales de la gestión de la calidad que son universalmente aplicables a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— las organizaciones que buscan el éxito sostenido por medio de la implementación de un sistema de gestión de la calidad;</li> <li>— los clientes que buscan la confianza en la capacidad de una organización para proporcionar regularmente productos y servicios conformes a sus requisitos;</li> <li>— las organizaciones que buscan la confianza en su cadena de suministro en que sus requisitos para los productos y servicios se cumplirán;</li> <li>— las organizaciones y las partes interesadas que buscan mejorar la comunicación mediante el entendimiento común del vocabulario utilizado en la gestión de la calidad;</li> <li>— las organizaciones que realizan evaluaciones de la conformidad frente a los requisitos de la Norma ISO 9001;</li> <li>— los proveedores de formación, evaluación o asesoramiento en gestión de la calidad;</li> <li>— quienes desarrollan normas relacionadas.</li> </ul>  |
| ISO 9001:2015 | <p>Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos</p> <p>Esta Norma Internacional emplea el enfoque a procesos, que incorpora el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) y el pensamiento basado en riesgos.</p> <p>El ciclo PHVA permite a una organización asegurarse de que sus procesos cuenten con recursos y se gestionen adecuadamente, y que las oportunidades de mejora se determinen y se actúe en consecuencia.</p> <p>El ciclo PHVA puede describirse brevemente como sigue:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Planificar: establecer los objetivos del sistema y sus procesos, y los recursos necesarios para generar y proporcionar resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización, e identificar y abordar los riesgos y las oportunidades;</li> <li>— Hacer: implementar lo planificado;</li> <li>— Verificar: realizar el seguimiento y (cuando sea aplicable) la medición de los procesos y los productos y servicios resultantes respecto a las políticas, los objetivos, los requisitos y las actividades planificadas, e informar sobre los resultados;</li> <li>— Actuar: tomar acciones para mejorar el desempeño, cuando sea necesario.</li> </ul> <p><b>1 Objeto y campo de aplicación</b></p> <p>Esta Norma Internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad cuando una organización:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables, y</li> <li>b) aspira a aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables.</li> </ol> <p>Todos los requisitos de esta Norma Internacional son genéricos y se pretende que sean aplicables a todas las organizaciones, sin importar su tipo o tamaño, o los productos y servicios suministrados.</p> |

| Clave             | Descripción   |
|-------------------|---|
|                   | <p>NOTA 1 En esta Norma Internacional, los términos “producto” o “servicio” se aplican únicamente a productos y servicios destinados a un cliente o solicitados por él.</p> <p>NOTA 2 El concepto que en la versión en inglés se expresa como “statutory and regulatory requirements” en esta versión en español se ha traducido como requisitos legales y reglamentarios.</p>  |
| ISO 9004:2018(es) | <p>Gestión de la calidad — Calidad de una organización — Orientación para lograr el éxito sostenido</p> <p>Esta norma proporciona orientación a las organizaciones para lograr el éxito sostenido en un entorno complejo, exigente, y en constante cambio, con referencia a los principios de la gestión de la calidad descritos en la Norma ISO 9000:2015. Cuando se aplican de manera colectiva, los principios de la gestión de la calidad pueden proporcionar una base unificadora para los valores y las estrategias de una organización.</p> <p>Mientras la Norma ISO 9001:2015 se centra en proporcionar confianza en los productos y servicios de una organización, este documento se centra en proporcionar confianza en la capacidad de la organización de lograr el éxito sostenido.</p> <p><b>1 Objeto y campo de aplicación</b></p> <p>Este documento proporciona directrices para mejorar la capacidad de una organización para lograr el éxito sostenido. Esta orientación es coherente con los principios de la gestión de la calidad dados en la Norma ISO 9000:2015.</p> <p>Este documento proporciona una herramienta de autoevaluación para revisar la medida en que la organización ha adoptado los conceptos de este documento.</p> <p>Este documento es aplicable a cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo y actividad.</p> |
| ISO 13053-1: 2011 | <p>Métodos cuantitativos en la mejora de procesos - Six Sigma - Parte 1: Metodología, describe una metodología para la metodología de mejora empresarial conocida como Six Sigma. La metodología generalmente comprende cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Recomienda la mejor práctica o preferida para cada una de las fases de la metodología utilizada durante la ejecución de un proyecto Six Sigma. También recomienda cómo se deben administrar los proyectos Six Sigma y describe las funciones, la experiencia y la capacitación del personal involucrado en dichos proyectos. Es aplicable a organizaciones que utilizan procesos de fabricación, así como procesos transaccionales y de servicios.</p>  |
| ISO 17258: 2015   | <p>Métodos estadísticos - Six Sigma - Criterios básicos que subyacen a la evaluación comparativa de Six Sigma en las organizaciones, describe una metodología para establecer el nivel de calidad, desempeño y productividad de procesos, productos y servicios de acuerdo con los principios Six Sigma. Es aplicable a todos los sectores (industrias, servicios, administración, etc.) y a todo tipo de organizaciones, ya estén involucradas en un programa de mejora como Six Sigma, Lean, o no. En particular, se puede utilizar para iniciar un programa Six Sigma proporcionando una selección de proyectos de mejora.</p>   |
| ISO 18404: 2015   | <p>Métodos cuantitativos en la mejora de procesos - Six Sigma - Competencias para el personal clave y sus organizaciones en relación con Six Sigma y la implementación Lean, define las competencias para el logro de niveles específicos de competencia con respecto a Six Sigma, Lean y "Lean y Six Sigma" en individuos.</p>   |

| Clave             | Descripción  |
|-------------------|--|
| ISO 26000         | <p>Esta Norma Internacional proporciona orientación sobre los principios que subyacen en la responsabilidad social, el reconocimiento de la responsabilidad social y el involucramiento con las partes interesadas, las materias fundamentales y los asuntos que constituyen la responsabilidad social y sobre las maneras de integrar un comportamiento socialmente responsable en la organización. Esta Norma Internacional hace énfasis en la importancia de los resultados y mejoras en el desempeño de la responsabilidad social, pretende ayudar a las organizaciones a contribuir al desarrollo sostenible. Tiene como propósito fomentar que las organizaciones vayan más allá del cumplimiento legal, reconociendo que el cumplimiento de la ley es una obligación fundamental para cualquier organización y una parte esencial de su responsabilidad social. Se pretende promover un entendimiento común en el campo de la responsabilidad social y complementar otros instrumentos e iniciativas relacionados con la responsabilidad social, sin reemplazarlos</p> <p><b>1 Objeto y campo de aplicación</b></p> <p>Esta Norma Internacional proporciona orientación a todo tipo de organizaciones, independientemente de su tamaño o localización, sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) conceptos, términos y definiciones relacionados con la responsabilidad social;</li> <li>b) antecedentes, tendencias y características de la responsabilidad social;</li> <li>c) principios y prácticas relacionadas con la responsabilidad social;</li> <li>d) materias fundamentales y asuntos de responsabilidad social;</li> <li>e) integración, implementación y promoción de un comportamiento socialmente responsable en toda la organización y, a través de sus políticas y prácticas relacionadas, dentro de su esfera de influencia;</li> <li>f) identificación e involucramiento con las partes interesadas, y</li> <li>g) comunicación de compromisos, desempeño y otra información relacionados con la responsabilidad social.</li> </ul> |
| NOM-008-NUCL-2011 | Control de la contaminación radiactiva.  |
| NOM-001-SCFI-1993 | Aparatos electrónicos de uso doméstico alimentados por diferentes fuentes de energía eléctrica-Requisitos de seguridad y métodos de prueba para la aprobación de tipo.   |
| NOM-003-SCFI-2000 | Productos eléctricos-especificaciones de seguridad.  |
| NOM-008-SCFI-2002 | <p>Sistema general de unidades de medida.</p> <p>La elaboración de esta Norma Oficial Mexicana se basó principalmente en las resoluciones y acuerdos que sobre el Sistema Internacional de Unidades (SI) se han tenido en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), hasta su 22a. Convención realizada en el año 2003. [Modificación publicada en el DOF el 24 de septiembre de 2009]</p> <p>Esta Norma Oficial Mexicana establece las definiciones, símbolos y reglas de escritura de las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) y otras unidades fuera de este Sistema que acepte la CGPM, que en conjunto, constituyen el Sistema General de Unidades de Medida, utilizado en los diferentes campos de la ciencia, la tecnología, la industria, la educación y el comercio.</p> <p>Sistema de unidades que establece magnitudes de:</p> <p>Espacio, tiempo, de fenómenos periódicos y conexos, de mecánica, de calor, de electricidad y magnetismo, de luz y radiaciones electromagnéticas, de acústica, de físico-química y física molecular, de física atómica y física nuclear, de reacciones nucleares y radiaciones</p>   |

