



CENTRO NACIONAL
DE EVALUACIÓN PARA
LA EDUCACIÓN SUPERIOR, A.C.

CENEVAL®

formulario

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería
Eléctrica

Dirección de los EGEL

ENERO • 2021

Formulario

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica

EGEL-IELEC



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

Formulario

D. R. © 2020
Centro Nacional de Evaluación
para la Educación Superior, A. C. (Ceneval)

Décima segunda edición

Directorio

Antonio Ávila Díaz

Director General

Alejandra Zúñiga Bohigas

Directora de los Exámenes
Generales para el Egreso de la Licenciatura

Wilson Jesús Pool Cibrián

Subdirector de Evaluación de Egreso en
Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Eloín Alarcón Maldonado

Responsable del Examen General para el Egreso
de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica

Contenido

Operación y mantenimiento de equipos y sistemas eléctricos	9
Inversión inicial	9
Tasa mínima aceptable de rendimiento.....	9
Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta	9
Valor presente neto (con TMAR).....	10
Valor presente neto (con anualidad e interés)	10
Tasa interna de retorno	10
Periodo de recuperación de la inversión	11
Punto de equilibrio en ventas	11
Costo beneficio	11
Ingeniería económica	12
Interés simple	12
Interés compuesto	12
Valor futuro pago único.....	12
Valor presente pago único	12
Cantidad compuesta serie uniforme.....	12
Fondo de amortización	13
Recuperación del capital de una serie uniforme	13
Valor presente de una serie uniforme	13
Series de gradiente	13
Tasa efectiva de interés anual	13
Capitalización continua.....	13
Definición de “e”	14
Pagos continuos.....	14
Tasa mixta.....	14
Métodos de análisis de inversiones.....	15
Valor presente	15
Valor futuro.....	15
Costo anual uniforme equivalente (CAUE).....	15
Serie uniforme equivalente	15
Recuperación de capital	15
Retiro y reemplazo	15
Tasa interna de retorno	15
Periodo de recuperación.....	15
Razón costo-beneficio	16
Operación y mantenimiento de equipos y sistemas eléctricos	17
Costos de mantenimiento	17
Costo total.....	17
Costo del consumo total anual	17
Costos mantenimiento preventivo	18
Indicadores control de trabajo.....	19

Efectividad del sistema	21
Confiabilidad	23
Métodos de mantenimiento vs. costo	24
Sistemas en serie	24
Sistemas en paralelo	24
Restablecimiento de la confiabilidad	25
Probabilidad de falla	25
Mantenimiento productivo total	25
Disponibilidad intrínseca o de explotación.....	26
Tiempo medio de parada por averías.....	26
Tiempo medio entre averías <i>MTBF</i> (tiempo de buen funcionamiento)	26
Tiempo de funcionamiento medio	26
Tasa de fallo.....	26
Trabajo en mantenimiento correctivo	27
Consumo de los aparatos electrodomésticos	27

Formulario general28

Matemáticas.....	28
Álgebra.....	28
Álgebra lineal.....	34
Cálculo diferencial	36
Cálculo integral.....	41
Geometría	51
Geometría analítica plana.....	53
Geometría analítica del espacio.....	55
Trigonometría	59
Números complejos.....	65
Análisis vectorial.....	67
Fracciones racionales.....	74
Series de Fourier.....	75
Transformada de Fourier	79
Transformada de Laplace.....	83
Probabilidad y estadística.....	88
Física	94
Mecánica.....	94
Electricidad y magnetismo	104
Química	109
Teoría de circuitos eléctricos.....	111
Impedancia.....	111
Admitancia	112
Reactancia	113
Resonancia	115
Cargas reactivas y factor de potencia	117
Potencia compleja	119
Potencia trifásica	120
Sistemas eléctricos de potencia	122
Sistema por unidad.....	122
Transformadores	122
Componentes simétricas	123

Cálculo de fallas	129
Transformadores	131
Transformadores de instrumento (transformadores de medida)	133
Corrección del factor de potencia.....	134
Reactores.....	137
Resonancia armónica.....	139
Resistencia.....	141
Inductancia.....	141
Capacitancia	144
Líneas trifásicas de circuitos paralelos.....	145
Cálculo de líneas.....	146
Líneas aéreas.....	148
Líneas de tensión	149
Cálculo de conductores	150
Cálculo de conductores para cargas específicas.....	151
Transformadores	153
Óptica e iluminación.....	157
Tensiones eléctricas normalizadas	169
Descripción de los números ANSI / IEEE.....	170
NMX-J-136-ANCE-2007.....	177
EN-60617 o IEC 60617	179
Símbolos de acuerdo a la ANSI	182
Extracto de la NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización).....	184
Extracto de la NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución	284
Extracto de la NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática en los centros de trabajo- Condiciones de seguridad.....	285
Norma Oficiales Mexicanas más empleadas en Instalaciones Eléctricas.	287
Tablas adicionales de datos prácticos.....	289
Consejo Técnico	295

Operación y mantenimiento de equipos y sistemas eléctricos

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

μ = 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:

$TMAR_{mixta}$ = Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta

I_n = Inflación

PR_n = Premio al riesgo

$\%I_n$ = Inflación $\div$ 100

$\%PR_n$ = Premio al riesgo $\div$ 100

Valor presente neto (con TMAR)

