



Formulario  
Examen General para el Egreso  
de la Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica  
**EGEL Plus IMECATRO**

Formulario  
Examen General para el Egreso  
de la Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica  
**EGEL Plus IMECATRO**

## **DIRECTORIO**

**Carmen Enedina Rodríguez Armenta**

Directora General

**Alejandra Zúñiga Bohigas**

Directora de los Exámenes  
Generales para el Egreso de la Licenciatura

**David Ramírez González**

Subdirector de Evaluación de Egreso en  
Diseño, Ingenierías y Arquitectura

**Luis Abraham Maya Olivares**

Responsable del EGEL Plus® Sección  
Disciplinar en Ingeniería Mecatrónica

## *Formulario*

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

Tercera edición

## Contenido

<b>Diseño de sistemas mecatrónicos</b> .....	<b>6</b>
CINEMÁTICA .....	6
MOVIMIENTO EN UNA DIMENSIÓN .....	6
DINÁMICA .....	7
ESFUERZO NORMAL, FACTOR DE SEGURIDAD Y DEFORMACIONES .....	8
RAZÓN DE <i>POISSON</i> .....	8
LEY DE HOOKE GENERALIZADA .....	8
ESFUERZO CORTANTE (CIZALLA) Y DEFORMACIÓN TRANSVERSAL .....	9
ESFUERZO CORTANTE Y DEFORMACIÓN ANGULAR EN EJES DE SECCIÓN CIRCULAR SOMETIDOS A TORSIÓN .....	9
POTENCIA.....	10
RELACIÓN ENTRE POTENCIA (HP) Y PAR A LA SALIDA DEL MOTOR (Nm).....	10
ESFUERZO NORMAL Y CORTANTE AXIAL EN VIGAS .....	10
ESFUERZOS PRINCIPALES ANTE UNA COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.....	10
RELACIÓN DE VELOCIDADES .....	10
TRANSISTOR MOSFET .....	13
FLIP-FLOPS.....	16
TABLA DE TRANSFORMADAS DE LAPLACE.....	18
TABLA DE PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA DE LAPLACE .....	19
TIPOS DE RESPUESTA.....	19
CONTROL CLÁSICO .....	24
CONTROL MODERNO.....	27
TRANSFORMADA Z .....	27
TABLA DE TRANSFORMADAS DE LAPLACE Y Z.....	27
TABLA DE PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA Z.....	28
<b>Implementación de sistemas mecatrónicos</b> .....	<b>31</b>
FILTROS ACTIVOS.....	31
FILTROS PASIVOS.....	35
CONFIGURACIONES BÁSICAS DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES .....	36
<b>Integración de tecnologías para sistemas mecatrónicos</b> .....	<b>38</b>
REDES (DIAGRAMA PERT) .....	38
TOMA DE DECISIONES (ÁRBOLES DE DECISIÓN) .....	38
PUNTO DE EQUILIBRIO.....	38
INGENIERÍA ECONÓMICA.....	39
<i>Interés simple</i> .....	39
<i>Interés compuesto</i> .....	39
<i>Valor futuro pago único</i> .....	39
<i>Valor presente pago único</i> .....	39
<i>Cantidad compuesta serie uniforme</i> .....	39
<i>Fondo de amortización</i> .....	39
<i>Recuperación del capital de una serie uniforme</i> .....	39
<i>Valor presente de una serie uniforme</i> .....	40
<i>Series de gradiente</i> .....	40
<i>Tasa efectiva de interés anual</i> .....	40
<i>Capitalización continua</i> .....	40
<i>Definición de "e"</i> .....	40
<i>Pagos continuos</i> .....	40
<i>Tasa mixta</i> .....	41

<i>Inversión inicial</i> .....	41
<i>Tasa mínima aceptable de rendimiento</i> .....	41
<i>Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta</i> .....	41
<i>Valor presente neto (con TMAR)</i> .....	41
<i>Valor presente neto (con anualidad e interés)</i> .....	42
<i>Tasa interna de retorno</i> .....	42
<i>Periodo de recuperación de la inversión</i> .....	42
<i>Punto de equilibrio en ventas</i> .....	42
<i>Costo beneficio</i> .....	43
<i>Costo anual uniforme equivalente (CAUE)</i> .....	43
<i>Serie uniforme equivalente</i> .....	43
<i>Recuperación de capital</i> .....	43
<i>Retiro y reemplazo</i> .....	43
<i>Relación costo-beneficio</i> .....	43
<i>Depreciación</i> .....	43
ROTACIÓN DE INVENTARIOS .....	44
<i>Rotación de los activos totales</i> .....	44
ANÁLISIS DE LA DEUDA .....	44
<i>Razón de deuda</i> .....	44
<i>Razón de la capacidad de pago de intereses</i> .....	44
ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD .....	44
<i>Margen de utilidad bruta</i> .....	44
<i>Margen de utilidad operativa</i> .....	44
<i>Rendimiento sobre los activos</i> .....	44
<i>Rendimiento sobre el capital contable</i> .....	44
ANÁLISIS DE LA LIQUIDEZ .....	44
<i>Capital de trabajo neto</i> .....	44
<i>Razón circulante</i> .....	45
<i>Razón rápida (prueba del ácido)</i> .....	45
<b>Anexos</b> .....	<b>46</b>
GEOMETRÍA .....	46
SISTEMAS DE COORDENADAS .....	47
TRIGONOMETRÍA.....	48
TABLAS DE DERIVADAS .....	48
DERIVADAS DE LAS FUNCIONES EXPONENCIALES Y LOGARÍTMICAS.....	49
DERIVADAS DE LAS FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS Y DE LAS TRIGONOMÉTRICAS INVERSAS.....	49
REGLAS DE INTEGRACIÓN .....	49
CONSTANTES UNIVERSALES .....	50
TABLA DE CONVERSIONES .....	51
<b>Consejo Técnico</b> .....	<b>53</b>

## Diseño de sistemas mecatrónicos

### Cinemática

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\hat{u}_t + \frac{v^2}{\rho}\hat{u}_n$$

$$\vec{v} = v\hat{u}_t$$

$$\vec{v} = r\dot{\theta}\hat{u}_r + r\ddot{\theta}\hat{u}_\theta$$

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{u}_r + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{u}_\theta$$

$$a_t = \alpha \vec{k} \times r = r\alpha$$

$$a_n = r\omega^2$$

### Movimiento en una dimensión

$$x = vt$$

$$x = x_0 + vt$$

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v + v_0)$$

$$v = v_0 + at$$

$$x = x_0 + \frac{1}{2}(v_0 + v)t$$

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

## Dinámica

$$\vec{F} = m\vec{a} = \left(\frac{W}{g}\right)\vec{a}$$

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$\sum F = m \frac{dV}{dt}$$

$$X_{\frac{B}{A}} = X_B - X_A$$

$$V_{\frac{B}{A}} = V_B - V_A$$

$$a_{\frac{B}{A}} = a_B - a_A$$

## Trabajo, energía y conservación de la energía

$$U = \vec{F} \cdot \vec{r}$$

$$dU = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$$P = \frac{U}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{r}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

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

$$U = \Delta K = K_f - K_i$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$W = -\Delta V = V_f - V_i$$

$$V(y) = mgy$$

$$V_e = \frac{1}{2}kx^2$$

donde:

$P$ : potencia

$\eta$  : eficiencia

$K$ : energía cinética

$V$ : energía potencial

Impulso e ímpetu

$$\bar{I} = \int \bar{F} dt$$

$$\bar{I} = \Delta \bar{p}$$

$$\bar{p} = m\bar{v}$$

$$\Delta \bar{p} = \bar{p}_f - \bar{p}_i = \int \bar{F} dt$$

donde:

$p$  : ímpetu

$\Delta p$  : impulso

Esfuerzo normal, factor de seguridad y deformaciones

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

$$FS = \frac{\sigma_{yp}}{\sigma_w}$$

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

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\delta = \frac{FL}{AE}$$

Razón de Poisson

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{lat}}{\varepsilon_{long}}$$

Ley de Hooke generalizada

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy}, \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz}, \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx}$$

donde:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Esfuerzo cortante (cizalla) y deformación transversal

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

$$\tau = G\gamma$$

Esfuerzo cortante y deformación angular en ejes de sección circular sometidos a torsión

$$\tau = \frac{Tc}{J}$$

$$\varphi = \frac{TL}{JG}$$

**Momento polar y de inercia de secciones comunes**

Sección	Momento de inercia I	Momento polar de inercia J
Circular sólida	$I = \frac{\pi d^4}{64}$	$J = \frac{\pi d^4}{32}$
Circular hueca	$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$
Rectangular sólida	$I = \frac{bh^3}{12}$	$J = \frac{bh(b^2 + h^2)}{12}$
Rectangular hueca	$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{bh^3}{12}$	$J = \frac{BH(B^2 + H^2)}{12} - \frac{bh(b^2 + h^2)}{12}$

## Potencia

$$P = T\omega$$

$$\omega = 2\pi f$$

Relación entre potencia (HP) y par a la salida del motor (Nm)

$$P_{hp} = \frac{T\omega}{7025.9}$$

$P_{hp}$  = potencia (hp)

$T$  = par torsor (N m)

$\omega$  = velocidad angular (rpm)

Esfuerzo normal y cortante axial en vigas

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

Esfuerzos principales ante una combinación de esfuerzos

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

Esfuerzo cortante máximo

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

Relación de velocidades

$$m_v = \frac{N_e}{N_s} = \frac{D_e}{D_s} = \frac{w_s}{w_e}$$

donde:

$m_v$  = relación de velocidades

$N_e$  = número de dientes en el elemento motriz de entrada

$N_s$  = número de dientes en el elemento motriz de salida

$D_e$  = diámetro de paso de entrada

$D_s$  = diámetro de paso de salida

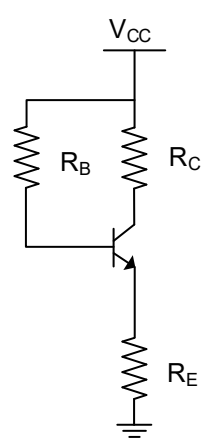
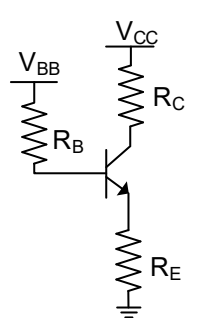
$\omega_e$  = velocidad angular de entrada

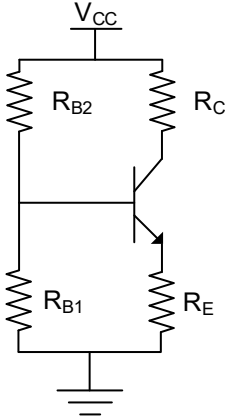
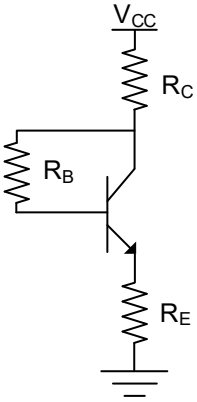
$\omega_s$  = velocidad angular de salida