| Clave                  | Descripción   |
|------------------------|---|
|                        | ionizantes, unidades que se conservan, unidades que pueden usarse temporalmente y unidades que no deben utilizarse con el SI.   |
| NOM-016-SCFI-1993      | Aparatos electrónicos de uso en oficina y alimentados por diferentes fuentes de energía eléctrica - Requisitos de seguridad y métodos de prueba. (Se ratifica por cinco años según resolución publicada en el D. O. F. El 29/06/2005)   |
| NOM-040-SCFI-1994      | Instrumentos de medición-instrumentos rígidos reglas graduadas para medir longitud- uso comercial.  |
| NOM-046-SCFI-1999      | Instrumentos de medición-cintas métricas de acero y flexómetros (esta norma cancela a la norma oficial mexicana NOM-046-SCFI-1999, instrumentos de medición-cintas métricas de acero y flexómetros, y su aclaración.  |
| NOM-058-SCFI-1999      | Productos eléctricos-balastos para lámparas de descarga eléctrica en gas-especificaciones de seguridad. (se ratifica la presente NOM, según resolución publicada el 01/11/2005 en el D. O. F.)  |
| NOM-063-SCFI-2001      | Productos eléctricos – conductores – requisitos de seguridad.   |
| NOM-064-SCFI-2000      | Productos eléctricos-luminarios para uso en interiores y exteriores-especificaciones de seguridad y métodos de prueba.  |
| NOM-093-SCFI-1994      | Válvulas de relevo de presión (seguridad, seguridad-alivio y alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce.   |
| PROY-NOM-080-SCT1-1994 | Diagramas, gráficas y tablas utilizadas en electrónica. Parte 1. Definiciones y clasificación.  |
| PROY-NOM-089-SCT1-1994 | Diagramas, gráficas y tablas utilizadas en electrónica. Parte 2. Identificación de elementos.   |
| PROY-NOM-010-SCT3-94   | Que regula el procedimiento pro-abatimiento de ruido sobre la ciudad de México.   |
| NOM-036-SCT3-2000      | Que establece dentro de la república mexicana los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros, su método de medición, así como los requerimiento de calibración de equipos.   |
| NOM-001-SEDE-2012      | Instalaciones eléctricas (utilización). Sustituye a la NOM-001-SEDE-2005  |
| NOM-002-SEDE-2010      | Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.   |
| NOM-004-SEDG-2004      | Instalaciones de aprovechamiento de gas LP diseño y construcción.   |
| NOM-011/1-SEDG-1999    | Condiciones de seguridad de los recipientes portátiles para contener gas LP en uso.<br><b>Objetivo y campo de aplicación</b><br>Esta Norma Oficial Mexicana establece las condiciones mínimas de seguridad de los recipientes portátiles para contener Gas LP en uso, con el fin de proporcionar el servicio en la distribución del Gas LP por medio de esos envases; asimismo, las especificaciones para el marcado que identifica al distribuidor propietario del recipiente y los procedimientos para la evaluación de la conformidad. |

**4. Valoración de las condiciones de seguridad de los recipientes portátiles**

**4.1** Las condiciones de seguridad de los recipientes portátiles deben valorarse previo al llenado de Gas LP, conforme al procedimiento interno del distribuidor, los resultados de las valoraciones deben asentarse diariamente en libro bitácora.

**4.2** No deben ser llenados con Gas LP los recipientes portátiles que presenten las siguientes características:

**4.2.1** Válvula. Cuando presente golpe y/o fuga, no tenga volante o se detecte falla visible en el dispositivo de relevo de presión.

**4.2.2** Cuello protector. Cuando por su estado físico no proteja y/o impida la operación de la válvula.

**4.2.3.** Base de sustentación.

**4.2.3.1** Cuando por su estado físico o deterioro no sostenga verticalmente al recipiente portátil.

**4.2.3.2** Cuando uno o más de los cuatro cordones de soldadura que unen la base de sustentación al casquete inferior del recipiente, se encuentre desprendido.

**4.2.4** Pintura. Cuando se presenten signos de corrosión en el recipiente portátil.

**4.3** Deben ser retirados del servicio para su inutilización los recipientes portátiles que presenten las siguientes características:

**4.3.1** Abolladura. Cuando el recipiente portátil presente abolladura en la sección cilíndrica y/o casquetes, con una profundidad superior al 10% del diámetro mayor de la abolladura o cuando ocurra en un cordón de soldadura y la profundidad sea superior a 6.35 mm (ver figura A, detalle A).

**4.3.2** Protuberancia o abombado. Cuando el recipiente portátil presente protuberancia o signos de abombado en la sección cilíndrica y casquete.

**4.3.3** Incisión o cavidad. Cuando el recipiente portátil presente incisión o cavidad en la lámina de la sección cilíndrica y/o casquetes, con una longitud mayor a 75 mm y/o en algún punto presente una profundidad mayor a 0.6 mm en los recipientes portátiles con capacidad de 10, 20 y 30 kg, así como mayor a 0.8 mm en los recipientes portátiles con capacidad de 45 kg (ver figura C y D).

**4.3.4** Corrosión. Cuando el recipiente portátil presente picadura por corrosión en la lámina de la sección cilíndrica y casquetes y su profundidad sea mayor a 0.6 mm en los recipientes portátiles con capacidad de 10, 20 y 30 kg, así como mayor a 0.8 mm en los recipientes portátiles con capacidad de 45 kg (ver figura A, detalle B).

**4.3.5** Grieta. Cuando en el recipiente portátil se detecte cualquier grieta externa, sin importar su longitud ni profundidad, en la lámina de la sección cilíndrica y casquetes, en la soldadura del medio cople o en el medio cople, en los cordones de soldadura longitudinal o circunferencial y en las uniones del recipiente con el cuello protector y base de sustentación.

**4.3.6** Cuando el recipiente portátil presente evidencia visual de haber sido expuesto al fuego.

**4.4** Etapa de valoración.

**4.4.1** El 100% de los recipientes portátiles debe ser revisado visualmente previo a su llenado con gas LP, retirando del servicio para su inutilización los que presenten protuberancia, abombado o grieta.

**4.4.2** Adicionalmente a lo establecido en el numeral 4.4.1 de esta norma, en plantas de almacenamiento para distribución con llenado promedio diario de hasta 1000 recipientes portátiles, el 10% de esos recipientes debe ser valorado diariamente respecto de abolladuras, incisiones, cavidades y corrosión, retirando del servicio para su inutilización los que presenten anomalías establecidas en los numerales 4.3.1, 4.3.3 y 4.3.4 de esta norma. En plantas de almacenamiento para distribución con llenado promedio diario mayores a 1000 recipientes portátiles, el tamaño del lote a valorarse debe ser de 200 recipientes por día.

**4.4.2.1** Previo a la valoración de los recipientes portátiles, éstos deben limpiarse de herrumbre, suciedad o pintura apelmazada que se encuentre adherida a su superficie de forma suelta.

**4.5** Queda prohibido efectuar reparaciones a la sección cilíndrica y casquetes (superior e inferior) de los recipientes portátiles, que impliquen calentamiento y golpes en la lámina, soldadura o cortes. Se permite la aplicación de soldadura en los casquetes (superior e inferior), exclusivamente para el cambio de cuello protector y base de sustentación.

**8.** Procedimiento para la evaluación de la conformidad

**8.1** Para efectos de este procedimiento, los siguientes términos se entenderán como se describen a continuación:

**8.1.1** DGGIE. A la Dirección General de Gas LP y de Instalaciones Eléctricas de la Secretaría de Energía.

**8.1.2** Ley. A la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

**8.1.3** Distribuidor. Al titular de un permiso de distribución mediante planta de almacenamiento para distribución.

**8.1.4** Evaluación de la conformidad. A la determinación del grado de cumplimiento con esta Norma Oficial Mexicana mediante verificación.

**8.1.5 Verificación.** A la constatación ocular o comprobación mediante medición que se realiza para evaluar la conformidad con esta Norma Oficial Mexicana.

