



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

Formulario

Examen General para el Egreso
de la Licenciatura en **Ingeniería Mecánica**
EGEL Plus IMECA

Directorio

Antonio Ávila Díaz

Director General

Alejandra Zúñiga Bohigas

Directora de los Exámenes
Generales para el Egreso de la Licenciatura

David González Ramírez

Subdirector de Evaluación de Egreso
en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Arturo Valverde Merlín

Responsable del EGEL Plus Sección
Disciplinar en Ingeniería Mecánica

Formulario

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

Segunda edición

Contenido

Diseño mecánico	7
Áreas, centroides y momentos de inercia.....	7
Esfuerzos y deformaciones debidas a cargas axiales.....	8
Esfuerzos y deformación debido a torsión, potencia.....	8
Esfuerzos y deformaciones debidas a flexión.....	9
Esfuerzos principales y esfuerzo cortante máximo.....	9
Esfuerzos en planos inclinados.....	9
Teorías de falla bajo carga estática.....	9
Polipastos.....	10
Fuerza en malacate.....	10
Columnas.....	10
Motores/engranes rectos.....	11
Criterio de Grashof.....	12
Ecuaciones de movimiento.....	12
Rodamientos.....	12
Tornillos de potencia.....	13
Cuñas.....	13
Longitud de la banda.....	13
Recipientes esféricos a presión.....	13
Recipientes cilíndricos a presión.....	14
Frenos de banda.....	14
Soldadura.....	14
Parámetros para el cálculo del consumo de material de aporte, electrodo revestido.....	16
Resortes helicoidales a tensión y compresión.....	17
Vibraciones.....	17
Tabla de propiedades mecánicas de los aceros.....	18
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
El efecto de refrigeración.....	24
Ecuaciones de potencia y eficiencia.....	25
Ecuación de potencia eólica disponible (hélice de aerogeneradores).....	25
Potencia aprovechable de aerogenerador.....	25
Bombas y turbinas.....	25
Ciclos termodinámicos.....	27
Ciclo Otto.....	27
Ciclo Diésel.....	28
Ciclo Rankine simple.....	29
Ciclo Rankine con sobrecalentamiento.....	30
Estequiometría de la combustión.....	30
Tabla de aire como gas ideal.....	34
Ciclo Brayton.....	35
Ciclo Carnot.....	36
Ciclo de refrigeración por compresión.....	36
Aplicación de motocompresores.....	37
Diferencia de temperatura en sólidos generadores de calor.....	37
Calor transferido por conducción, convección y radiación.....	37
Calculo de transferencia de calor con cambio de fase.....	38
Transferencia de calor por convección en superficies extendidas.....	¡Error! Marcador no definido.
Enfriamiento o calentamiento en estado transitorio.....	41
Intercambiadores de calor y temperatura media logarítmica.....	41
Propiedades y comportamiento de los fluidos.....	41
Estática de fluidos.....	42
Mecánica de fluidos.....	45
Procesos de manufactura	50
Procesos de producción.....	50

Comportamiento mecánico de los materiales	50
Acabado superficial	50
Procesos de deformación masiva o volumétrica	51
Procesos de deformación de hojas metálicas	53
Procesos de fundición	54
Procesos de soldadura	56
Procesos de mecanizado	57
Control numérico por computadora	77
Softwares utilizados en Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica, Electromecánica y afines	78
Calidad	80
Tiempo de ciclo	80
Eficiencia en el trabajo	80
Balanceo de líneas	81
Punto de equilibrio.....	82
Ingeniería económica	82
Valor del dinero en el tiempo.....	82
Retorno sobre inversiones	82
Depreciación.....	82
Mejora continua	83
Estadística descriptiva.....	83
Automatización y control.....	85
Ingeniería de control	85
Elementos de un diagrama de control	86
Reglas para determinar la función de transferencia del circuito de control total	86
Elementos primitivos de transferencia	88
Reglas empíricas para ajustar elementos de control P, PI y PID.	93
Métodos de Hurwitz para determinar la estabilidad	94
Métodos de Routh-Hurwitz para determinar la estabilidad	94
Abreviaturas	94
Simbología de control	97
Algebra de Boole	98
Circuitos digitales básicos	99
Tabla comparativa de los símbolos eléctricos	103
Temporizadores.....	116
Contadores.....	117
Comparadores	117
Pulsaciones por revolución (PPR) del <i>encoder</i>.....	117
Anexo	118
Leyes trigonométricas	118
Identidades trigonométricas.....	118
Valores de las funciones de ángulos importantes	118
Áreas y volúmenes.....	118
Fórmulas para potencias y raíces	119
Expresiones algebraicas usuales	119
Propiedades de los logaritmos	119
Tablas de equivalencias.....	119
Constantes físicas.....	121
Código de colores para resistencias eléctricas.....	121
Normatividad aplicable	122
Consejo Técnico.....	149

Diseño mecánico

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-esima figura o cuerpo

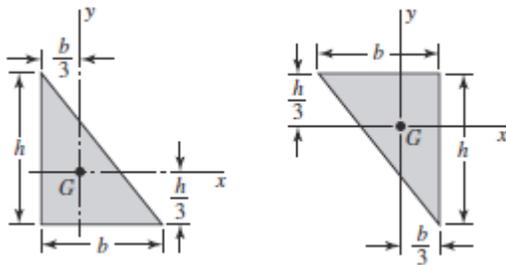
\bar{y}_i = coordenada y del centroide o centro de masa de la i-esima figura o cuerpo

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

A_i = i-ésima área de la figura compuesta

V_i = i-ésimo volumen del cuerpo compuesto

Sección transversal triangular



$$A = \frac{bh}{2} \quad \bar{x} = \frac{b}{3} \quad \bar{y} = \frac{h}{3}$$

$$I_x = \frac{bh^3}{36} \quad I_y = \frac{b^3 h}{36} \quad J_G = I_x + I_y$$

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

Sección transversal rectangular

$$A = b \cdot h \quad I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad S = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Sección transversal circular hueca (tubo)

$$A = \frac{\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2)}{4} \quad J = \frac{\pi \cdot (d_2^4 - d_1^4)}{32}$$

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

Sección transversal circular

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad J = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

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_c = 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

L₀ = longitud original de la barra

L = longitud medida después de la aplicación de la carga

S_y = resistencia a la cedencia

S_{ys} = 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_f = longitud final de la probeta

L_i = longitud Inicial de la probeta

% = porcentaje

A_f = área final de la probeta

A_i = área inicial de la probeta

Esfuerzos y deformación debido a torsión, potencia

$$\phi = \theta \cdot L$$

$$\phi_i = \frac{T_i \cdot L_i}{G_i \cdot J_i}$$

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

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

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

$$P = T \cdot \omega$$

$$T = F \cdot r$$

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

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

φ = ángulo de torsión total

γ = deformación por cortante

τ = esfuerzo cortante

θ = ángulo de torsión por unidad de longitud

P = potencia

ω = 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

σ = 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

τ = esfuerzo cortante

Esfuerzos principales y esfuerzo cortante máximo

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

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

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

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

$$\tau_{m\acute{a}x} \geq \frac{\sigma_y}{2} \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$$

θ_p = ángulo de orientación de los planos principales

σ_{med} = esfuerzo normal medio

σ_x = esfuerzo normal en la dirección de x

σ_y = esfuerzo normal en la dirección de y

σ_1 = esfuerzo principal máximo

σ_2 = esfuerzo principal mínimo

τ_{xy} = esfuerzo cortante en el plano xy

$\tau_{m\acute{a}x}$ = esfuerzo cortante máximo (criterio de Tresca)

σ_y = límite elástico a tensión

σ_1, σ_3 = la mayor y la menor tensión principal en el punto

Esfuerzos en planos inclinados

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

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

θ = ángulo de orientación

σ_x = esfuerzo normal en la dirección de x

σ_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'

τ_{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

$$S_{ys} = 0.5 S_y \quad n = \frac{S_{ys}}{\tau_{m\acute{a}x}}$$

Teoría de la energía de distorsión máxima o de Von Mises

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

Teoría del esfuerzo normal máximo

n = factor de seguridad

S_{ys} = resistencia al corte

S_{ut} = resistencia última a la tensión

S_{uc} = resistencia última a compresión

σ = esfuerzo normal

σ' = esfuerzo de Von Mises

σ_x = esfuerzo normal en la dirección de x

σ_y = esfuerzo normal en la dirección de y

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

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

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

τ_{xy} = esfuerzo cortante en el plano xy

u = densidad de energía de deformación unitaria

R = carga

n = número de poleas

F = fuerza para elevar la carga

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

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

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

σ_c = esfuerzo compresión máximo de la columna

σ_{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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$D_f = D_e - 2W$$

$$N = P_d \cdot D_p$$

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

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

d_p = diámetro de paso

m = módulo

m_v = razón de velocidad angular

m_r = 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

ϕ = ángulo de presión

ω = velocidad angular

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

ω_{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	$s+l < p+q$	Tripe 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

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

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

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

Ecuaciones generales

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

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

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

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

θ = ángulo del vector

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

α = aceleración angular

ω = velocidad angular

x = posición

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

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

Cuñas

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

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

Longitud de la banda

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

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

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

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

$$P_d = F \cdot P_t$$

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

Recipientes esféricos a presión

Esfuerzos en la superficie exterior

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

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

α = ángulo de la rosca Acme

μ = coeficiente de fricción entre tornillo y tuerca

μ_c = coeficiente de fricción en el cojinete de empuje

η = rendimiento de un tornillo de potencia

μ = coeficiente de fricción

θ = ángulo de rosca

α = ángulo de hélice

A_s = área o sección resistente efectiva

d_2 = diámetro primitivo de la rosca

d_3 = diámetro de núcleo de la rosca

τ = 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

σ_c = esfuerzo de compresión

h = altura de la cuña

L = longitud de la banda

C = distancia entre centros

D = diámetro de la polea mayor

d = diámetro de la polea menor

θ_1 = ángulo de contacto de la polea mayor

θ_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

p = presión

r = radio de la esfera

t = espesor de la esfera

Esfuerzos en la superficie interior

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

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

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

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

σ_1 = esfuerzo principal 1

σ_2 = esfuerzo principal 2

σ_3 = esfuerzo principal 3

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

p = presión

r = radio del cilindro

t = espesor del cilindro

σ_1 = esfuerzo principal 1 o circunferencial

σ_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

θ = ángulo de contacto entre la banda y el tambor

f = coeficiente de fricción

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

Soldadura

$$\tau = \frac{F}{H \cdot L}$$

τ = esfuerzo cortante promedio

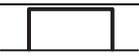
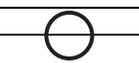
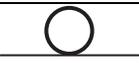
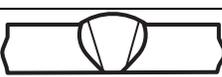
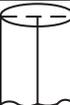
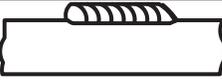
H = garganta de la soldadura

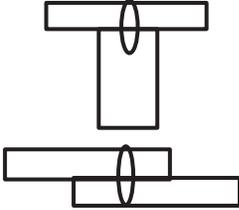
L = longitud de la soldadura

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)		
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		
----	---------------------	--	---

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 ³) 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 ₁	3.25	350	0.65	86
	4.00	350	0.66	86

Resortes helicoidales a tensión y compresión

Tipo de extremos de los resortes

	Simple	Simple y rectificad	A escuadra o cerrado	A escuadra y rectificad
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

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

Frecuencia natural del primer modo lateral de un eje continuo con diámetro uniforme

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

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

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

ω_n = frecuencia natural del sistema no amortiguado

k = rigidez del resorte

m = masa

T = periodo

c_{cr} = amortiguamiento crítico (N·s/m)

ζ = factor de amortiguamiento

k_{eq} = rigidez equivalente

ω_1 = frecuencia natural

π = constante

l = longitud

m = masa por unidad de longitud

E = módulo elástico del material

I = momento de inercia de área de la sección transversal

Ecuación homogénea de vibración

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

m = masa

c = amortiguamiento viscoso

k = rigidez

\ddot{x} = aceleración

\dot{x} = velocidad

x = posición

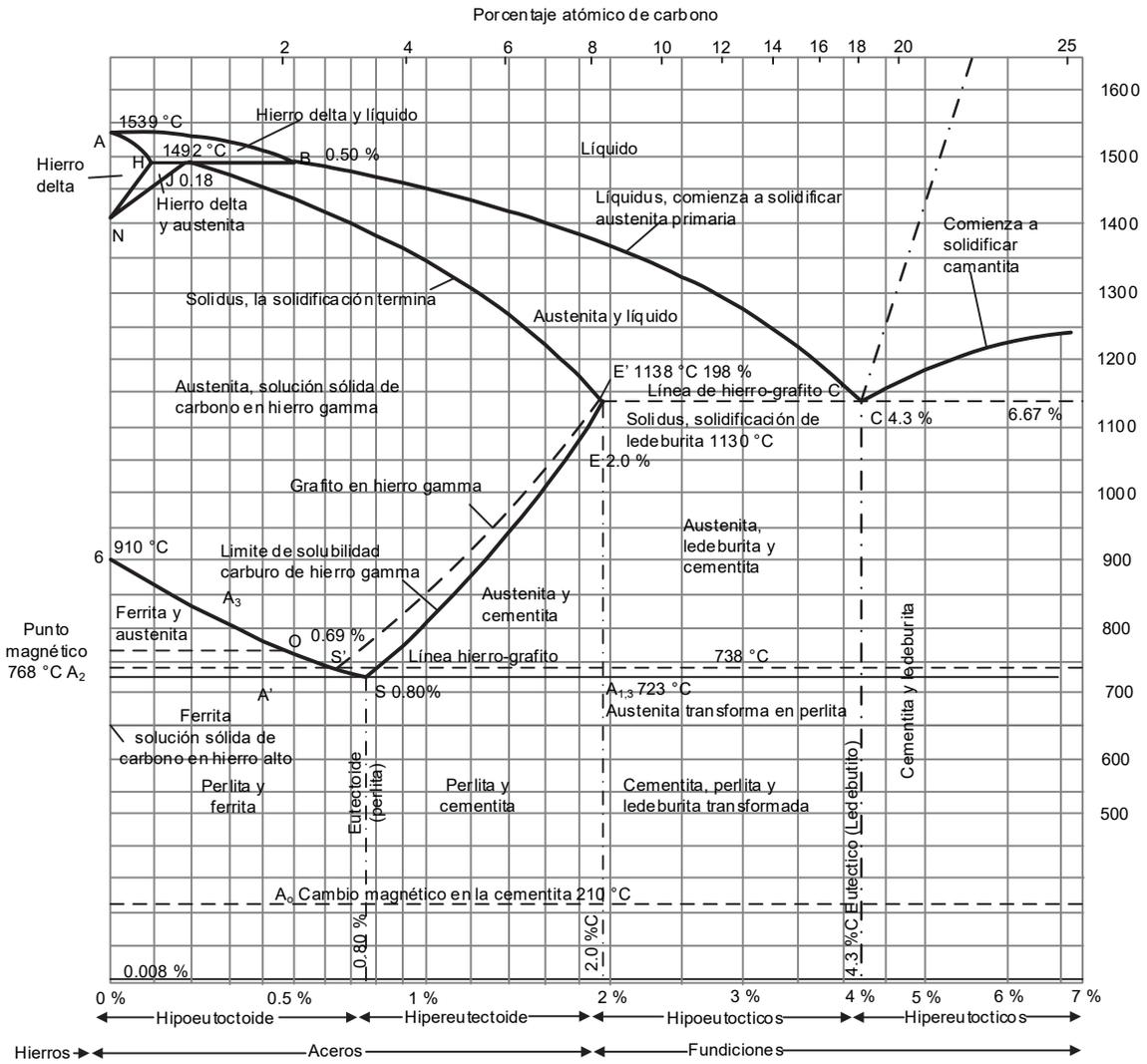
Tabla de propiedades mecánicas de los aceros

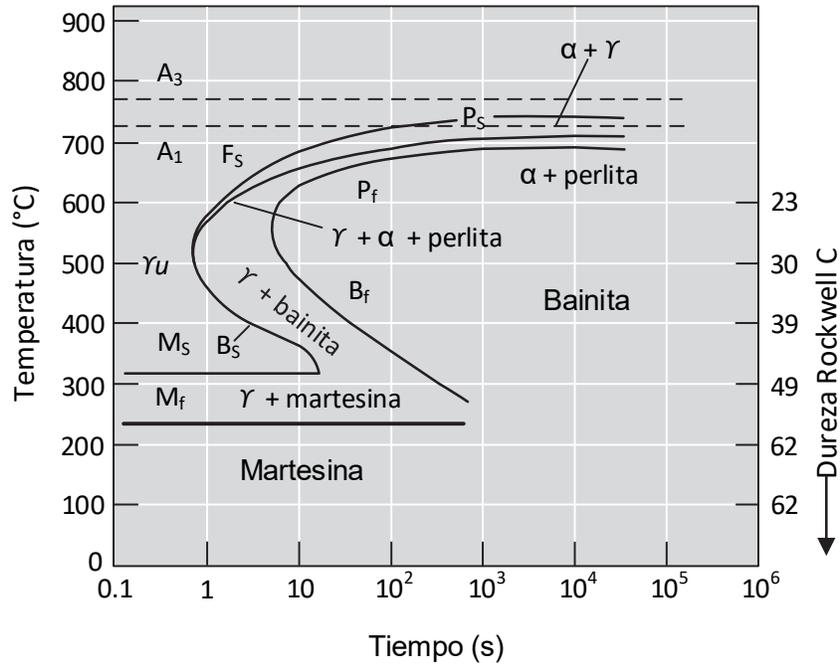
Nomenclatura		Esfuerzo a la cedencia (S_y)		Esfuerzo último a la tensión (S_u)		
NMX	ASTM	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620	
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975	
B-282	A242	290	2 950	435	4 430	
		320	3 235	460	4 710	
B-284	A572	345	3 515	485	4 920	
		290	2 950	414	4 220	
		345	3 515	450	4 570	
		414	4 220	515	5 270	
B-177	A992	450	4 570	550	5 620	
		345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330	
B-199	A53	240	2 460	414	4 220	
B-200	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
4140	Templado y revenido a 205 °C (400 °F)	220	1 520	256	1 765	10	475
	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

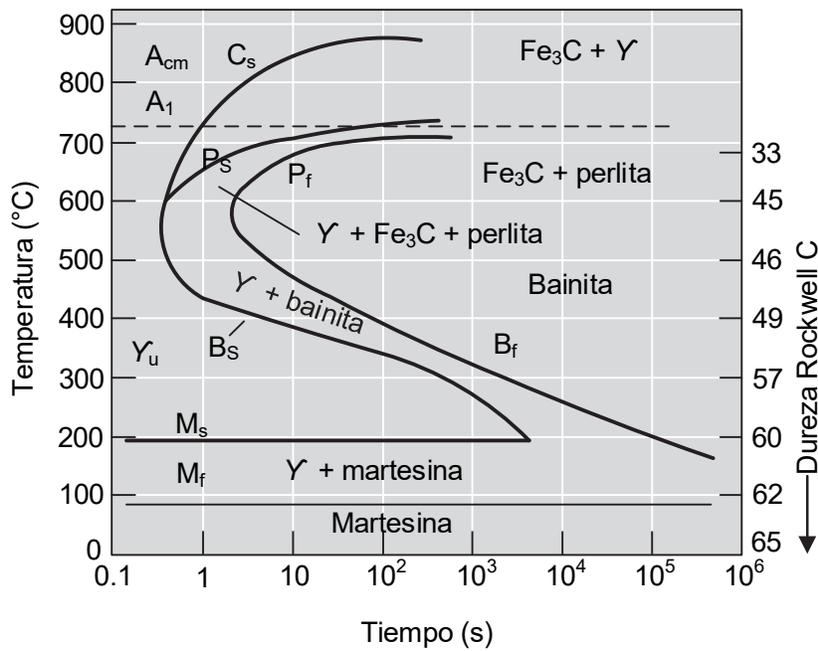
SAE HANDBOOK; VOLUMEN 1: PROPIEDADES Y SELECCIÓN, 4: TRATAMIENTOS TÉRMICOS

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_u = Fase gamma inestable

Índices de tolerancias en (μm)

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 (μm)