Variación de la resistencia con la temperatura

$$R_2 = R[1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

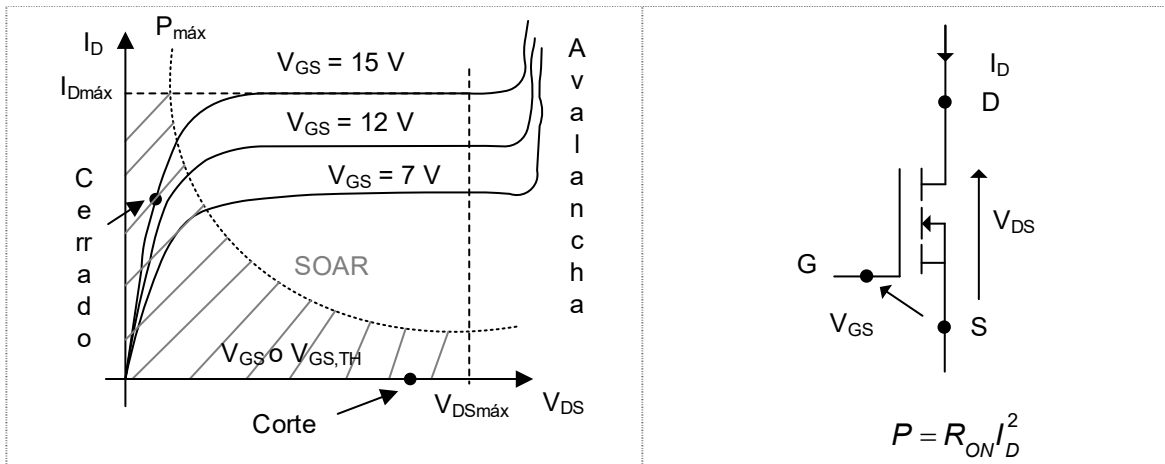
**Circuitos de polarización de transistores bipolares**

<p><b>Polarización de corriente de base</b></p> 	$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + h_{FE})R_E}$ $I_C = h_{FE}I_B$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C \left( R_C + \frac{1 + h_{FE}}{h_{FE}} R_E \right)$ <p>Si <math>I_B \ll I_C</math>, <math>h_{FE} \gg 1</math></p> $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + h_{FE}R_E}$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$
<p><b>Polarización de tensión de base constante</b></p> 	$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (1 + h_{FE})R_E}$ $I_C = h_{FE}I_B$ $V_{CE} = V_{CC} - I_C \left( R_C + \frac{1 + h_{FE}}{h_{FE}} R_E \right)$

<p style="text-align: center;"><b>Autopolarización</b></p> 	<p>Idénticas fórmulas al caso anterior, siendo</p> $R_B = R_{B1}    R_{B2} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$ $V_B = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$ $I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$ $V_E = V_B - V_{BE}$
<p style="text-align: center;"><b>Polarización de colector base</b></p> 	$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + h_{FE})(R_C + R_E)}$ $I_C = h_{FE} I_B$ $V_{CE} = I_B R_B V_{BE}$ <p>El transistor nunca entra en saturación</p>

## Transistor MOSFET

### Curva característica



Para un MOSFET de canal inducido tipo n en su región lineal:

$$I_{D(Act)} = K \left[ (V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

donde:  $K = \frac{b \mu_n \epsilon}{L W}$  en la que b es el ancho del canal,  $\mu_n$  la movilidad de los electrones,  $\epsilon$  es la permitividad eléctrica de la capa de óxido, L la longitud del canal y W el espesor de capa de óxido.

Cuando el transistor opera en la región de saturación, la fórmula pasa a ser la siguiente:

$$I_{D(sat)} = \frac{K+1}{K_0} (V_{GS} - V_T)^2$$

### Parámetros de corriente directa

Características de transferencia de un JFET

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(corte)}} \right)^2$$

Transconductancia

$$g_m = g_{mo} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(corte)}} \right)^2$$

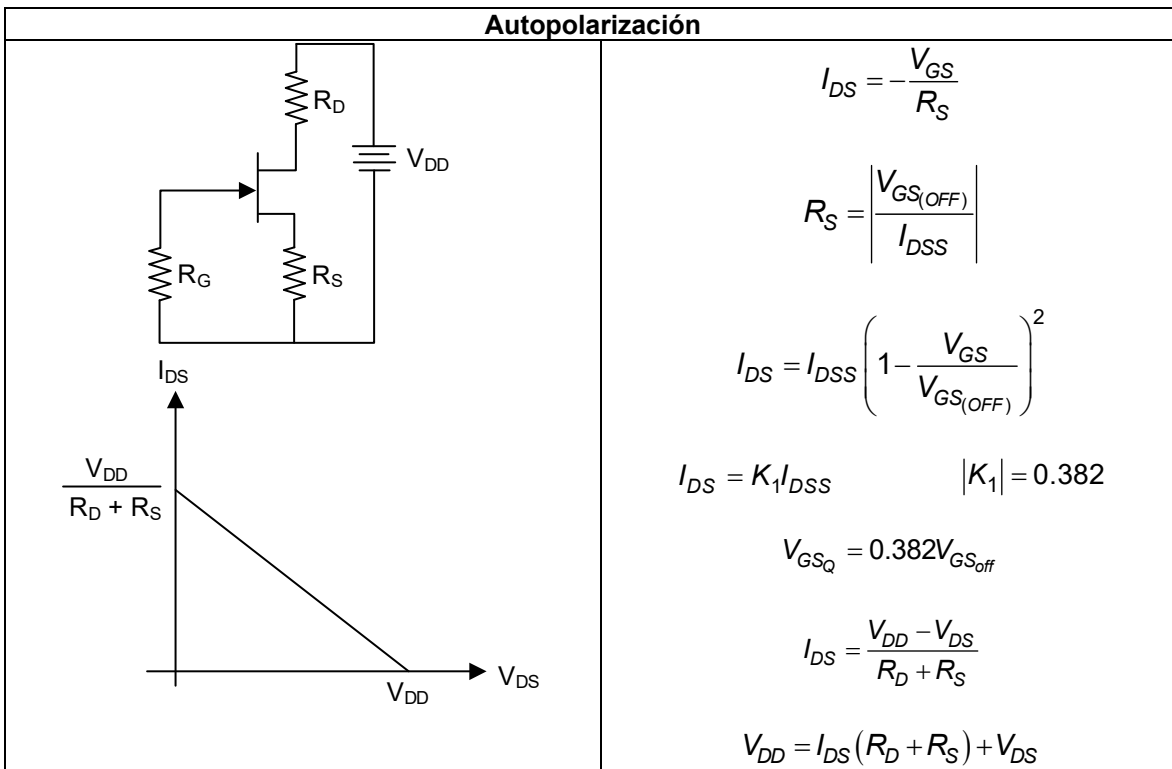
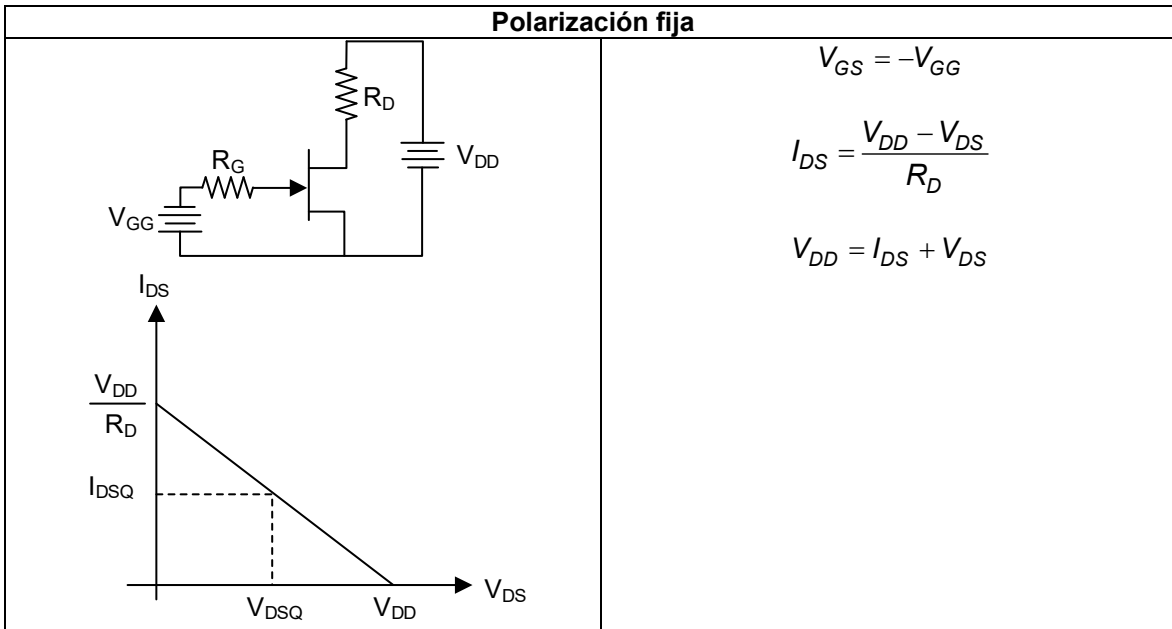
Transconductancia con  $V_{GS} = 0$

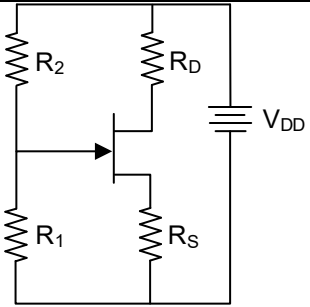
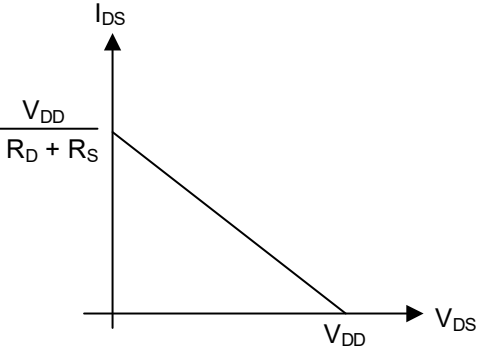
$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(corte)}|}$$

Característica de transferencia de E – MOSFET

$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(umbral)})^2$$

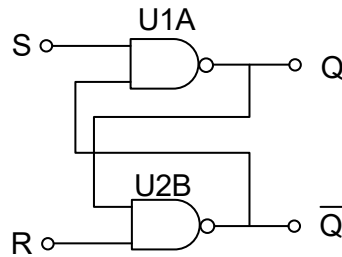
**Polarización**



Polarización por divisor de voltaje	
	$I_{DS} = \frac{V_{GG} - V_{GS}}{R_S}$
	$R_G = R_1 \parallel R_2$
	$V_{GG} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$
	$I_{DS} = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_S + R_D}$
	