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

donde:

VPN = Valor presente neto

S_0 = Inversión inicial

St = Flujo de efectivo neto del periodo t

N = Número de periodos de la vida del proyecto

i = Tasa de recuperación mínima atractiva

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

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

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

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	Θ :	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

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

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

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

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

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

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

Tasa mixta

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

Métodos de análisis de inversiones

Valor presente

$$Vp = \sum_{j=0}^n \text{flujo}(P / F, i, j)$$

Valor futuro

$$Vf = \sum_{j=0}^n \text{flujo}(F / P, i, j)$$

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

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

Tasa interna de retorno

$$Vp = -\text{Flujo inicial} + \left(\sum_{j=1}^n \text{flujo}(P / F, i, j) \right)$$

Periodo de recuperación

$$Pr = \frac{ABS(\text{flujo})}{\text{ingreso por periodo}}$$

Razón costo-beneficio

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

Nota: El ROI no se maneja en este contexto ya que es un indicador financiero.

Operación y mantenimiento de equipos y sistemas eléctricos

Costos de mantenimiento

Para obtener los costos de mantenimiento se utiliza el TCA (Tráfico de Cambio Anual), el cual es un porcentaje de instrucciones que sufre un cambio por adición o modificación.

Además, se toma en cuenta el esfuerzo de desarrollo estimado o real por personas-mes para hallar el esfuerzo anual requerido para el mantenimiento de software. Se calcula de la siguiente manera:

$$EMA = 1.0 * TCA * TDS$$

EMA = Esfuerzo de mantenimiento anual

TDS = Esfuerzo de desarrollo estimado

Costo total

$$Ct = Cm + Cc + Co$$

Ct = Costo total

Cm = Costo de mantenimiento [refacciones + lubricantes + mano de obra + planeación]

Cc = Costo de capital [valor factura + impuestos + fletes]

Co = Costo de operación [consumo total anual + mano de obra operación]

Costo del consumo total anual

Consumo total anual = Potencia * F. U. * h/día * día/sem. * Tarifa

F. U. = Factor de utilización

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Costos mantenimiento preventivo

Definición	Fórmula de cálculo	Objetivos	Significado
IGTR Índice general de trabajos realizados	$IGTR = \frac{OTE}{OTR}$ OTE=Órdenes de Trabajo Ejecutadas OTR=Órdenes de Trabajo Recibidas	Evaluar la proporción entre la cantidad de órdenes de trabajo ejecutadas respecto al total de órdenes de trabajo recibidas en el periodo considerado.	Permite evaluar en forma general el desempeño del personal del área de mantenimiento. Mientras mayor es el índice, mejor resulta el desempeño.
ITP Índice de órdenes de trabajo pendientes o en proceso	$ITP = \frac{OTPP}{OTR}$ OTPP=Órdenes de Trabajo Pendientes o en procesos OTR=Órdenes de Trabajo Recibidas	Evaluar la proporción de órdenes de trabajo pendientes o en proceso respecto al total de órdenes de trabajo recibidas.	Permite evaluar la fracción programada y no ejecutada de mantenimiento. Cuando mayor es el porcentaje menor es la efectividad de las acciones.
IMP Índice de mantenimiento preventivo	$IMP = \frac{HHMP}{THHM}$ HHMP=Horas de mantenimiento Preventivo THHM=Total de Horas de Mantenimiento	Determinar la proporción del tiempo total de mantenimiento dedicado a acciones de mantenimiento preventivo.	Evalúa la fracción de tiempo dedicada a los programas de mantenimiento preventivo. El óptimo se coloca entre el 20% y el 40%.
IOA Índice de órdenes abiertas	$IOA = \frac{EHH}{HHD}$ EHH=Horas Hombre Estimadas HHD= Horas Hombre Disponibles	Establecer la relación entre la cantidad estimada de horas hombre para ejecutar las órdenes de trabajo abiertas y el total de horas hombre disponibles para trabajos de mantenimiento.	Señala el balance entre la carga de trabajo y la cantidad de personal. Mientras menor es el valor porcentual, mejor resulta la acción desplegada por el área de mantenimiento.
IHE Índice de horas extraordinarias o de sobretiempo	$IHE = \frac{CHE}{THHM}$ CHE=Cantidad de Horas Estimadas THHM=Total de Horas Hombre de Mantenimiento	Expresa la relación entre la cantidad de horas de sobretiempo respecto al total de horas empleadas en mantenimiento.	Evalúa la fracción de tiempo destinado a trabajos fuera del horario. En general es aceptable en el orden de 1% o 2% del total.
ITM Índice de tiempo perdido (tiempo muerto)	$ITM = \frac{THR}{THHM}$ THR=Total de Horas de Retraso THHM=Total de Horas Hombre de Mantenimiento	Evalúa la relación entre la cantidad de horas de retraso en la ejecución de los trabajos (imputable a mantenimiento) y el total de horas de trabajo efectivo.	Mide la cantidad y efectividad del trabajo de mantenimiento preventivo

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Indicadores control de trabajo