Diámetros en (mm)	H7	s6	r6	n6	k6	j6	h6	g6	f7
d ≤ 3	+10 0	+20 +14	+16 +10	+10 +4	+6 0	+4 -2	0 -6	-2 -8	-6 -16
3 < d ≤ 6	+12 0	+27 +19	+23 +15	+16 +8	+9 +1	+6 -2	0 -8	-4 -12	-10 -22
6 < d ≤ 10	+15 0	+32 +23	+28 +19	+19 +10	+10 +1	+7 -2	0 -9	-5 -14	-13 -28
10 < d ≤ 14	+18	+39	+34	+23	+12	+8	0	-6	-16
14 < d ≤ 18	0	+28	+23	+12	+1	-3	-11	-17	-34
18 < d ≤ 24	+21	+48	+41	+28	+15	+9	0	-7	-20
24 < d ≤ 30	0	+35	+28	+15	+2	-4	-13	-20	-41
30 < d ≤ 40	+25	+59	+50	+33	+18	+11	0	-9	-25
40 < d ≤ 50	0	+43	+34	+17	+2	-5	-16	-25	-50
50 < d ≤ 65	+30	+72 +53	+60 +41	+39	+21	+12	0	+10	-30
65 < d ≤ 80	0	+78 +59	+62 +43	+20	+2	-7	-19	-29	-60
80 < d ≤ 100	+35	+91 +71	+73 +51	+45	+25	+13	0	+12	-36
100 < d ≤ 120	0	+101 +79	+76 +54	+23	+3	-9	-22	-34	-71
120 < d ≤ 140		+117 +92	+88 +63						
140 < d ≤ 160	+40	+125 +100	+90 +65	+52 +27	+28 +3	+14 -11	0 -25	+14 -39	-43 -83
160 < d ≤ 180		+133 +108	+93 +68						
180 < d ≤ 200		+151 +122	+106 +77						
200 < d ≤ 225	+46	+159 +130	+109 +80	+60 +31	+33 +4	+16 -13	0 -29	-15 -44	-50 -96
225 < d ≤ 250		+169 +140	+113 +84						
250 < d ≤ 280	+52	+190 +158	+126 +94	+66	+36	+19	0	-17	-56
280 < d ≤ 315	0	+202 +170	+130 +98	+34	+4	-16	-32	-49	-108
315 < d ≤ 355	+57	+226 +190	+144 +108	+73	+40	+18	0	-18	-62
355 < d ≤ 400	0	+244 +208	+150 +114	+37	+4	-18	-36	-54	-119
400 < d ≤ 450	+63	+272 +232	+166 +126	+80	+45	+20	0	-20	-68
450 < d ≤ 500	0	+292 +252	+172 +132	+40	+5	-20	-40	-60	-131

Ajustes base flecha en (μm)

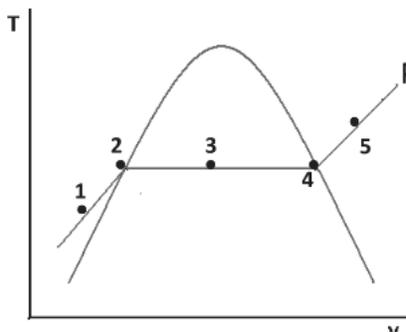
Diámetros en (mm)	h6	G7	F8	h9	F8	E9	D10	C11	h11	A11
$d \leq 3$	0	+12	+20	0	+20	+39	+60	+120	0	+330
	-6	+2	+6	-25	+6	+14	+20	+60	-60	+270
$3 < d \leq 6$	0	+16	+28	0	+28	+50	+78	+145	0	+345
	-8	+4	+10	-30	+10	+20	+30	+70	-75	+270
$6 < d \leq 10$	0	+20	+35	0	+35	+61	+98	+170	0	+370
	-9	+5	+13	-36	+13	+25	+40	+80	-90	+280
$10 < d \leq 14$	0	+24	+43	0	+43	+75	+120	+205	0	+400
	-11	+6	+16	-43	+16	+32	+50	+95	-110	+290
$14 < d \leq 18$	0	+28	+53	0	+53	+92	+149	+240	0	+430
	-13	+7	+20	-52	+20	+40	+65	+110	-130	+300
$18 < d \leq 24$	0	+34	+64	0	+64	+112	+180	+280	0	+470
	-16	+9	+25	-62	+25	+50	+80	+120	0	+310
$24 < d \leq 30$	0	+40	+76	0	+76	+134	+220	+290	-160	+480
	-19	+10	+30	-74	+30	+60	+100	+130	+320	+530
$30 < d \leq 40$	0	+47	+90	0	+90	+159	+260	+330	0	+530
	-22	+12	+36	-87	+36	+72	+120	+140	+340	+340
$40 < d \leq 50$	0	+54	+106	0	+106	+185	+305	+340	-190	+550
	-25	+14	+43	-100	+43	+85	+145	+150	+360	+360
$50 < d \leq 65$	0	+61	+122	0	+122	+215	+355	+390	0	+600
	-19	+10	+30	-74	+30	+60	+100	+170	0	+380
$65 < d \leq 80$	0	+69	+137	0	+137	+240	+400	+400	-220	+630
	-22	+12	+36	-87	+36	+72	+120	+180	+410	+410
$80 < d \leq 100$	0	+76	+153	0	+153	+265	+435	+450	0	+719
	-25	+14	+43	-100	+43	+85	+145	+200	+460	+460
$100 < d \leq 120$	0	+83	+170	0	+170	+290	+470	+460	0	+770
	-28	+15	+45	-105	+45	+90	+150	+210	-250	+520
$120 < d \leq 140$	0	+90	+187	0	+187	+315	+500	+480	0	+830
	-31	+16	+47	-105	+47	+95	+155	+220	+430	+580
$140 < d \leq 160$	0	+97	+204	0	+204	+340	+540	+530	0	+950
	-34	+17	+49	-105	+49	+100	+160	+240	+660	+660
$160 < d \leq 180$	0	+104	+221	0	+221	+365	+565	+550	0	+1110
	-37	+18	+51	-105	+51	+105	+165	+260	-290	+740
$180 < d \leq 200$	0	+111	+238	0	+238	+390	+590	+570	0	+1110
	-40	+19	+53	-105	+53	+110	+170	+280	+820	+820
$200 < d \leq 225$	0	+118	+255	0	+255	+415	+615	+620	0	+1240
	-43	+20	+55	-105	+55	+115	+175	+300	0	+920
$225 < d \leq 250$	0	+125	+272	0	+272	+440	+640	+650	-320	+1370
	-46	+21	+57	-105	+57	+120	+180	+330	+1050	+1050
$250 < d \leq 280$	0	+132	+289	0	+289	+465	+665	+720	0	+1560
	-49	+22	+59	-105	+59	+125	+185	+360	0	+1200
$280 < d \leq 315$	0	+139	+306	0	+306	+490	+690	+760	-360	+1710
	-52	+23	+61	-105	+61	+130	+190	+400	+1350	+1350
$315 < d \leq 355$	0	+146	+323	0	+323	+515	+715	+780	0	+1900
	-55	+24	+63	-105	+63	+135	+195	+440	+1500	+1500
$355 < d \leq 400$	0	+153	+340	0	+340	+540	+740	+800	-360	+1900
	-58	+25	+65	-105	+65	+140	+200	+400	+1350	+1350

ASME

Clave	Descripción
ASME B31.1	<p>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.</p>
ASME Y14.5	<p>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.</p> <p>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.</p>
ASME EA-1	<p>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.</p>

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)

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 del estado B (kJ/kg)

Ecuaciones de potencia y eficiencia

$$P = F \cdot v$$

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

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

$$P_h = \gamma QH$$

$$Q = A \cdot v$$

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

P_h = potencia hidráulica (W)

F = fuerza (N)

A = área (m²)

m = masa (kg)

v = velocidad (m/s)

ρ = presión (Pa)

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

W = trabajo (kJ)

η = eficiencia

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

Q = flujo o gasto volumétrico (m³/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)

η = eficiencia

ρ = densidad del aire (kg/m³)

A = área de la hélice (m²)

v = velocidad del viento (m/s)

Potencia aprovechable de aerogenerador

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

P = potencia mecánica de aerogenerador (W)

ρ = densidad (kg/m³)

v = velocidad promedio del viento (m/s)

C_p = coeficiente de potencia

A = área (m²)

η_t = coeficiente de transmisión

η_e = eficiencia del generador

η_a = eficiencia del aerogenerador

Ecuación de eficiencia del aerogenerador

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

Bombas y turbinas

$$P_B = Q \rho g h$$

$$\eta_B = \frac{P_s}{P_b}$$

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_b = potencia requerida por la bomba

P_s = potencia suministrada al fluido

V_1 = volumen específico (m³/kg)

η = eficiencia

p_1 = presión inicial (Pa)

p_2 = presión final (Pa)

H_1 = carga de la bomba 1 (N·m/N)

H_2 = carga de la bomba 2 (N·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)
 ρ_A = densidad del fluido usado en la bomba o turbina de diseño A (kg/m³)
 ρ_B = densidad del fluido usado en la bomba o turbina de diseño B (kg/m³)
 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

$Q = v A$ En general

$Q_{total} = Q_1 = Q_2$ En serie

$Q_{total} = Q_1 + Q_2$ En paralelo

Ecuación de eficiencia de la bomba

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

Q = caudal (m³/s)

v = velocidad del fluido (m/s)

A = Área transversal de la tubería (m²)

η_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 (m³/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)

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:

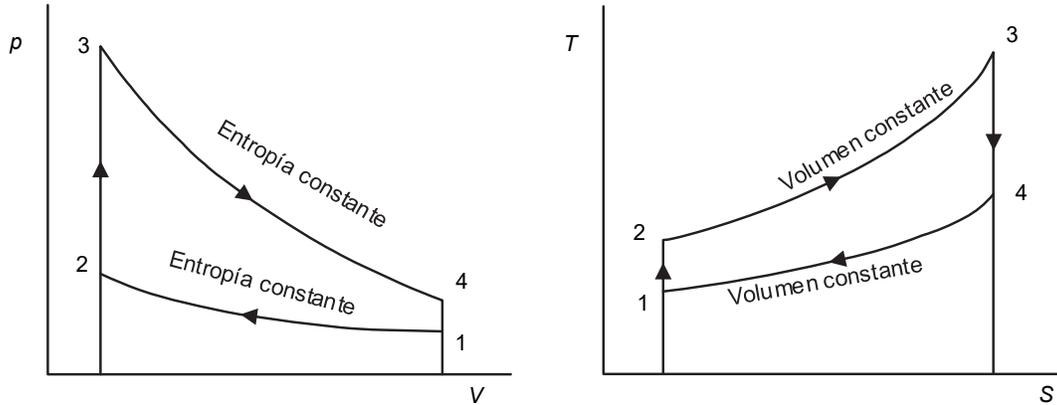
$T > T_0$ (la exergía y la transferencia de calor van en la misma dirección)

$T < T_0$ (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)

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}} \quad r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

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)

η_t = eficiencia térmica

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

k = relación de calores específicos

r_c = relación de compresión

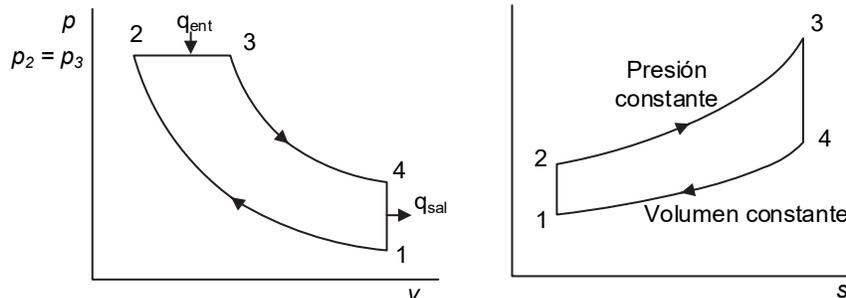
T_n = temperatura en el estado (K) para $n = 1, 2, 3,$

...

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

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

$$\eta_t = \frac{w_{neto}}{q_{ent}} \quad \eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)}$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad r_f = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2}$$

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

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

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

Motor de combustión interna

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

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

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 (m³/kg)

pme = presión media efectiva (kPa)

η_t = eficiencia

R = 8.314 kJ/kgmol·K o 8.314 kPa m³/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 (m³) para $n = 1, 2, 3, \dots$

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

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)

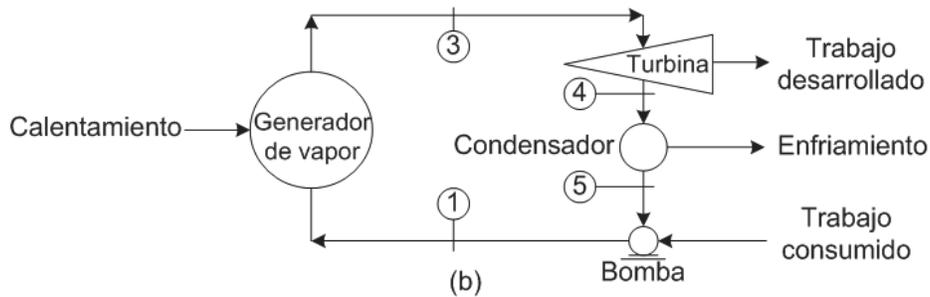
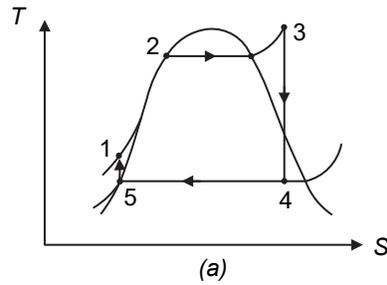
V_d = volumen desplazado (m³)

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)

η_t = eficiencia térmica

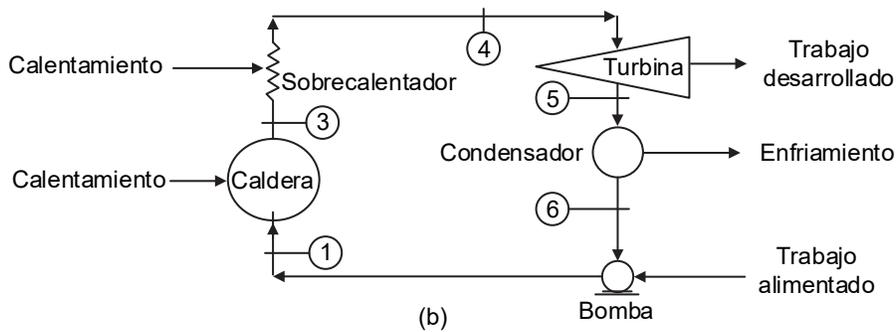
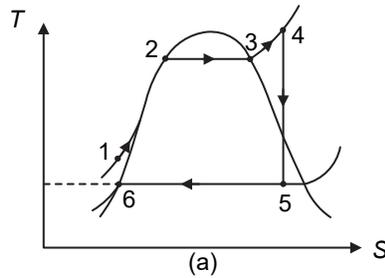
C_e = consumo específico

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

v_n = volumen específico en el estado (m^3/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

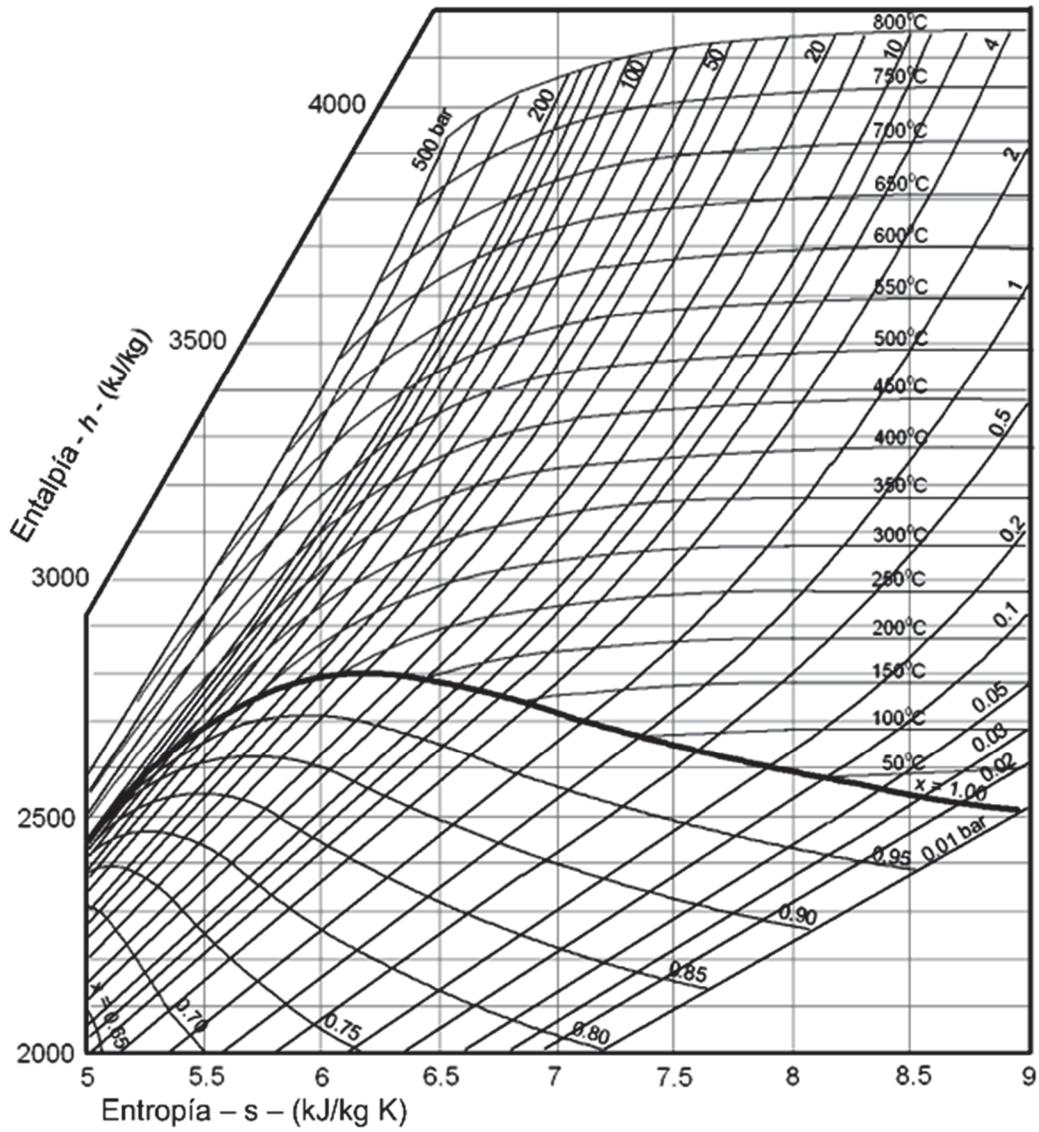


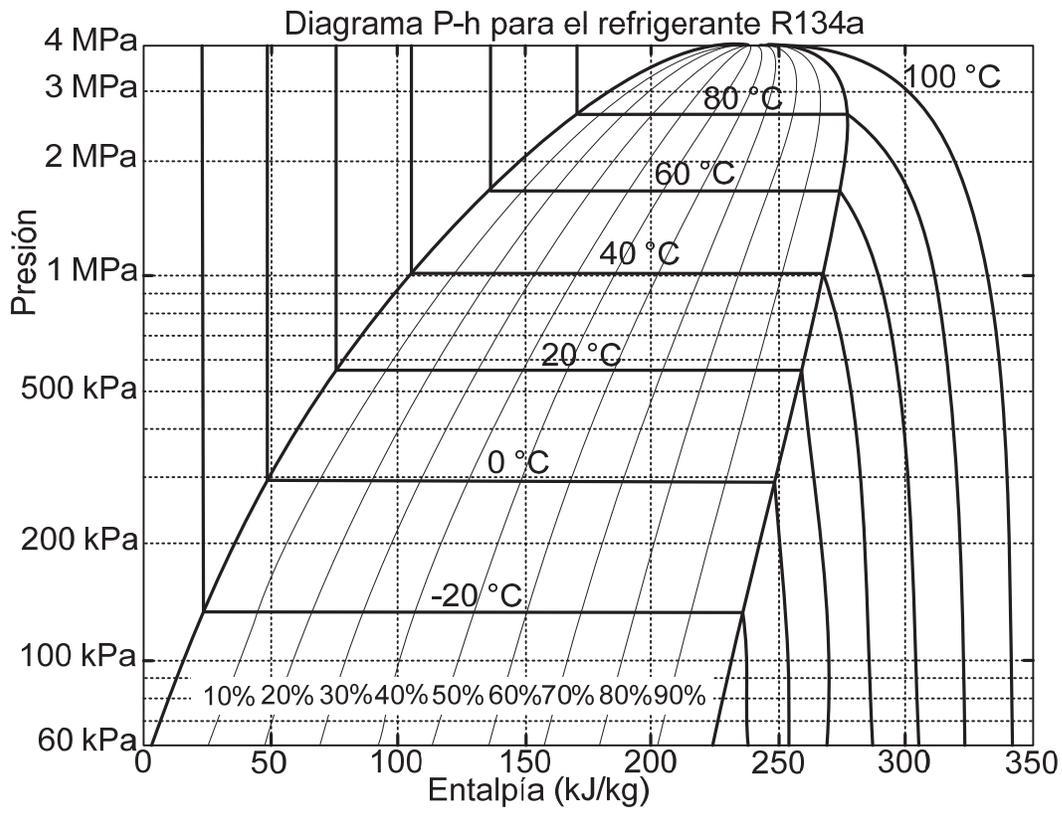
Diagrama de Mollier para el agua

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 (°C)	P (kPa)	v _f (m³/kg)	v _g (m³/kg)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	u _f (kJ/kg)	u _g (kJ/kg)	s _f (kJ/kg·K)	s _g (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