**8.1.6 Dictamen.** Al documento que emite la Unidad de Verificación mediante el cual se determina el grado de cumplimiento con esta Norma Oficial Mexicana.

**8.1.7 Unidad de Verificación.** A la persona física o moral acreditada y aprobada conforme a la Ley, que realiza actos de verificación.

**8.2 Procedimiento.**

**Artículo 1.** El presente procedimiento es aplicable a la evaluación de la conformidad con esta Norma Oficial Mexicana.

**Artículo 2.** Valoración de las condiciones de seguridad de los recipientes portátiles.

I. La valoración de las condiciones de seguridad de los recipientes portátiles se debe efectuar por los distribuidores, previo al llenado de Gas LP

II. El distribuidor debe contar con procedimiento interno establecido por la empresa, para la valoración de las condiciones de seguridad de los recipientes portátiles y registrar en libro bitácora los resultados de dichas valoraciones.

**Artículo 3.** Evaluación de la conformidad a petición de parte.

Los distribuidores deben requerir, anualmente, la evaluación de la conformidad con esta Norma Oficial Mexicana y conservar el original del dictamen, el que deberá estar a la disposición de la DGGIE o de otra autoridad competente conforme a sus atribuciones.

a) La evaluación de la conformidad a petición de parte se obtendrá de las Unidades de Verificación.

b) El interesado obtendrá el directorio de Unidades de Verificación en la Oficialía de Partes de la DGGIE, ubicada en Insurgentes Sur 890, planta baja, colonia Del Valle, código postal 03100, México D.F. (edificio sede) o de la página de la Secretaría de Energía, vía Internet, en la siguiente dirección [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx) sección servicios y trámites, módulo-trámites del público y requisitos referentes al Gas LP

c) Los gastos que se originen de las verificaciones a petición de parte, serán a cargo del distribuidor.

**Artículo 4.** Evaluaciones de la conformidad de seguimiento.

I. Las evaluaciones de la conformidad de seguimiento se podrán efectuar por parte de la DGGIE.

a) Las evaluaciones de la conformidad de seguimiento podrán realizarse en cualquier momento.

b) Las evaluaciones de la conformidad se llevarán a cabo en las plantas de almacenamiento para distribución, bodegas de distribución de Gas LP en recipientes portátiles y vehículos de reparto de Gas LP en recipientes portátiles.

**Artículo 5.** El acta circunstanciada levantada en la verificación o el dictamen, deben hacer constar como mínimo:

- La fecha de la evaluación.
- Si el distribuidor cuenta con procedimiento interno para la valoración de las condiciones de seguridad de los recipientes portátiles y libro bitácora en donde se asientan los resultados de dichas valoraciones.
- Si la valoración de las condiciones de seguridad de los recipientes portátiles se lleva a cabo previo al llenado de Gas LP, y conforme al procedimiento establecido por el distribuidor.
- La fecha de la última evaluación de la conformidad con esta Norma, a petición de parte.
- La cantidad de recipientes valorados en la verificación.

La verificación se llevará a cabo seleccionando como mínimo uno de cada 10 recipientes portátiles que se encuentren en el sitio y deben ser seleccionados por la persona que lleva a cabo la verificación.

• El marcado con la marca comercial conforme a lo establecido en el numeral seis de esta Norma Oficial Mexicana.

• Los resultados de la verificación de los recipientes.

**Artículo 6.** En aquellos casos en los que del resultado de la evaluación de la conformidad se determine incumplimiento a esta Norma Oficial Mexicana o cuando la misma no pueda llevarse a cabo por causa imputable al distribuidor, la Unidad de Verificación dará aviso inmediato a la DGGIE, sin perjuicio de las sanciones que procedan.

| Clave               | Descripción  |
|---------------------|--|
| NOM-012/3-SEDG-2003 | <p>Recipientes a presión para contener gas LP, tipo no portátil, destinados a ser colocados a la intemperie en estaciones de gas LP para carburación e instalaciones de aprovechamiento. Fabricación.</p> <p><b>Objetivo</b><br/>                     Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones mínimas y métodos de prueba que se deben cumplir en la fabricación de recipientes sujetos a presión para contener gas LP, tipo no portátil, no expuestos a calentamiento por medios artificiales, destinados a ser colocados a la intemperie en estaciones de gas LP para carburación e instalaciones de aprovechamiento final de Gas LP, con una capacidad nominal desde 100 litros y hasta 5 000 litros de agua (tipo B1 y B2), así como el procedimiento para la evaluación de la conformidad correspondiente.</p> |

## 5. Métodos de prueba

**5.1 Prueba hidrostática.** Los recipientes motivo de esta Norma deben someterse a una presión hidrostática de 1.3 veces su presión de diseño, como mínimo, la cual en ningún caso debe exceder el 90% del esfuerzo límite de cedencia del material. Esta prueba debe efectuarse al 100% de los recipientes.

### 5.1.1 Aparatos y equipos.

- a) Dispositivo hidráulico que proporcione una presión de 2.23 MPa (22.8 kgf/cm<sup>2</sup>), como mínimo.
- b) Medidor indicador de presión analógico de carátula (manómetro), el cual debe estar graduado para un alcance de entre 1.5 veces y 4 veces la presión de prueba máxima. Pueden emplearse medidores de presión de lectura digital que tengan un alcance más amplio, siempre y cuando las lecturas den el mismo o mayor grado de exactitud que el obtenido con medidores de presión analógicos de carátula.

### 5.1.2 Procedimiento.

Una vez que el recipiente ha sido llenado completamente con agua, debe elevarse la presión hidrostática a por lo menos 1.3 veces la presión de diseño, durante el tiempo necesario para inspeccionar si existen fugas en el material base o en las juntas soldadas.

**5.1.3 Resultado.** El recipiente no debe presentar fugas, defectos en el material base ni deformaciones permanentes.

**5.2 Prueba neumática.** Los recipientes con sus válvulas instaladas deben someterse a una presión neumática de 0.686 MPa (7 kgf/cm<sup>2</sup>), como mínimo. Esta prueba debe efectuarse al 100% de los recipientes.

### 5.2.1 Aparatos y equipos.

- a) Compresor.
- b) Medidor indicador de presión analógico de carátula (manómetro), graduado conforme a lo indicado en el numeral 5.1.1, inciso b).

**5.2.2 Procedimiento.** Se elimina completamente el agua y cualquier materia extraña que pudiera contener el recipiente, se instalan todos sus accesorios de control y seguridad, se aplica una presión neumática mínima de 0.686 MPa (7 kgf/cm<sup>2</sup>) y se coloca jabonadura en todas las conexiones y accesorios, verificando que no existan fugas. Esta prueba puede realizarse sumergiendo el recipiente en agua.

**5.2.3 Resultado.** El recipiente no debe presentar fugas en las juntas soldadas ni en los accesorios instalados.

| Clave             | Descripción  |
|-------------------|--|
| NOM-019-SEDG-2002 | Aparatos domésticos para cocinar alimentos que utilizan gas LP o gas natural-especificaciones y métodos de prueba. (cancela y sustituye a la norma oficial mexicana NOM-023-SCFI-1993) |
| NOM-020-SEDG-2003 | Calentadores para agua que utilizan como combustible gas LP o natural, de uso doméstico y comercial. Requisitos de seguridad, métodos de prueba y marcado.                             |

| Clave                 | Descripción  |
|-----------------------|--|
| NOM-001-SEMARNAT-1996 | Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.  |
| NOM-002-SEMARNAT-1996 | Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.  |
| NOM-003-SEMARNAT-1997 | Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.   |
| NOM-034-SEMARNAT-1993 | Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.<br><b>Objetivo:</b><br>Esta Norma oficial establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.<br><b>Campo de aplicación:</b><br>Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en la operación de los equipos, estaciones o sistemas de monitoreo de calidad del aire con fines de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial. |

6.1 El método de referencia para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, es el de absorción infrarroja por medio de un fotómetro no dispersivo.

$$(CO)_{sal} = \frac{(CO)_{ptn} \cdot F_{co}}{(F_o + F_{co})}$$

$(CO)_{sal}$  = concentración de monóxido de carbón diluido en el múltiple de salida en ppm.