Control de trabajo	
Indicador	Descripción
$CT1 = \frac{ODTR}{DHP}$	ODT recibidas/días hábiles del periodo
$CT2 = \frac{ODTC}{ODTR}$	ODT completadas/ODT recibidas
$CT3 = \frac{ODTPC}{ODTC}$	ODT programadas completadas/ODT completadas
$CT4 = \frac{ODTPN}{ODTR}$	ODT pendientes/ODT recibidas
$CT5 = \frac{ODTPRC}{ODTC}$	ODT prioritarias completadas/ODT completadas
$CT6 = \frac{ODTCR}{ODTC}$	ODT completadas con retardo/ODT completadas
$CT7 = \frac{ODT > 2S}{ODTR}$	ODT con más de dos semanas de retraso/ODT recibidas
$CT8 = \frac{HHTPP}{HHPER}$	HH en trabajos planeados y programados/HH en el periodo
$CT9 = \frac{HHTSP}{HHATP}$	HH en trabajos según programación/HH asignadas para trabajos programados
$CT10 = \frac{HHCTPRI}{HHPER}$	HH consumidas en trabajos prioritarios/HH en el periodo
$CT11 = \frac{HHTCR}{HHPER}$	HH en trabajos completados con retardo/HH en el periodo
$CT12 = \frac{HHST}{HHTR}$	HH en sobretiempo/HH en tiempo reglamentario
Soporte de logística	
$SL1 = \frac{RAA}{RP}$	Requisiciones abastecidas por almacén/Requisiciones procesadas
$SL2 = \frac{RAS}{RP}$	Requisiciones abastecidas con sustitutos/Requisiciones procesadas
$SL3 = \frac{RMA}{RP}$	Requisiciones con material agotado/Requisiciones procesadas
$SL4 = \frac{RAD1S}{RD}$	Renglones agotados despachados con una semana de retardo/renglones despachados
$SL5 = \frac{RACP}{RA}$	Renglones agotados que involucran costo de penal/renglones agotados
$SL7 = \frac{R0EZA}{TRRA}$	Renglones con existencia o en almacén/total de renglones
$SL8 = \frac{RDIPP}{TR}$	Renglones con disponibilidad < punto PED/total de renglones
$SL9 = VI > \frac{PM}{VTI}$	Valor de inventario por arriba del punto máximo/valor total del inventario

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

$SL10 = \frac{RMO}{TR} > \frac{12}{12}$	Renglones con último movimiento mayor a 12 meses/total de renglones
$SL11 = \frac{VIMO}{VTI} > \frac{12}{12}$	Valor de inventario con último movimiento mayor a 12 meses/valor total del inventario
$SL12 = \frac{VTD}{VTI}$	Valor total de los despachado/valor total del inventario
$SL13 = \frac{VD}{VC}$	Valor de los despachado/valor de lo comprado
Uso de contratistas	
$UC1 = \frac{CM}{TC}$	Contratos en marcha/total de contratos
$UC2 = \frac{CCV}{TC}$	Contratos con variaciones/total de contratos
$UC3 = \frac{VCM}{VAC}$	Valor contratos en marcha/valor de contratos
$UC4 = \frac{VVC}{VAC}$	Valor de variaciones en contratos/valor de contratos
$UC5 = \frac{VCPC}{VAC}$	Valor contratado por contratista/valor de contratos
$UC6 = \frac{VAC}{CM}$	Valor contratos/costo de mantenimiento
La organización	
$OR1 = \frac{PM}{TP}$	Personal de mantenimiento/Total de personal
$OR2 = \frac{SLM}{OM}$	Supervisores de línea de mantenimiento/operarios de mantenimiento
$OR3 = \frac{PMPP}{OM}$	Personal de mantenimiento en planeación y programación/operarios de mantenimiento
$OR4 = \frac{CNM}{CTM}$	Costo de nómina de mantenimiento/costos totales de mantenimiento
$OR5 = \frac{PST}{PTO}$	Pagos por sobretiempo/pago de tiempo ordinario
$OR6 = \frac{OM}{TP}$	Operarios de mantenimiento/total de producción

donde:

CT = Control de trabajo

ODT = Órdenes de desarrollo de trabajo

HH = Horas hombre

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

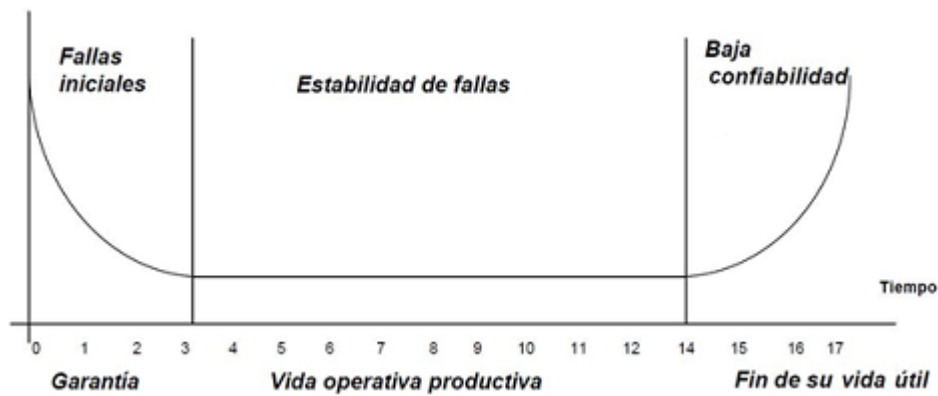
Efectividad del sistema

$ES1 = \frac{CR}{CI}$	Capacidad real/capacidad instalada
$ES2 = \frac{HOP}{(HOP+HFS)}$	Horas de operación/(horas de operación + horas fuera de servicio)
$ES3 = \frac{HOP}{NC}$	Horas de operación/número de corridas
$ES4 = \frac{HFS}{NC}$	Horas fuera de servicio/número de corridas
$ES5 = \frac{PP}{PNP}$	Paradas programadas/paradas no programadas
$ES6 = \frac{HPF}{HFS}$	Horas pérdidas por falla de equipo/horas fuera de servicio
$ES7 = \frac{HHRC}{HHMT}$	HH en reparación correctiva/HH en mantenimiento de equipo
$ES8 = \frac{HHMP}{HHMT}$	HH en mantenimiento preventivo/HH en mantenimiento de equipo
$ES9 = \frac{HHI}{HHMT}$	HH en inspección/HH en mantenimiento de equipo
$ES10 = \frac{HHR}{HHMT}$	HH en reacondicionamiento/HH en mantenimiento de equipo
$ES11 = \frac{HHMT}{HHP}$	HH en mantenimiento de equipo/HH en el periodo
$ES12 = \frac{TMTC}{TMPP}$	Trabajos de mantenimiento preventivo completados/trabajos de mantenimiento preventivo programados
$ES13 = \frac{PPF}{PROD}$	Producción pérdida o diferida por falla de equipo/producción programada
Costos	
$CO1 = \frac{CMT}{PRE}$	Costos de mantenimiento/presupuesto aprobado
$CO2 = \frac{CMT}{CT}$	Costos de mantenimiento/costos totales
$CO3 = \frac{CMT}{CP}$	Costos de mantenimiento/costos de producción
$CO4 = \frac{CMT}{UP}$	Costos de mantenimiento/unidades producidas
$CO5 = \frac{CPZP}{CT}$	Costos de penalización por producción pérdida/costos totales
$CO6 = \frac{CPZ}{CMT}$	Costos de penalización por producción/costos de mantenimiento
$CO7 = \frac{CMT_P}{CMT}$	Costos por mantenimiento preventivo/costos de mantenimiento
$CO8 = \frac{CMC}{CMT}$	Costos por reparaciones correctivas/costos de mantenimiento

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

$CO9 = \frac{CIN}{CMT}$	Costos por inspecciones/costos de mantenimiento
$CO10 = \frac{CRE}{CMT}$	Costos por reacondicionamiento/costos de mantenimiento
$CO11 = \frac{CMT}{TMT}$	Costos por mantenimiento preventivo/trabajos de mantenimiento preventivo
$CO12 = \frac{CMC}{TRC}$	Costos por reparaciones correctivas/trabajos de reparación correctiva
$CO13 = \frac{CMI}{TI}$	Costos por inspecciones/trabajos de inspección
$CO14 = \frac{CRE}{TRE}$	Costos por reacondicionamiento/trabajos de reacondicionamiento
$CO15 = \frac{CMT}{VRE}$	Costos de mantenimiento/valor de reemplazo de equipos
$CO16 = \frac{VDE}{CMO}$	Valor de los despachado/costo de mano de obra de mantenimiento
$CO17 = \frac{CAM}{CMT}$	Costo administrativo de mantenimiento/costos de mantenimiento

Confiabilidad



$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

donde:

R : Confiabilidad

$MTBF$: Tiempo medio entre fallas

$MTTR$: Tiempo medio para reparación

$$MTBF = \left[\frac{h_T}{p} \right] \times 100$$

$$MTTR = \left[\frac{h_p}{p} \right] \times 100$$

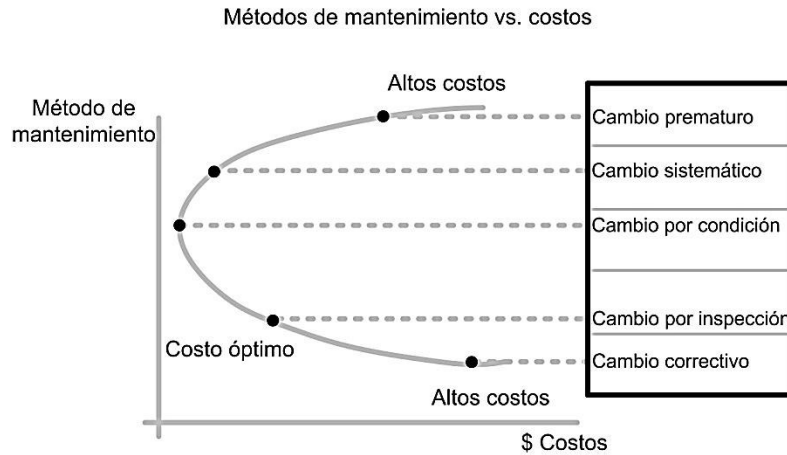
donde:

h_T : Horas trabajadas o de marcha durante el periodo de evaluación

p : Número de paros durante el periodo de evaluación

h_p : Horas de paro durante el periodo de evaluación

Métodos de mantenimiento vs. costo



Sistemas en serie

$$R_s = C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times C_{f4}$$

donde:

R_s = Confiabilidad en serie

$C_{f1}, C_{f2}, \dots, C_{fn}$ son las confiabilidades de cada equipo

Sistemas en paralelo

$$R_p = \frac{C_{f1} \times Pr_1 + C_{f2} \times Pr_2 + C_{f3} \times Pr_3}{Pr_1 + Pr_2 + Pr_3}$$

donde:

R_p = Confiabilidad en paralelo

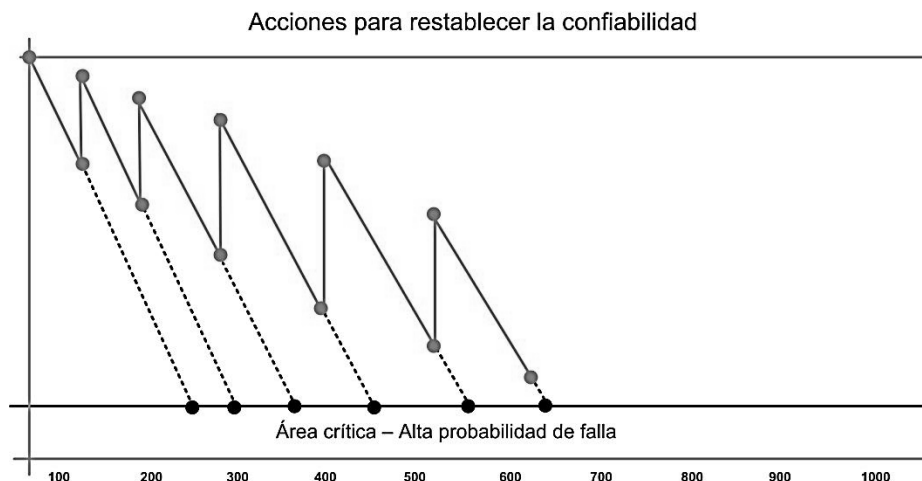
$C_{f1}, C_{f2}, \dots, C_{fn}$ son las confiabilidades de cada uno de los equipos

$Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_n$ son las participaciones de cada uno de los equipos en la producción del sistema evaluado

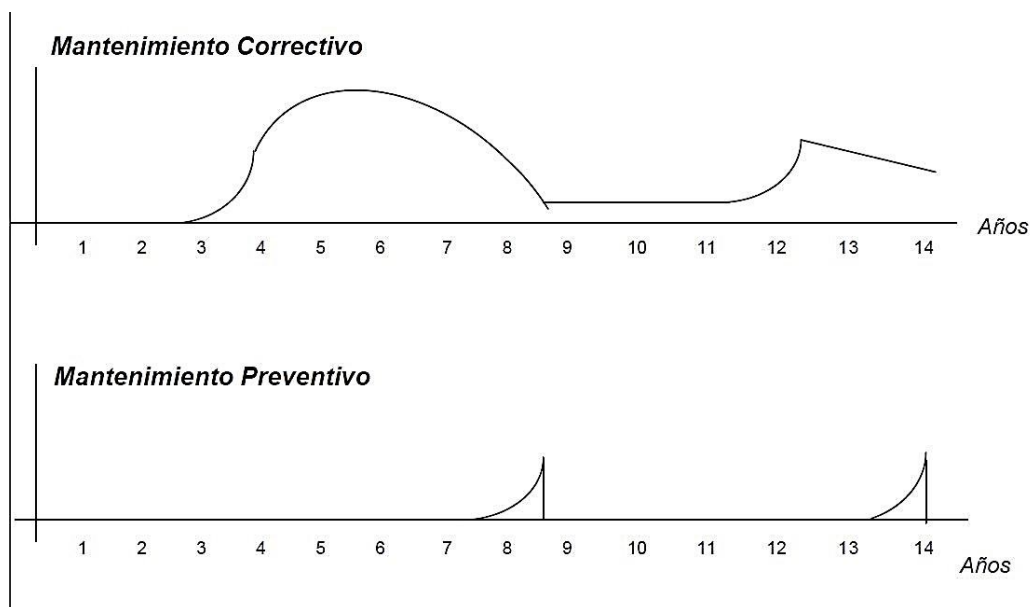
Generalizando para n equipos en paralelo:

$$R_p = \left[\frac{\sum_{j=1}^n C_{fj} \times Pr_j}{\sum_{j=1}^n Pr_j} \right]$$

Restablecimiento de la confiabilidad



Probabilidad de falla



Mantenimiento productivo total

$$D_p = \frac{TF}{TF + TAP}$$

donde:

D_p = Mantenimiento productivo total

TF = Tiempo disponible para producir (Tiempo real)

TAP = Tiempo de parada propia (Set-Up)

Disponibilidad intrínseca o de explotación

$$TR = TF - TAP$$

$$D_i = \frac{TR - TAI}{TR}$$

donde:

D_i = Disponibilidad intrínseca o de explotación

TR = Tiempo requerido, durante el cual se produce

TAI = Tiempo de parado incluido (parada imprevista)

Tiempo medio de parada por averías

$$MTTR = \frac{TP}{NP}$$

donde:

TP = Tiempo de averías

NP = Número de averías

Tiempo medio entre averías $MTBF$ (tiempo de buen funcionamiento)

$$MTBF = \frac{TF}{NP}$$

donde:

TF = Tiempo de funcionamiento

NP = Número de averías

Tiempo de funcionamiento medio

$$TFM = \frac{TF}{NAP}$$

donde:

TF = Tiempo de funcionamiento

NAP = Número de paradas planificadas

Tasa de fallo

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Trabajo en mantenimiento correctivo

Es la relación entre los hombres horas gastados en reparaciones de mantenimiento correctivo y los hombres horas disponibles.

$$TB\ MC = \frac{(Totalidad)\ HHMC}{(Totalidad)\ HHDP}$$

Consumo de los aparatos electrodomésticos

Aparatos o equipos	Potencias W
Lavaplatos	3 500
Cocinas eléctricas	240 - 4 000
Frigoríficos	150 - 250
Lavadoras	2 000 - 4 000
Televisor	180
Plancha	500 - 1 200
Asador	700
Secador de pelo	350
Estufa eléctrica	500 - 2 500
Ventilador	200 - 2 000
Aspirador	250 - 600
Enceradora	600
Batidora	400

Formulario general

Matemáticas

Álgebra

Propiedades de desigualdades

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } x < y \quad \Rightarrow \quad x + z < y + z \\ \text{Si } x < y; \quad z > 0 \quad \Rightarrow \quad xz < yz \\ \text{Si } x < y; \quad z < 0 \quad \Rightarrow \quad xz > yz \\ \text{Si } x < y; \quad y < z \quad \Rightarrow \quad x < z \end{array} \right\} \forall x, y, z \in \mathbb{R}$$

Teorema del residuo

$\forall f(x); g(x) \neq 0$, existen $q(x); r(x)$; f, g, q, r polinomios tales que: $f(x) = g(x)q(x) + r(x)$, con $gr(r) < gr(g)$ o $r(x) = 0$

Teorema de la raíz racional

$$\begin{aligned} f(x) &= a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0 \\ a_n &\neq 0 \\ a_0 &\neq 0 \end{aligned}$$

Las raíces racionales de f son de la forma $\frac{p}{q}$ donde p es factor de a_0 y q de a_n .

Para matrices A y B

$$(AB)^{-1} = B^{-1}A^{-1} \quad A \text{ y } B \text{ no singulares}$$

$$\text{tr}(A+B) = \text{tr } A + \text{tr } B$$

$$\text{tr}(aA) = a(\text{tr } A)$$

$$(AB)^T = B^T A^T$$

$$\det(A) = \det(A^T)$$

$$\det(AB) = \det(A)\det(B)$$

$$A(\text{Adj } A) = (\text{Adj } A)A$$

$$\det(A^{-1}) = \frac{1}{\det(A)} \quad A \text{ no singular}$$

donde:

tr A= traza de A

A^T= transpuesta de A

Fórmulas para potencia y raíces

$p \cdot a^n \pm q \cdot a^n = (p \pm q) \cdot a^n$	$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$
$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$	$(a^m)^n = (a^n)^m = a^{m \cdot n}$
$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$	$\left(\frac{a^n}{b^n}\right) = \left(\frac{a}{b}\right)^n$
$p \cdot \sqrt[n]{a} \pm q \cdot \sqrt[n]{a} = (p \pm q) \cdot \sqrt[n]{a}$	$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}$
$\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{n}}$	$\sqrt[n]{\sqrt[n]{a^{m \cdot x}}} = \sqrt[n]{a^m}$
$\sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m = a^{\frac{m}{n}} \quad *$	$\sqrt{-a} = i \cdot \sqrt{a}$
*No es válida en algunos casos por ejemplo: $\sqrt{(-2)^2} = +2, (\sqrt{-2})^2 = -2$	

Nota: Los exponentes para potencias y raíces deben ser escalares

Transformación de expresiones algebraicas usuales

$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$	$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$
$(a + b + c)^2 = a^2 + 2ab + 2ac + b^2 + 2bc + c^2$	$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$
$a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2)$	$a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$
$ax^2 + bx + c = 0 \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	$x^2 + px + q = 0 \quad x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$
$(a - b + c)^2 = a^2 - 2ab + 2ac + b^2 - 2bc + c^2$	
$(a + b)^n = a^n + \frac{n}{1}a^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2}a^{n-2}b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3}a^{n-3}b^3 + \dots$	
$a^n + b^n = (a - b)(a^{n-1} - a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + b^{n-1})$	

Logaritmos

$\log(x \cdot y) = \log x + \log y$	$\log \frac{x}{y} = \log x - \log y$
$\log x^n = n \log x$	$\log \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \log x$
$\log_a n = n \log_a a$	$\log_a a = 1$
$\log 1 = 0$	

Binomio de Newton

$$(a + b)^n = \binom{n}{0}a^n + \binom{n}{1}a^{n-1} \cdot b + \binom{n}{2}a^{n-2} \cdot b^2 + \binom{n}{3}a^{n-3} \cdot b^3 + \dots$$

Donde n tiene que ser un número entero

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)(n-2)\dots}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots} 1$$