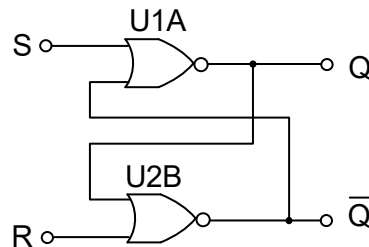
## Flip-flops

Flip-flop SR básico con compuerta NAND



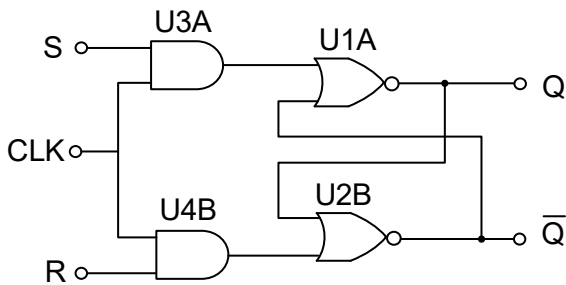
S	R	Q(t+1)	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	inválido	inválido
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	Q(t)	$\bar{Q}(t)$

Flip-flop SR básico con compuerta NOR



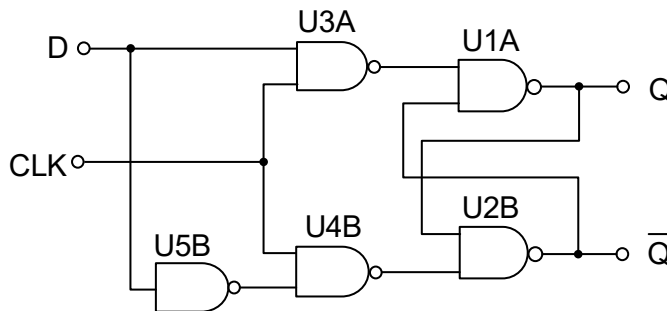
S	R	Q(t+1)	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	Q(t)	$\bar{Q}(t)$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	inválido	inválido

Flip-flop SR Temporizado



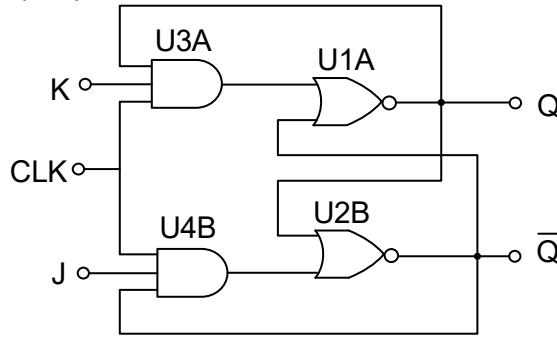
Q	S	R	Q(t+1)	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	indeterminado	indeterminado
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	indeterminado	indeterminado

Flip-flop D



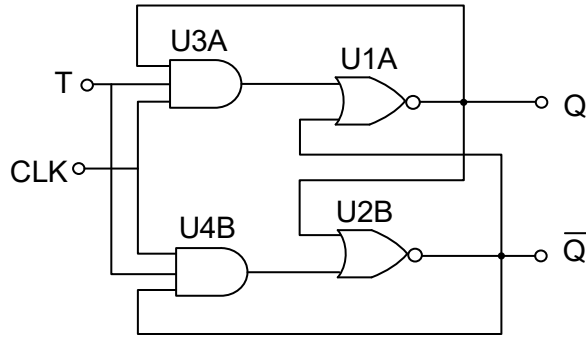
Q	D	Q(t+1)	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	1	0

Flip-flop JK



Q	J	K	Q(t+1)	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	1

Flip-flop T



Q	T	Q(t+1)	$\bar{Q}(t+1)$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Tabla de transformadas de Laplace

$f(t)$	$F(s)$
Impulso unitario $\delta(t)$	1
Escalón unitario $1(t)$	$\frac{1}{s}$
$t$	$\frac{1}{s^2}$
$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}$	$\frac{1}{s^n}$
$t^n$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$
$te^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^2}$
$\frac{1}{(n-1)!}t^{n-1}e^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^n}$
$t^n e^{-at}$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$
$\text{sen } \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\text{cos } \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$	$\frac{1}{s(s+a)}$
$e^{-at} \text{sen } \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \text{cos } \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$\frac{\omega_n}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \text{sen } \omega_n \sqrt{1-\xi^2} t$	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$
$-\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \text{sen } (\omega_n \sqrt{1-\xi^2} t - \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$	$\frac{s}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$
$1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \text{sen } (\omega_n \sqrt{1-\xi^2} t + \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$	$\frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)}$

Tabla de propiedades de la transformada de Laplace

Linealidad	$\mathcal{L}\{af(t) \pm bg(t)\} = a\mathcal{L}\{f(t)\} \pm b\mathcal{L}\{g(t)\}$
Diferenciación real (caso general)	$\mathcal{L}\left\{\frac{d}{dt}f(t)\right\} = sF(s) - f(0)$
	$\mathcal{L}\left\{\frac{d^2}{dt^2}f(t)\right\} = s^2F(s) - sf(0) - f'(0)$
	$\mathcal{L}\left\{\frac{d^n}{dt^n}f(t)\right\} = s^nF(s) - \sum_{k=1}^n s^{n-k}f^{(k-1)}(0)$ Donde $f^{(k-1)}(t) = \frac{d^{k-1}}{dt^{k-1}}f(t)$
Diferenciación con condiciones iniciales nulas	$\mathcal{L}\left\{\frac{d^n}{dt^n}f(t)\right\} = s^nF(s)$
Integración real (caso general)	$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(t)dt\right\} = \frac{1}{s}F(s) + \frac{1}{s}\left[\int f(0)dt\right]$
	$\mathcal{L}\left\{\int \dots \int f(t)(dt)^n\right\} = \frac{1}{s^n}F(s) + \sum_{k=1}^n \frac{1}{s^{n-k+1}}\left[\int \dots \int f(0)(dt)^k\right]$
Integración con condiciones iniciales nulas	$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(t)dt\right\} = \frac{1}{s}F(s)$
Traslación real	$\mathcal{L}\{e^{-at}f(t)\} = F(s + a)$
Traslación compleja	$\mathcal{L}\{f(t - a)1(t - a)\} = e^{-as}F(s); a \geq 0$

Tipos de respuesta

Sistemas de primer orden:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{\tau s + 1}$$

La respuesta es:

$$y(t) = K\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

Ubicación de polos:

$$s = -\frac{1}{\tau}$$

Ganancia estática:

$$k = \frac{\text{amplitud de salida}}{\text{amplitud de entrada}} = \frac{y(t_f) - y(t_0)}{u(t_f) - u(t_0)}$$

Tiempo de asentamiento (criterio al 2 %):

$$t_s = 4\tau$$

Respuesta transitoria para diferentes señales típicas de entrada:

Nombre	$u(t)$	$y(t)$
Impulso	$A\delta(t)$	$\frac{KA}{\tau} \left( e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$
Escalón	$A$	$KA \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$
Rampa	$At$	$KA\tau \left( \frac{t}{\tau} - 1 + e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$
Parábola	$\frac{1}{2}At^2$	$KA\tau^2 \left( \frac{t^2}{\tau^2} - \frac{t}{\tau} + 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

Sistemas de segundo orden

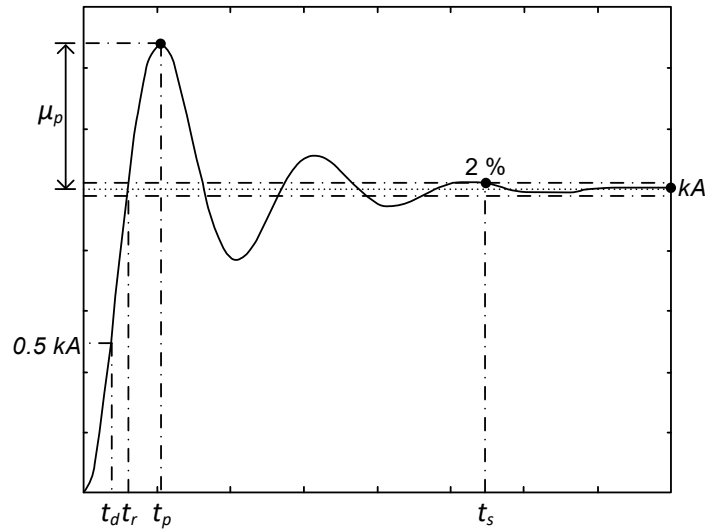
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

Ubicación de polos:

Para:	$s_{1,2}$
$\xi > 1$	$-\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}$
$\xi = 1$	$-\xi\omega_n$
$0 < \xi < 1$	$-\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{1 - \xi^2}$
$\xi = 0$	$\pm j\omega_n$

Características de la respuesta subamortiguada a una entrada escalón:

$$y(t) = kA \left[ 1 - \frac{\omega_n}{\omega_d} e^{-\sigma t} \sin \left( \omega_d t + \tan^{-1} \frac{\omega_d}{\sigma} \right) \right]$$



Atenuación:  $\sigma = \xi \omega_n$

Frecuencia natural amortiguada:  $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$

donde:

$\xi$  : coeficiente de amortiguamiento

$\omega_n$ : Frecuencia natural no amortiguada

$$\text{Sobreimpulso: } \% \mu_p = 100 e^{-\frac{\pi \sigma}{\omega_d}} = 100 e^{-\frac{\pi \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}} \quad \% S = e^{-\left(\frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}\right) \pi} \times 100$$

$$\text{Tiempo pico: } t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$$

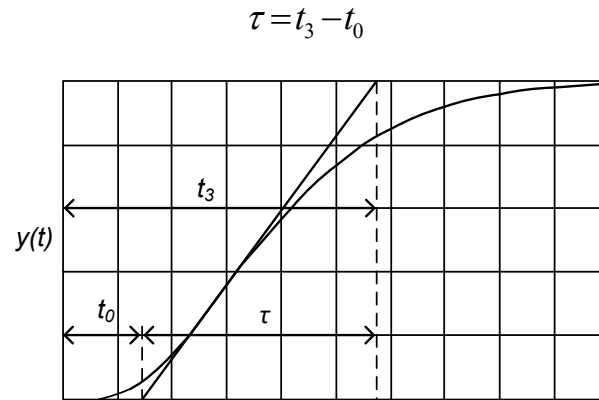
$$\text{Tiempo de asentamiento: } t_s = \frac{4}{\sigma}$$

$$\text{Tiempo de levantamiento: } t_p = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}; \quad \beta = \arctan\left(\frac{\omega_d}{\sigma}\right)$$