$(CO)_{ptn}$  = concentración de monóxido de carbón patrón sin diluir en ppm

$F_{co}$  = velocidad de flujo de monóxido de carbono patrón corregida a 25 °C y 760 mmHg en L/min

$F_o$  = velocidad de flujo de monóxido del aire de dilución corregida a 25 °C y 760 mmHg en L/min

| Clave                 | Descripción   |
|-----------------------|---|
| NOM-035-SEMARNAT-1993 | Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de equipos de medición.   |
| NOM-036-SEMARNAT-1993 | Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.  |
| NOM-038-SEMARNAT-1993 | Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.  |
| NOM-039-SEMARNAT-1993 | Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras.  |
| NOM-041-SEMARNAT-2006 | Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.   |
| NOM-042-SEMARNAT-2003 | Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3.857 toneladas. |
| NOM-043-SEMARNAT-1993 | Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.  |

| Clave                 | Descripción  |
|-----------------------|--|
| NOM-044-SEMARNAT-2006 | Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible.  |
| NOM-045-SEMARNAT-2006 | Protección ambiental.- vehículos en circulación que usan diésel como combustible.- límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.   |
| NOM-046-SEMARNAT-1993 | Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico, provenientes de procesos de producción de ácido dodecilbencensulfónico.  |
| NOM-047-SEMARNAT-1999 | Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural como combustible.  |
| NOM-048-SEMARNAT-1993 | Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo, provenientes del escape de las motocicletas en circulación que utilizan gasolina o mezcla gasolina-aceite como combustible.   |
| NOM-049-SEMARNAT-1993 | Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes, provenientes de las motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.  |
| NOM-050-SEMARNAT-1993 | Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.  |
| NOM-076-SEMARNAT-2012 | Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina.   |
| NOM-077-SEMARNAT-1995 | Que establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diésel como combustible.   |
| NOM-079-SEMARNAT-1994 | Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición.   |
| NOM-080-SEMARNAT-1994 | Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.  |
| NOM-081-SEMARNAT-1994 | Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición (se encuentra también como NOM-081-ECOL-1994, es la misma)<br><br><b>Objeto</b><br>Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y el método de medición por el cual se determina su nivel emitido hacia el ambiente. |

| Clave                          | Descripción  |
|--------------------------------|--|
|                                | <p><b>Campo de aplicación</b><br/>                     Esta norma oficial mexicana se aplica en la pequeña, mediana y gran industria, comercios establecidos, servicios públicos o privados y actividades en la vía pública.</p> <p><b>Referencias</b><br/>                     NMX-AA-40 Clasificación de ruidos.<br/>                     NMX-AA-43 Determinación del nivel sonoro emitido por fuentes fijas.<br/>                     NMX-AA-59 Sonómetros de precisión.<br/>                     NMX-AA-62 Determinación de los niveles de ruido ambiental</p> |
| NOM-082-SEMARNAT-1994          | Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta y su método de medición.  |
| NOM-085-SEMARNAT-2011          | Contaminación atmosférica-niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. Sustituye a la NOM-085-SEMARNAT-1994   |
| NOM-086-SEMAR-SENER-SCFI-2005  | Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.   |
| NOM-097-SEMARNAT-1995          | Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio.  |
| NOM-098-SEMARNAT-2002          | Protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.  |
| NOM-105-SEMARNAT-1996          | Que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.  |
| NOM-121-SEMARNAT-1997          | Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COVS) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple y de pasajeros.   |
| NOM-123-SEMARNAT-1998          | Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVS), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas.  |
| NOM-137-SEMARNAT-2003          | Contaminación atmosférica.- plantas desulfuradoras de gas y condensados amargos.- control de emisiones de compuestos de azufre.  |
| NOM-138-SEMARNAT/SS-2003       | Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.   |
| PROY-NOM-138-SEMARNAT/SA1-2008 | Proyecto de modificación a la norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación, para quedar como norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SAI-2008.   |
| NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004     | Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.   |
| PROY-NOM-151-SEMARNAT-2006     | Que establece las especificaciones técnicas para la protección del medio ambiente durante la construcción, operación y abandono de instalaciones eolo-eléctricas en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.  |
| NOM-008-SESH/SCFI-2010         | Recipientes transportables para contener gas LP especificaciones de fabricación, materiales y métodos de prueba.   |

| Clave                      | Descripción   |
|----------------------------|---|
| NOM-009-SESH-2011          | Recipientes para contener gas LP, tipo no transportable. Especificaciones y métodos de prueba.  |
| PROY-NOM-011-SESH-2011     | Calentadores para agua de uso doméstico y comercial que utilizan como combustible gas LP o gas natural.- requisitos de seguridad, especificaciones, métodos de prueba, marcado e información comercial.   |
| NOM-012-SESH-2010          | Calefactores de ambiente para uso doméstico que empleen como combustible gas LP o natural. Requisitos de seguridad y métodos de prueba.   |
| NOM-020-SSA1-1993          | Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O <sub>3</sub> ). Valor normado para la concentración de ozono (O <sub>3</sub> ) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.   |
| NOM-023-SSA1-1993          | Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población  |
| NOM-025-SSA1-1993,         | Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales pst, partículas menores de 10 micrómetros pm10.   |
| NOM-127-SSA1-1994          | Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.  |
| NOM-230-SSA1-2002          | Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.   |
| NOM-001-STPS-1999 (Actual) | Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo- condiciones de seguridad e higiene. (NOM-001-STPS-1993 antigua)<br><b>1 Objetivo</b><br>Establecer las condiciones de seguridad e higiene que deben tener los edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo, para su funcionamiento y conservación, y para evitar riesgos a los trabajadores.<br><b>1.1 Campo de aplicación</b><br>Requisitos de seguridad de escaleras, rampas, escalas, puentes y plataformas elevadas   |
| NOM-004-STPS-1999          | Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo (actual).<br><b>Objetivo</b><br>Establecer las condiciones de seguridad y los sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genere la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo.<br><b>Campo de aplicación</b><br>La presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros trabajo que por la naturaleza de sus procesos empleen maquinaria y equipo.<br><br><b>7. Programa específico de seguridad para la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo</b><br><br><b>7.1 Operación de la maquinaria y equipo.</b> |

| Clave             | Descripción   |
|-------------------|---|
|                   | <p>El programa debe contener procedimientos para que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) los protectores y dispositivos de seguridad se instalen en el lugar requerido y se utilicen durante la operación;</li> <li>b) se mantenga limpia y ordenada el área de trabajo;</li> <li>c) la maquinaria y equipo estén ajustados para prevenir un riesgo;</li> <li>d) las conexiones de la maquinaria y equipo y sus contactos eléctricos estén protegidos y no sean un factor de riesgo;</li> <li>e) el cambio y uso de la herramienta y el herramental se realice en forma segura;</li> <li>f) el desarrollo de las actividades de operación se efectúe en forma segura;</li> <li>g) el sistema de alimentación y retiro de la materia prima, subproducto y producto terminado no sean un factor de riesgo.</li> </ul> <p><b>7.2 Mantenimiento de la maquinaria y equipo</b><br/>                     El programa debe contener:</p> <p><b>7.2.1</b> La capacitación que se debe otorgar a los trabajadores que realicen las actividades de mantenimiento.</p> <p><b>7.2.2</b> La periodicidad y el procedimiento para realizar el mantenimiento preventivo y, en su caso, el correctivo, a fin de garantizar que todos los componentes de la maquinaria y equipo estén en condiciones seguras de operación, y se debe cumplir, al menos, con las siguientes condiciones.</p> |
| NOM-006-STPS-2014 | <p>Manejo y almacenamiento de materiales- condiciones y procedimientos de seguridad (NOM-006-STPS-2000 antigua).</p> <p><b>1. Objetivo</b><br/>                     Establecer las condiciones y procedimientos de seguridad para evitar riesgos de trabajo, ocasionados por el manejo de materiales en forma manual y mediante el uso de maquinaria.</p> <p><b>2. Campo de aplicación</b><br/>                     La presente Norma Oficial Mexicana rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo donde se realice manejo de materiales, de forma manual o con ayuda de maquinaria.<br/>                     Para polipastos y malacates, eslingas, grúas, montacargas, electroimanes, cargadores frontales, transportadores<br/>                     Para maquinaria similar o que sea combinación de las enunciadas en los apartados del 7.1 al 7.7, instrucciones equivalentes a las descritas en dichos apartados.</p>  |
| NOM-011-STPS-2001 | <p>Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.</p> <p><b>Objetivo</b><br/>                     Establecer las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido que por sus características, niveles y tiempo de acción, sea capaz de alterar la salud de los trabajadores; los niveles máximos y los tiempos máximos permisibles de exposición por jornada de trabajo, su correlación, y la implementación de un programa de conservación de la audición.</p> <p><b>Campo de aplicación</b><br/>                     Esta norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo en los que exista exposición del trabajador a ruido.<br/>                     Límites máximos permisibles de exposición a ruido<br/>                     Los límites máximos permisibles de exposición a ruido se establecen en el apéndice A.</p>   |

Cálculo para el tiempo de exposición. Cuando el NER en los centros de trabajo, esté entre dos de las magnitudes consignadas en la tabla A.1, (90 y 105 dB "A"), el tiempo máximo permisible de exposición, se debe calcular con la ecuación siguiente:

$$TMPE = \frac{8}{2^{\frac{NER-90}{3}}}$$

7.3 Cuando el NER sea superior a 105 dB(A), se deben implementar una o más de las medidas de control descritas en el inciso a) del apartado 8.7.1.