Teorema del binomio (de Newton)

$$(1+x)^n = 1 + \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots$$

Teorema binomial

$$(x+a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k}$$

Permutaciones

Número de permutaciones de n elementos

$$P_n = n! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots$$

Combinaciones y ordenaciones

Número de combinaciones sin repetición	Número de combinaciones con repetición
$C_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \binom{n}{k}$	${}^r C_k^n = \frac{(n+k-1)!}{k!(n-1)!} = \binom{n+k-1}{k}$ r con repetición
Número de ordenaciones sin repetición	Número de ordenaciones con repetición
$O_k^n = C_k^n \cdot P_k = \binom{n}{k} \cdot k! = \frac{n!}{(n-k)!}$	${}^r O_k^n = n^k$

donde:

C = número de combinaciones posibles

N = número de elementos dados

K = número de elementos seleccionados de entre n elementos dados

O = número de ordenaciones posibles

Serie binómica o binomial

$$f(x) = (1 \pm x)^\alpha = 1 \pm \alpha x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!} x^2 + \dots$$

α es un número cualquiera, positivo o negativo, entero o fraccionario

$$\binom{\alpha}{n} = \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)(\alpha-3)\dots + 1}{n!}$$

Serie de Taylor (serie de McLaurin)

$$f(x) = f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \dots$$

Forma de McLaurin, cuando $a = 0$

$$f(x) = f(0) + \frac{f'(0)}{1!}x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \dots$$

Expansión de Taylor

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \quad -\infty < x < \infty$$

Determinantes por la regla de Cramer para la solución de ecuaciones simultáneas

Determinantes de segundo orden

Para el sistema de dos ecuaciones:

$$\begin{aligned} A_1x + B_1y &= C_1 \\ A_2x + B_2y &= C_2 \end{aligned}$$

Se resuelve mediante:

$$\Delta = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = A_1B_2 - A_2B_1$$

$$x = \frac{\begin{vmatrix} C_1 & B_1 \\ C_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{C_1B_2 - C_2B_1}{\Delta}$$

$$y = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{A_1C_2 - A_2C_1}{\Delta}$$

Para el sistema de tres ecuaciones:

$$\begin{aligned} A_1x + B_1y + C_1z &= D_1 \\ A_2x + B_2y + C_2z &= D_2 \\ A_3x + B_3y + C_3z &= D_3 \end{aligned}$$

Se resuelve mediante:

$$\Delta = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \end{vmatrix} = A_1B_2C_3 + A_2B_3C_1 + A_3B_1C_2 - A_3B_2C_1 - A_1B_3C_2 - A_2B_1C_3$$

$$x = \frac{\begin{vmatrix} D_1 & B_1 & C_1 \\ D_2 & B_2 & C_2 \\ D_3 & B_3 & C_3 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{D_1B_2C_3 + D_2B_3C_1 + D_3B_1C_2 - D_3B_2C_1 - D_1B_3C_2 - D_2B_1C_3}{\Delta}$$

$$y = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & D_1 & C_1 \\ A_2 & D_2 & C_2 \\ A_3 & D_3 & C_3 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{A_1D_2C_3 + A_2D_3C_1 + A_3D_1C_2 - A_3D_2C_1 - A_1D_3C_2 - A_2D_1C_3}{\Delta}$$

$$z = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & D_2 \\ A_3 & B_3 & D_3 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{A_1B_2D_3 + A_2B_3D_1 + A_3B_1D_2 - A_3B_2D_1 - A_1B_3D_2 - A_2B_1D_3}{\Delta}$$

Álgebra lineal

Si $B = \{\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_n\}$ es base de un espacio V ; $\bar{x} \in V$

y $\bar{x} = \alpha_1 \bar{v}_1 + \alpha_2 \bar{v}_2 + \dots + \alpha_n \bar{v}_n$; entonces, el vector de coordenadas de $\bar{x}$ respecto a B es:

$$(\bar{x})_B = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)^T$$

Si $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w} \in V(C)$ espacio vectorial, entonces $f(\bar{u}, \bar{v}) = (\bar{u} | \bar{v})$ es producto interno en V si:

- 1) $(\bar{u} | \bar{v}) = (\bar{v} | \bar{u})$
- 2) $(\bar{u} | \bar{v} + \bar{w}) = (\bar{u} | \bar{v}) + (\bar{u} | \bar{w})$
- 3) $(\alpha \bar{u} | \bar{v}) = \alpha (\bar{u} | \bar{v})$
- 4) $(\bar{u} | \bar{u}) > 0$ si $\bar{u} \neq \bar{0}$

$$\|\bar{v}\| = (\bar{v} | \bar{v})^{1/2} \text{ norma de } \bar{v}$$

$$d(\bar{u}, \bar{v}) = \|\bar{v} - \bar{u}\| \text{ distancia de } \bar{u} \text{ a } \bar{v}$$

$$\cos \theta = \frac{(\bar{u} | \bar{v})}{\|\bar{u}\| \|\bar{v}\|} \text{ coseno del ángulo entre } \bar{u} \text{ y } \bar{v}$$