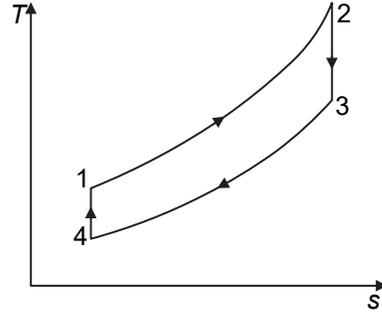
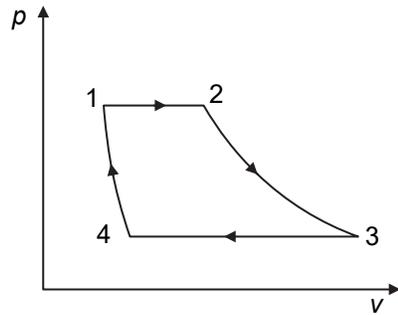


Fuente: <http://frionline.net/articulos-tecnicos/200-refrigerante-r134a-en-sistemas-frigorificos-comerciales-de-poca-potencia.html>

Tabla de aire como gas ideal

T (K)	h (kJ/kg)	p _r	u (kJ/kg)	v _r	s° (kJ/kg·K)	T (K)	h (kJ/kg)	p _r	u (kJ/kg)	v _r	s° (kJ/kg·K)
200	199.97	0.3363	142.56	1707	129.559	860	888.27	63.09	641.4	39.12	279.783
220	219.97	0.469	156.82	1346	139.105	880	910.56	68.98	657.95	36.61	282.344
240	240.02	0.6355	171.13	1084	147.824	900	932.93	75.29	674.58	34.31	284.856
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	155.848	920	955.38	82.05	691.28	32.18	287.324
270	270.11	0.959	192.6	808	159.634	940	977.92	89.28	708.08	30.22	289.748
280	280.13	10.889	199.75	738	163.279	960	1000.55	97	725.02	28.4	292.128
285	285.14	11.584	203.33	706.1	165.055	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	294.468
290	290.16	12.311	206.91	676.1	166.802	1000	1046.04	114	758.94	25.17	296.777
295	295.17	13.068	210.49	647.9	168.515	1020	1068.89	123.4	776.1	23.72	299.034
300	300.19	1.386	214.07	621.2	170.203	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	30.126
320	320.29	17.375	228.42	528.6	17.669	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	303.449
340	340.42	2.149	242.82	454.1	18.279	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	305.608
360	360.58	2.626	257.24	393.4	188.543	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	307.732
380	380.77	3.176	271.69	343.4	194.001	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	309.825
400	400.98	3.806	286.16	301.6	199.194	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	311.883
420	421.26	4.522	300.69	266.6	204.142	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	313.916
440	441.61	5.332	315.3	236.8	20.887	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	315.916
460	462.02	6.245	329.97	211.4	213.407	1200	1277.79	238	933.33	14.47	317.888
480	482.49	7.268	344.7	189.5	21.776	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	319.834
500	503.02	8.411	359.49	170.6	221.952	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	321.751
520	523.63	9.684	374.36	154.1	225.997	1260	1348.55	290.8	986.9	12.435	323.638
540	544.35	11.1	389.34	139.7	229.906	1280	1372.24	310.4	1004.76	11.835	32.551
560	565.17	12.66	404.42	127	233.685	1300	1395.97	330.9	1022.82	11.275	327.345
580	586.04	14.38	419.55	115.7	237.348	1320	1419.76	352.5	1040.88	10.747	32.916
600	607.02	16.28	434.78	105.8	240.902	1340	1443.6	375.3	1058.94	10.247	330.959
620	628.07	18.36	450.09	96.92	244.356	1360	1467.49	399.1	1077.1	9.78	332.724
640	649.22	20.64	465.5	88.99	247.716	1380	1491.44	424.2	1095.26	9.337	334.474
660	670.47	23.13	481.01	81.89	250.985	1400	1515.42	450.5	1113.52	8.919	3.362
680	691.82	25.85	496.62	75.5	254.175	1420	1539.44	478	1131.77	8.526	337.901
700	713.27	28.8	512.33	69.76	257.277	1440	1563.51	506.9	1150.13	8.153	339.586
720	734.82	32.02	528.14	64.53	260.319	1460	1587.63	537.1	1168.49	7.801	341.247
740	756.44	35.5	544.02	59.82	26.328	1480	1611.79	568.8	1186.95	7.468	342.892
760	778.18	39.27	560.01	55.54	266.176	1500	1635.97	601.9	1205.41	7.152	344.516
780	800.03	43.35	576.12	51.64	269.013	1520	1660.23	636.5	1223.87	6.854	34.612
800	821.95	47.75	592.3	48.08	271.787	1540	1684.51	672.8	1242.43	6.569	347.712
820	843.98	52.59	608.59	44.84	274.504	1560	1708.82	710.5	1260.99	6.301	349.276
840	866.08	57.6	624.95	41.85	27.717	1580	1733.17	750	1279.65	6.046	350.829

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)

η_t = eficiencia térmica

η_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)

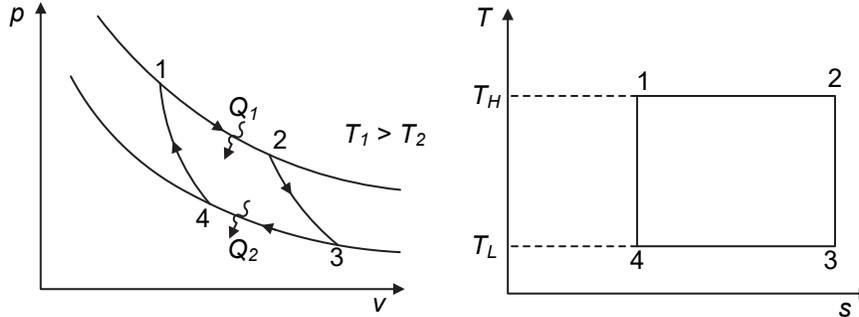
C_v = calor específico a volumen constante (kJ/kg·K)

k = relación de calores específicos

h_i = entalpía específica (kJ/kg)

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

Ciclo Carnot



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

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

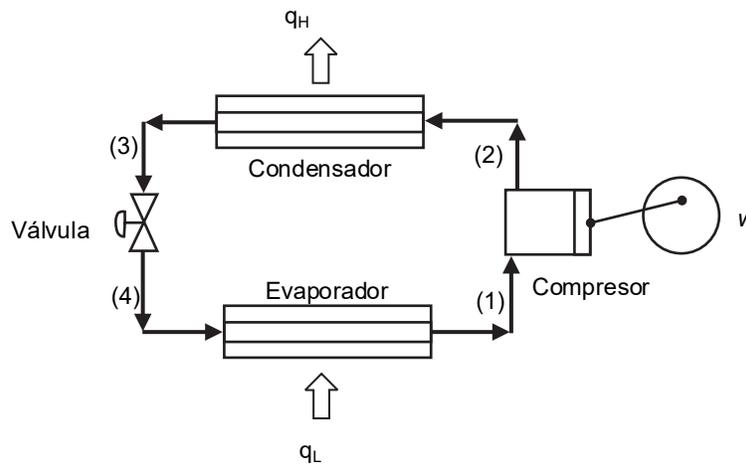
$$pme = \frac{w_{neto}}{V_3 - V_1}$$

r_p = relación de presiones

η_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)

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/m³)

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/(m²·K))

k = conductividad térmica (W/(m·K))

A = área de transferencia de calor (m²)

ΔL = grosor de la placa (m)

U = coeficiente global de transferencia de calor (W/(m²·K))

Conducción a través de placa

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

ΔT = 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)

Convección

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

T_∞ = temperatura del fluido circundante (K)

T₁, T₂ = temperatura de las secciones "1" y "2" de una placa (K)

Radiación

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

ε = emisividad del cuerpo que transfiere calor.

σ = 5.67 x 10⁻⁸ (W/(m²·K⁴)), constante de Stefan Boltzmann

Transferencia de calor global

$$Q = UA\Delta T$$

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

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

$$R_p = \frac{\Delta x}{k A}$$

Resistencia por conducción de pared cilíndrica

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

Resistencia por conducción de pared esférica

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

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

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

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)

ΔT_i = diferencia de temperatura de la sección "i" (K)

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

Δx = 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^2K/W)

Calculo 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 ($\frac{kg}{s}$)

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

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 ($\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$)

A_s = área de superficie (m^2)

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

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

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

donde:

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

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

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

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

donde:

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

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:

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

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

donde:

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

η_{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 (m²)

T_b = temperatura de la base de la aleta (°C)

T_∞ = temperatura del medio (°C)

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

Eficiencia y áreas de superficie de configuraciones comunes de aletas

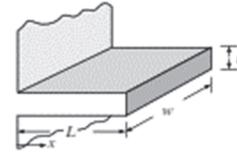
Aletas rectangulares rectas

$$m = \sqrt{2hk/t}$$

$$L_c = L + t/2$$

$$A_{\text{aleta}} = 2wL_c$$

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$$

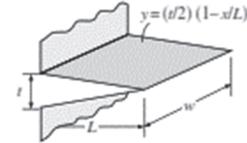


Aletas triangulares rectas

$$m = \sqrt{2hk/t}$$

$$A_{\text{aleta}} = 2w\sqrt{L^2 + (t/2)^2}$$

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{1}{mL} \frac{I_1(2mL)}{I_0(2mL)}$$



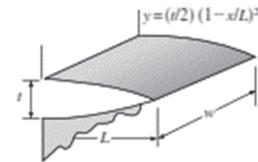
Aletas parabólicas rectas

$$m = \sqrt{2hk/t}$$

$$A_{\text{aleta}} = wL[C_1 + (L/t)\ln(t/L + C_1)]$$

$$C_1 = \sqrt{1 + (t/L)^2}$$

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2mL)^2 + 1}}$$



Aletas circulares de perfil rectangular

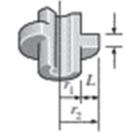
$$m = \sqrt{2hk/t}$$

$$r_{2c} = r_2 + t/2$$

$$A_{\text{aleta}} = 2\pi(r_{2c}^2 - r_1^2)$$

$$\eta_{\text{aleta}} = C_2 \frac{K_1(mr_1)I_1(mr_{2c}) - I_1(mr_1)K_1(mr_{2c})}{I_0(mr_1)K_1(mr_{2c}) + K_0(mr_1)I_1(mr_{2c})}$$

$$C_2 = \frac{2r_1/m}{r_{2c}^2 - r_1^2}$$



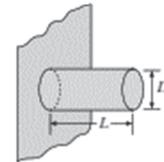
Aletas de espiga de perfil rectangular

$$m = \sqrt{4hk/D}$$

$$L_c = L + D/4$$

$$A_{\text{aleta}} = \pi DL_c$$

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$$

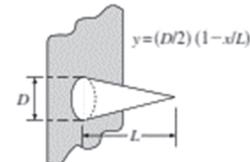


Aletas de espiga de perfil triangular

$$m = \sqrt{4hk/D}$$

$$A_{\text{aleta}} = \frac{\pi D}{2} \sqrt{L^2 + (D/2)^2}$$

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{2}{mL} \frac{I_2(2mL)}{I_1(2mL)}$$



Aletas de espiga de perfil parabólico

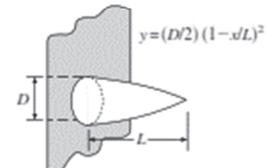
$$m = \sqrt{4hk/D}$$

$$A_{\text{aleta}} = \frac{\pi L^3}{8D} [C_3 C_4 - \frac{L}{2D} \ln(2DC_4/L + C_3)]$$

$$C_3 = 1 + 2(D/L)^2$$

$$C_4 = \sqrt{1 + (D/L)^2}$$

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2mL/3)^2 + 1}}$$



Aletas de espiga de perfil parabólico (punta truncada)

$$m = \sqrt{4hk/D}$$

$$A_{\text{aleta}} = \frac{\pi D^4}{96L^2} \left\{ [16(L/D)^2 + 1]^{3/2} - 1 \right\}$$

$$\eta_{\text{aleta}} = \frac{3}{2mL} \frac{I_1(4mL/3)}{I_0(4mL/3)}$$



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

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

Q = flujo de calor (W)

h = coeficiente de transferencia de calor (W/(m²·K))

A = área de transferencia de calor (m²)

c = capacidad calorífica (J/(kg·K))

V = volumen del sólido o sistema (m³)

T = temperatura del medio o sistema (K)

T_o = temperatura inicial del medio o sistema (K)

T_{∞} = temperatura del fluido circundante (K)

t = tiempo (s)

q = calor (J)

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 (m²)

ΔT_{mlog} = diferencia de temperatura media logarítmica (K)

U = coeficiente global de transferencia de calor (W/(m²·K))

ΔT_I = diferencia de temperatura entre fluido caliente y frío en el lado I o zona I (K)

ΔT_{II} = diferencia de temperatura entre fluido caliente y frío en el lado II o zona II (K)

T_{CI}, T_{FI} = temperaturas del fluido caliente y del fluido frío en el lado I o zona I (K)

T_{CII}, T_{FII} = 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

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

ρ = densidad (kg/m³)

m = masa del fluido (kg)

V = volumen del fluido (m³)

A = área (m²)

v = velocidad (m/s)

y = espesor (m)

μ = viscosidad absoluta (Pa s)

τ = esfuerzo cortante del fluido (Pa)

ν = viscosidad cinemática (m²/s)

p = presión (N/m² o Pa)

F = fuerza (N)

Conversión

- 1 slug = 32.174 lb = 14.5439 kg
- 1 ft³ = 0.0283 m³ = 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/ft²
 - = 29.92 in Hg
 - = 33.91 pca (pies columna de agua)
- 1 cP (centiPoise) = 10⁻² P (Poise)
- 1 cP (centiPoise) = 10⁻³ Pa·s
- 1 P (Poise) = 100 cP = 1 g/cm s = 0.1 Pa s
- 1 ct (centistoke) = 10⁻² st (stoke)
- 1 ct = 10⁻⁶ m²/s
- 1 t (stoke) = 1 Dina/1 Poise = 1 cm²/s² = 0.0001 m²/s

Estática de fluidos

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

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

Principio de Pascal

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

γ = peso específico (N/m³)

W = peso (N)

V = volumen (m³)

ρ = presión hidrostática (N/m² o Pa)

ρ = densidad (kg/m³)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

h = altura (m)

f = fuerza aplicada en el émbolo menor (N)

a = área del émbolo menor (m²)

F = fuerza obtenida en el émbolo mayor (N)

A = área del émbolo mayor (m²)

Principio de Arquímedes o empuje hidrostático

$$E = \rho V g$$

E = empuje hidrostático (N)

ρ = densidad del fluido en reposo (kg/m^3)

V = volumen desplazado (m^3)

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

Pérdidas de carga

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

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

ν = viscosidad cinemática

p = presión (Pa)

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

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

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

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{régimen laminar}$$

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad \text{régimen turbulento en tubería lisa}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{régimen turbulento en tubería rugosa}$$

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

Superficies planas sumergidas

$$h_c = L_c \sin \theta$$

$$F_R = \gamma h_c A$$

$$\gamma = \rho g$$

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

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

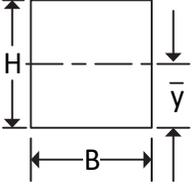
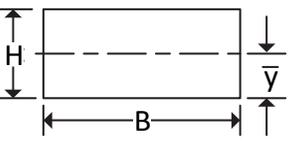
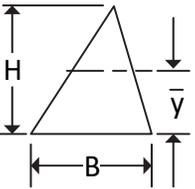
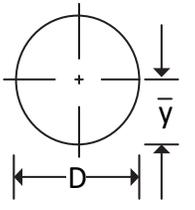
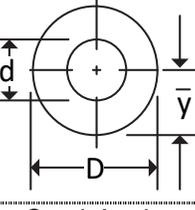
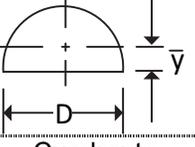
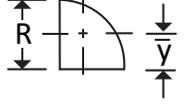
γ = peso específico del fluido (N/m^3)

ρ = densidad del fluido (kg/m^3)

g = aceleración de la gravedad en (m/s^2)

I_c = momento de inercia (m^4)

Información extraída del libro de Mecánica de fluidos aplicada de Robert Mott, con fines académicos.

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

Mecánica de fluidos

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

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

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

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

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

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

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = \text{ecuación de continuidad hidráulica}$$

$$\dot{m} = \text{flujo másico (kg/s)}$$

$$\dot{V} = \text{flujo volumétrico (m}^3\text{/s)}$$

$$N_s = \text{velocidad específica (m/s)}$$

$$Q = \text{caudal (m}^3\text{/s)}$$

$$H = \text{altura o carga hidráulica (m) (ft)}$$

$$n = \text{revoluciones por minuto (rpm)}$$

$$D_s = \text{diámetro específico (m)}$$

$$H_L = \text{pérdida de energía (m)}$$

$$K = \text{coeficiente de resistencia}$$

$$V = \text{velocidad del fluido (m/s)}$$

$$g = \text{gravedad (m/s}^2\text{)}$$

Ecuación de Bernoulli

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

$$p_1, p_2 = \text{presión (Pa)}$$

$$v_1, v_2 = \text{velocidad (m/s)}$$

$$z = \text{altura (m)}$$

$$g = \text{gravedad (m/s}^2\text{)}$$

$$\rho_1, \rho_2 = \text{densidad (kg/m}^3\text{)}$$

Ecuación de continuidad

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

$$A_1, A_2 = \text{áreas transversales de las secciones "1" y "2" respectivamente (m}^2\text{)}$$

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

$$\rho_1, \rho_2 = \text{densidades en las secciones "1" y "2" respectivamente (kg/m}^3\text{)}$$

Fórmula de Euler:

Potencia para bombas

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

$$P = \text{potencia (W)}$$

$$\rho = \text{densidad del fluido (kg/m}^3\text{)}$$

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

$$r_2 = \text{radio de la descarga del álabe o impulsor (m)}$$

$$b_2 = \text{ancho del impulsor (m)}$$

$$\beta_2 = \text{ángulo del álabe de la descarga}$$

$$Q = \text{caudal o gasto volumétrico (m}^3\text{/s)}$$

$$H_u = \text{altura de Euler}$$

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

$$c_u = \text{componente periférica de la velocidad absoluta}$$

$$u = \text{velocidad periférica}$$

Altura de Euler para turbomaquinaria:
Bombas y compresores

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

Turbinas:

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

$$C_t = n_p \cdot d_h$$

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

$$C_t = \text{capacidad del tinaco}$$

$$n_p = \text{número de personas}$$

$$d_h = \text{dotación por habitante}$$

$$N_p = \text{número de personas}$$

$$r_e = \text{recámaras}$$

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

$$r = d_t$$

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

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

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

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

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

C = capacidad de la tubería (L)

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

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)

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

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 %

Ecuación de estado para gases ideales

$$pV = n R T$$

$$p = \rho RT/M$$

n = número de moles (kmol)
 p = presión absoluta (Pa)
 V = volumen (m^3)
 T = temperatura absoluta (K)
 $R = 8\ 314.3 \text{ J/(kmol} \cdot \text{K)}$
 M = masa molecular (kg/kmol)

Flujo de aire de enfriamiento o calentamiento

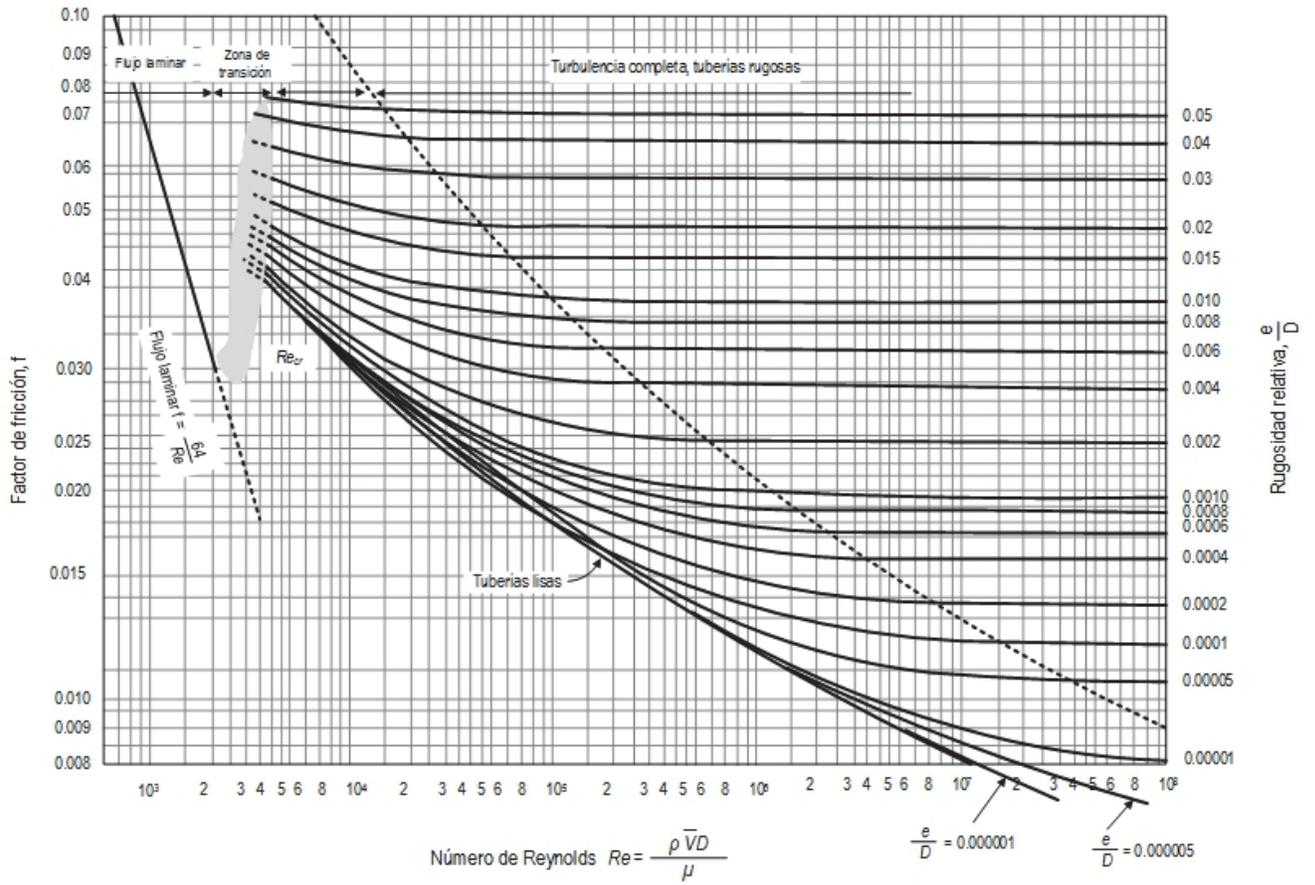
$$m = \frac{Q}{C_p(T_c - T_i)}$$

m = flujo de aire (kg/s)
 Q = carga (W)
 C_p = calor específico a presión constante (J/kg K)
 T_c = temperatura de confort (K)
 T_i = temperatura interna (K)