**Tabla A.1**  
**Límites máximos permisibles de exposición**

| NER        | TMPE       |
|------------|------------|
| 90 dB (A)  | 8 horas    |
| 93 dB (A)  | 4 horas    |
| 96 dB (A)  | 2 horas    |
| 99 dB (A)  | 1 horas    |
| 102 dB (A) | 30 minutos |
| 105 dB (A) | 15 minutos |

| Clave             | Descripción   |
|-------------------|---|
| NOM-017-STPS-2008 | <p>Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.</p> <p><b>Objetivo</b><br/>                     Establecer los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud.</p> <p><b>Campo de aplicación</b><br/>                     Está norma aplica en todos los centros de trabajo del territorio nacional que se requiera el uso de equipo de protección personal para proteger a los trabajadores contra los riesgos derivados de las actividades que desarrollen.</p> |

**Tabla A1**  
**Determinación del equipo de protección personal**

| Clave y región anatómica | Clave y epp  | Tipo de riesgo en función de la actividad del trabajador   |
|--------------------------|--|--|
| 1. Cabeza                | a) casco contra impacto<br>b) casco dieléctrico<br>c) capuchas                           | a) Golpeado por algo, que sea una posibilidad de riesgo continuo inherente a su actividad.<br>b) Riesgo a una descarga eléctrica (considerar alto o bajo voltaje, los cascos son diferentes).<br>c) Exposición a temperaturas bajas o exposición a partículas. Protección con una capucha que puede ir abajo del casco de protección personal. |
| 2. Ojos y cara           | a) anteojos de protección<br>b) goggles<br>c) pantalla facial<br>d) careta para soldador | a) Riesgo de proyección de partículas o líquidos. En caso de estar expuesto a radiaciones, se utilizan anteojos de protección contra la radiación.<br>b) Riesgo de exposición a vapores o humos que pudieran irritar los ojos o partículas mayores o a alta velocidad.   |

| Clave y región anatómica   | Clave y epp   | Tipo de riesgo en función de la actividad del trabajador  |
|----------------------------|---|---|
|                            | e) gafas para soldador  | c) Se utiliza también cuando se expone a la proyección de partículas en procesos tales como esmerilado o procesos similares; para proteger ojos y cara.<br>d) Específico para procesos de soldadura eléctrica.<br>e) Específico para procesos con soldadura autógena.   |
| 3. Oídos                   | a) tapones auditivos<br>b) conchas acústicas  | a) Protección contra riesgo de ruido; de acuerdo al máximo especificado en el producto o por el fabricante.<br>b) Mismo caso del inciso A.  |
| 4. Aparato respiratorio    | a) respirador contra partículas<br>b) respirador contra gases y vapores<br>c) mascarilla desechable<br>d) equipo de respiración autónomo    | En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de protección del equipo, hecha por el fabricante del producto.<br>a) Protección contra polvos o partículas en el medio ambiente laboral y que representan un riesgo a la salud del trabajador.<br>b) Protección contra gases y vapores. Considerar que hay diferentes tipos de gases y vapores para los cuales aplican también diferentes tipos de respiradores, incluyendo para gases o vapores tóxicos.<br>c) Mascarilla sencilla de protección contra polvos.<br>d) Se utiliza cuando el trabajador entra a espacios confinados o cuando un respirador no proporciona la protección requerida.   |
| 5. Extremidades superiores | a) guantes contra sustancias químicas<br>b) guantes dieléctricos<br>c) guantes contra temperaturas extremas<br>d) guantes<br>e) mangas      | En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de los diferentes guantes existentes en el mercado, hecha por el fabricante del producto. Su uso depende de los materiales o actividad a desarrollar.<br>a) Riesgo por exposición o contacto con sustancias químicas corrosivas.<br>b) Protección contra descargas eléctricas. Considerar que son diferentes guantes dependiendo de protección contra alta o baja tensión.<br>c) Riesgo por exposición a temperaturas bajas o altas.<br>d) Hay una gran variedad de guantes: tela, carnaza, piel, pvc, látex, entre otros. Dependiendo del tipo de protección que se requiere, actividades expuestas a corte, vidrio, etc.<br>e) Se utilizan cuando es necesario extender la protección de los guantes hasta los brazos. |
| 6. Tronco                  | a) mandil contra altas temperaturas<br>b) mandil contra sustancias químicas<br>c) overol<br>d) bata<br>e) ropa contra sustancias peligrosas | a) Riesgo por exposición a altas temperaturas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con algo que esté a alta temperatura.<br>b) Riesgo por exposición a sustancias químicas corrosivas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con este tipo de sustancias.<br>c) Extensión de la protección en todo el cuerpo por posible exposición a sustancias o temperaturas. Considerar la facilidad de quitarse la ropa lo más pronto posible, cuando se trata de sustancias corrosivas.<br>d) Protección generalmente usada en laboratorios u hospitales.<br>e) Es un equipo de protección personal que protege cuerpo, cabeza, brazos, piernas pies, cubre y protege   |

| Clave y región anatómica   | Clave y epp  | Tipo de riesgo en función de la actividad del trabajador  |
|----------------------------|--|---|
|                            |  | completamente el cuerpo humano ante la exposición a sustancias altamente tóxicas o corrosivas.  |
| 7. Extremidades inferiores | a) calzado ocupacional<br>b) calzado contra impactos<br>c) calzado conductivo<br>d) calzado dieléctrico<br>e) calzado contra sustancias químicas<br>f) polainas<br>g) botas impermeables | a) Proteger a la persona contra golpes, machacamientos, resbalones, etc.<br>b) Protección mayor que la del inciso anterior contra golpes, que pueden representar un riesgo permanente en función de la actividad desarrollada.<br>c) Protección del trabajador cuando es necesario que se elimine la electricidad estática del trabajador; generalmente usadas en áreas de trabajo con manejo de sustancias explosivas.<br>d) Protección contra descargas eléctricas.<br>e) Protección de los pies cuando hay posibilidad de tener contacto con algunas sustancias químicas. Considerar especificación del fabricante.<br>f) Extensión de la protección que pudiera tenerse con los zapatos exclusivamente.<br>g) Generalmente utilizadas cuando se trabaja en áreas húmedas. |
| 8. Otros                   | a) equipo de protección contra caídas de altura<br>b) equipo para brigadista contra incendio   | a) Específico para proteger a trabajadores que desarrollen sus actividades en alturas y entrada a espacios confinados.<br>b) Específico para proteger a los brigadistas contra altas temperaturas y fuego. Hay equipo adicional en función de las actividades rescate a realizar.   |

| Clave             | Descripción  |
|-------------------|--|
| NOM-020-STPS-2011 | <p>Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y de vapor o calderas - funcionamiento - condiciones de seguridad.</p> <p>Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad. Objetivo: Establecer los requisitos de seguridad para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas en los centros de trabajo, a fin de prevenir riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones. Aplicación: La presente Norma Oficial Mexicana rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo en donde funcionen recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas. La presente Norma Oficial Mexicana no aplica para los equipos siguientes:</p> <p>a) Campanas de buceo;<br/>                     b) Campanas o cámaras hiperbáricas;<br/>                     c) Recipientes utilizados como extintores;<br/>                     d) Contenedores que trabajen a presión atmosférica;<br/>                     e) Recipientes que trabajen interconectados en una misma línea de proceso, donde la presión de operación del conjunto de equipos y de cada uno de los equipos, se encuentren entre 29.42 kPa y 196.14 kPa de presión manométrica y, al final de la línea de proceso, se encuentren abiertos a la atmósfera;<br/>                     f) Tuberías, cabezales de distribución que no se utilicen como acumuladores de fluidos y sus componentes (juntas de expansión y conexiones);<br/>                     g) Recipientes portátiles que contengan gases comprimidos;<br/>                     h) Accesorios presurizados y utilizados como componentes o mecanismos que sirven para mezclado, separación, aspersión, distribución, medición,</p> |