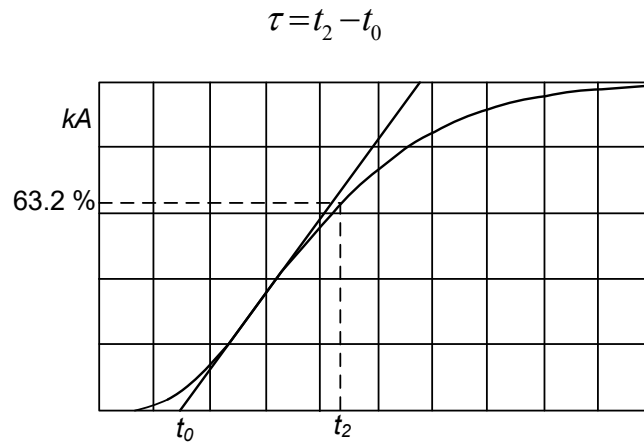
Aproximación de sistemas de orden superior mediante un sistema de primer orden con tiempo muerto

$$G(s) = \frac{k e^{-t_0 s}}{\tau s + 1}$$

Método de Ziegler Nichols



Método de Miller

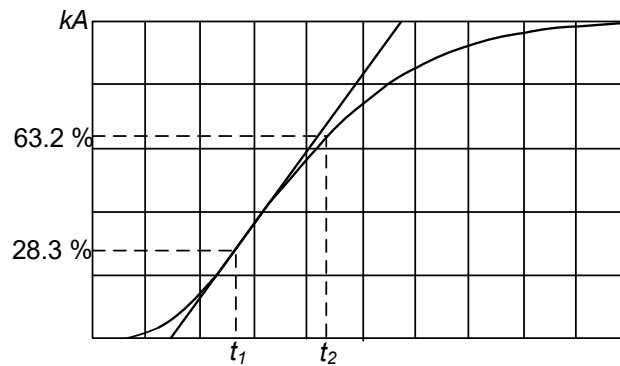


Método de Smith

$$t_2 = t_0 + \tau$$

$$\tau = 1.5(t_2 - t_1)$$

$$t_0 = t_2 - \tau$$



Aproximación de Padé para la función de retardo:

Aproximación de primer orden:	Aproximación de segundo orden:
$e^{-t_0 s} \cong \frac{1 - \frac{t_0}{2} s}{1 + \frac{t_0}{2} s}$	$e^{-t_0 s} \cong \frac{1 - \frac{t_0}{2} s + \frac{t_0^2}{4} s^2}{1 + \frac{t_0}{2} s + \frac{t_0^2}{4} s^2}$

Error en estado estacionario:

$e_{ss}$	Entrada escalón $r(t) = A$	Entrada rampa $r(t) = At$	Entrada parábola $r(t) = \frac{A}{2} t^2$
Sistema tipo 0	$\frac{A}{1+k_p}$	$\infty$	$\infty$
Sistema tipo 1	0	$\frac{A}{k_v}$	$\infty$
Sistema tipo 2	0	0	$\frac{A}{k_a}$

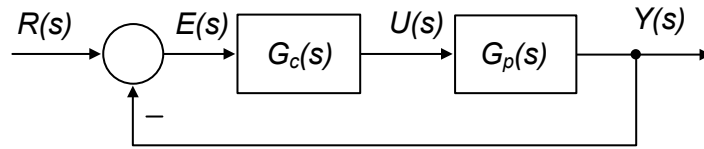
donde:

$$k_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)$$

$$k_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)$$

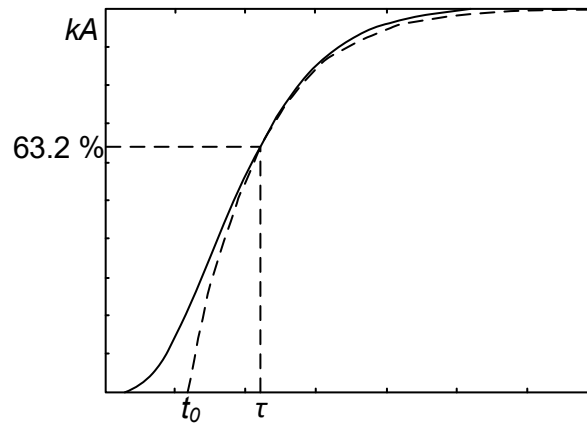
$$k_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s)$$

Control clásico



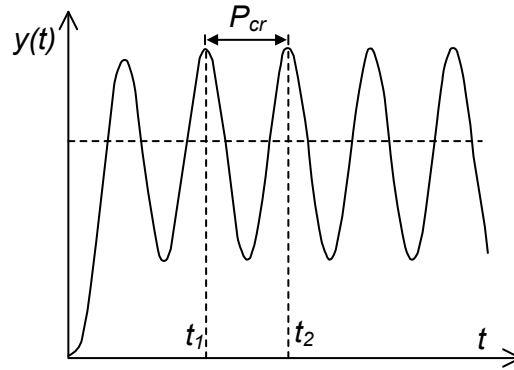
Planta $G_p(s)$	Control $G_c(s)$		Sintonización
$K$	I	$\frac{K_i}{s}$	$K_i = \frac{1}{\tau_c K}$
$\frac{K}{s}$	P	$K_c$	$K_c = \frac{1}{\tau_c K}$
$\frac{k}{\tau s + 1}$	PI	$\frac{K_c s + K_i}{s}$	$K_c = \frac{(2\xi\omega_n\tau - 1)}{k}$ $K_i = \frac{\tau\omega_n^2}{k}$
$\frac{K}{s(s+a)}$	PD	$K_d s + K_c$	$K_d = \frac{2\xi\omega_n - a}{K}$ $K_c = \frac{\omega_n^2}{K}$
$\frac{K}{(s+a_1)(s+a_2)}$	PID	$\frac{K_d s^2 + K_c s + K_i}{s}$	$K_c = \frac{2\xi\omega_n\alpha + \omega_n^2 - a_1 a_2}{K}$ $K_i = \frac{\alpha\omega_n^2}{K}$ $K_d = \frac{\alpha + 2\xi\omega_n - a_1 - a_2}{K}$

Sintonización por Ziegler – Nichols de lazo abierto



Algoritmo	$K_c$	$\tau_i$	$\tau_d$
PI	$\frac{0.9\tau}{Kt_0}$	$3.33t_0$	---
PID	$\frac{1.2\tau}{Kt_0}$	$2t_0$	$\frac{t_0}{2}$

Sintonización por Ziegler – Nichols de lazo cerrado



$$P_u = \frac{2\pi}{\omega_u}$$

Algoritmo	$K_c$	$\tau_i$	$\tau_d$
PI	$\frac{K_u}{2.2}$	$\frac{P_u}{1.2}$	---
PID	$\frac{K_u}{1.7}$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{8}$

Análisis en frecuencia:

$$G(j\omega) = M e^{j\phi}$$

$$M = |G(j\omega)| = \frac{B}{A}$$

$$e^{j\phi} = \angle G(j\omega) = \arctan \left[ \frac{\text{Im}\{G(j\omega)\}}{\text{Re}\{G(j\omega)\}} \right]$$

$$u(t) = A \sin \omega t$$

Magnitud en decibeles:

$$M_{dB} = 20 \log M = 20 \log |G(j\omega)|$$

Estabilidad relativa:

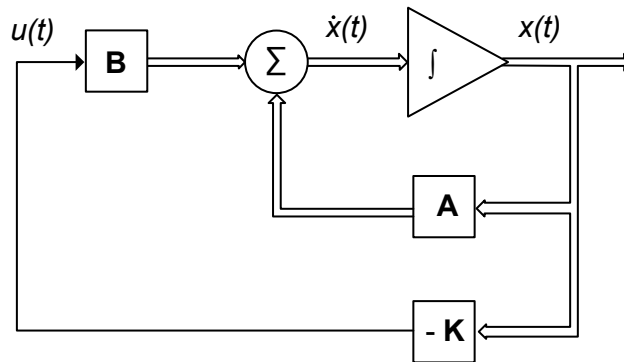
$$M_f = 180 + \phi = 180 + \angle G(j\omega_1)$$

$$M_g = \left| \frac{1}{G(j\omega_\pi)} \right|$$

$$M_g [dB] = 20 \log_{10} \left| \frac{1}{G(j\omega_\pi)} \right| = -20 \log_{10} |G(j\omega_\pi)|$$

### Control moderno

Regulador por retroalimentación de estados:  $u = -\mathbf{K}x$



Matriz de controlabilidad

$$M_c = [B \mid AB \mid A^2B \mid \dots \mid A^{n-1}B]$$

Fórmula de Ackerman:

$$K = [0 \ \dots \ 0 \ 1][M_c]^{-1} \rho_d(A)$$

### Transformada Z

$$X(z) = Z \{x(t)\} = Z \{x(kT)\} = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT) z^{-k}$$

Tabla de transformadas de Laplace y Z

$F(s)$	$f(t)$	$f(kT)$ o $f(k)$	$F(z)$
$\frac{e^{-as}}{s}$	$\mu(t-a), a \geq 0$	$1(k)$	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
$\frac{1}{s+a}$	$e^{-at}$	$e^{-akT}$	$\frac{1}{1-e^{-aT}z^{-1}}$
$\frac{1}{s^2}$	$t$	$kT$	$\frac{Tz^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$
$\frac{2}{s^3}$	$t^2$	$(kT)^2$	$\frac{T^2 z^{-1} (1+z^{-1})}{(1-z^{-1})^3}$
$\frac{a}{s(s+a)}$	$1-e^{-at}$	$1-e^{-akT}$	$\frac{(1-e^{-aT})z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-e^{-aT}z^{-1})}$

$F(s)$	$f(t)$	$f(kT)$ o $f(k)$	$F(z)$
$\frac{b-a}{(s+a)(s+b)}$	$e^{-at} - e^{-bt}$	$e^{-akT} - e^{-bkT}$	$\frac{(e^{-aT} - e^{-bT})z^{-1}}{(1-e^{-aT}z^{-1})(1-e^{-bT}z^{-1})}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$te^{-at}$	$kTe^{-akT}$	$\frac{Tze^{-aT}z^{-1}}{(1-e^{-aT}z^{-1})^2}$
$\frac{s}{(s+a)^2}$	$(1-at)e^{-at}$	$(1-akT)e^{-akT}$	$\frac{1-(1+aT)e^{-aT}z^{-1}}{(1-e^{-aT}z^{-1})^2}$
$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\sin \omega t$	$\sin \omega kT$	$\frac{(\sin \omega T)z^{-1}}{1-(2 \cos \omega T)z^{-1} + z^{-2}}$
$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\cos \omega t$	$\cos \omega kT$	$\frac{1-(\cos \omega T)z^{-1}}{1-(2 \cos \omega T)z^{-1} + z^{-2}}$
$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \sin \omega t$	$e^{-akT} \sin \omega kT$	$\frac{e^{-aT}(\sin \omega T)z^{-1}}{1-(2e^{-aT} \cos \omega T)z^{-1} + e^{-2aT}z^{-2}}$
$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \cos \omega t$	$e^{-akT} \cos \omega kT$	$\frac{1-e^{-aT}(\cos \omega T)z^{-1}}{1-(2e^{-aT} \cos \omega T)z^{-1} + e^{-2aT}z^{-2}}$