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 $v = \text{constante}$ $n = \infty$	$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$	0	$V(P_1 - P_2)$ $= R(T_1 - T_2)$	$c_v (T_2 - T_1)$		
Isobárico $p = \text{constante}$ $n = 0$	$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$P(v_2 - v_1)$ $= R(T_2 - T_1)$	0	$c_p (T_2 - T_1)$		
Isotérmico $T = \text{constante}$ $n = 1$	$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$	$R T \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$ $= R T \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$	$W_{1,2}$	$W_{1,2}$		
Isoentrópico $s = \text{constante}$ $n = k$	$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k$ $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$ $\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}}$	$u_2 - u_1 = c_u(T_1 - T_2)$ $= \frac{1}{k-1} R T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$	$h_2 - h_1 = c_p(T_1 - T_2)$ $= \frac{k}{k-1} R T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$	0		
Politrópico $n = \text{constante}$	$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n$ $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}}$ $\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}}$	$\frac{1}{n-1} R (T_1 - T_2)$ $= \frac{1}{n-1} R T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$	$\frac{n}{n-1} R (T_1 - T_2)$ $= \frac{n}{n-1} R T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$	$C_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)$	Indefinido	Indefinido

Diagrama de Moody



Fuente: L.F. Moody. Trans. ASME, Vol. 66, 1944

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 ₄ H ₁₀	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO ₂	0.1889	0.846	0.657	1.289
Etano	C ₂ H ₆	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etileno	C ₂ H ₄	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helio	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrógeno	H ₂	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metano	CH ₄	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 ₂	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octano	C ₈ H ₁₈	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxígeno	O ₂	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propano	C ₃ H ₈	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Vapor	H ₂ O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

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

Fuente: Kyle, BG., (2000). Chemical and Process Thermodynamics, 3a. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey

Procesos de manufactura

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

σ = esfuerzo real

A = área de sección transversal instantánea

ε = 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

ε = 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

σ_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

σ_f' = esfuerzo de flujo en deformación plana

μ = coeficiente de fricción

a = mitad del ancho de la pieza

h = altura instantánea de la pieza

σ_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

$$F = \overline{\sigma_f'} L w$$

Para condiciones de alta fricción

$$F = \overline{\sigma_f'} \left(1 + \frac{\mu L}{2 h_{prom}} \right) L w$$

$$\overline{\sigma_f'} = \frac{2}{\sqrt{3}} \overline{\sigma_f}$$

$$L = \sqrt{R \Delta h}$$

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

$$\Delta h_{max} = \mu^2 R$$

$$\overline{\sigma_{f \text{ frío}}} = \frac{K \varepsilon^n}{n + 1}$$

$$\overline{\sigma_{f \text{ caliente}}} = C \dot{\varepsilon}^m$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{V}{L} \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right) = \frac{2 \pi R N}{L} \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right)$$

$$P = \frac{\pi F L N}{30\,000}$$

F = fuerza de laminado (entre rodillos)

$\overline{\sigma_f'}$ = esfuerzo de flujo promedio en def. plana

L = longitud de contacto

w = ancho del área de contacto

R = radio de rodillo

μ = coeficiente de fricción

h_{prom} = altura promedio

Δh = diferencia entre espesor inicial y final

h_0 = espesor inicial

h_1 = espesor final

$\overline{\sigma_{f \text{ frío}}}$ = esfuerzo de flujo promedio en frío

ε = deformación real

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 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

σ_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

ε = deformación real

n = exponente de endurecimiento por deformación

μ = coeficiente de fricción

α = ángulo de entrada al dado

Φ = 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

$$p_{prom} = \overline{\sigma_f} \left(0.8 + 1.5 \varepsilon + \frac{2L}{D_0} \right)$$

$$\varepsilon = \ln R$$

$$\overline{\sigma_{f \text{ frío}}} = K \frac{\varepsilon^n}{n+1}$$

$$\overline{\sigma_{f \text{ caliente}}} = C \dot{\varepsilon}^{-m}$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{6V D_0^2 \tan \alpha}{D_0^3 - D_1^3} \varepsilon \quad \wedge \quad \alpha \leq 45^\circ$$

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

ε = 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

α = 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

α = 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

η = módulo de Poisson

R = radio de doblado

Y = resistencia a la cedencia

E = módulo de Young

θ = 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) $H = h - \frac{p^2}{2c}$

$v = \sqrt{2 g H}$

$t_s = C_{mm} \left(\frac{V_p}{A_p} \right)^n$

$\frac{A_R}{A_p} = (1 - \beta) \frac{V_R}{V_p} - \beta$

$A_E = \frac{W_{ef}}{\rho_L t C \sqrt{2 g H}}$

$W_{ef} = \frac{W}{\eta}$

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

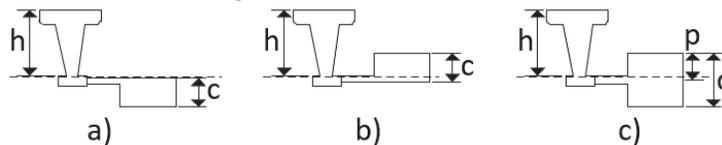
$t = (2.4335 - 0.3953 \log W_{ef}) \sqrt{W_{ef}}$

Aleaciones base cobre

$t = K_2 \sqrt[3]{W_{ef}}$

$A_0 = A_E \sqrt{\frac{h_E}{h_0}}$

Configuración del molde de arena



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/s², 386.09 in/s²)

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

ρ_L = densidad del metal líquido

t = tiempo de llenado del molde

C = eficiencia del sistema de alimentación

η = eficiencia de la fundición

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 ¹			
Material sólido	Calor específico	Densidad	Conductividad térmica
	kJ/kg/K	kg/m ³	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

¹ Adaptado de: Flemings, M.C., *Solidification Processing*, McGraw-Hill, U.S.A., 1974.

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
 η = eficiencia del proceso
 V = volumen de material a fundir
 ρ = densidad del material a fundir
 c_p = calor específico del material a fundir
 ΔT = 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
 ρ_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
 α = coeficiente de sensibilidad a la temperatura
 ρ_C = resistividad de contacto
 A_C = área transversal de contacto
 Q_R = calor requerido
 η = eficiencia del proceso
 V = volumen de material a fundir
 ρ = densidad del material a fundir
 c_p = calor específico del material a fundir
 ΔT = 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

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

θ = 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

$$T_m = \frac{D}{d} G$$

$$P = P_u MRR$$

Desgaste en herramientas de corte

$$V_c t^n = C$$

$$\frac{V_{c1}}{V_{c2}} = \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^n$$

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

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 ²					
Materiales de la pieza de trabajo	Material de la herramienta de corte	Condiciones generales para desbaste		Condiciones generales para acabado	
		Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)	Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)
Acero bajo carbón y de libre maquinado	Acero alta velocidad	34 (110)	0.30 (0.012)	55 (180)	0.10-0.20 (0.004-0.008)
	Carburo sin recubrimiento	90 (300)	0.35 (0.014)	60-135 (200-450)	0.15-1.10 (0.006-0.045)
	Carburo con recubrimiento cerámico	245-275 (800-900)	"	120-425 (400-1400)	"
	Carburo con triple recubrimiento	185-200 (350-500)	"	90-245 (300-800)	"
	Carburo con recubrimiento de TiN	105-150 (350-500)	"	60-230 (200-750)	"
	Cerámico de Al ₂ O ₃	395-440 (1300-1450)	0.25 (0.01)	365-550 (1200-1800)	"
	Cermet	215-290 (700-950)	0.3 (0.012)	105-455 (350-1500)	"
Aceros de medio y alto carbono	Acero alta velocidad	21 (70)	0.25 (0.010)	55 (115)	0.15-0.20 (0.006-0.045)
	Carburo sin recubrimiento	75 (250)	0.30 (0.012)	45-120 (150-400)	0.15-0.75 (0.006-0.030)
	Carburo con recubrimiento de cerámico	"	"	120-410 (400-1350)	"
	Carburo con triple recubrimiento	"	"	75-215 (250-700)	"

² Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

Torneado: parámetros de proceso recomendados²					
Materiales de la pieza de trabajo	Material de la herramienta de corte	Condiciones generales para desbaste		Condiciones generales para acabado	
		Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)	Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)
	Carburo con recubrimiento de TiN	"	"	45-215 (150-700)	"
	Cerámico de Al ₂ O ₃	335 (1100)	0.25 (0.01)	245-455 (800-1500)	"
	Cermet	170-245 (550-800)	0.25 (0.01)	105-305 (350-1000)	"
Fundición de hierro gris	Acero alta velocidad	34 (110)	0.35 (0.014)	55 (180)	0.15-1.10 (0.006-0.045)
	Carburo sin recubrimiento	90 (300)	0.32 (0.013)	75-185 (250-600)	0.1-0.75 (0.004-0.030)
	Carburo con recubrimiento de cerámico	200 (650)	"	60-125 (200-700)	"
	Carburo con recubrimiento de TiN	90-135 (300-450)	"	365-855 (1200-2800)	"
	Cerámico de Al ₂ O ₃	455-490 (1500-1600)	0.25 (0.01)	365-855 (1200-2800)	"
	Cerámico de SiN	730 (2400)	0.32 (0.013)	200-990 (650-3250)	"

Fresado: parámetros de proceso recomendados³					
Materiales de la pieza de trabajo	Material de la herramienta de corte	Condiciones generales para desbaste		Condiciones generales para acabado	
		Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)	Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)
Acero bajo carbón y de libre maquinado	Acero alta velocidad	50-100 (160-330)	0.30 (0.012)	70-120 (230-400)	0.10-0.20 (0.004-0.008)
	Carburo sin recubrimiento	150-230 (520-780)	0.35 (0.014)	70-170 (260-580)	0.15-1.10 (0.006-0.044)
	Carburo con recubrimiento cerámico	310-350 (1040-1170)	"	150-550 (520-1820)	"
	Carburo con triple recubrimiento	240-260 (450-650)	"	110-310 (390-1040)	"
	Carburo con recubrimiento de TiN	130-190 (450-650)	"	70-290 (260-970)	"
	Cerámico de Al ₂ O ₃	510-570 (160--10)	0.25 (0.01)	470-710 (1560-2340)	"
	Cermet	270-370 (910-1230)	0.30 (0.012)	130-590 (450-1950)	"
Aceros de medio y alto carbono	Acero alta velocidad	20-50 (80-160)	0.25 (0.01)	70-90 (140-295)	0.15-0.20 (0.006-0.008)
	Carburo sin recubrimiento	90-130 (320-440)	0.30 (0.012)	50-150 (190-520)	0.15-0.70 (0.006-0.028)
	Carburo con recubrimiento de cerámico	"	"	150-530 (520-1750)	"
	Carburo con triple recubrimiento	"	"	90-270 (320-910)	"

³ Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

Fresado: parámetros de proceso recomendados³					
Materiales de la pieza de trabajo	Material de la herramienta de corte	Condiciones generales para desbaste		Condiciones generales para acabado	
		Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)	Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance mm/rev (in/rev)
	Carburo con recubrimiento de TiN	"	"	50-270 (190-910)	"
	Cerámico de Al ₂ O ₃	220-310 (710-1040)	0.25 (0.01)	320-580 (1040-1900)	"
	Cermet		0.25 (0.01)	130-390 (450-1300)	"
Fundición de hierro gris	Acero alta velocidad	40 (140)	0.35 (0.014)	95-240 (320-780)	0.15-1.10 (0.006-0.044)
	Carburo sin recubrimiento	110 (390)	0.32 (0.013)	70-275 (260-910)	0.10-0.70 (0.004-0.028)
	Carburo con recubrimiento de cerámico	260 (840)	"	470-1110 (1560-3640)	"
	Carburo con recubrimiento de TiN	110-170 (390-580)	"	470-1110 (1560-3640)	"
	Cerámico de Al ₂ O ₃	590-630 (1950-2080)	0.25 (0.01)	260-1280 (840-4220)	"
	Cerámico de SiN	940 (3120)	0.32 (0.013)	"	"

Taladrado: parámetros de proceso recomendados⁴			
Material de trabajo	Velocidad de corte m/min (ft/min)	Avance	
		Broca de 1.5 mm (0.060 in) mm/rev (in/rev)	Broca de 12.5 mm (0.500 in) mm/rev (in/rev)
Aleaciones de aluminio	30-120 (100-400)	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)
Aleaciones de magnesio	45-120 (150-400)	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)
Aleaciones de cobre	15-60 (50-200)	0.025 (0.001)	0.25 (0.010)
Aceros al carbón	20-30 (60-100)	0.025 (-0.001)	0.30 (0.012)
Aceros inoxidables	10-20 (40-60)	0.025 (-0.001)	0.18 (0.007)
Aleaciones de titanio	6-20 (20-60)	0.010 (0.0004)	0.15 (0.006)
Fierros colados	20-60 (60-200)	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)
Polímeros termoplásticos	30-60 (100-200)	0.025 (0.001)	0.13 (0.005)
Polímeros termofijos	20-60 (60-200)	0.025 (0.001)	0.10 (0.004)

⁴ Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

Cepillado: parámetros de proceso recomendados⁵		
Material	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm)
Fierro colado	60	0.762
Acero para maquinaria	70	0.508
Acero para herramienta	50	0.381
Bronce	100	1.016

Potencia unitaria para operaciones de corte⁶ (para herramientas desafiladas, multiplique por 1.25)		
Material	Potencia unitaria	
	W/(mm³/s)	hp/(in³/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

Desgaste de herramientas de corte⁷				
Desgaste de flanco permitido			Exponente de desgaste de Taylor	
Proceso	Acero alta velocidad	Carburo de tungsteno	Material de herramienta	n
Torneado	1.50 (0.060)	0.40 (0.015)	Acero alta velocidad	0.08-0.10
Fresado/careado	1.50 (0.060)	0.40 (0.015)	Carburo sin recubrimiento	0.20-0.30
Fresado; periférico	0.30 (0.012)	0.30 (0.012)	Carburo con recubrimiento de cerámico	0.30-0.50
Taladrado	0.30 (0.012)	0.30 (0.012)	Carburo con recubrimiento de TiN	0.40-0.60
Rimado	0.15 (0.006)	0.15 (0.006)	Cerámico de Al ₂ O ₃	0.50-0.70

⁵ Adaptado de: *Machining Data Handbook*. (1986). Cincinnati, OH: Machinability Data Center.

⁶ Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

⁷ Adaptado de: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. New York: Prentice Hall

Designación y rangos de composición para aceros al carbón y aceros máquina ⁸					
Designación AISI/SAE	Designación UNS	Rangos de composición (%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, 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	

⁸ 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 selectos⁹

Material	Grado	Condición	Densidad g/cm ³	Módulo de Young GPa	Módulo de Poisson	Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación %	Tenacidad MPa m ^{1/2}
Metales ferrosos									
Acero al carbón	A36	Laminado en caliente	7.85	207	0.30	220–250	400–500	23	
		Laminado en caliente				210	380	25	
	1020	Laminado en frío	7.85	207	0.30	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		
	Recocido				417	655	25.7		
Acero baja aleación	4140	Normalizado	7.85	207	0.30	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			
	Recocido				472	745	22		
4340	Normalizado	7.85	207	0.30	862	1280	12.2		
	Aceite/revenido @315 °C				1620	1760	12		
	Aceite/revenido @260 °C				1640			50	
	Aceite/revenido @425 °C				1420				
	Lam. en frío y recocido Lam. en caliente y rec.				205 515	515	40 10		
87.4									
Acero inoxidable	304		8.00	193	0.30				

⁹ Adaptado de: Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction*. New York: Wiley.

Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos⁹

Material	Grado	Condición	Densidad g/cm ³	Módulo de Young GPa	Módulo de Poisson	Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación %	Tenacidad MPa m ^{1/2}
	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	
	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	—	
Metales no ferrosos									
	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
Aluminio	6061	Tratado T361	2.70	69.0	0.33	325	470	20	
		Recocido O				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	

Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos⁹

Material	Grado	Condición	Densidad g/cm ³	Módulo de Young GPa	Módulo de Poisson	Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación %	Tenacidad MPa m ^{1/2}
	C17200	Laminado en frío	8.25	128	0.30	310	345	12	
		Homogenizado W Envejecido				195-380	415-540	35-60	
	C26000 (latón)	Recocido O	8.53	110	0.35	965-1205	1140-1310	4-10	
		Trabajado en frío H04				75-150	300-365	54-68	
	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	
		Comercialmente puro				11	--	57	
Estaño	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	
		Recocido				nulo	130	45	
	Oro	Trabajado en frío (60%)	19.32	77	0.42	205	220	4	
		Recocido				<13.8	125-165	30-40	
Metales preciosos	Platino	Trabajado en frío (50%)	21.45	171	0.39	--	205-240	1-3	
		Recocido				--	170	44	
Metales refractarios	Molibdeno	Trabajado en frío (50%)	10.49	74	0.37	--	296	3.5	
		Recocido				500	630	25	
	Tántalo	10.22	320	0.32	500	630	25		
Plomo	Tungsteno		16.60	185	0.35	165	205	40	
			19.30	400	0.28	760	960	2	
	Plomo químico		11.34	13.5	0.44	6-8	16-19	30-60	

Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos⁹

Material	Grado	Condición	Densidad g/cm ³	Módulo de Young GPa	Módulo de Poisson	Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación %	Tenacidad MPa m ^{1/2}
	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		129	0.28	--	81.8	--	0.95
	Monocristalino/ dir <110>		2.33	168		--		--	0.9
	Monocristalino/ dir <111>			187	0.36	--		--	0.82
Super 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	
	Comercial- mente puro	Recocido	4.51	103	0.34	170	240	30	
Titanio	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	Comercial- mente 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	
		Recocido	8.05	141		276	517	30	
Misceláneos	Súper invar	Recocido	8.10	144		276	483	30	
	Kovar	Recocido	8.36	207		276	517	30	
Cerámicos									
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

Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos⁹

Material	Grado	Condición	Densidad g/cm ³	Módulo de Young GPa	Módulo de Poisson	Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación %	Tenacidad MPa m ^{1/2}
	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
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
		Prensado en caliente	3.30	207–483	0.17	--	230–825	--	4.8–6.1
Carburo de silicio		Sinterizado	3.20	207–483	0.16	--	96–520	--	4.8
		Prensado en caliente	3.30	304	0.30	--	700–1000	--	4.1–6.0
Nitruro de silicio		Consolidado por reacción		304	0.22	--	250–345	--	3.6
		Sinterizado	3.30	304	0.28	--	414–650	--	5.3
Zirconia	3 mol% Y ₂ O ₃	Sinterizado	6.00	205	0.31	--	800–1500	--	7.0–12.0
Polímeros									
Elastómero	Acrilinitrilo- 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	

Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos⁹

Material	Grado	Condición	Densidad g/cm ³	Módulo de Young GPa	Módulo de Poisson	Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación %	Tenacidad MPa m ^{1/2}
	Policarbonato (PC)		1.20	2.38	0.36	62.1	62.8–72.4	110–150	2.2
	Polyetherether- keton (PEEK)		1.31	1.10		91	70.3–103	30–150	
	Poliétileno baja densidad		0.93	0.172–0.282		9.0–14.5	8.3–31.4	100–650	
	Poliétileno alta densidad		0.96	1.08		26.2–33.1	22.1–31.0	10–1200	
	Poliétileno ultra alto peso molecular		0.94	0.69		21.4–27.6	38.6–48.3	350–525	
	Tereftalato de poliétileno (PET)		1.35	2.76–4.14		59.3	48.3–72.4	30–300	5
	Polimetil- metacrilato (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
	Poliestireno (PS)		1.05	2.28–3.28	0.33		35.9–51.7	1.2–2.5	0.7–1.1
	Polytetra- fluoroetileno (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
Fibras de refuerzo									
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	

Propiedades mecánicas en el sistema internacional para materiales selectos⁹

Material	Grado	Condición	Densidad g/cm ³	Módulo de Young GPa	Módulo de Poisson	Resistencia a la cedencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación %	Tenacidad MPa m ^{1/2}
Vidrio	E		2.58	72.5	0.22	--	3450	4.3	
Materiales compuestos									
Aramid-epoxi	60% fracción volumen	Longitudinal	1.40	76	0.34	--	1380	1.8	
		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	
Maderas									
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 25% de la resistencia última.									
b Módulo tomado al 100% de alargamiento.									
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.									

Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos¹⁰

Material	Grado	Coef. de expansión térmica		Conductividad térmica		Calor específico		Calor latente de fusión		Resistividad eléctrica
		10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁶ /°F	W/m/K	BTU/ft/h/°F	J/kg/K	10 ⁻² BTU/lbm/°F	J/kg	BTU/ft/h/°F	
Metales ferrosos										
Acero al carbón	A36	11.7	6.5	51.9	30.0	486 c	11.6 c			1.60x10 ⁻⁷
	1020	11.7	6.5	51.9	30.0	486 c	11.6 c			1.60x10 ⁻⁷
	1040	11.3	6.3	51.9	30.0	486 c	11.6 c			1.60x10 ⁻⁷
Acero baja aleación	4140	12.3	6.8							2.20x10 ⁻⁷
	4340	12.3	6.8							2.48x10 ⁻⁷
Acero inoxidable	304	17.2	9.6	16.2	9.4	500	12			7.20x10 ⁻⁷
	316	15.9	8.8	16.2	9.4	500	12			7.40x10 ⁻⁷
	405	10.8	6	27.0	15.6	460	11			6.00x10 ⁻⁷
	440A	10.2	5.7	24.2	14.0	460	11			6.00x10 ⁻⁷
	17-7PH	11	6.1	16.4	9.5	460	11			8.30x10 ⁻⁷
	60-40-18	11.2	6.2	36.0	20.8	544	13			5.50x10 ⁻⁷
	80-55-06	10.6	5.9	36.0	20.8	544	13			6.20x10 ⁻⁷
Fierro dúctil	120-90-02			36.0	20.8	544	13			6.20x10 ⁻⁷
	G1800	11.4	6.3	46.0	26.6	544	13			15.00x10 ⁻⁷
	G3000	11.4	6.3	46.0	26.6	544	13			9.50x10 ⁻⁷
	G4000	11.4	6.3	46.0	26.6	544	13			8.50x10 ⁻⁷
Metales no ferrosos										
Aluminio	1100 O	23.6	13.1	222	128.0	904	21.6			2.90x10 ⁻⁸
	2024 O	22.9	12.7	190	110.0	875	20.9			3.40x10 ⁻⁸
	6061 O	23.6	13.1	180	104.0	896	21.4			3.70x10 ⁻⁸

¹⁰ Adaptado de: Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction*. New York: Wiley.

Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos¹⁰

Material	Grado	Coef. de expansión térmica		Conductividad térmica		Calor específico		Calor latente de fusión		Resistividad eléctrica
		10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁶ /°F	W/m/K	BTU/ft/h/°F	J/kg/K	10 ⁻² BTU/lbm/°F	J/kg	BTU/ft/h/°F	
	7075 T6	23.4	13	130	75.0	960 a	23.0 a			5.22x10 ⁻⁸
	356 T6	21.5	11.9	151	87.0	963 a	23.0 a			4.42x10 ⁻⁸
Cobre	C-11000	17	9.4	388	224.0	385	9.2			1.72x10 ⁻⁸
	C-17200	16.7	9.3	105-130	60.0-75.0	420	10.0			5.70x10 ⁻⁷
	C-26000 (latón)	19.9	11.1	120	70.0	375	9.0			6.20x10 ⁻⁸
	C-36000 (latón)	20.5	11.4	115	67.0	380	9.1			6.60x10 ⁻⁸
	C-71500 (níquel 30%)	16.2	9	29	16.8	380	9.1			37.50x10 ⁻⁸
	C-93200 (bronce)	18	10	59	34.0	376	9.0			14.40x10 ⁻⁸
Estaño	Comercialmente puro	23.76	13.2	61	35.1	222	5.3			1.11x10 ⁻⁷
Magnesio	AZ31B	26	14.4	96 a	55 a	1024	24.5			9.20x10 ⁻⁸
	AZ91D	26	14.4	72 a	43 a	1050	25.1			17.00x10 ⁻⁸
Metales preciosos	Oro	14.22	7.9	315	182.0	130	3.1			2.35x10 ⁻⁸
	Platino	9.18	5.1	71 b	41 b	132 b	3.2 b			10.60x10 ⁻⁸
	Plata	19.62	10.9	428	247.0	235	5.6			1.47x10 ⁻⁸
Metales refractarios	Molibdeno	4.86	2.7	142	82.0	276	6.6			5.20x10 ⁻⁸
	Tántalo	6.48	3.6	54.4	31.4	139	3.3			13.50x10 ⁻⁸
	Tungsteno	4.5	2.5	155	89.4	138	3.3			5.30x10 ⁻⁸
Plomo	Plomo químico	29.34	16.3	35	20.2	129	3.1			2.06x10 ⁻⁷
	Plomo-6% Antimonio	27.18	15.1	29	16.8	135	3.2			2.53x10 ⁻⁷
	60Sn-40Pb	23.94	13.3	50	28.9	150	3.6			1.50x10 ⁻⁷
Silicio		2.5	1.4	141	82.0	700	16.7			2.5x10 ⁻³

Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos¹⁰

Material	Grado	Coef. de expansión térmica		Conductividad térmica		Calor específico		Calor latente de fusión		Resistividad eléctrica
		10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁶ /°F	W/m/K	BTU/ft/h/°F	J/kg/K	10 ⁻² BTU/lbm/°F	J/kg	BTU/ft/h/°F	
Superaleación	Níquel 200	13.32	7.4	70	40.5	456	10.9			0.95x10 ⁻⁷
	Inconel 625	12.78	7.1	9.8	5.7	410	9.8			12.90x10 ⁻⁷
	Monel 400	13.86	7.7	22.0	12.6	427	10.2			5.47x10 ⁻⁷
Titanio	Haynes alloy 25	12.24	6.8	9.8	5.7	377	9.0			8.90x10 ⁻⁷
	Comercialmente puro	8.64	4.8	16.0	9.2	528 d	12.6 d			4.20x10 ⁻⁷
	Ti-5Al-2.5Sn	9.36	5.2	7.6	4.4	470 d	11.2 d			15.70x10 ⁻⁷
Zinc	Ti-6Al-4V	8.64	4.8	6.7	3.9	610 d	14.6 d			17.10x10 ⁻⁷
	Comercialmente puro	23.0–32.5	12.7–18.1	108.0	62.0	395	9.4			62.00x10 ⁻⁷
	Zirconio	5.94	3.3	22.0	12.7	285	6.8			3.97x10 ⁻⁷
Miscelá-neos	Invar	1.62	0.9	10.0	5.8	500	12.0			8.20x10 ⁻⁷
	Súper Invar	0.72	0.4	10.0	5.8	500	12.0			8.00x10 ⁻⁷
	Kovar	5.04	2.8	17.0	9.8	460	11.0			4.90x10 ⁻⁷
Cerámicos										
Alúmina	Pura	7.4	4.1	39	22.5	775	18.5			>1.00x10 ⁻¹³
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 ⁻⁹
		0.11–1.23	0.06–0.68	1450–4650	840–2700	520	12.4			10x10 ⁻¹⁴
Diamante	Natural			3150	1820.0					1.50x10 ⁻²
	Sintético									
Vidrio	Borosilicato (Pyrex®)	3.3	1.8	1.4	0.8	850	20.3			~1x10 ⁻¹³
	Común	9	5	1.7	1.0	840	20.0			1x10 ⁻¹⁰ –1x10 ⁻¹¹
	Pyroceram®	6.5	3.6	3.3	1.9	975	23.3			2x10 ⁻¹⁴

Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos¹⁰

Material	Grado	Coef. de expansión térmica		Conductividad térmica		Calor específico		Calor latente de fusión		Resistividad eléctrica	
		10 ⁻⁶ ° C	10 ⁻⁶ ° F	W/m/K	BTU/ft/h/°F	J/kg/K	10 ⁻² BTU /lbm/° F	J/kg	BTU /ft/h/° F		
Grafito	Extruido	2.0–2.7	1.1–1.5	130–190	75–110	830	19.8			7 x 10 ⁻⁶ –20x10 ⁻⁶	
	Moldeado isostático	2.2–6.0	1.2–3.3	104–130	60–75	830	19.8			1x10 ⁻⁶ –18x10 ⁻⁶	
Silica	Fusionada	0.4	0.22	1.4	0.8	740	17.7			>1x10 ⁻¹⁸	
Carburo de silicio	Prensado en caliente	4.6	2.6	80	46.2	670	16.0			1.0–1x10 ⁻⁹	
	Sinterizado	4.1	2.3	71	41.0	590	14.1			1.0–1x10 ⁻⁹	
Nitruro de silicio	Prensado en caliente	2.7	1.5	29	17.0	750	17.9			>1x10 ⁻¹²	
	Consolidado por reacción	3.1	1.7	10	6.0	870	20.7			>1x10 ⁻¹²	
Zirconia, 3 mol% Y ₂ O ₃	Sinterizado	3.1	1.7	33	19.1	1100	26.3			>1x10 ⁻¹²	
	Sinterizado	9.6	5.3	2.0–3.3	1.2–1.9	481	11.5			~1x10 ⁻¹⁰	
Polímeros											
Elastómero	Acrilnitrilo-butadieno			0.25	0.14						4x10 ⁸
	Estireno-butadieno			0.25	0.14						6x10 ¹¹
	Silicón			0.23	0.13						1x10 ¹³
	Epoxi			0.19	0.11	1050	25				1x10 ¹⁰ –1x10 ¹³
Termofijo	Fenólica			0.15	0.087	1590–1760	38–42				1x10 ⁹ –1x10 ¹⁰
	Polyester			0.17	0.10	710–920	17–22				1x10 ¹³
Termoplástico	Nylon			0.24	0.14	1670	40				1x10 ¹² –1x10 ¹³
	Tereftalato de polibutadieno (PBT)			0.18–0.29	0.10–0.17	1170–2300	28–55				4x10 ¹⁴

Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos¹⁰

Material	Grado	Coef. de expansión térmica		Conductividad térmica		Calor específico		Calor latente de fusión		Resistividad eléctrica
		10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁶ /°F	W/m/K	BTU/ft/h/°F	J/kg/K	10 ⁻² BTU /lbm/°F	J/kg	BTU /ft/h/°F	
Policarbonato (PC)				0.2	0.12	840	20			2x10 ¹⁴
Polyetheretherketon (PEEK)										6x10 ¹⁴
Poliétileno baja densidad				0.33	0.19	2300	55			1x10 ¹⁵ -5x10 ¹⁶
Poliétileno alta densidad				0.48	0.28	1850	44			1x10 ¹⁵ -5x10 ¹⁶
Poliétileno ultra alto peso molecular				0.33	0.19					>5x10 ¹⁴
Tereftalato de poliétileno (PET)				0.15	0.087	1170	28			1x10 ¹²
Polimetilmetacrilato (PMMA)				0.17-0.25	0.10-0.15	1460	35			>1x10 ¹²
Polipropileno (PP)				0.12	0.069	1925	46			>1x10 ¹⁴
Poliestireno (PS)				0.13	0.075	1170	28			>1x10 ¹⁴
Polytetrafluoroethileno (PTFE)				0.25	0.14	1050	25			1x10 ¹⁷
Cloruro de polivinilo (PVC)				0.15-0.21	0.08-0.12	1050-1460	25-35			>1x10 ¹⁴

Fibras de refuerzo

Aramid (kevlar 49)	Longitudinal	-2	-1.1			1300	31			
	Transversal	60	33							
Carbón (precursor)	Longitudinal	-0.6	-0.3	11	6.4					17x10 ⁻⁶

Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos¹⁰

Material	Grado	Coef. de expansión térmica		Conductividad térmica		Calor específico		Calor latente de fusión		Resistividad eléctrica
		10 ⁻⁶ ° C	10 ⁻⁶ ° F	W/m/K	BTU/ft/h/°F	J/kg/K	10 ⁻² BTU /lbm/° F	J/kg	BTU /ft/h/° F	
PAN) módulo estándar	Transversal	10	5.6							Ω-m
		-0.6	-0.3	15	8.7					
Carbón (precursor PAN) módulo intermedio	Longitudinal	-0.5	-0.28	70	40					15x10 ⁻⁶
		7	3.9							
Carbón (precursor PAN) módulo alto	Transversal	5	2.8	1.3	0.75	810	19.3			4 x10 ¹⁴
Vidrio	E									

Materiales compuestos

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							

Propiedades térmicas y resistividad eléctrica para materiales selectos¹⁰

Material	Grado	Coef. de expansión térmica		Conductividad térmica		Calor específico		Calor latente de fusión		Resistividad eléctrica
		10 ⁻⁶ ° C	10 ⁻⁶ ° F	W/m/K	BTU/ft/h/°F	J/kg/K	10 ⁻² BTU /lbm/° F	J/kg	BTU /ft/h/° F	
Maderas Abeto de Douglas 12% de humedad	Paralelo al grano	3.8–5.1	2.2–2.8			2900	69.3			1x10 ⁻¹⁴ x10 ⁻¹⁶
	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 ⁻¹⁴ x10 ⁻¹⁶
	Perpendicular al grano	30.6–39.1	17.0–21.7	0.18	0.11					
a A 100 °C.										
b A 0 °C.										
c A temperaturas entre 50 °C y 100 °C.										
d A 50 °C.										

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) S = velocidad del husillo en rpm
M04	Encendido del husillo en sentido contrario a las manecillas del reloj (CCW) S = velocidad del husillo en rpm
M05	Apagado del husillo
M06	Cambio de herramienta 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 D = número de registro o diámetro del cortador
G42	Compensación a la derecha D = número de registro o diámetro del cortador
G43	Compensación de altura 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 X, Y = posición del agujero Z = profundidad del agujero R = plano de retracción P = pausa
G83	Ciclo de taladrado profundo X, Y = posición del agujero Z = profundidad del agujero R = plano de retracción D = profundidad por picoteo 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 software como Scilab y MATLAB, MathCad es menos poderoso y no permite aprovechar el hardware. Su filosofía es que es un programa más de documentación que de cálculo, aunque

Nombre	Descripción
MATLAB	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. 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 procesos 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

$$\varepsilon = \frac{P_R}{C_e}$$

$$i_m = \frac{t_m}{t_u}$$

ε = 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

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p \cdot q}{n}}$$

σ_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)

$$F_t = \alpha \cdot A_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot F_{t-1}$$

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
 α = 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

$$t_c = \frac{t_p}{P}$$

$$N = \frac{\sum t}{t_c}$$

$$E = \frac{\sum t}{N_r \cdot t_e}$$

Inventarios

$$CT = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

Punto de reorden

$$R = L \cdot D$$

Punto de reorden considerando existencia de seguridad

$$R = D \cdot L + z \cdot \sigma_L$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad \sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^L \sigma_{d_i}^2}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_i^2}$$

Cantidad óptima de la orden en un periodo fijo

$$q = D \cdot (T + L) + z \cdot \sigma_{T+L} - I$$

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_{d_i}^2}$$

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

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

R = punto de reorden

D = demanda diaria promedio

L = tiempo de entrega en días

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

σ_L = desviación estándar de uso durante el tiempo de entrega

n = número de días

d = demanda diaria

σ_d = desviación estándar de la demanda a lo largo de un periodo de n días

σ_s = desviación estándar de una serie de demandas independientes

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

σ_{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

$$VF = VP (1+i)^n$$

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

$$PR = VF \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

$$PR = VP \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$VF = PR \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

$$VP = PR \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{FE_t}{(1+i)^t}$$

$$VPN = FE_{fijo} \left[\frac{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)^{n+1}}{1 - \left(\frac{1}{1+i}\right)} \right]; i \neq 0$$

Retorno sobre inversiones

$$RI = \frac{GI - CI}{CI}$$

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

$$N = \frac{CI}{GI_N}$$

Depreciación

$$DU = \frac{CI - VR}{N}$$

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

$$DA = DU \cdot n$$

$$DU_n = \frac{(N+1) - n}{N(N+1) \frac{1}{2}} (CI - VR)$$

$$DA_n = \sum_{t=1}^n \frac{(N+1) - t}{N(N+1) \frac{1}{2}} (CI - VR)$$

* 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
Clientes	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

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$M_e = X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad \text{para } n \text{ impar}$$

$$M_e = \frac{X_{\left(\frac{n}{2}\right)} + X_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}}{2} \quad \text{para } n \text{ par}$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Para datos agrupados

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n (f_i)}$$

$$M_e = L_i + \left(\frac{\frac{n}{2} - f_{i-1}}{f_i} \right) \cdot c$$

$$M_o = L_i + \left(\frac{D_1}{D_1 + D_2} \right) \cdot c$$

$$D_1 = f_i - f_{i-1} \quad D_2 = f_i - f_{i+1}$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})^2 \cdot f_i]$$

\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

σ_x^2 = varianza para una población

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2$$

\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

σ_x^2 = varianza para una población

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(X_i - \mu)^2 \cdot f_i]$$

Análisis de regresión lineal simple

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

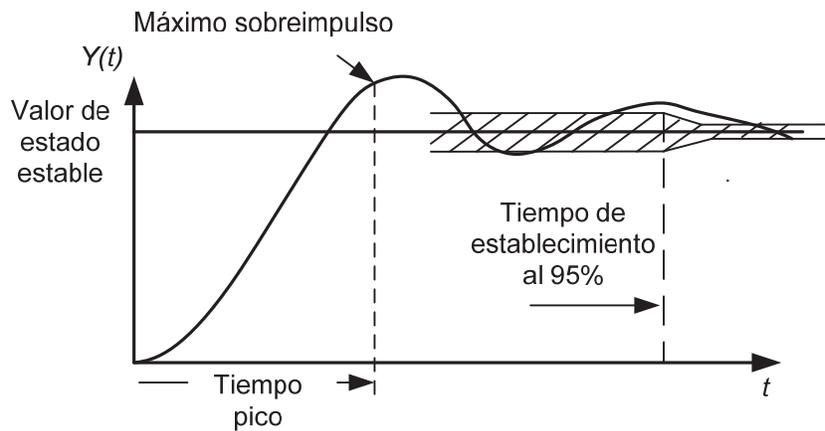
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

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

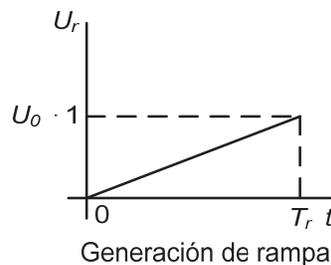


$$U_r(t) = \frac{U_0}{T_r} r(t) = \frac{U_0}{T_r} \int_0^t \varepsilon(t) dt = \frac{U_0}{T_r} t \varepsilon(t)$$

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

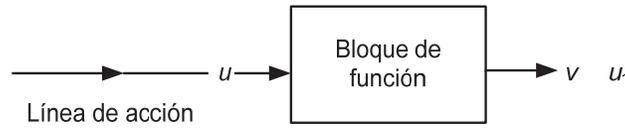


Diagrama de un sistema de lazo cerrado.