| Clave             | Descripción  |
|-------------------|--|
|                   | filtrado o control de fluidos que no rebasen 0.15 m de diámetro nominal, instalados en los recipientes sujetos a presión;<br>i) Recipientes instalados en equipos móviles asociados con sus sistemas de frenado;<br>j) Recipientes que contengan gas licuado de petróleo, regulados por disposiciones legales cuya vigilancia compete a la Secretaría de Energía, y<br>k) Carros-tanque que transportan gases comprimidos, cuya regulación se encuentra a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.  |
| NOM-022-STPS-2015 | Electricidad estática en los centros de trabajo-Condición de seguridad.<br>1. Objetivo<br>Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.<br>2. Campo de aplicación<br>2.1 Esta Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en las áreas de los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas, o en aquellas en que, por la naturaleza de sus procesos, materiales y equipos, sean capaces de almacenar o generar cargas eléctricas estáticas.<br>2.2 La presente Norma no aplica en vehículos automotores, ferroviarios, embarcaciones y/o aeronaves utilizados para el transporte terrestre, marítimo, fluvial o aéreo, competencia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. |
| NOM-025-STPS-2008 | Condiciones de iluminación en los centros de trabajo (actual).<br><b>Objetivo</b><br>Establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.   |

**Tabla 1. Niveles mínimos de iluminación**

| Tarea visual del puesto de trabajo  | Área de trabajo   | Niveles mínimos de iluminación (LUX) |
|---|---|--------------------------------------|
| En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos                             | Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos   | 20                                   |
| En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos                             | Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia | 50                                   |
| Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina  | Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailera                                      | 200                                  |
| Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina  | Talleres: áreas de empaque y ensamble. aulas y oficinas   | 300                                  |
| Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de | Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios  | 500                                  |

| Tarea visual del puesto de trabajo  | Área de trabajo   | Niveles mínimos de iluminación (LUX) |
|---|---|--------------------------------------|
| información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio   |   |                                      |
| Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas | Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad | 750                                  |
| Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabados con pulidos finos                                   | Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino                | 1 000                                |
| Alto grado de especialización en la distinción de detalles  | Áreas de proceso de gran exactitud  | 2 000                                |

| Clave             | Descripción   |
|-------------------|---|
| NOM-026-STPS-2008 | <p>Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. Sustituye a la NOM-026-STPS-1998</p> <p><b>Objetivo</b><br/>                     Establecer los requerimientos en cuanto a los colores y señales de seguridad e higiene y la identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.</p> <p><b>Campo de aplicación</b><br/>                     Esta Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo, excepto lo establecido en el apartado siguiente. La presente norma no aplica en:</p> <p>a) La señalización para la transportación terrestre, marítima, fluvial o aérea, que sea competencia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes;</p> <p>b) La identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías subterráneas u ocultas, ductos eléctricos y tuberías en centrales nucleares, y</p> <p>c) Las tuberías instaladas en las plantas potabilizadoras de agua, así como en las redes de distribución de las mismas, en lo referente a la aplicación del color verde de seguridad.</p> |

| Color de seguridad | Significado  | Indicaciones y precisiones  |
|--------------------|--|---|
| Rojo               | Paro.  | Alto y dispositivos de desconexión para emergencias.  |
|                    | Prohibición.   | Señalamientos para prohibir acciones específicas.   |
|                    | Material, equipo y sistemas para combate de incendios. | Ubicación y localización de los mismos e identificación de tuberías que conducen fluidos para el combate de incendios.  |
| Amarillo           | Advertencia de peligro.                                | Atención, precaución, verificación e identificación de tuberías que conducen fluidos peligrosos.  |
|                    | Delimitación de áreas.                                 | Límites de áreas restringidas o de usos específicos.  |
|                    | Advertencia de peligro por radiaciones ionizantes.     | Señalamiento para indicar la presencia de material radiactivo.  |
| Verde              | Condición segura.                                      | Identificación de tuberías que conducen fluidos de bajo riesgo. Señalamientos para indicar salidas de emergencia, rutas de evacuación, zonas de seguridad y primeros auxilios, lugares de reunión, regaderas de emergencia, lavajos, entre otros. |
| Azul               | Obligación.  | Señalamientos para realizar acciones específicas.   |

**Tabla 2.- Selección de colores contrastantes**

| Color de seguridad | Color contrastante |
|--------------------|--------------------|
| Rojo               | Blanco             |
| Amarillo           | Negro, magenta     |
| Verde              | Blanco             |
| Azul               | Blanco             |

**Tabla 4.- Colores de seguridad para tuberías y su significado**

| Color de seguridad | Significado   |
|--------------------|---|
| Rojo               | Identificación de fluidos para el combate de incendio conducidos por tubería. |
| Amarillo           | Identificación de fluidos peligrosos conducidos por tubería.                  |
| Verde              | Identificación de fluidos de bajo riesgo conducidos por tubería.              |

| Clave             | Descripción   |
|-------------------|---|
| NOM-027-STPS-2008 | Actividades de soldadura y corte-condiciones de seguridad e higiene.<br><b>Objetivo:</b><br>Establecer condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para prevenir riesgos de trabajo.<br><b>Campo de aplicación:</b><br>Esta norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo donde se realicen actividades de soldadura y corte. |

El procedimiento de rescate de un trabajador accidentado durante las actividades de soldadura y corte, debe contener al menos lo siguiente:

- a) Listado del personal asignado;
- b) Funciones y responsabilidades del personal asignado;

- c) Instrucciones concretas de cómo realizar el rescate;
- d) Equipos o aparatos necesarios para la ejecución del rescate;
- e) Técnicas para aplicar la reanimación cardiopulmonar (RCP), y
- f) Plan para la atención y traslado de las víctimas a lugares de atención médica, que indique:
  1. La colocación en lugar visible de las instrucciones específicas de qué hacer en caso de accidente;
  2. Las acciones inmediatas que incluyan la desconexión de la fuente de energía, la ventilación del área de trabajo por medios naturales o artificiales, las instrucciones para retirar al trabajador accidentado del peligro inmediato, la colocación de la víctima en un lugar seguro, la aplicación de los primeros auxilios o la instrucción para llamar a la persona idónea y pedir ayuda;
  3. La forma en que se debe dar una respuesta secundaria, misma que describa la información que se debe proporcionar con relación al accidente, por ejemplo, si la víctima tuvo contacto con la energía eléctrica, si la causa fue por una descarga eléctrica o por una explosión de algún dispositivo eléctrico, o bien fue por deficiencia de oxígeno en espacios confinados u otros;
  4. Los hospitales o unidades médicas más próximos para trasladar a la víctima para que reciba la atención médica, y
  5. Los números telefónicos para llamar en caso de emergencia.