Tabla de propiedades de la transformada Z

Linealidad	$X(z) = Z \{ \alpha f_k + \beta g_k \} = \alpha Z \{ f_k \} + \beta Z \{ g_k \} = \alpha F(z) + \beta G(z)$
Multiplicación por $a^k$	$Z \{ a^k x_k \} = \sum_{k=0}^{\infty} a^k x_k z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} x_k (a^{-1}z)^{-k} = X(a^{-1}z)$
Teorema de corrimiento (Traslación real)	$Z \{ f(t-nT) \} = z^{-n} F(z)$
	$Z \{ f(t+nT) \} = z^n \left[ F(z) - \sum_{k=0}^{n-1} f(kT)z^{-k} \right]$
Traslación compleja	$Z \{ e^{-at} f(t) \} = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT)e^{-akT}z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT)(ze^{aT})^{-k} = F(ze^{aT})$
Teorema del valor inicial	$y(0) = \lim_{z \rightarrow \infty} F(z)$
Teorema del valor final	$\lim_{k \rightarrow \infty} y_k = \lim_{z \rightarrow 1} \left[ (1-z^{-1})F(z) \right]$

**Equivalencia de elementos de sistemas dinámicos**

Tipo de sistema	Mecánico traslacional	Mecánico rotacional	Eléctrico	Flujo	Térmico
Variable tipo A	Velocidad, $v$	Velocidad, $\Omega$	Voltaje, $e$	Presión, $P$	Temperatura, $T$
Elemento tipo A	Masa, $m$	Momento de inercia, $J$	Capacitor, $C$	Flujo del capacitor, $C_f$	Capacitor térmico, $C_h$
Ecuaciones elementales	$F = m \frac{dv}{dt}$	$T = J \frac{d\Omega}{dt}$	$i = C \frac{de}{dt}$	$Q_f = C_f \frac{dP}{dt}$	$Q_h = C_h \frac{dT}{dt}$
Energía almacenada	Cinética	Cinética	Campo eléctrico	Potencial	Térmica
Ecuaciones de energía	$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$	$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}J\Omega^2$	$\mathcal{E}_e = \frac{1}{2}Ce^2$	$\mathcal{E}_p = \frac{1}{2}C_fP^2$	$\mathcal{E}_t = \frac{1}{2}C_hT^2$
Variable tipo T	Fuerza, $F$	Torque, $T$	Corriente, $i$	Tasa de flujo, $Q_f$	Flujo de calor, $Q_h$
Elemento tipo T	Esfuerzo, $1/k$	Esfuerzo, $1/k$	Inductor, $L$	Tensor de inercia, $I$	Ninguno
Ecuaciones elementales	$v = \frac{1}{k} \frac{dF}{dt}$	$\Omega = \frac{1}{K} \frac{dT}{dt}$	$e = L \frac{di}{dt}$	$P = I \frac{dQ_f}{dt}$	Ninguno
Energía almacenada	Potencial	Potencial	Campo magnético	Cinética	Ninguna
Ecuaciones de energía	$\mathcal{E}_p = \frac{1}{2k}F^2$	$\mathcal{E}_p = \frac{1}{2k}T^2$	$\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}Li^2$	$\mathcal{E}_k = \frac{1}{2}IQ_f^2$	Ninguna
Elemento tipo D	Amortiguador, $b$	Amortiguador rotacional, $B$	Resistor, $R$	Resistencia al flujo, $R_f$	Resistor térmico, $R_h$
Ecuaciones elementales	$F = bv$	$T = B\Omega$	$i = \frac{1}{R}e$	$Q_f = \frac{1}{R_f}P$	$Q_h = \frac{1}{R_h}T$
Energía disipada	$\frac{dE_D}{dt} = Fv$ $= \frac{1}{b}F^2$ $= bv^2$	$\frac{dE_D}{dt} = T\Omega$ $= \frac{1}{B}T^2$ $= B\Omega^2$	$\frac{dE_D}{dt} = ie$ $= Ri^2$ $= \frac{1}{R}e^2$	$\frac{dE_D}{dt} = Q_fP$ $= R_fQ_f^2$ $= \frac{1}{R_f}P^2$	$\frac{dE_D}{dt} = Q_h$

### Criterio de estabilidad de Routh–Hurwitz

Ecuación característica:

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

$s^n$	$a_n$	$a_{n-2}$	$a_{n-4}$	$\dots$				
$s^{n-1}$	$a_{n-1}$	$a_{n-3}$	$a_{n-5}$	$\dots$	$\alpha_1 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-2}) - (a_n * a_{n-3})}{a_{n-1}}$	$\beta_1 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-3}) - (a_{n-1} * \alpha_2)}{\alpha_1}$	$\dots$	
$s^{n-2}$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$\dots$	$\alpha_2 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-4}) - (a_n * a_{n-5})}{a_{n-1}}$	$\beta_2 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-5}) - (a_{n-1} * \alpha_3)}{\alpha_1}$	$\dots$	
$s^{n-3}$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\dots$	$\alpha_3 = \frac{(a_{n-1} * a_{n-6}) - (a_n * a_{n-7})}{a_{n-1}}$	$\beta_3 = \frac{(\alpha_1 * a_{n-7}) - (a_{n-1} * \alpha_4)}{\alpha_1}$	$\dots$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$s^2$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$s^1$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$s^0$	$\delta_1$				$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	

Fuente: Miranda Medrano, J. A. Fundamentos de la Medición y Control de Procesos. Palibrio

## Implementación de sistemas mecatrónicos

### Filtros activos

Ancho de banda de un filtro pasa bajas

$$AB = f_c$$

Ancho de banda de un filtro pasa banda

$$AB = f_{cs} - f_{ci}$$

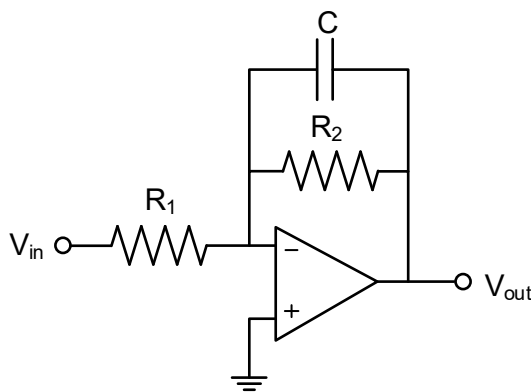
Frecuencia central de un filtro pasa banda

$$f_0 = \sqrt{f_{cs} \cdot f_{ci}}$$

Factor de calidad de un filtro pasa banda

$$Q = \frac{f_0}{AB}$$

Filtro pasa bajas de primer orden



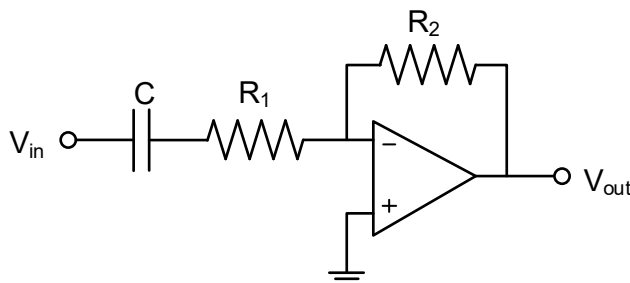
Ganancia en la región de paso

$$H_{0LP} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Frecuencia de corte

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Filtro pasa altas de primer orden



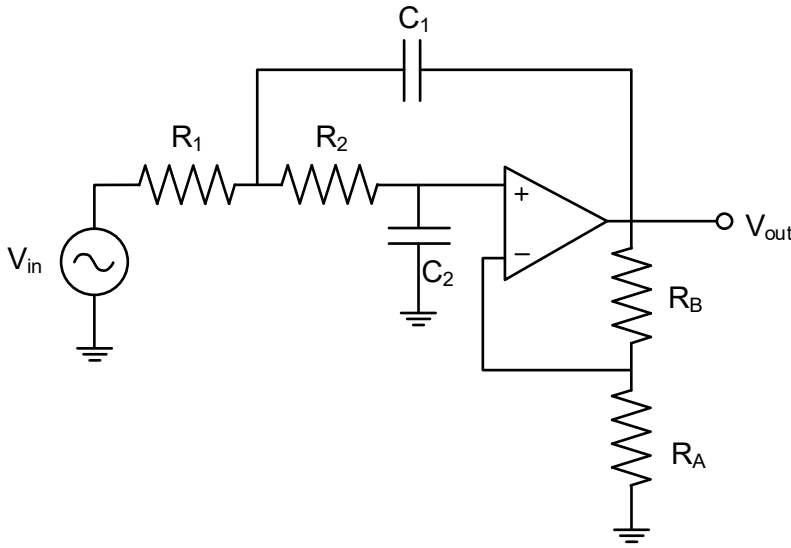
Ganancia en la región de paso

$$H_{0HP} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Frecuencia de corte

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$

Filtro pasa bajas Sallen&Key (KRC) de segundo orden



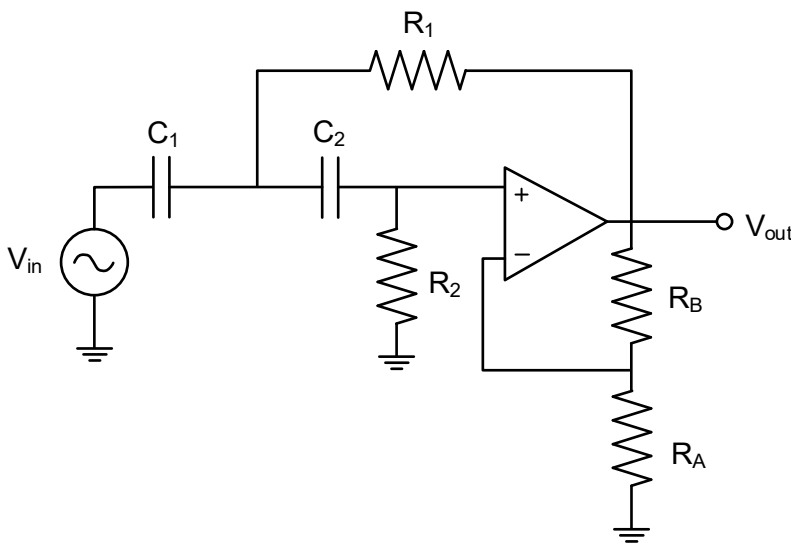
Si  $R_1 = R_2 = R$  y  
 $C_1 = C_2 = C$

$$H_{0LP} = K = 1 + \frac{R_B}{R_A}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$Q = \frac{1}{3 - K}$$