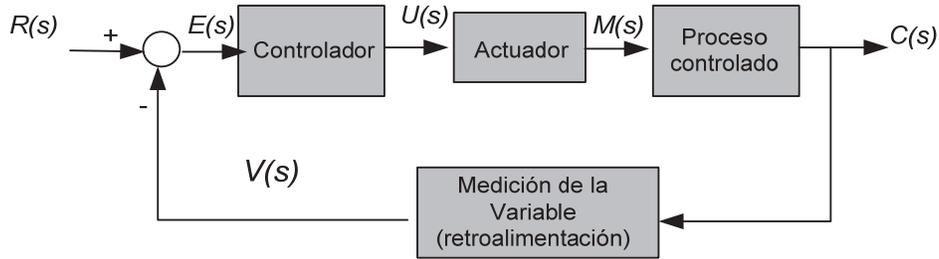
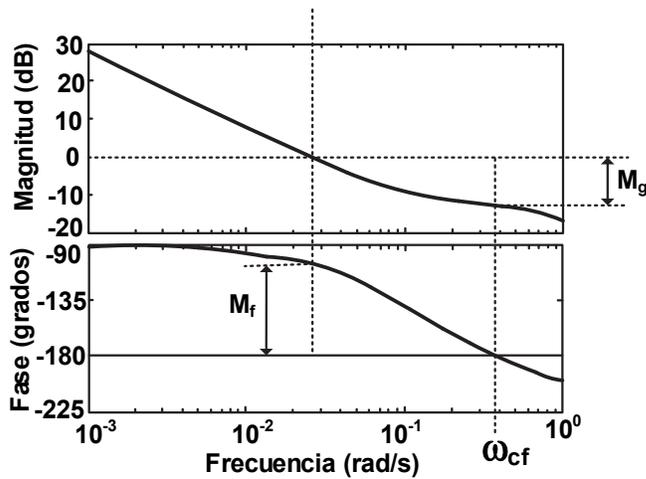


Diagrama de Bode



M_g = margen de ganancia
 M_f = margen de fase
 ω_{cg} = frecuencia de cruce de ganancia
 ω_{cf} = frecuencia de cruce de fase

Reglas para determinar la función de transferencia del circuito de control total

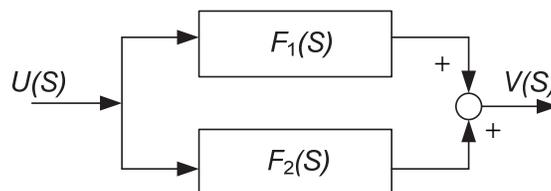
$$\frac{V(s)}{U(s)} = F_1(s) \cdot F_2(s)$$

Combinación en serie



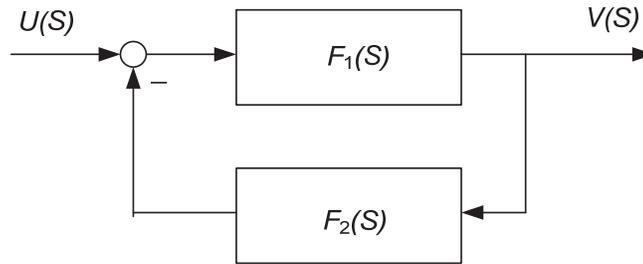
$$\frac{V(s)}{U(s)} = F_1(s) + F_2(s)$$

Combinación en paralelo



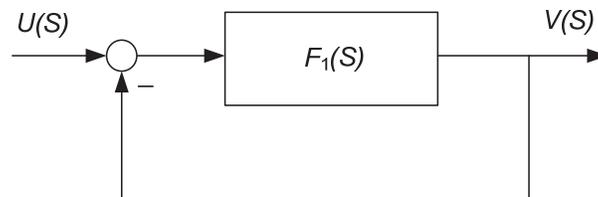
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{F_1(s)}{1 + F_1(s) \cdot F_2(s)}$$

Retroalimentación



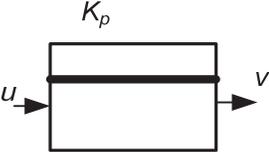
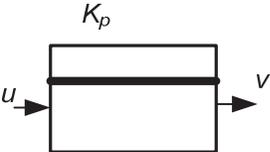
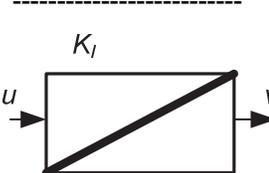
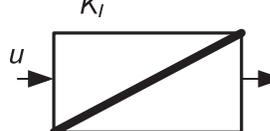
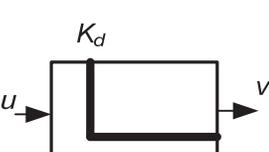
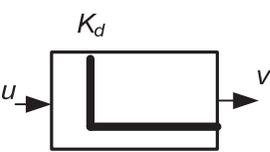
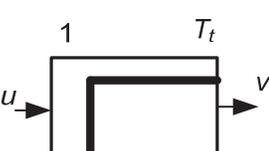
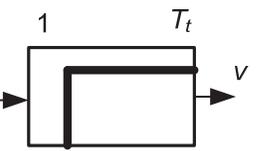
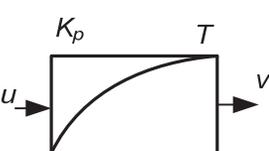
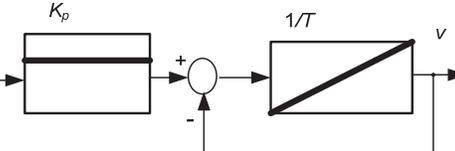
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{F_1(s)}{1 + F_1(s)}$$

Retroalimentación directa



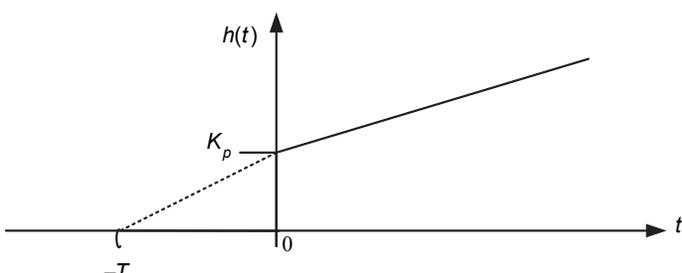
Elementos primitivos de transferencia

Elementos de retraso de primer orden

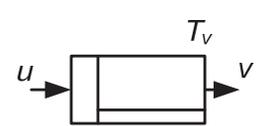
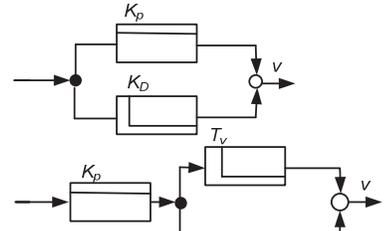
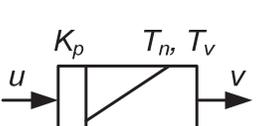
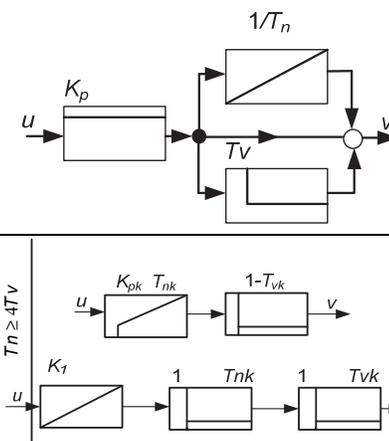
<p>Identificador</p> <p>-----</p> <p>Símbolo en el diagrama de control</p>	<p>Ecuación en el dominio del tiempo</p>	<p>Ejemplos de estructura</p>
<p>P</p> <p>-----</p> 	$v = K_p \cdot u$	 <p>Elemento proporcional</p>
<p>I</p> <p>-----</p> 	$v = K_i \int u \, dt$ $= K_i \int_0^t u \, dt + v(0)$ $\dot{v} = K_i u$	 <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>T_t</p> <p>-----</p> 	$v(t) = u(t - T_t)$	 <p>Elemento de tiempo muerto</p>
<p>P - T₁</p> <p>-----</p> 	$v + T_v \dot{v} = K_p \cdot u$	 <p>Elemento P - T</p>

Elementos de retraso de segundo orden
Elemento PI de combinación en paralelo

<p>Función de transferencia</p> $\frac{V(s)}{U(s)} =$	<p>Respuesta escalón unitario, ecuación $h(t) =$</p> <hr/> <p>Diagrama</p>
$\frac{K_p}{1 + 2\frac{\vartheta}{\omega_0} + \left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 \cdot s^2}$ <p>$0 < \vartheta < \infty$</p>	$k_p \left[1 - \frac{\omega_0}{\omega_d} e^{-\vartheta \omega_0 t} \cdot \cos(\omega_d t - \theta) \right]; \omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \vartheta^2}$ <p>$\theta = \arcsin \vartheta$ $0 \leq \theta \leq 90^\circ$</p> <hr/> <p>$k_p = (1 + e^{-\pi \tan \theta})$ $k_p = \left(1 + \frac{\omega_0}{\omega_d} e^{-\vartheta \omega_0 t} \right)$ $\vartheta < 1$ $\theta = \arcsin \vartheta$ $0 < \theta < 90^\circ$</p>
$\frac{K_p}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$ <p>$T_{1,2} = \frac{1}{\omega_0} (\vartheta \pm \sqrt{\vartheta^2 - 1})$ $\vartheta > 1$</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/> <p>$k_p = \left[1 - (K+1)K^{\frac{K}{1-K}} \right]$ $K = \frac{T_1}{T_2}$ $T_1 K^{\frac{1}{K-1}}$ $\vartheta > 1$ $T_1 \frac{\ln k}{k-1}$ $T_1 \frac{\ln k}{k-1} + T_1 + T_2$</p>

<p>Función de transferencia $\frac{V(s)}{U(s)} =$</p>	<p>Respuesta escalón unitario, ecuación $h(t) =$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> Diagrama</p>
<p>$\frac{K_I T}{s} + K_p$</p>	<p>$K_I t + K_p = K_p \left(1 + \frac{t}{T_n} \right)$</p> 

**Elementos PD, PID de combinación en paralelo
 Elementos I-TT y D-T1 de combinación serie.**

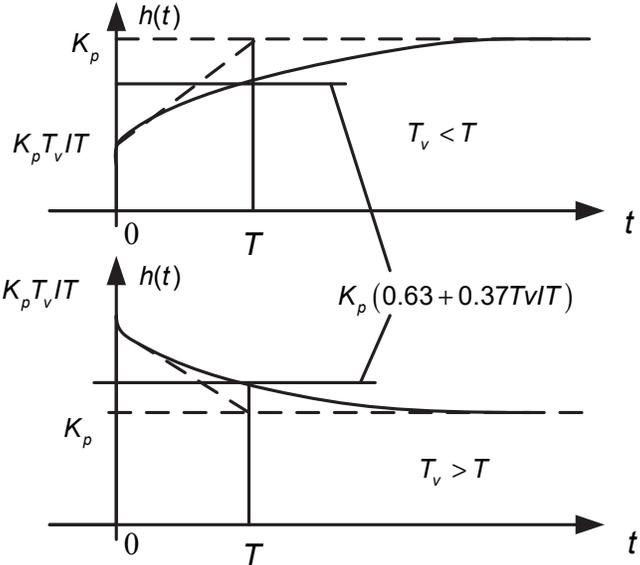
<p>Identificador símbolo en el diagrama de control</p>	<p>Ecuación del dominio del tiempo</p>	<p>Ejemplos de estructura</p>
<p>PD</p> 	<p>$v = K_p \cdot u + K_D \cdot \dot{u}$ $= K_p \left(u + T_v \cdot \dot{u} \right)$ $T_v = \frac{K_D}{K_p}$</p>	
<p>PID</p> 	<p>$v = k_i \int u dt + K_p \cdot u + K_D \cdot \dot{u}$ $= K_p \left[\frac{1}{T_n} \int u dt + u + T_v \cdot \dot{u} \right]$ $T_n = \frac{K_p}{K_I} ; T_v = \frac{K_D}{K_p}$</p>	

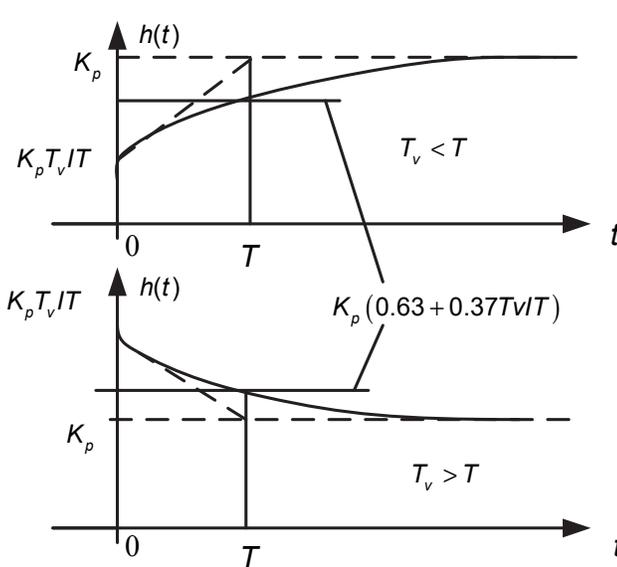
Identificador símbolo en el diagrama de control	Ecuación del dominio del tiempo	Ejemplos de estructura
	$v + T \dot{v} = K_I \int u dt$	
	$v + T \dot{v} = K_D \dot{u}$	

Elementos de combinación en serie

Elementos (PD)-T₁ y PID-tT₁ de combinación en grupo

Función de transferencia $\frac{V(s)}{U(s)} =$	Respuesta escalón unitario, ecuación $h(t) =$ Diagrama
$\frac{K_D \cdot s}{1 + 2 \frac{\vartheta}{\omega_0} s + \left(\frac{1}{\omega_0}\right)^2 s^2}$	<p style="text-align: center;">$K_D = \frac{\omega_0^2}{\omega_d} \cdot e^{-\theta \omega_0 t}; \quad \omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \vartheta^2}$</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/>

Función de transferencia $\frac{V(s)}{U(s)} =$	Respuesta escalón unitario, ecuación $h(t) =$ Diagrama
$\frac{K_p + K_{D \cdot s}}{1 + T \cdot s} = K_p \frac{1 + T_v \cdot s}{1 + T \cdot s}$ $= K_p + K_p \frac{(T_v - T) \cdot s}{1 + T \cdot s}$ $T_v - T = T_v^*$	$K_p + \left[\frac{k_D}{T} - k_p \right] e^{-\frac{t}{T}} = K_p \left[1 + \left(\frac{t_v}{T} - 1 \right) e^{-\frac{t}{T}} \right]$ <hr/> 

Función de transferencia $\frac{V(s)}{U(s)} =$	Respuesta escalón unitario, ecuación h(t) Diagrama
$\frac{\frac{K_1}{s} + K_p + K_D \cdot s}{1 + T \cdot s}$ $= K_p \frac{1}{\left(\frac{T_n \cdot s}{1 + T \cdot s}\right) + 1 + T_v \cdot s}$ $= K_p \left[\frac{1}{T_n \cdot s} + \frac{T_n^*}{T_n} + \frac{T_n T_v - T T_n^*}{T_n (1 + T \cdot s)} s \right]$ $T_n = \frac{K_p}{K_1}; \quad T_v = \frac{K_D}{K_p}$ $T_n^* = T_n - T$	$K_p - K_1 T + K_1 t + \left[K_1 T - K_p + K_D \frac{1}{T} \right] e^{-\frac{t}{T}}$ $= K_p \left[1 - \frac{T}{t_n} + \frac{t}{T_n} + \left(\frac{T}{T_n} - 1 + \frac{T_v}{T} \right) e^{-\frac{t}{T}} \right]$ <hr/> 

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	$0.9 \frac{T_y}{K_{py} \cdot T_{ty}}$	$3.3 T_{ty}$	
PID	$1.2 \frac{T_y}{K_{py} \cdot T_{ty}}$	$2 T_{ty}$	$0.5 T_{ty}$

Se desconocen los datos característicos del sistema controlado:

Controlador	K_{pr}	T_n	t_v
P	$0.5 K_{pRcrit^*}$		
PI	$0.45 K_{pRcrit^*}$	$0.83 T_{crit^*}$	
PID	$0.6 K_{pRcrit^*}$	$0.5 T_{crit^*}$	$0.125 T_{crit^*}$

Métodos de Hurwitz para determinar la estabilidad

Ecuación característica

$$a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_n s^n = 0$$

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

$$a_1 a_2 - a_3 a_0 > 0$$

Métodos de Routh-Hurwitz para determinar la estabilidad

Ecuación característica:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0$$

s^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	\dots	$\alpha_1 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-2}) - (a_n * a_{n-3})}{a_{n-1}}$	$\beta_1 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-3}) - (a_{n-1} * \alpha_2)}{\alpha_1}$	\dots			
s^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	\dots						
s^{n-2}	α_1	α_2	α_3	\dots				$\alpha_2 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-4}) - (a_n * a_{n-5})}{a_{n-1}}$	$\beta_2 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-5}) - (a_{n-1} * \alpha_3)}{\alpha_1}$	\dots
s^{n-3}	β_1	β_2	β_3	\dots						
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots						
s^2	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	$\alpha_3 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-6}) - (a_n * a_{n-7})}{a_{n-1}}$	$\beta_3 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-7}) - (a_{n-1} * \alpha_4)}{\alpha_1}$	\dots			
s^1	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots						
s^0	δ_1				\vdots	\vdots	\vdots			

Abreviaturas

Tipos de elementos de transferencia

D	Elemento derivado
$D-T_1$	Elemento derivado con retraso de 1 ^{er} orden
$D-T_2$	Elemento derivado con retraso de 2 ^o orden
I	Elemento integral
$I-T_1$	Elemento integral con retraso de 1 ^{er} orden
P	Elemento proporcional
PD	Elemento derivado proporcional
PI	Elemento integral proporcional
PID	Elemento derivado integral proporcional
$P-T_1$	Elemento de retraso de 1 ^{er} orden
$P-T_2$	Elemento de retraso de 2 ^o orden
$(PD)-T_1$	Elemento PD con retraso de 1 ^{er} orden
$(PID)-T_1$	Elemento PID con retraso de 1 ^{er} orden
T_1	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 $T_n > 4T_v$
$T_{nk\delta}$	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
$(T_{vk\delta})$	
$T_{nk\epsilon}, (T_{vk\epsilon})$	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
ϵ	Margen de ganancia
δ	Margen de fase
$\phi\delta$	Fase de la conexión en serie (sistema controlado, equipo de medición) en la frecuencia angular de cruce de ganancia ω_D , que cumple con el margen de fase δ
$\phi\epsilon$	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



$\phi(\omega)$	Fase de la respuesta de la conexión en serie del sistema controlado y el equipo de medición
ϑ	Frecuencia de amortiguamiento
ω	Frecuencia angular
ω_0	Frecuencia angular característica
ω_δ	Frecuencia angular propia
ω_D	Frecuencia angular de cruce de ganancia
ω_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
ω_π	Frecuencia angular de cruce de fase
$\omega_{\pi\varepsilon}$	Frecuencia angular de cruce de fase, cumpliendo con el margen de ganancia ε

Simbología de control

FUENTE: <http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/00525179001075223667.pdf>

Consultado del 30/04/21 recopilado con fines académicos.

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><td>E</td><td>A</td></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><td>E</td><td>A</td></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><td>E1</td><td>E2</td><td>E3</td></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><td>E1</td><td>E2</td><td>A</td></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><td>E1</td><td>E2</td><td>A</td></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><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>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><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>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:

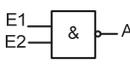
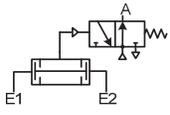
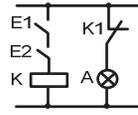
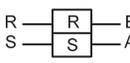
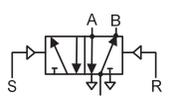
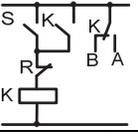
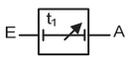
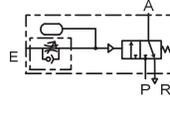
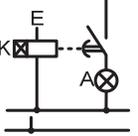
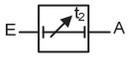
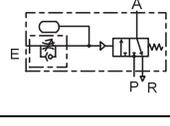
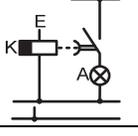
$$((a + b) \cdot c)' = (a \cdot b)' + c'$$

- h) Primer teorema de De Morgan: El complemento de un producto de variables es igual a la suma de los complementos de las variables:

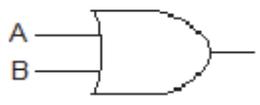
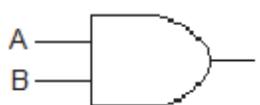
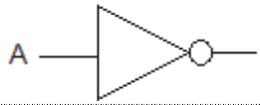
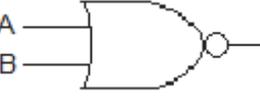
$$(a \cdot b)' = a' + b'$$

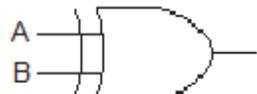
- i) Segundo teorema de De Morgan: El complemento de una suma de variables es igual al producto de los complementos de las variables:

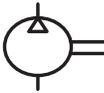
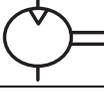
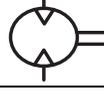
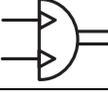
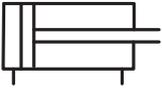
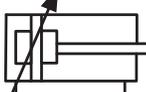
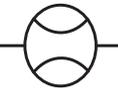
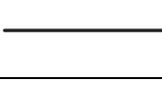
$$(a + b)' = a' \cdot b'$$

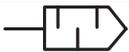
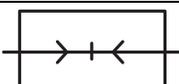
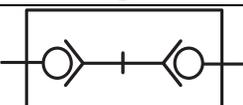
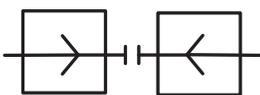
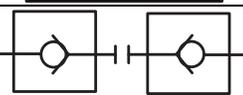
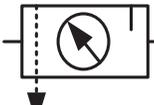
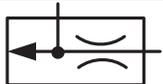
Designación	Tabla de función	Ecuación	Símbolo DIN 40900-12	Símbolo ISO 1219/1 neumática	Símbolo DIN en 60617-7 eléctrico																				
NAND	<table border="1"> <tr><td>E1</td><td>E2</td><td>A</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><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"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>f</td></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>	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"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>f</td></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>	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	$f = \overline{A}$	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>f</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	f	0	1	1	0										
A	f																	
0	1																	
1	0																	
NOR	$f = \overline{A + B}$	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>f</td></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>	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																