| Clave             | Descripción  |
|-------------------|--|
| NOM-029-STPS-2011 | Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo– condiciones de seguridad  |
| NOM-030-STPS-2009 | Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo–funciones y actividades   |
| NOM-032-STPS-2008 | Seguridad para minas subterráneas de carbón  |
| NOM-100-STPS-1994 | Seguridad–extintores contra incendio a base de polvo químico seco con presión contenida-especificaciones.  |
| NOM-122-STPS-1996 | <p>Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas que operen en los centros de trabajo. Objetivo: Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos de seguridad e higiene con que deben contar los recipientes sujetos a presión y los generadores de vapor o calderas que se instalen en los centros de trabajo, así como las características de las inspecciones que se realicen con el fin de vigilar el cumplimiento de esta Norma. Aplicación: Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en los centros de trabajo donde se utilicen los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas a que la misma se refiere.</p> <p>Excepciones: Para efectos de esta Norma, los equipos que cuenten al menos con una de las características citadas en este punto, quedan exceptuados del trámite de autorización de funcionamiento por esta Secretaría, debiendo cumplir con los demás puntos de la presente Norma:</p> <p>Recipientes sujetos a presión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Los recipientes sujetos a presión con un diámetro interior menor a 152 mm.</li> <li>· Que contengan agua con temperatura inferior a 70 °C, y un volumen menor a 450 L.</li> <li>· Los que trabajen a presión atmosférica en el centro de trabajo donde estén instalados.</li> <li>· Los interenfriadores de compresores y carcazas de bombas.</li> <li>· Recipientes a presión, los cuales son partes integrales o componentes de dispositivos mecánicos de rotación o reciprocantes, tales como bombas, compresores, turbinas, generadores, cilindros hidráulicos o neumáticos y máquinas en general.</li> <li>· Los que trabajan con agua o aire a una presión menor de 5 kg/cm<sup>2</sup>.</li> <li>· Los recipientes sujetos a presión para líquidos criogénicos con diámetro interior menor a 1000 mm y con una capacidad menor a los 1000 L.</li> </ul> <p>Generadores de vapor o calderas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Con una temperatura del agua menor a 70 °C.</li> <li>· Con una superficie de calefacción menor a 15 m<sup>2</sup>.</li> <li>· Con una presión de operación menor a 350 kPa (3.569 kg/cm<sup>2</sup>).</li> <li>· Calentadores de procesos sujetos a fuego.</li> </ul> <p>Otros equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Componentes de tuberías, tales como tubos, bridas, juntas, válvulas, uniones de expansión y otros componentes a presión tales como filtros, mezcladores, separadores, distribuidores y controladores de medición de flujo. Todos estos conocidos como componentes de sistemas de tuberías.</li> <li>· Los recipientes portátiles de gases comprimidos y los recipientes que contengan gas licuado de petróleo, que se encuentren regulados por otras disposiciones jurídicas y cuya aplicación compete a la Secretaría de Energía.</li> </ul> |

| PROY-NOM-119-STPS-1995 | Requerimientos de seguridad para operación y mantenimiento de las máquinas-herramienta denominadas tornos.  |
|------------------------|---|
| NOM-Z-3-1986           | Norma oficial mexicana referida al dibujo técnico. Vistas.  |
| NOM-Z-4-1986           | Norma oficial mexicana referida al dibujo técnico. Líneas.  |
| NOM-Z-5-1986           | Norma oficial mexicana referida al dibujo técnico. Rayados.   |
| NOM-Z-6-1986           | Norma oficial mexicana referida al dibujo técnico. Cortes y secciones.  |
| NOM-Z-23-1986          | Norma oficial mexicana referida al dibujo técnico. Clasificación de los dibujos según su presentación.  |
| NOM-Z-25-1986          | Norma oficial mexicana referida al dibujo técnico. Acotaciones.   |
| Clave                  | Descripción   |
| NOM-001-SECRE-2010     | <p>Especificaciones del gas natural (cancela y sustituye a la NOM-001-SECRE-2003, Calidad del gas natural y la NOM-EM-002-SECRE-2009, Calidad del gas natural durante el periodo de emergencia severa). 1. Objetivo</p> <p>Esta Norma Oficial Mexicana (en lo sucesivo la Norma) tiene como finalidad establecer las especificaciones que debe cumplir el gas natural que se maneje en los sistemas de transporte, almacenamiento y distribución de gas natural, para preservar la seguridad de las personas, medio ambiente e instalaciones de los permisionarios y de los usuarios. Campo de aplicación: Esta Norma es aplicable al gas natural que se entrega en cada uno de los puntos de inyección a los sistemas de transporte, almacenamiento y distribución, así como en cada uno de los puntos de transferencia de custodia a otros permisionarios o usuarios finales.</p> <p>La Norma no aplica al gas natural que se conduce desde pozos y complejos procesadores, ni al gas natural licuado que se transporta por buques tanque a las terminales de almacenamiento de gas natural licuado, ni al gas natural licuado y el gas natural que se maneja en dichas terminales previamente a su inyección al sistema de transporte.</p>   |
| NOM-007-SECRE-2010     | <p>Transporte de gas natural (cancela y sustituye a la NOM-007-SECRE-1999, Transporte de gas natural). Objetivo. Esta norma establece las especificaciones técnicas y los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos. Aplicación: Esta Norma es aplicable a los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos (Sistemas de Transporte) localizados en territorio nacional. Incluye todos aquellos Sistemas de Transporte en diseño, construcción y operación, e inclusive los que están empacados, inertizados y abandonados, y aquéllos sistemas de transporte que ya estando construidos se modifiquen en su diseño original. La aplicación de la Norma a los Sistemas de Transporte localizados en territorio nacional comprende desde el(los) punto(s) de origen del ducto hasta el(los) puntos de destino. Esta Norma es aplicable a ductos, equipos, instalaciones principales y accesorias y dispositivos de los sistemas de transporte en acero al carbón. Esta Norma no es aplicable a los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos necesarios para interconectar la explotación y producción del gas natural, excepto aquellos que cuenten con un título de permiso expedido por la Comisión Reguladora de Energía.</p> |
| NOM-008-SECRE-2002     | <p>Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas. Las estructuras metálicas o tuberías de acero enterradas y/o sumergidas están expuestas a los efectos de la corrosión externa como consecuencia del procesos electroquímicos. Para reducir este efecto es necesario ejercer un control de los factores que influyen en el proceso de corrosión, donde la adecuada selección del material de la</p>   |

|                    |  |
|--------------------|--|
|                    | tubería y la aplicación de los recubrimientos son los primeros medios para evitar dichos daños. El objetivo de esta norma es establecer los requisitos mínimos para la implementación, instalación, operación, mantenimiento y seguridad para el control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas.   |
| NOM-009-SECRE-2002 | Monitoreo, detección y clasificación de fugas de gas natural y gas L.P. en ductos. Esta Norma establece los requisitos mínimos para el monitoreo, detección y clasificación de fugas de gas natural y gas LP en ductos, que deben cumplir los permisionarios de los sistemas de transporte y distribución por medio de ductos que operen en la República Mexicana. Aplicaciones, Esta NOM se aplica a los sistemas de transporte y distribución de gas natural y gas LP por medio de ductos que operen en la República Mexicana. El titular del permiso correspondiente es el responsable del cumplimiento de la NOM y demás disposiciones jurídicas aplicables.   |
| NOM-010-SECRE-2002 | Gas natural comprimido para uso automotor. Requisitos mínimos de seguridad para estaciones de servicio. Objetivo: Esta Norma establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las estaciones de servicio, instaladas en el República Mexicana con el fin de suministrar gas natural comprimido para los vehículos automotores que lo utilizan como combustible. Aplicación: Esta Norma aplica a los equipos, componentes y materiales utilizados para darle las condiciones requeridas al gas natural comprimido para su uso, desde el punto de recepción de un sistema de transporte o distribución de gas natural hasta el conector de llenado de gas natural comprimido. Esta norma se complementa con NOM-001-SECRE-1997 (calidad de gas natural), NOM-006-SECRE-1999 (Odorización del gas natural), NOM-008-SECRE-1999 (Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergibles), NOM-011-SECRE-2002 (Gas natural comprimido para automotor), NOM-001-SEDE-1999 (instalaciones eléctricas, instalación), NOM-026-STPS-1998 (colores y señales de seguridad e higiene, e identificación por fluidos conducidos en tuberías).  |
| NOM-016-SSA3-2012  | Que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada.   |
| NOM-SEDE-001-2012  | La presente norma oficial mexicana de instalaciones eléctricas, responde a las necesidades técnicas que requieren la utilización de las instalaciones eléctricas en el ámbito nacional. Objetivo: El objetivo de esta NOM es establecer las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a protección contra choque eléctrico, efectos térmicos, sobrecorrientes, corrientes de falla, sobretensiones, fenómenos atmosféricos e incendios, entre otros. El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta NOM garantizará el uso de la energía eléctrica en forma segura. Aplicación:<br>a) Propiedades industriales, comerciales, residenciales y de vivienda, institucionales, cualquiera que sea su uso, públicas y privadas, y en cualquiera de los niveles de tensiones eléctricas de operación, incluyendo las utilizadas para el equipo eléctrico conectado por los usuarios. Instalaciones en edificios utilizados por las empresas suministradoras, tales como edificios de oficinas, almacenes, |