Filtro pasa altas Sallen&Key (KRC) de segundo orden



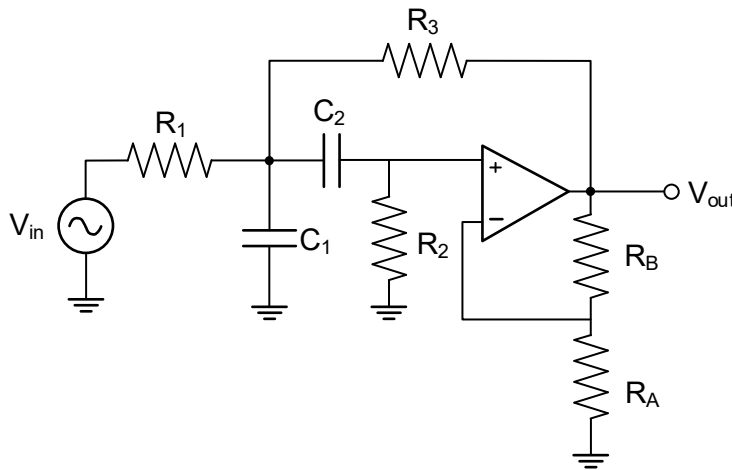
Si  $R_1 = R_2 = R$  y  
 $C_1 = C_2 = C$

$$H_{0HP} = K = 1 + \frac{R_B}{R_A}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$Q = \frac{1}{3 - K}$$

Filtro pasa banda Sallen&Key (KRC) de segundo orden



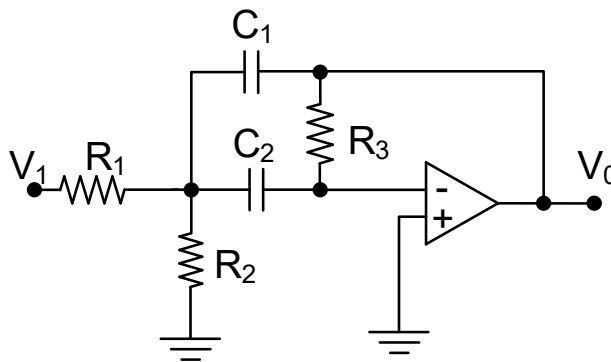
Si  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  y  
 $C_1 = C_2 = C$

$$H_{0BP} = \frac{K}{4 - K}$$

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{RC}$$

$$Q = \frac{\sqrt{2}}{4 - K}$$

Filtros rechazo de banda



$$R_1 = \frac{1}{2Q_0\omega_0C}$$

$$R_2 = \frac{2Q_0}{\omega_0C}$$

$$R_3 = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$$

Tabla de diseño de filtros activos

<b>Butterworth low-pass filter</b>						
n	f <sub>01</sub>	Q <sub>1</sub>	f <sub>02</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>03</sub>	Q <sub>3</sub>
2	1	0.707				
3	1	1.000	1			
4	1	0.541	1	1.306		
5	1	0.618	1	1.620	1	

<b>Bessel low-pass filter</b>						
n	f <sub>01</sub>	Q <sub>1</sub>	f <sub>02</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>03</sub>	Q <sub>3</sub>
2	1.274	0.577				
3	1.453	0.691	1.327			
4	1.419	0.522	1.591	0.806		
5	1.561	0.564	1.760	0.917	1.507	

<b>0.10-dB ripple Chebyshev low-pass filter</b>						
n	f <sub>01</sub>	Q <sub>1</sub>	f <sub>02</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>03</sub>	Q <sub>3</sub>
2	1.820	0.767				
3	1.200	1.341	0.969			
4	1.153	2.183	0.789	0.619		
5	1.093	3.282	0.797	0.915	0.539	

<b>1.00-dB ripple Chebyshev low-pass filter</b>						
n	f <sub>01</sub>	Q <sub>1</sub>	f <sub>02</sub>	Q <sub>2</sub>	f <sub>03</sub>	Q <sub>3</sub>
2	1.050	0.957				
3	0.997	2.018	0.494			
4	0.993	3.559	0.529	0.785		
5	0.994	5.556	0.655	1.399	0.289	

donde:

n = orden del filtro

$\omega_o = 2\pi f_c f_{0n}$  para el filtro pasa bajas

$\omega_o = 2\pi f_c / f_{0n}$  para el filtro pasa altas

Filtros *Butterworth*

La magnitud de la función de transferencia al cuadrado es:

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \omega^{2n}}$$

La función de transferencia para un filtro *Butterworth* se expresa como:

$$H(s) = \frac{1}{B_n(s)}$$

Los polinomios normalizados para los filtros *Butterworth* son:

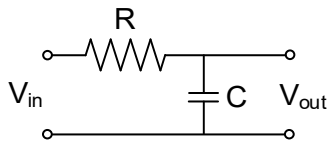
$$B_1(s) = s + 1$$

$$B_2(s) = s^2 + 1.4142s + 1$$

$$B_3(s) = s^3 + 2s^2 + s + 1$$

## Filtros pasivos

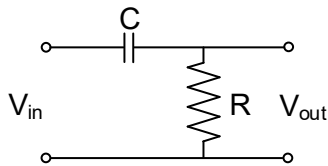
Filtro pasa bajas de primer orden



Frecuencia de corte

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

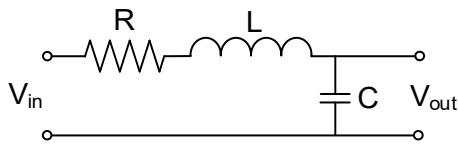
Filtro pasa altas de primer orden



Frecuencia de corte

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

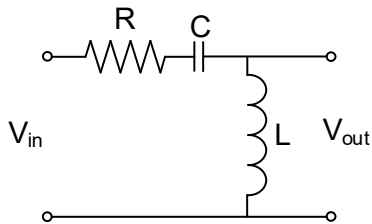
Filtro pasa bajas de segundo orden



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

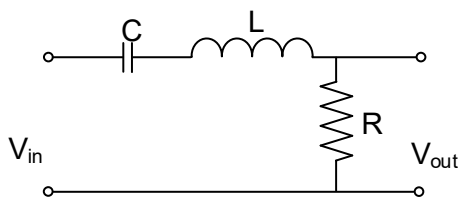
Filtro pasa altas de segundo orden



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Filtro pasa banda de segundo orden



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Configuraciones básicas de amplificadores operacionales

Configuración	Diagrama	Relación entrada-salida
Seguidor		$V_{out} = V_{in}$
Inversor		$V_{out} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$
No inversor		$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$
Sumador inversor		$V_{out} = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$
Restador		$V_{out} = V_2 \left( \frac{(R_3 + R_1)R_4}{(R_4 + R_2)R_1} \right) - V_1 \left( \frac{R_3}{R_1} \right)$

Configuración	Diagrama	Relación entrada-salida
Integrador		$V_{out} = - \int_0^t \frac{V_{in}}{RC} dt + V_{inicial}$
Derivador		$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$
Amplificador de instrumentación		$I_g = (V_2 - V_1) \left( \frac{1}{R_g} \right)$ $V_{intermedio} = (V_2 - V_1) \left( 1 + \frac{2R_1}{R_g} \right)$ $V_{out} = (V_2 - V_1) \left( 1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$
Puente de Wheatstone		<p>En condición de equilibrio, se cumple que: <math>R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3}</math></p>

## Integración de tecnologías para sistemas mecatrónicos

### Redes (diagrama PERT)

$$d_{ij} = \frac{(a + 4m + b)}{6}$$

$d_{ij}$  = duración de la actividad  
 $a$  = duración optimista  
 $m$  = duración más probable  
 $b$  = duración pesimista

Tiempo más temprano  $t_j$

Tiempo más tardío  $T_j$

$$t_j = \max(t_i + d_{ij})$$

$$T_j = \min(T_i + d_{ij})$$

$j$  = suceso cuya fecha hay que calcular  
 $i$  = etapas origen de actividades que llegan a él

### Toma de decisiones (árboles de decisión)

$$VE(d_i) = \sum_{j=1}^N (P(s_j) \cdot V_{ij})$$

VE = valor esperado de la alternativa de decisión  
 $d_i$  = alternativa de decisión  
 $P(s_j)$  = probabilidad del estado de la naturaleza  $s_j$   
 $V_{ij}$  = resultado correspondiente a la alternativa de decisión  $d_i$  y el estado de la naturaleza  $s_j$   
 $N$  = número de estados de la naturaleza

### Punto de equilibrio

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{P \times Q}}$$

CF = costos fijos totales  
CV = costos variables totales  
P = precio del producto  
Q = cantidad de productos vendidos

## Ingeniería económica

### Glosario de términos para ingeniería económica

I:	Inversión	$\hat{A}$ :	Factor de pago continuo
n:	Periodo	RC:	Factor de recuperación de capital
i:	Tasa de interés	Vs:	Valor de salvamento
P:	Valor presente	$\Theta$ :	Tasa mixta
F:	Valor futuro	Pr:	Periodo de recuperación
A:	Serie uniforme	B:	Beneficio
G:	Gradiente	C:	Costo
$i_{ef}$ :	Tasa efectiva	D:	Desventaja
R:	Tasa de interés divisible	e:	Base de logaritmos neperianos
m:	Periodo de intervalo		

### Interés simple

$$I = niP$$

### Interés compuesto

$$i = \sqrt[n]{\frac{F}{P}} - 1$$

### Valor futuro pago único

$$F = P(1+i)^n$$

### Valor presente pago único

$$P = F \frac{1}{(1+i)^n}$$

### Cantidad compuesta serie uniforme

$$F = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

### Fondo de amortización

$$A = F \left( \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right)$$

### Recuperación del capital de una serie uniforme

$$A = P \left( \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

Valor presente de una serie uniforme

$$P = A \left( \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right)$$

Series de gradiente

$$A = G \left( \frac{1}{i} - \frac{n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

Tasa efectiva de interés anual

$$i_{ef} = \left( 1 + \frac{r}{m} \right)^m - 1$$

Capitalización continua

$$i = \lim_{m \rightarrow \infty} \left( 1 + \frac{r}{m} \right)^m - 1 = e^r - 1$$

Definición de "e"

$$i = \lim_{m \rightarrow \infty} \left( 1 + \frac{1}{m} \right)^m = e$$

$$\frac{F}{P} = e^m$$

$$\frac{P}{F} = e^{-m}$$

$$\frac{F}{A} = \frac{(e^m - 1)}{(e^r - 1)}$$

$$\frac{P}{A} = \frac{(1 - e^{-m})}{(e^r - 1)}$$

$$\frac{A}{G} = \left( \frac{1}{1 - e^{-m}} \right) - \left( \frac{n}{e^m - 1} \right)$$

Pagos continuos

$$\frac{F}{\hat{A}} = \frac{(e^m - 1)}{r}$$

$$\frac{P}{\bar{A}} = \frac{(e^m - 1)}{re^m}$$

#### Tasa mixta

$$\theta = \frac{(i - \lambda)}{(1 - \lambda)}$$

#### Inversión inicial

$$II = CO + CP + CA$$

donde:

II = Inversión inicial  
CO = Costos de operación  
CP = Costos de producción  
CA = Costos de administración y ventas

#### Tasa mínima aceptable de rendimiento

$$TMAR = (\mu * i)^n$$

donde:

TMAR = Tasa mínima aceptable de rendimiento  
 $\mu$  = Monto  
i = Tasa de interés  
n = Número de periodos a considerar

#### Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta

$$TMAR_{mixta} = [I_1 + PR_1 + \%I_1 + \%PR_1] + [I_2 + PR_2 + \%I_2 + \%PR_2] + \dots + [I_n + PR_n + \%I_n + \%PR_n]$$

donde:

TMAR<sub>mixta</sub> = Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta  
I<sub>n</sub> = Inflación  
PR<sub>n</sub> = Premio al riesgo  
%I<sub>n</sub> = Inflación ÷ 100  
%PR<sub>n</sub> = Premio al riesgo ÷ 100

#### Valor presente neto (con TMAR)

$$VPN = -S_0 + \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

donde:

VPN = Valor presente neto  
S<sub>0</sub> = Inversión inicial

$S_t$  = Flujo de efectivo neto del periodo  $t$   
 $n$  = Número de periodos de la vida del proyecto  
 $i$  = Tasa de recuperación mínima atractiva  
 $t$  = periodos en años

#### Valor presente neto (con anualidad e interés)

$$VPN = -P + A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + VS$$

donde:

VPN = Valor presente neto  
P = Inversión inicial  
A = Anualidad  
 $i$  = Tasa de interés  
VS = Valor de salvamento al final del periodo  $n$   
 $n$  = Número de periodos

#### Tasa interna de retorno

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{FNE_t}{(1+i)^t} + \frac{VS}{(1+i)^n}$$

donde:

TIR = Tasa interna de retorno  
FNE = Flujo neto de efectivo del periodo  $n$ , o beneficio neto después de impuesto más depreciación  
VS = Valor de salvamento al final del periodo  $n$   
 $i$  = Tasa de interés  
 $n$  = Número de periodos

#### Periodo de recuperación de la inversión

$$ROI = \frac{UN}{I}$$

donde:

ROI = Periodo de recuperación de la inversión  
UN = Utilidad neta  
I = Inversión

#### Punto de equilibrio en ventas

$$PE = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{VT}}$$

donde:

PE = Punto de equilibrio

CF = Costos fijos  
CV = Costos variables  
VT = Ventas totales

#### Costo beneficio

$$\frac{B}{C} = \frac{B - D}{C}$$

donde:

B = Beneficios asociados al proyecto  
C = Costo neto del proyecto  
D = Valor de las desventajas

#### Costo anual uniforme equivalente (CAUE)

$$Vp = \left( \sum_{j=0}^n \text{Flujo}(P / F, i, j) \right) * (A / P, i, j)$$

#### Serie uniforme equivalente

$$SAUE = -CAUE$$

#### Recuperación de capital

$$CAUE = -SAUE = RC$$

$$(P - V_s) \left( \frac{A}{P, i, n} \right) + iV_s$$

#### Retiro y reemplazo

$$CAUE(j) = RC(j) + A(j)$$

#### Relación costo-beneficio

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{ingresos} - \text{egresos}}{\text{costos}}$$

#### Depreciación

$$D_t = \frac{B - VS}{n}$$

$D_t$  = cargo por depreciación anual  
B = costo inicial o base no ajustada  
VS = valor de salvamento  
n = vida depreciable esperada o periodo de recuperación

Rotación de inventarios

$$\text{Rotación de inventarios} = \frac{\text{costo de ventas}}{\text{inventario}}$$

Rotación de los activos totales

$$\text{Rotación de activos totales} = \frac{\text{ventas}}{\text{activos totales}}$$

Análisis de la deuda

Razón de deuda

$$\text{Razón de deuda} = \frac{\text{pasivos totales}}{\text{activos totales}}$$

Razón de la capacidad de pago de intereses

$$\text{Razón de la capacidad de pago de intereses} = \frac{\text{utilidad antes de intereses e impuestos}}{\text{intereses}}$$

Análisis de la rentabilidad

Margen de utilidad bruta

$$\text{Margen de utilidad bruta} = \frac{\text{ventas} - \text{costo de ventas}}{\text{ventas}} = \frac{\text{utilidad bruta}}{\text{ventas}}$$

Margen de utilidad operativa

$$\text{Margen de utilidad neta} = \frac{\text{utilidad neta después de impuestos}}{\text{ventas}}$$

Rendimiento sobre los activos

$$\text{Rendimiento sobre los activos} = \frac{\text{utilidad neta después de impuestos}}{\text{activos totales}}$$

Rendimiento sobre el capital contable

$$\text{Rendimiento sobre el capital contable} = \frac{\text{utilidad neta después de impuestos}}{\text{capital contable}}$$

Análisis de la liquidez

Capital de trabajo neto

$$\text{Capital de trabajo neto} = \text{activo circulante} - \text{pasivo circulante}$$

Razón circulante

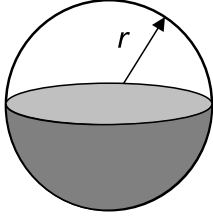
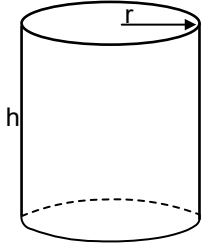
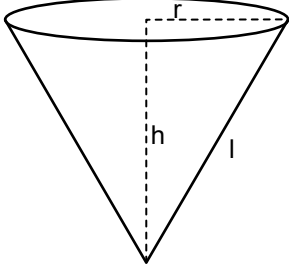
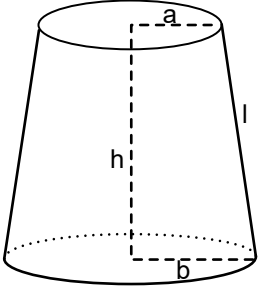
$$\text{Razón circulante} = \frac{\text{activo circulante}}{\text{pasivo circulante}}$$

Razón rápida (prueba del ácido)

$$\text{Razón rápida} = \frac{\text{activo circulante} - \text{inventario}}{\text{pasivo circulante}}$$

## Anexos

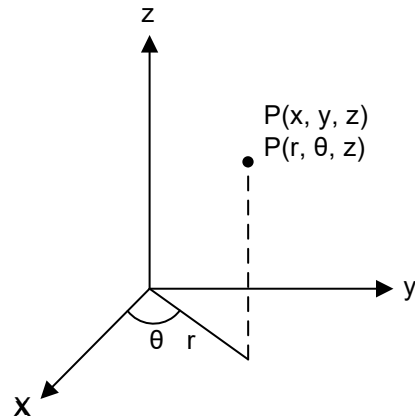
### Geometría

Áreas	
Esfera $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ $A = 4\pi r^2$	
Cilindro $V = \pi r^2 h$ $A = 2\pi r h$	
Cono $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$ $A = \pi r \sqrt{r^2 + h^2} = \pi r l$	
Cono truncado $V = \frac{1}{3} \pi h (a^2 + ab + b^2)$ $A = \begin{cases} \pi(a+b)\sqrt{h^2 + (b-a)^2} \\ \pi(a+b)l \end{cases}$	

Sistemas de coordenadas

**Coordenadas cilíndricas**

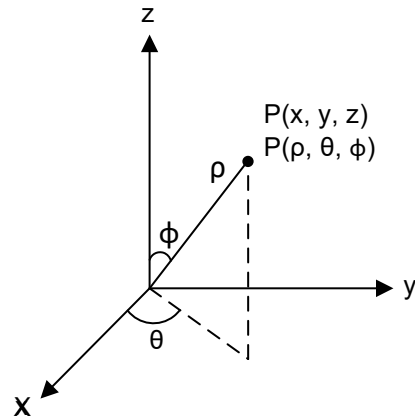
$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \operatorname{sen} \theta \\ z = z \end{cases} \begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \\ z = z \end{cases}$$



**Coordenadas esféricas**

$$\begin{cases} x = \rho \operatorname{sen} \phi \cos \theta \\ y = \rho \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \theta \\ z = \rho \cos \phi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \\ \phi = \cos^{-1}\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right) \end{cases}$$



## Trigonometría

Con frecuencia no se indica específicamente la unidad, como en la siguiente tabla.

$\alpha$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$	$270^\circ$	$360^\circ$
$\hat{\alpha}$	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$5\pi/12$	$\pi/2$	$\pi$	$3\pi/2$	$2\pi$
	0	0.52	0.78	1.05	1.31	1.57	3.14	4.71	6.28

## Equivalencias

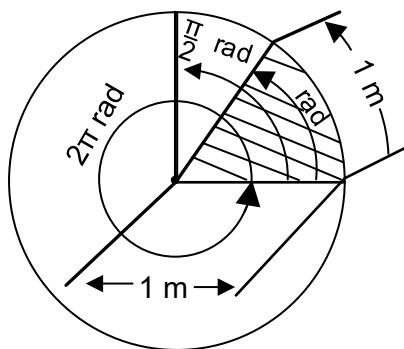
Por definición:

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad}, \quad 1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57.2967^\circ$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad} = 0.017453 \text{ rad}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\pi}{180} \alpha = \frac{\alpha}{57.2967}$$

$$\hat{\alpha} = \text{arc } \alpha = \frac{\text{longitud de arco}}{\text{radio}}$$



## Tablas de derivadas

$\frac{d}{dx}(c) = 0$	$\frac{d}{dx}(cx) = c$
$\frac{d}{dx}(cx^n) = ncx^{n-1}$	$\frac{d}{dx}(u \pm v \pm w \pm \dots) = \frac{du}{dx} \pm \frac{dv}{dx} \pm \frac{dw}{dx} \dots$
$\frac{d}{dx}(cu) = c \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx}(uv) = u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx}(uvw) = uv \frac{dw}{dx} + uw \frac{dv}{dx} + vw \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx}\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{v \left(\frac{du}{dx}\right) - u \left(\frac{dv}{dx}\right)}{v^2}$
$\frac{d}{dx}(u^n) = nu^{n-1} \frac{du}{dx}$	$\frac{du}{dx} = \frac{1}{dx/du}$
$\frac{dF}{dx} = \frac{dF}{du} \frac{du}{dx}$ (Regla de la cadena)	

### Derivadas de las funciones exponenciales y logarítmicas

$\frac{d}{dx} u^v = \frac{d}{dx} e^{v \ln u} = e^{v \ln u} \frac{d}{dx} [v \ln u] =$ $v u^{v-1} \frac{du}{dx} + u^v \ln u \frac{dv}{dx}$	$\frac{d}{dx} \log_a u = \frac{\log_a e}{u} \frac{du}{dx} \quad a > 0, a \neq 1$
$\frac{d}{dx} a^u = a^u \ln a \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \ln u = \frac{d}{dx} \log_e u = \frac{1}{u} \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} e^u = e^u \frac{du}{dx}$	