		1 1 0	
		A B f	
NAND	$f = \overline{A \cdot B}$	0 0 1	
		0 1 1	
		1 0 1	
		1 1 0	
		1 1 0	
		A B f	
XOR	$f = A \oplus B$	0 0 0	
		0 1 1	
		1 0 1	
		1 1 0	
		1 1 0	
		A B f	
XNOR	$f = \overline{A \oplus B}$	0 0 1	
		0 1 0	
		1 0 0	
		1 1 1	
		1 1 1	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Compresor		Bomba de desplazamiento constante	
Bomba de desplazamiento variable		Bomba de vacío	
Motor neumático		Motor neumático bidireccional	
Motor hidráulico mono-direccional 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	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
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	
Acoplamiento conectado con antirretorno		Acoplamiento no conectado	
Acoplamiento no conectado con antirretorno		Válvula de paso	
Filtro		Filtro con deposito manual	
Filtro con deposito 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	

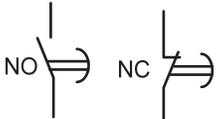
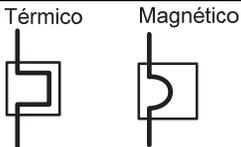
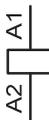
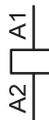
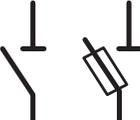
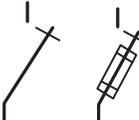
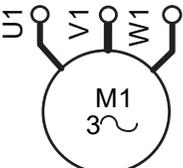
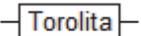
Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Accionamiento de pedal		Accionamiento de Leva	
Accionamiento de resorte		Accionamiento de rodillo	
Accionamiento de rodillo escamoteable		Accionamiento de posición inicial	
Accionamiento neumático		Accionamiento de presión diferencial	
Accionamiento neumático y 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	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
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	
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 mono-direccional			

Tabla comparativa de los símbolos eléctricos

FUENTE: <https://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>
Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

Naturaleza de los símbolos gráficos	Normas europeas	Normas EU
Contacto de cierre "NA" potencia-control		
Contacto de apertura "NC" potencia-control		
Contacto temporizado al accionamiento		

Naturaleza de los símbolos gráficos	Normas europeas	Normas EU
Contacto temporizado al desaccionamiento		
Cortocircuito fusible		
Relé de protección		
Bobinas		
Seccionadores		
Disyuntores		 <p data-bbox="1040 1016 1338 1045">Magnético Magnetotérmico</p>
Motores		
Varistor (resistencia de tirolita) 		

SÍMBOLOS IEC

Simbología / Símbolos de transductores, sensores y detectores

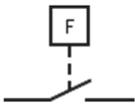
FUENTE: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Transductor Símbolo genérico		Transductor piezoeléctrico	
Resistencia / Resistor LDR Resistencia sensible a la luz		Micrófono Detector de sonidos	
Detector de líquidos		Detector de termoluminiscencia	
Fotodiodo Diodo sensible a la luz visible o infrarroja		Fototransistor Transistor sensible a la luz	
Sensor electrostático Sensor sensible al tacto		Sensor electrostático Sensor sensible al tacto	
Sensor electrostático Sensor sensible al tacto		Interruptor de mercurio Detecta la inclinación	
Reed / Relé de láminas Se cierra a la proximidad de un imán		Interruptor detector de fin de carrera o límite	

Símbolos de contactos por efectos o dependencias

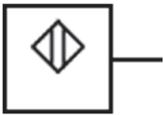
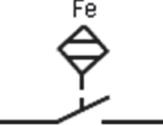
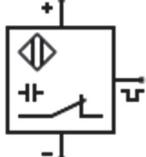
FUENTE: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Contacto de nivel Accionado por el nivel de un fluido		Contacto térmico Accionado por un relé térmico por el efecto de la temperatura	
Contacto de nivel Accionado por el nivel de un fluido		Contacto térmico Accionado por el efecto de la temperatura	
Contacto por flujo Accionado por el flujo de un fluido		Presostato Contacto accionado por presión	
Contacto por flujo Accionado por el flujo de un fluido		Presostato Contacto accionado por presión	
Contacto accionado por el flujo de un gas		Termostato Contacto térmico, accionado por el efecto de la temperatura	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Contacto por frecuencia		Contacto accionado por un contador de impulsos	

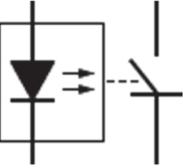
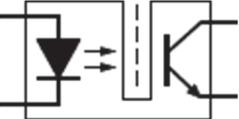
Símbolos de sensores por proximidad

FUENTE: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Contacto por proximidad Símbolo genérico		Sensor sensible por proximidad Representación unifilar 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	

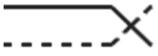
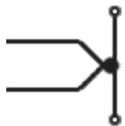
Símbolos de optoacopladores / optoaisladores, detectores fotoeléctricos y optoelectrónicos

FUENTE: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-sensores-electronicos.htm>. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

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	

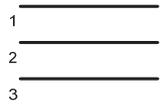
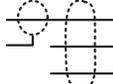
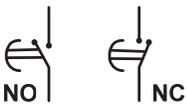
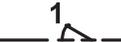
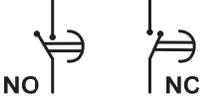
Símbolos de termopares / termocuplas, transductores y detectores de temperatura

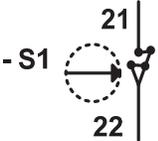
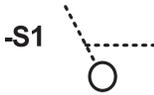
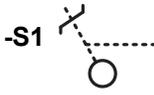
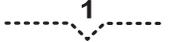
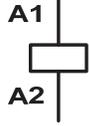
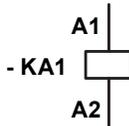
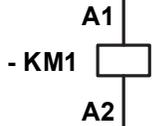
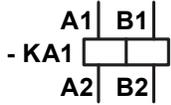
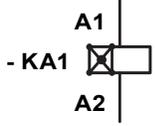
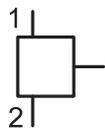
FUENTE: <https://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-termoacopladores.htm>. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Termopar / termocupla termoacoplador		Termopar / termocupla termoacoplador	
Termopar / termocupla		Termopar / termocupla	
Termopar polarizado El lado grueso es el polo negativo		Termopar polarizado	
Termopar / termocupla Con elemento calefactor no aislado		Termopar / termocupla Con elemento calefactor no aislado	
Termopar / termocupla Con elemento calefactor aislado		Termopar / termocupla Con elemento calefactor aislado	

Símbolos eléctricos

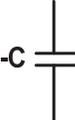
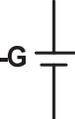
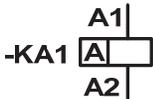
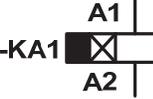
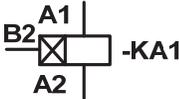
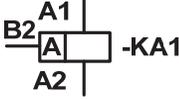
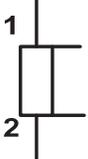
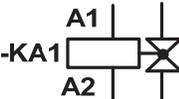
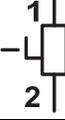
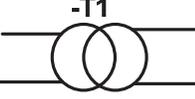
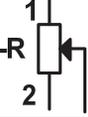
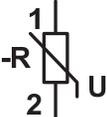
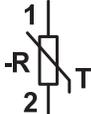
FUENTE: <https://www.areatecnologia.com/electronica/varistor.html>. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

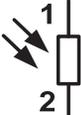
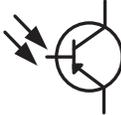
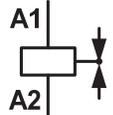
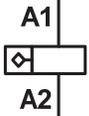
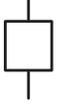
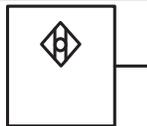
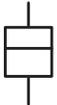
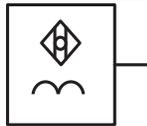
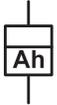
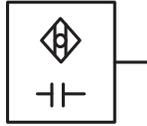
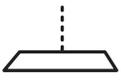
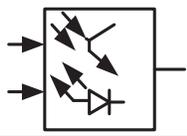
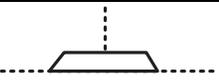
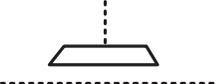
Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Corriente alterna		Conductor, circuito auxiliar	
Corriente continua		Conductor, circuito principal	
Corriente rectificadora		Haz de 3 conductores	
Corriente alterna trifásica de 60 Hz	3  60 Hz	Representación de un hilo	
Tierra		Conductor neutro (N)	
Masa		Conductor 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) 2 Enlace mecánico (forma 2)	1  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	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
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	
Enclavamiento mecánico		Mando mecánico manual de manivela	
Dispositivo de bloqueo		Enganche de pulsador de desenganche automático	
Mando electromagnético Símbolo general		Mando de roldana	
Mando electromagnético Contactor auxiliar		Mando de leva y roldana	
Mando electromagnético Contactor		Control mediante motor eléctrico	
Mando electromagnético de 2 devanados		Control por acumulación de energía mecánica	
Mando electromagnético de puesta en trabajo retardada		Relé de medida o dispositivo emparentado Símbolo general	

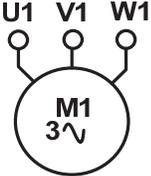
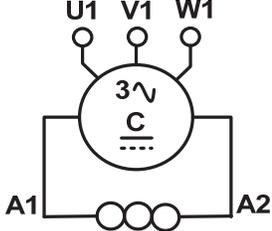
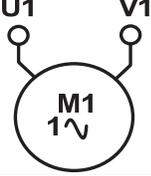
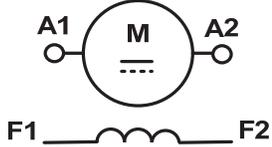
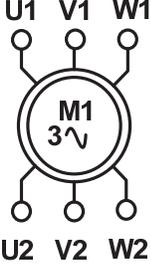
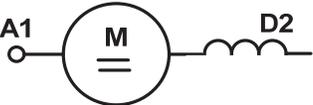
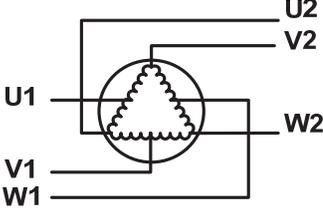
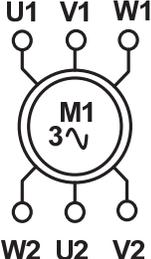
Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Mando electromagnético de puesta en reposo retardada		Relé de sobreintensidad de efecto magnético	
Mando electromagnético de un relé de remanencia		Relé de sobreintensidad de efecto térmico	
Mando electromagnético de enclavamiento mecánico		Relé de máxima corriente	
Mando electromagnético de un relé de polarizado		Relé de mínima tensión	
Contacto "NA" (de cierre) 1 – principal, 2 – auxiliar		Relé de falta de tensión	
Contacto "NC" (de apertura) 1 – principal, 2 – auxiliar		Dispositivo accionado por frecuencia	
Interruptor		Dispositivo accionado por un número de sucesos	
Seccionador		Contactos de dos direcciones no solapado (apertura antes de cierre)	
Contactador		Contactos de dos direcciones solapado	
Ruptor			

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
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	
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	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Otros tipos de mandos			
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 relé intermitente		Resistencia	
Mando electromagnético de accionamiento y desaccionamiento retardados		Dispositivo accionado por caudal	
Bobina de relé RH temporizado en reposo		Dispositivo accionado por la presión	
Bobina de relé RH de impulso en desactivación		Shunt	
Bobina de electroválvula		Inductancia	
Transformado de tensión		Potenciómetro	
Autotransformador		Resistencia dependiente de la tensión: varistancia	
Transformador de corriente		Resistencia dependiente de la temperatura: termistancia	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Chispómetro		Fotorresistencia	
Pararrayos		Fotodiodo	
Fototransistor (tipo PNP)		Válvula	
Aparato indicador Símbolo general		Electroválvula	
Amperímetro		Contador de impulsos	
Aparato grabador Símbolo general		Contador sensible al roce	
Amperímetro grabador		Contador sensible a la proximidad	
Contador Símbolo general		Detector de proximidad inductivo	
Contador de amperios-hora		Detector de proximidad capacitivo	
Freno Símbolo general		Detector fotoeléctrico	
Freno apretado		Convertidor Símbolo general	
Freno aflojado		Derivación	
Reloj		Derivación doble	

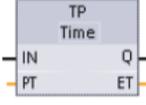
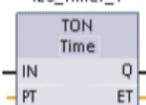
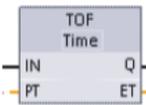
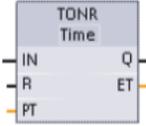
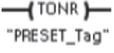
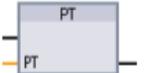
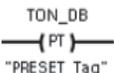
Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Lámpara de señalización o de alumbrado (1)		Cruce sin conexión	
Dispositivo luminoso intermitente (1)		Borna	
Avisador acústico		Puente de bornas, ejemplo con referencias de bornas	
Timbre		Toma 1 – mando, 2 – potencia	
Sirena		Conexión por contacto deslizante	
Zumbador		Clavija 1 – mando, 2 – potencia	
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	

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
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	
Motor asíncrono de acoplamiento de polos (motor de dos velocidades)		Motor asíncrono con seis bornes de salida (acoplamiento estrella-triángulo)	

Temporizadores

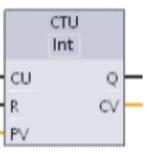
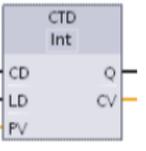
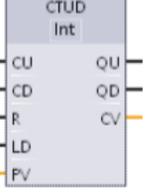
FUENTE https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf.

Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

Cuadros KOP / FUP	Bobinas KOP	SCL	Descripción
<p>IEC_Timer_0</p> 	<p>TP_DB</p> 	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TP(IN:=_bool_in_, PT:=_time_in_, Q=>_bool_out_, ET=>_time_out_);</pre>	<p>El temporizador TP genera un impulso con una duración predeterminada.</p>
<p>IEC_Timer_1</p> 	<p>TON_DB</p> 	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TON (IN:=_bool_in_, PT:=_time_in_, Q=>_bool_out_, ET=>_time_out_);</pre>	<p>El temporizador TON pone la salida Q a ON tras un tiempo de retardo predeterminado.</p>
<p>IEC_Timer_2</p> 	<p>TOF_DB</p> 	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TOF (IN:=_bool_in_, PT:=_time_in_, Q=>_bool_out_, ET=>_time_out_);</pre>	<p>El temporizador TOF pone la salida Q a OFF tras un tiempo de retardo predeterminado.</p>
<p>IEC_Timer_3</p> 	<p>TONR_DB</p> 	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TONR (IN:=_bool_in_, R:=_bool_in_, PT:=_time_in_, Q=>_bool_out_, ET=>_time_out_);</pre>	<p>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.</p>
<p>Solo FUP:</p> 	<p>TON_DB</p> 	<pre>PRESET_TIMER(PT:=_time_in_, TIMER:=_iec_timer_in_);</pre>	<p>La bobina PT (Cargar temporizador) carga un nuevo valor de tiempo PRESET (predeterminado) en el IEC_Timer especificado.</p>
<p>Solo FUP:</p> 	<p>TON_DB</p> 	<pre>RESET_TIMER(_iec_timer_in_);</pre>	<p>La bobina RT (Inicializar temporizador) inicializa el IEC_Timer especificado.</p>

Contadores

FUENTE https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

KOP / FUP	SCL	Descripción
<p>"Counter name"</p> 	<pre>"IEC_Counter_0_DB".CTU (CU:=_bool_in, R:=_bool_in, PV:=_in, Q=>_bool_out, CV=>_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 almacenada 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"> • CTU es un contador ascendente • CTD es un contador descendente • CTUD es un contador ascendente/descendente
<p>"Counter name"</p> 	<pre>"IEC_Counter_0_DB".CTD (CD:=_bool_in, LD:=_bool_in, PV:=_in, Q=>_bool_out, CV=>_out);</pre>	
<p>"Counter name"</p> 	<pre>"IEC_Counter_0_DB".CTUD D(CU:=_bool_in, CD:=_bool_in, R:=_bool_in, LD:=_bool_in, PV:=_in, QU=>_bool_out, QD=>_bool_out, CV=>_out);</pre>	

Comparadores

FUENTE https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf. Consultado el 30/04/2021, recopilado con fines académicos.

KOP	FUP	SCL	Descripción
		<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>

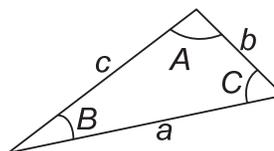
Pulsaciones por revolución (PPR) del *encoder*

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	$c^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \text{cos} C$ Los otros lados y ángulos están relacionados en forma similar

Identidades trigonométricas

Pitagóricas	$\text{sen}^2 \theta + \text{cos}^2 \theta = 1$	$1 + \text{tan}^2 \theta = \text{sec}^2 \theta$	$1 + \text{cot}^2 \theta = \text{csc}^2 \theta$
Inversas	$\text{sen} \theta = \frac{1}{\text{csc} \theta}$	$\text{cos} \theta = \frac{1}{\text{sec} \theta}$	$\text{tan} \theta = \frac{1}{\text{cot} \theta}$
Por cociente	$\text{tan} \theta = \frac{\text{sen} \theta}{\text{cos} \theta}$	$\text{cot} \theta = \frac{\text{cos} \theta}{\text{sen} \theta}$	
Ángulo doble	$\text{sen} 2\theta = 2 \text{sen} \theta \cdot \text{cos} \theta$	$\text{cos} 2\theta = \text{cos}^2 \theta - \text{sen}^2 \theta$ $= 2 \text{cos}^2 \theta - 1 = 1 - 2 \text{sen}^2 \theta$	
Seno cuadrado y coseno cuadrado	$\text{sen}^2 \theta = \frac{1 - \text{cos} 2\theta}{2}$	$\text{cos}^2 \theta = \frac{1 + \text{cos} 2\theta}{2}$	

Valores de las funciones de ángulos importantes

θ	$\text{sen} \theta$	$\text{cos} \theta$	$\text{tan} \theta$
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	∞

Áreas y volúmenes

- $A_e = 4 \pi r^2 \dots$ área de superficie de esfera
- $A_c = 2 \pi r L \dots$ área de superficie curva de cilindro
- $A_{bc} = \pi r^2 \dots$ área de la base de un cilindro
- $V_e = \frac{4}{3} \pi r^3 \dots$ volumen de esfera
- $V_c = L \pi r^2 \dots$ volumen de cilindro

L = longitud de un cilindro (m)
 r = radio de cilindro o esfera (m)

Fórmulas para potencias y raíces

$$p \cdot a^n \pm q \cdot a^n = (p \pm q) \cdot a^n$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$\frac{1}{a^n} = a^{-n}$$

$$p \cdot \sqrt[n]{a} \pm q \cdot \sqrt[n]{a} = (p \pm q) \cdot \sqrt[n]{a}$$

$$\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{b} = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m = a^{\frac{m}{n}}$$

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$(a^m)^n = a^{mn}$$

$$\left(\frac{a^n}{b^n}\right) = \left(\frac{a}{b}\right)^n$$

$$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}$$

$$(ab)^n = a^n b^n$$

$$\sqrt{-a} = i \cdot \sqrt{a}$$

Expresiones algebraicas usuales

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$

$$(a + b + c)^2 = a^2 + 2ab + 2ac + b^2 + 2bc + c^2$$

$$a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$ax^2 + bx + c = 0, \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$$

$$(a - b + c)^2 = a^2 - 2ab + 2ac + b^2 - 2bc + c^2$$

$$(a + b)^n = a^n + \frac{n}{1} a^{n-1} b + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} a^{n-2} b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} a^{n-3} b^3 + \dots + b^n$$

$$a^n + b^n = (a - b)(a^{n-1} - a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

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	6.214x10 ⁻⁴
1 pulgada	2.54x10 ⁻²	1	8.333x10 ⁻²	1.578x10 ⁻⁵
1 pie	0.3048	12	1	1.894x10 ⁻⁴
1 milla	1609	6.336x10 ⁴	5280	1

Masa

	kg	uma	lb
1 kilogramo	1	6.022x10 ²⁶	2.205
1 unidad de masa atómica	1.661x10 ⁻²⁷	1	3.662x10 ⁻²⁷
1 libra	0.4536	2.732x10 ²⁶	1

Fuerza

	dina	N	lbf	kgf
1 dina	1	10 ⁻⁵	2.248x10 ⁻⁶	1.020x10 ⁻⁶
1 newton	10 ⁵	1	0.2248	0.1020
1 libra fuerza	4.448x10 ⁵	4.448	1	0.4536
1 kilogramo fuerza	9.807x10 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
1 atmósfera	1	760	1.013x10 ⁵	1.013
1 mm Hg	1.316x10 ⁻³	1	133.3	1.333x10 ⁻³
1 pascal	9.869x10 ⁻⁶	7.501x10 ⁻³	1	10 ⁻⁵
1 bar	0.987	750.062	10 ⁵	1

$$1 \text{ MPa} = 10.1967 \text{ kg/cm}^2$$

Energía, trabajo, calor

	Btu	hp·h	J	cal	kWh	eV
1 Btu	1	3.929x10 ⁻⁴	1055	252	2.930x10 ⁻⁴	6.585x10 ²¹
1 hp·h	2545	1	2.385x10 ⁶	6.413x10 ⁵	0.7457	1.676x10 ²⁵
1 joule	9.481x10 ⁻⁴	3.725x10 ⁻⁷	1	0.2389	2.778x10 ⁻⁷	6.242x10 ¹⁸
1 caloría	3.969x10 ⁻³	1.560x10 ⁻⁶	4.186	1	1.163x10 ⁻⁶	2.613x10 ¹⁹
1 kWh	3413	1.341	3.600x10 ⁶	8.600x10 ⁵	1	2.247x10 ²⁵
1 electronvolt	1.519x10 ⁻²²	5.967x10 ⁻²⁶	1.602x10 ⁻¹⁹	3.827x10 ⁻²⁰	4.450x10 ⁻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

$$T_{ABS} \text{ (K)} = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

$$T_{ABS} \text{ (R)} = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$$

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	$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
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	$\rho_{Cu} = 1.71 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} = 0.017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Resistividad del aluminio, en 20 °C a 25 °C	$\rho_{Al} = 2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} = 0.0282 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

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%	100 ppm/°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.</p> <p>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	Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado.																																																																																					
NOM-004-ENER-2008	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.																																																																																					
NOM-005-ENER-2016	<p>Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.</p> <p>Objetivo 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>Campo de aplicación 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 $\pm 3\%$. 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	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. Objetivo Esta norma limita la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Campo de aplicación. Esta norma aplica a todos los edificios nuevos y las ampliaciones de edificios existentes. Quedan excluidos edificios cuyo uso primordial sea industrial o habitacional. 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. Especificaciones. Ganancia de calor. La ganancia de calor (Φ_p) 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 (Φ_r), es decir: $(\Phi_p) \leq (\Phi_r)$.
NOM-009-ENER-1995	Eficiencia energética en aislamientos térmicos.
NOM-010-ENER-2004	Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba. Objetivo: 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. Campo de aplicación: 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

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.
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	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 Objetivo. 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

Clave	Descripción
	<p>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>Campo de aplicación. 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_{CT} = Emisión ponderada expresada en kg/10⁶ kcal

E_{CT1} = Emisión de contaminante determinado en cada equipo de combustión expresada en kg/10⁶ kcal.