|                    |   |
|--------------------|---|
|                    | <p>estacionamientos, talleres mecánicos y edificios para fines de recreación.</p> <p>b) Casas móviles, vehículos de recreo, edificios flotantes, ferias, circos y exposiciones, estacionamientos, talleres de servicio automotriz, estaciones de servicio, lugares de reunión, teatros, salas y estudios de cinematografía, hangares de aviación, clínicas y hospitales, construcciones agrícolas, marinas y muelles, entre otros.</p> <p>c) Plantas generadoras de emergencia o de reserva propiedad de los usuarios.</p> <p>d) Subestaciones, líneas aéreas de energía eléctrica y de comunicaciones e instalaciones subterráneas.</p> <p>e) Cualesquiera otras instalaciones que tengan por finalidad el uso de la energía eléctrica.</p>    |
| NOM-003-SEDG-2004  | <p>Establece los requisitos técnicos mínimos de seguridad que se deben observar y cumplir en el diseño y construcción de estaciones de Gas L.P., para carburación con almacenamiento fijo, que se destinan exclusivamente a llenar recipientes con Gas L.P. de los vehículos que lo utilizan como combustible. Asimismo, se establece el procedimiento para la evaluación de la conformidad correspondiente. En las estaciones de carburación que utilicen los recipientes de almacenamiento de una planta de almacenamiento para distribución, esta Norma aplica a partir del punto de interconexión de la estación.</p>   |
| NRF-132-PEMEX-2013 | <p>Establece los requisitos que se deben cumplir para la adquisición de los compresores recíprocos a utilizarse por Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios. Esta Norma de Referencia establece los requerimientos técnicos y documentales para compresores recíprocos de aire o gases de proceso, con velocidades de hasta 600 r/min; incluyendo sus sistemas de lubricación, controles y equipo auxiliar. Esta norma no es aplicable para compresores:</p> <p>a) Con cilindros enfriados por aire,</p> <p>b) Accionados por máquina de gas integrales,</p> <p>c) Accionados por máquina de gas con pistones encamisados de efecto simple (tipo automotriz) que sirven como cruceta.</p> <p>d) De aire de planta e instrumentos.</p> |
| NRF-131-PEMEX-2013 | <p>Establecer los requisitos que se deben cumplir para la adquisición de los compresores centrífugos a utilizarse por Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios. Esta Norma de Referencia establece los requerimientos técnicos y documentales para compresores centrífugos de rotor e impulsores montados entre chumaceras para aire o gases de proceso incluyendo sus sistemas de lubricación, de sellos, controles y equipo auxiliar. Esta norma no es aplicable para:</p> <p>a) Paquetes de compresión centrífugos con engrane integrado</p> <p>b) Compresores de aire para servicios generales o instrumentos alcance de NRF-275-PEMEX-2011.</p> <p>c) Sopladores.</p>   |
| NOM-011-SCFI-2004  | <p>Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y métodos de prueba para los termómetros de líquido en vidrio de vástago sólido, de uso general tanto en la industria como en laboratorios. El intervalo de medición cubierto es de -35°C a 550°C. Para los termómetros con intervalos de medición que se extiendan por abajo de -35°C y por arriba de 550°C no aplica la presente Norma Oficial Mexicana. Se excluyen de esta Norma Oficial Mexicana los termómetros para uso doméstico, los permacolor y los denominados de máximas y mínimas.</p> <p><b>7. Método de prueba</b></p>  |

## 7.1 Métodos de prueba para termómetros de líquido en vidrio

### 7.1.1 Prueba de estabilidad del bulbo

Este procedimiento se aplica para termómetros de líquido en vidrio cuya temperatura máxima de operación sea mayor o igual de 300°C. La prueba de estabilidad del bulbo está diseñada para determinar la calidad del tratamiento térmico de estabilización del termómetro durante la manufactura del bulbo. Un bulbo con tratamiento térmico inadecuado puede llegar a contraerse con el tiempo, lo cual puede ser significativo a temperaturas altas.

#### Procedimiento

Determinar la temperatura de prueba por medio de la siguiente ecuación:

$$t_{MAX} - 50^{\circ}\text{C} \leq t_p \leq t_{MAX} - 20^{\circ}\text{C}$$

Donde  $t_{MAX}$  es la temperatura máxima de operación del termómetro en °C

$t_p$  es la temperatura de prueba del termómetro en °C

Sumergir el termómetro en un baño/horno precalentado (el cual puede ser de pozo seco), de tal manera que el bulbo alcance la temperatura de prueba por un periodo de 5 min.

Extraer el termómetro y permitir que se enfríe naturalmente en aire recirculado, o lentamente en el baño de prueba a una razón especificada. Cuando éste alcance una temperatura entre 20°C o 50°C por arriba de la temperatura ambiente, entonces tomar la lectura en algún punto de referencia, tal como puede ser el punto de fusión de hielo (0 °C). Si se usa enfriamiento natural por aire agitado, determinar la lectura en el punto de referencia después de 1 h.

Regresar el termómetro al baño/horno precalentado, y esperar que alcance la temperatura de prueba y mantenerlo por un periodo de 24 h. Extraer el termómetro y permitir su enfriamiento a la misma razón en la que fue enfriado inicialmente. Redeterminar la temperatura de referencia bajo las mismas condiciones.

La magnitud del cambio en esta temperatura de referencia como resultado de calentar por un periodo de 24 h es una medida de la calidad del vidrio del bulbo, así como del tratamiento térmico de estabilización del termómetro durante la manufactura del mismo y no debe ser mayor que el error máximo establecido en las tablas 1 y 2.

### 7.2 Prueba de permanencia del pigmento

La prueba de la permanencia del pigmento está diseñada para determinar la resistencia del material pigmento cuando es expuesto a condiciones extremas.

#### Procedimiento

Colocar cualquier porción de la sección de la escala del termómetro a probar en un horno precalentado preferentemente tipo horizontal, dejando el bulbo de mercurio fuera de la zona de calentamiento.

Calentar por un periodo de 3 h a aproximadamente 260 °C. Dejarlo enfriar lentamente.

Permitir su enfriamiento e inspeccionar el termómetro por posibles diferencias en apariencia entre las secciones probadas y sin probar de

|             |  |
|-------------|--|
|             | la porción de la escala. El quemado, pérdida, desprendimiento, borrado o cambio en la apariencia del pigmento, es motivo de rechazo.   |
| OHSAS 18001 | <p>Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.</p> <p>OHSAS 18001 es una norma británica reconocida internacionalmente que establece los requisitos para la implementación de un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo en aquellas organizaciones que voluntariamente lo deseen.</p> <p>Este Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional está orientado a la identificación y control de riesgos y a la adopción de las medidas necesarias para prevenir la aparición de accidentes.</p> <p>La Norma OHSAS-18001 es certificable y está destinada a organizaciones comprometidas con la seguridad y salud laboral y con la prevención de riesgos laborales siendo una herramienta fundamental y de reconocido prestigio ante las instituciones.</p> |

• **ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**•

Norma ANSI / ASHRAE 62.1-2007 se aplica para el diseño de equipos de ventilación.

• **ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**

Norma ANSI / ASHRAE 62.1-2007 se aplica a todos los espacios destinados para la ocupación humana, excepto los que están dentro de casas unifamiliares, estructuras multifamiliares de tres pisos o menos por encima del nivel, vehículos y aeronaves. La norma define los requisitos para la ventilación y la limpieza del aire de diseño, instalación, puesta en marcha y operación y mantenimiento.

## Consejo Técnico

Representantes de Instituciones de Educación Superior

Dr. Filiberto Candia García  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

Dr. Baudel Lara Lara  
**Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

Dr. Armando Ambrosio López  
**Instituto Tecnológico de Sonora**

Dr. Juan Miguel González López  
**Universidad de Colima**

M. en C. Daniel Hernández González  
**Instituto Tecnológico de Toluca**

Dra. Laura Angélica Zamora Quintana  
**Universidad de Guadalajara**

Ing. Marcos Iván García Reyes  
**Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica**

Mtra. Ma Auxiliadora Arenas Hernández  
**Universidad de La Salle Bajío**

Dr. Fernando Salinas Salinas  
**Universidad Autónoma de Nuevo León**

Este Formulario es un instrumento de apoyo para quienes sustentarán el Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica (EGEL Plus® IME).

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® IME 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. 5107  
[www.ceneval.edu.mx](http://www.ceneval.edu.mx)  
[arturo.valverde@ceneval.edu.mx](mailto:arturo.valverde@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.

[www.ceneval.net](http://www.ceneval.net)



CENEVAL®

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



@SomosCeneval

dudas o preguntas en [ayuda@ceneval.net](mailto:ayuda@ceneval.net)