### Derivadas de las funciones trigonométricas y de las trigonométricas inversas

$\frac{d}{dx} \operatorname{sen} u = \cos u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \cot u = -\operatorname{csc}^2 u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \cos u = -\operatorname{sen} u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \sec u = \sec u \tan u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \tan u = \sec^2 u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \operatorname{csc} u = -\operatorname{csc} u \cot u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \cos^{-1} u = \frac{-1}{\sqrt{1-u^2}} \frac{du}{dx} \quad \left[ 0 < \cos^{-1} u < \pi \right]$	$\frac{d}{dx} \operatorname{sen}^{-1} u = \frac{1}{\sqrt{1-u^2}} \frac{du}{dx} \quad \left[ -\frac{\pi}{2} < \operatorname{sen}^{-1} u < \frac{\pi}{2} \right]$
$\frac{d}{dx} \tan^{-1} u = \frac{1}{1+u^2} \frac{du}{dx} \quad \left[ -\frac{\pi}{2} < \tan^{-1} u < \frac{\pi}{2} \right]$	$\frac{d}{dx} \cot^{-1} u = \frac{-1}{1+u^2} \frac{du}{dx} \quad \left[ 0 < \cot^{-1} u < \pi \right]$
$\frac{d}{dx} \sec^{-1} u = \frac{1}{ u  \sqrt{u^2-1}} \frac{du}{dx} = \frac{\pm 1}{u \sqrt{u^2-1}} \frac{du}{dx},$ $\left[ \begin{array}{l} +si \quad 0 < \sec^{-1} u < \frac{\pi}{2} \\ -si \quad \frac{\pi}{2} < \sec^{-1} u < \pi \end{array} \right]$	$\frac{d}{dx} \operatorname{csc}^{-1} u = \frac{-1}{ u  \sqrt{u^2-1}} \frac{du}{dx} = \frac{\mp 1}{u \sqrt{u^2-1}} \frac{du}{dx},$ $\left[ \begin{array}{l} -si \quad 0 < \operatorname{csc}^{-1} u < \frac{\pi}{2} \\ +si \quad -\frac{\pi}{2} < \operatorname{csc}^{-1} u < 0 \end{array} \right]$

### Reglas de integración

#### Formas fundamentales

$\int u dv = uv - \int v du$	$\int e^u du = e^u + C$
$\int u^n du = \frac{1}{n+1} u^{n+1} + C \quad n \neq -1$	$\int a^u du = \frac{a^u}{\ln a} + C$
$\int \frac{du}{u} = \ln u  + C$	

#### Formas trigonométricas

$\int \operatorname{sen} u du = -\cos u + C$	$\int \operatorname{csc} u \cot u du = -\operatorname{csc} u + C$
$\int \cos u du = \operatorname{sen} u + C$	$\int \tan u du = \ln \sec u  + C$

$\int \sec^2 u \, du = \tan u + C$	$\int \cot u \, du = \ln \operatorname{senu}  + C$
$\int \csc^2 u \, du = -\cot u + C$	$\int \sec u \, du = \ln \sec u + \tan u  + C$
$\int \sec u \tan u \, du = \sec u + C$	$\int \csc u \, du = \ln \csc u - \cot u  + C$

#### Constantes universales

Carga electrón y protón	$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masa electrón	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masa protón	$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
$k$	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
$\epsilon_0$	$8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$
$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm}$
Constante dieléctrica	$8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
Constante de permeabilidad	$1.26 \times 10^{-6} \text{ H/m}$
Constante gravitacional G	$6.672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

Tabla de conversiones

Dimensión	Métrico	Métrico/Inglés
Masa	1 t métrica = 1 000 kg	1 kg = 2.2046 lb <sub>m</sub> 1 lb <sub>m</sub> = 0.4536 kg 1 onza = 28.3495 g 1 slug = 32.174 lb <sub>m</sub> = 14.5939 kg 1 t corta = 907.1847 kg
Longitud	1 m = 10 <sup>6</sup> μm	1 ft = 12 in = 0.3048 m 1 in = 2.54 cm 1 m = 39.370 in = 3.2808 ft = 1.0936 yd 1 milla = 5 280 ft = 1.6093 km
Fuerza	1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> dina 1 dina = 1 g · cm/s <sup>2</sup> 1 kg <sub>f</sub> = 9.8070 N	1 N = 0.2248 lb <sub>f</sub> 1 lb <sub>f</sub> = 32.174 lb <sub>m</sub> ·ft/s <sup>2</sup> = 4.448 N
Presión	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> 1 kPa = 10 <sup>3</sup> Pa = 10 <sup>-3</sup> MPa 1 atm = 101.325 kPa = 1.01325 bar = 10.33 mca (metros de columna de agua) = 29.92 in Hg = 760 mm Hg a 0 °C = 1.03323 kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> 1 mm Hg = 0.1333 kPa = 1 torr	1 Pa = 1.4504 x 10 <sup>-4</sup> psia = 0.020886 lb <sub>f</sub> /ft <sup>2</sup> 1 psi = 144 lb <sub>f</sub> /ft <sup>2</sup> = 6.8948 kPa 1 atm = 14.696 psia = 29.92 in Hg a 30 °F 1 in Hg = 3.387 kPa
Temperatura	T (K) = T (°C) + 273.15 ΔT (K) = ΔT (°C)	T (°R) = T (°F) + 459.67 T (°F) = 1.8 T (°C) + 32 T (°R) = 1.8 (T (°C) + 273.15) T (°C) = 0.556 (T (°R) - 491.67) ΔT (°F) = ΔT (°R) = 1.8 ΔT (K) = 1.8 ΔT (°C)
Volumen	1 m <sup>3</sup> = 1 000 L = 10 <sup>6</sup> cm <sup>3</sup> (cc) = 1 000 dm <sup>3</sup> 1 L = 1 dm <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> = 6.1024 x 10 <sup>4</sup> in <sup>3</sup> = 35.315 ft <sup>3</sup> = 264.17 gal (U.S.) 1 gal (U.S.) = 231 in <sup>3</sup> = 3.7854 L 1 fl onza = 29.5735 cm <sup>3</sup> = 0.0295735 L 1 gal (U.S.) = 128 fl onzas
Volumen específico	1 m <sup>3</sup> /kg = 1 000 L/kg = 1 000 cm <sup>3</sup> /g	1 m <sup>3</sup> /kg = 16.02 ft <sup>3</sup> /lb <sub>m</sub> 1 ft <sup>3</sup> /lb <sub>m</sub> = 0.062428 m <sup>3</sup> /kg
Viscosidad	1 poise = 1 g/cm · s 1 cp (centipoise) = 0.01 poise = 0.1 μPa·s 1 cSt (centistoke) = 10 <sup>-2</sup> St (stoke) = 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	

Energía, calor, trabajo, energía interna, entalpía	1 cal = 4.1868 J 1 kWh = 3 600 kJ	1 kJ = 0.9478 BTU 1 J = 10 <sup>7</sup> erg = 6.242 x 10 <sup>18</sup> eV 1 BTU = 1.0551 kJ = 0.2521 kcal = 3.9290 x 10 <sup>-4</sup> hp.h = 5.4040 psia·ft <sup>3</sup> = 778.169 lbr·ft = 6.5850 x 10 <sup>21</sup> eV 1 BTU/lb <sub>m</sub> = 25 037 ft <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> = 2.326 kJ/kg 1 kJ/kg = 0.430 BTU/lb <sub>m</sub> 1 kWh = 3 412.14 BTU 1 Tesla = 10 000 Gauss
Potencia, velocidad de transferencia de calor	1 W = 1 J/s 1 W = 0.860 kcal/h 1 kW = 1.341 hp 1 hp = 745.7 W	1 kW = 3 412.14 BTU/h = 737.56 lbr·ft/s 1 hp = 1.014 CV = 550 lbr·ft/s = 0.7068 BTU/s = 42.41 BTU/min = 2 544.6 BTU/h = 178.1 cal/s 1 hp de caldera = 33.475 BTU/h 1 BTU/h = 1.0551 kJ/h 1 t de refrigeración = 200 BTU/min
Coefficiente de transferencia de calor	1 W/m <sup>2</sup> · °C = 1 W/m <sup>2</sup> K	1 W/m <sup>2</sup> · °C = 0.1761 BTU/h · ft <sup>2</sup> · °F
Flujo de calor	1 W/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup> = 0.3171 BTU/h · ft <sup>2</sup>
Calor específico	1 kJ/kg · °C = 1 kJ/kg · K	1 BTU/lb <sub>m</sub> · °F = 4.1868 kJ/kg · °C 1 kJ/kg · °C = 0.23885 BTU/lb <sub>m</sub> · °F = 0.23885 BTU/lb <sub>m</sub> · °R
Conductividad térmica	1 W/m · °C = 1 W/m · K	1 W/m · °C = 0.57782 BTU/h · ft · °F

## Consejo Técnico

Representantes de Instituciones de Educación Superior

M. en C. David César Malpica Moreda  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

Dr. Erick de Jesús Ordaz Rivas  
**Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Yamel Ungson Almeida  
**Centro de Enseñanza Técnica y Superior**

Mtra. Diana Costilla López  
**Universidad de Guadalajara**

Mtro. Miguel de Jesús Ramírez Cadena  
**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey**

Mtro. Mauricio Alberto Ortega Ruíz  
**Universidad del Valle de México**

Mtra. Isabel Lascurain Gutiérrez  
**Universidad Anáhuac**

Mtro. Jorge Alonso Ramírez Márquez  
**Universidad Politécnica de Aguascalientes**

Dr. José Luis Rodríguez Verduzco  
**Universidad Autónoma de Baja California**

Dr. José Luis Barahona Ávalos  
**Universidad Tecnológica de la Mixteca**

Dr. Ángel Flores Abad  
**Universidad Autónoma de Ciudad Juárez**

Dr. Ricardo Oscar Magos Pérez  
**Universidad Tecnológica de México**

Este Formulario es un instrumento de apoyo para quienes sustentarán el Examen General para el Egreso de Ingeniería Mecatrónica (EGEL Plus® IMECATRO).

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® IMECATRO agradecerán todos los comentarios que puedan enriquecer este material. Sírvase dirigirlos a:

**Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C.**  
**Subdirección de Evaluación de Egreso**  
**en Diseño, Ingenierías y Arquitectura**

Av. Camino al Desierto de los Leones (Altavista) 37,

Col. San Ángel, Álvaro Obregón,

C.P. 01000, Ciudad de México.

Tel: 55 53 22 92 00 ext. 5102

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

[abraham.maya@ceneval.edu.mx](mailto:abraham.maya@ceneval.edu.mx)

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

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

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

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

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

*Autoridades educativas gubernamentales:* Secretaría de Educación Pública.

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

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

[www.ceneval.net](http://www.ceneval.net)



CENEVAL®

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



@SomosCeneval

dudas o preguntas en [ayuda@ceneval.net](mailto:ayuda@ceneval.net)