CT_i = 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/10⁶ kcal o partes por millón en volumen.

LE_i = 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/10⁶ kcal o partes por millón en volumen.

C_i = Consumo energético del equipo de combustión i expresado en kg/10⁶ 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_Q = Emisión ponderada en base a flujo en chimenea, expresada en unidades de concentración según se indica en las tablas 4 y 5.

E_i = 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 m³/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 ₂ kg/10 ⁶ 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

$$Ne = \frac{\sum Qi \cdot FECi \cdot FCi}{\sum Qi \cdot FCi}$$

- 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 SO₂/10⁶ kcal.
- Ne = Nivel de emisión.

Tabla 3

Combustible	Factor de emisión kg de SO ₂ /10 ⁶ 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

$$\text{Factor de emisión} = \frac{\%S \left[\frac{kg_s}{kg_{combustible}} \right]^2 \left[\frac{kgSO_2}{kgs} \right]}{\text{Poder calorífico} \left[\frac{10^6 kcal}{kg_{combustible}} \right]} = \left[\frac{kgSO_2}{10^6 kcal} \right]$$

% 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, O₂, CO₂, 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_N = Capacidad térmica del equipo de combustión, expresada en megajoules por hora, (MJ/h).

H_c = 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 ³ (kg/10 ⁶ kcal)			Bióxido de azufre ppm V (kg/10 ⁶ kcal)			Óxidos de nitrógeno ppm V (kg/10 ⁶ 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.

Ecuación 7

$$Hp_N = \frac{H_{C1} \cdot V_1 + H_{C2} \cdot V_2 + \dots + H_{Cn} \cdot V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

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 ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			Bióxido de azufre ppm V (kg/10 ⁶ kcal) (1) (2)			Óxidos de nitrógeno ppm V (kg/10 ⁶ kcal) (1)			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	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); mancha de hollín	líquido y gas
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	1 vez cada 3 meses	puntual (3 muestras); ver anexo 3	líquido y gas
	SO ₂	1 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 _x	una vez al año	continuo (4); quimioluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez al año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ , CO, O ₂	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 _x	1 vez cada 6 meses	continuo (4); quimioluminiscencia o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez al año	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	líquido
	CO ₂ , CO, O ₂	una vez al año	puntual (3 muestras); ver anexo 3 o equivalente	líquido y gas
Mayor de 110 000	Partículas suspendidas totales	1 vez cada 6 meses	isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas	sólido, líquido
	NO _x	permanente (3)	continuo (4); quimioluminiscencia o equivalente	sólido, líquido y gas
	O ₂	permanente	continúa; campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo o equivalente	líquido y gas
	SO ₂	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_x 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/10⁶ kcal.

El factor para corregir el O₂ 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 O₂
 E_m = Emisión medida (NO_x o CO)
 O_m = Valor medido para el O₂
 O_r = Nivel de referencia para el O₂

- (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 = (O₂ - 0.5CO)100/(0.264N₂ - O₂ + 0.5CO); donde: O₂, CO y N₂, 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/10⁶ kcal.

El factor para corregir el O₂ 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 O₂
 E_m = Emisión medida (NO_x o CO)
 O_m = Valor medido para él O₂
 O_r = Nivel de referencia para él O₂

- (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 = (O₂ - 0.5CO)100/(0.264N₂ - O₂ + 0.5CO); donde O₂, CO y N₂, 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 * opacidad	----
Partículas suspendidas totales	* isocinético	----
Óxidos de nitrógeno	* quimioluminiscencia * infrarrojo no dispersivo	* infrarrojo no dispersivo
Óxidos de carbono	* celdas electroquímicas* * orsat (O ₂ , CO ₂ y CO)	----
Oxígeno	* celdas electroquímicas * paramagnéticos	* orsat (O ₂ , CO ₂ y CO) * óxidos de zirconio (celdas electroquímicas)

Contaminante	Método de evaluación	Método equivalente
SO ₂	* medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor MJ/h	Capacidad del equipo de combustión *infrarrojo no dispersivo Hasta 5 250: *vía húmeda (torino) *celdas electroquímicas Mayores de 5 250: *vía húmeda *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	4.186×10^{-6}	MJ
kcal kilocaloría	1.162×10^{-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 ₂
SO ₂ bióxido de azufre	0.5	S

Clave	Descripción
PROY-NOM-163-SEM-ENER-SCF-2012	Emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) 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-2008	Sistema de gestión de la calidad - requisitos
NMX-EC-17025-IMNC-2006	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. Campo de aplicación 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. 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. Concordancia con normas internacionales Esta Norma Mexicana es idéntica a la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005.
ISO 14001:2004 (traducción certificada)	1. Objeto y campo de aplicación Esta Norma Internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental, destinados a permitir que una organización 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. Esta Norma Internacional se aplica a cualquier organización que desee:
	a) establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión ambiental; b) asegurarse de su conformidad con su política ambiental establecida; c) demostrar la conformidad con esta Norma Internacional por: 1. La realización de una autoevaluación y autodeclaración, o 2. La búsqueda de confirmación de dicha conformidad por las partes interesadas en la organización, tales como clientes; o 3. La búsqueda de confirmación de su autodeclaración por una parte externa a la organización; o 4. La búsqueda de la certificación/registro de su sistema de gestión ambiental por una parte externa a la organización. 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.
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 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

Clave	Descripción
	complementario, aunque igualmente importante, es proporcionar pautas para el diseño, construcción e información para el uso de sistemas y células
ISO 9000:2015	<p>Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario</p> <p>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 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>1 Objeto y campo de aplicación</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"> — las organizaciones que buscan el éxito sostenido por medio de la implementación de un sistema de gestión de la calidad; — los clientes que buscan la confianza en la capacidad de una organización para proporcionar regularmente productos y servicios conformes a sus requisitos; — las organizaciones que buscan la confianza en su cadena de suministro en que sus requisitos para los productos y servicios se cumplirán; — las organizaciones y las partes interesadas que buscan mejorar la comunicación mediante el entendimiento común del vocabulario utilizado en la gestión de la calidad; — las organizaciones que realizan evaluaciones de la conformidad frente a los requisitos de la Norma ISO 9001; — los proveedores de formación, evaluación o asesoramiento en gestión de la calidad; — quienes desarrollan normas relacionadas.
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"> — 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; — Hacer: implementar lo planificado; — 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; — Actuar: tomar acciones para mejorar el desempeño, cuando sea necesario. <p>1 Objeto y campo de aplicación</p> <p>Esta Norma Internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad cuando una organización:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables, y 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. <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> <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>1 Objeto y campo de aplicación</p>

Clave	Descripción
	<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.</p> <p>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>
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.</p> <p>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>1 Objeto y campo de aplicación</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"> a) conceptos, términos y definiciones relacionados con la responsabilidad social; b) antecedentes, tendencias y características de la responsabilidad social; c) principios y prácticas relacionadas con la responsabilidad social; d) materias fundamentales y asuntos de responsabilidad social; 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; f) identificación e involucramiento con las partes interesadas, y g) comunicación de compromisos, desempeño y otra información relacionados con la responsabilidad social.
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>

Clave	Descripción
	Sistema de unidades que establece magnitudes de: 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 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. Objetivo y campo de aplicación 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 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>Objetivo 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/cm²), 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/cm²), 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/cm²) 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.
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	<p>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.</p> <p>Objetivo: 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.</p> <p>Campo de aplicación: 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.</p>

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 las 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.
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 dodecibencensulfónico.
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)
	Objeto

Clave	Descripción
	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. Campo de aplicación 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. Referencias NMX-AA-40 Clasificación de ruidos. NMX-AA-43 Determinación del nivel sonoro emitido por fuentes fijas. NMX-AA-59 Sonómetros de precisión. NMX-AA-62 Determinación de los niveles de ruido ambiental
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/SA1-2008.
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.
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 ₃). Valor normado para la concentración de ozono (O ₃) en el aire a 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 ₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO ₂) 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.

Clave	Descripción
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) 1 Objetivo 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. 1.1 Campo de aplicación 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). Objetivo 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. Campo de aplicación 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. 7. Programa específico de seguridad para la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo 7.1 Operación de la maquinaria y equipo. El programa debe contener procedimientos para que: a) los protectores y dispositivos de seguridad se instalen en el lugar requerido y se utilicen durante la operación; b) se mantenga limpia y ordenada el área de trabajo; c) la maquinaria y equipo estén ajustados para prevenir un riesgo; d) las conexiones de la maquinaria y equipo y sus contactos eléctricos estén protegidos y no sean un factor de riesgo; e) el cambio y uso de la herramienta y el herramental se realice en forma segura; f) el desarrollo de las actividades de operación se efectúe en forma segura; g) el sistema de alimentación y retiro de la materia prima, subproducto y producto terminado no sean un factor de riesgo. 7.2 Mantenimiento de la maquinaria y equipo El programa debe contener: 7.2.1 La capacitación que se debe otorgar a los trabajadores que realicen las actividades de mantenimiento. 7.2.2 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.
NOM-006-STPS-2000	Manejo y almacenamiento de materiales- condiciones y procedimientos de seguridad (NOM-006-STPS-1993 antigua). 1. Objetivo 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. 2. Campo de aplicación 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. Para polipastos y malacates, eslingas, grúas, montacargas, electroimanes, cargadores frontales, transportadores 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.
NOM-011-STPS-2001	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Objetivo 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

Clave	Descripción
	<p>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>Campo de aplicación 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. Límites máximos permisibles de exposición a ruido 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>Objetivo 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>Campo de aplicación 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	<p>a) casco contra impacto b) casco dieléctrico c) capuchas</p>	<p>a) Golpeado por algo, que sea una posibilidad de riesgo continuo inherente a su actividad. b) Riesgo a una descarga eléctrica (considerar alto o bajo voltaje, los cascos son diferentes). c) Exposición a temperaturas bajas o exposición a partículas. Protección con una capucha que puede ir abajo del casco de protección personal.</p>
2. Ojos y cara	<p>a) anteojos de protección b) googles c) pantalla facial d) careta para soldador e) gafas para soldador</p>	<p>a) Riesgo de proyección de partículas o líquidos. En caso de estar expuesto a radiaciones, se utilizan anteojos de protección contra la radiación. b) Riesgo de exposición a vapores o humos que pudieran irritar los ojos o partículas mayores o a alta velocidad. c) Se utiliza también cuando se expone a la proyección de partículas en procesos tales como esmerilado o procesos similares; para proteger</p>

Clave y región anatómica	Clave y epp	Tipo de riesgo en función de la actividad del trabajador
		<p>ojos y cara.</p> <p>d) Específico para procesos de soldadura eléctrica.</p> <p>e) Específico para procesos con soldadura autógena.</p>
3. Oídos	<p>a) tapones auditivos</p> <p>b) conchas acústicas</p>	<p>a) Protección contra riesgo de ruido; de acuerdo al máximo especificado en el producto o por el fabricante.</p> <p>b) Mismo caso del inciso A.</p>
4. Aparato respiratorio	<p>a) respirador contra partículas</p> <p>b) respirador contra gases y vapores</p> <p>c) mascarilla desechable</p> <p>d) equipo de respiración autónomo</p>	<p>En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de protección del equipo, hecha por el fabricante del producto.</p> <p>a) Protección contra polvos o partículas en el medio ambiente laboral y que representan un riesgo a la salud del trabajador.</p> <p>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.</p> <p>c) Mascarilla sencilla de protección contra polvos.</p> <p>d) Se utiliza cuando el trabajador entra a espacios confinados o cuando un respirador no proporciona la protección requerida.</p>
5. Extremidades superiores	<p>a) guantes contra sustancias químicas</p> <p>b) guantes dieléctricos</p> <p>c) guantes contra temperaturas extremas</p> <p>d) guantes</p> <p>e) mangas</p>	<p>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.</p> <p>a) Riesgo por exposición o contacto con sustancias químicas corrosivas.</p> <p>b) Protección contra descargas eléctricas. Considerar que son diferentes guantes dependiendo de protección contra alta o baja tensión.</p> <p>c) Riesgo por exposición a temperaturas bajas o altas.</p> <p>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.</p> <p>e) Se utilizan cuando es necesario extender la protección de los guantes hasta los brazos.</p>
6. Tronco	<p>a) mandil contra altas temperaturas</p> <p>b) mandil contra sustancias químicas</p> <p>c) overol</p> <p>d) bata</p> <p>e) ropa contra sustancias peligrosas</p>	<p>a) Riesgo por exposición a altas temperaturas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con algo que esté a alta temperatura.</p> <p>b) Riesgo por exposición a sustancias químicas corrosivas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con este tipo de sustancias.</p> <p>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.</p> <p>d) Protección generalmente usada en laboratorios u hospitales.</p> <p>e) Es un equipo de protección personal que protege cuerpo, cabeza, brazos, piernas pies, cubre y protege completamente el cuerpo humano ante la exposición a sustancias altamente tóxicas o corrosivas.</p>
7. Extremidades inferiores	<p>a) calzado ocupacional</p> <p>b) calzado contra impactos</p> <p>c) calzado conductivo</p> <p>d) calzado dieléctrico</p> <p>e) calzado contra sustancias químicas</p> <p>f) polainas</p> <p>g) botas impermeables</p>	<p>a) Proteger a la persona contra golpes, machacamientos, resbalones, etc.</p> <p>b) Protección mayor que la del inciso anterior contra golpes, que pueden representar un riesgo permanente en función de la actividad desarrollada.</p> <p>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.</p> <p>d) Protección contra descargas eléctricas.</p> <p>e) Protección de los pies cuando hay posibilidad de tener contacto con algunas sustancias químicas. Considerar especificación del fabricante.</p> <p>f) Extensión de la protección que pudiera tenerse con los zapatos exclusivamente.</p> <p>g) Generalmente utilizadas cuando se trabaja en áreas húmedas.</p>
8. Otros	a) equipo de protección	a) Específico para proteger a trabajadores que desarrollen sus

Clave y región anatómica	Clave y epp	Tipo de riesgo en función de la actividad del trabajador
	contra caídas de altura b) equipo para brigadista contra incendio	actividades en alturas y entrada a espacios confinados. 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; b) Campanas o cámaras hiperbáricas; c) Recipientes utilizados como extintores; d) Contenedores que trabajen a presión atmosférica; 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; f) Tuberías, cabezales de distribución que no se utilicen como acumuladores de fluidos y sus componentes (juntas de expansión y conexiones); g) Recipientes portátiles que contengan gases comprimidos; h) Accesorios presurizados y utilizados como componentes o mecanismos que sirven para mezclado, separación, aspersion, distribución, medición, filtrado o control de fluidos que no rebasen 0.15 m de diámetro nominal, instalados en los recipientes sujetos a presión; i) Recipientes instalados en equipos móviles asociados con sus sistemas de frenado; j) Recipientes que contengan gas licuado de petróleo, regulados por disposiciones legales cuya vigilancia compete a la Secretaría de Energía, y k) Carros-tanque que transportan gases comprimidos, cuya regulación se encuentra a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.</p>
NOM-022-STPS-2015	<p>Electricidad estática en los centros de trabajo-Condición de seguridad.</p> <p>1. Objetivo Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.</p> <p>2. Campo de aplicación 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. 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.</p>
NOM-025-STPS-2008	<p>Condiciones de iluminación en los centros de trabajo (actual).</p> <p>Objetivo 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.</p>

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

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (LUX)
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 información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios	500
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>Objetivo 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>Campo de aplicación 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: a) La señalización para la transportación terrestre, marítima, fluvial o aérea, que sea competencia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; b) La identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías subterráneas u ocultas, ductos eléctricos y tuberías en centrales nucleares, y 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. Objetivo: Establecer condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para prevenir riesgos de trabajo. Campo de aplicación: 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"> · Los recipientes sujetos a presión con un diámetro interior menor a 152 mm. · Que contengan agua con temperatura inferior a 70 °C, y un volumen menor a 450 L. · Los que trabajen a presión atmosférica en el centro de trabajo donde estén instalados. · Los interenfriadores de compresores y carcazas de bombas. · 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. · Los que trabajan con agua o aire a una presión menor de 5 kg/cm². · Los recipientes sujetos a presión para líquidos criogénicos con diámetro interior menor a 1000 mm y con una capacidad menor a los 1000 L. <p>Generadores de vapor o calderas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Con una temperatura del agua menor a 70 °C. · Con una superficie de calefacción menor a 15 m². · Con una presión de operación menor a 350 kPa (3.569 kg/cm²). · Calentadores de procesos sujetos a fuego. <p>Otros equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> · 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. · 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.
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</p>

Clave	Descripción
	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.
NOM-007-SECRE-2010	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 contruidos 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.
NOM-008-SECRE-2002	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 de los 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 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-001-1999	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: 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, estacionamientos, talleres mecánicos y edificios para fines de recreación. 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. c) Plantas generadoras de emergencia o de reserva propiedad de los usuarios.

Clave	Descripción
	<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 reciprocantes a utilizarse por Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios. Esta Norma de Referencia establece los requerimientos técnicos y documentales para compresores reciprocantes 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>7. Método de prueba</p> <p>7.1 Métodos de prueba para termómetros de líquido en vidrio</p> <p>7.1.1 Prueba de estabilidad del bulbo</p> <p>Este procedimiento se aplica para termómetros de líquido en vidrio cuya temperatura máxima de operación sea mayor o igual de 300°C.</p> <p>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.</p> <p>Procedimiento</p> <p>Determinar la temperatura de prueba por medio de la siguiente ecuación:</p> $t_{MAX} - 50^{\circ}C \leq t_p \leq t_{MAX} - 20^{\circ}C$ <p>Donde t_{MAX} es la temperatura máxima de operación del termómetro en °C</p> <p>t_p es la temperatura de prueba del termómetro en °C</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Regresar el termómetro al baño/horno precalentado, y esperar que alcance la temperatura de prueba y mantenerlo por un periodo de 24 h.</p> <p>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.</p>

Clave	Descripción
	<p>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.</p> <p>7.2 Prueba de permanencia del pigmento</p> <p>La prueba de la permanencia del pigmento está diseñada para determinar la resistencia del material pigmento cuando es expuesto a condiciones extremas.</p> <p>Procedimiento</p> <p>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.</p> <p>Calentar por un periodo de 3 h a aproximadamente 260 °C. Dejarlo enfriar lentamente.</p> <p>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.</p>
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

Dra. Dalia Holanda Chávez García
Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Dr. Sergio Cano Andrade
Universidad de Guanajuato

Dr. Abdiel Gómez Mercado
Instituto Tecnológico de Pachuca

Dra. Gabriela Margarita Martínez Cázares
Universidad de Monterrey

Mtro. Mauricio Lendizabal Néstor
**Tecnológico de Estudios Superiores
de Tianguistenco**

Dr. José Emiliano Martínez Ordaz
Universidad Iberoamericana

Dr. Donato Reyes Ramírez
**Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey**

Dr. Víctor López Garza
**Universidad Michoacana
de San Nicolás de Hidalgo**

Dr. Miguel Ángel Martínez Romero
Universidad Autónoma de Baja California

M. S .C. Germán Fernández García
Universidad Tecnológica de México

M.C./M.A. Gylmar Mariel Cárdenas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. Ervin Jesús Álvarez Sánchez
Universidad Veracruzana

M. en I. Balaam Valle Aguilar
**Universidad Autónoma del Estado de
México**

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

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 IMECA 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

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.