Si $B = \{\bar{g}_1, \bar{g}_2, \dots, \bar{g}_n\}$ es base ortogonal de un espacio V ; $\bar{v} \in V$ y $(\bar{v})_B = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)^T$ entonces

$$\alpha_i = \frac{(\bar{v} | \bar{g}_i)}{(\bar{g}_i | \bar{g}_i)} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Si $\{\bar{e}_1, \bar{e}_2, \dots, \bar{e}_m\}$ es base ortonormal de un subespacio W del espacio V y $\bar{v} \in V$; entonces, la

proyección de $\bar{v}$ sobre W es: $\sum_{i=1}^m (\bar{v} | \bar{e}_i) \bar{e}_i$

Para la transformación lineal $T:V \rightarrow W$

$$\begin{cases} T(V) = \{T(\bar{v}) \mid \bar{v} \in V\} & \text{recorrido de } V \\ N(T) = \{\bar{v} \in V \mid T(\bar{v}) = \bar{0}\} & \text{núcleo de } T \\ \dim V = \dim T(V) + \dim N(T) \end{cases}$$

Para $T:V \rightarrow W$

$A = \{\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_n\}$ base de V y B base de W la matriz asociada a T , $M_B^A(T)$ tiene por columnas a:

$$\left[T(\bar{v}_1) \right]_B, \left[T(\bar{v}_2) \right]_B, \dots, \left[T(\bar{v}_n) \right]_B$$

para $T:V \rightarrow V$, $\bar{v} \in V$ es vector característico de T si:

$$T(\bar{v}) = \lambda \bar{v} \text{ con } \lambda \neq 0 \text{ y } \bar{v} \neq \bar{0}$$

Cálculo diferencial

Relación de cambio: Derivada

Pendiente en un punto. Relación (o intensidad) de cambio

Pendiente de una curva

En una curva $y = f(x)$, la pendiente m varía en cada punto. La pendiente de la curva en un punto P es también la tangente en dicho punto:

$$m = \tan \alpha = \frac{\Delta y'}{\Delta x'}$$

Relación media de cambio (cociente incremental)

La intensidad media de variación de la función $y = f(x)$ es la relación de los incrementos $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ correspondientes al segmento de curva PP_1

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Derivada (cociente diferencial)

Cuando Δx tiende a cero, el punto P_1 tiende al punto P, y la secante PP_1 , a la tangente a la curva en P. De manera que la relación de incrementos se convierte en la relación de diferenciales, que es la derivada (o Intensidad de cambio) de la función en P:

$$y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx} = f'(x)$$

Interpretación geométrica de la derivada

Curvas de derivadas sucesivas

Si para cada x de una curva se lleva la pendiente (o derivada) correspondiente y' como ordenada, se obtendrá la curva de $y' = f'(x)$, o de la primera derivada de la curva dada $y = f(x)$. Si se deriva la curva $y' = f'(x)$ se obtendrá $y'' = f''(x)$ o la segunda derivada de la curva dada $y = f(x)$, etc.

Radio de curvatura ρ en un punto dado x .

$$\rho = \frac{\sqrt{(1 + y'^2)^3}}{y''}$$

Coordenadas del centro de curvatura C correspondiente a un radio ρ
 y''

$$a = x - \frac{1 + y'^2}{y''} y'$$

$$b = y + \frac{1 + y'^2}{y''}$$

Determinación de los valores máximos, mínimos y puntos de inflexión

Valores máximos y mínimos

Hágase $y' = 0$ y sea a el valor obtenido de x . Sustitúyase ahora $x = a$ en y''

Si $y''(a) > 0$ habrá un mínimo en $x = a$

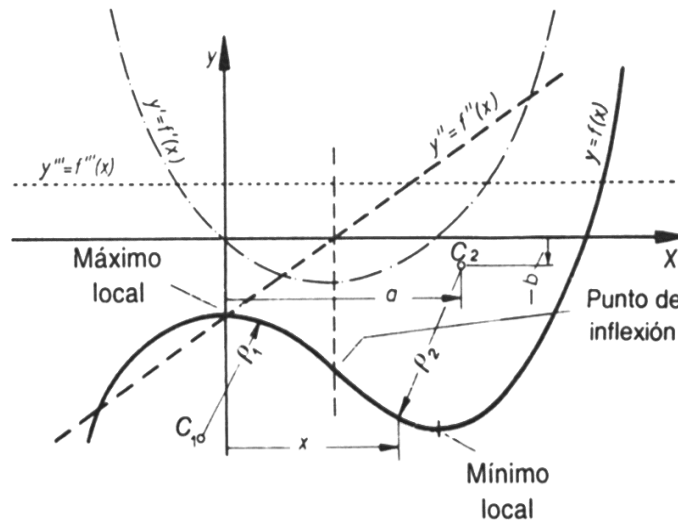
Si $y''(a) < 0$ habrá un máximo en $x = a$

Punto de inflexión

Hágase $y'' = 0$ y sea a el valor obtenido de x . Sustitúyase ahora $x = a$ en y'''

Si $y'''(a) \neq 0$ habrá un punto de inflexión en $x = a$

Forma de la curva $y = f(x)$



Crecimiento y decrecimiento

- $y'(x) > 0$ $y(x)$ crece si aumenta x
 $y'(x) < 0$ $y(x)$ decrece si aumenta x
 $y'(x) = 0$ $y(x)$ tiene en x una tangente paralela al eje x

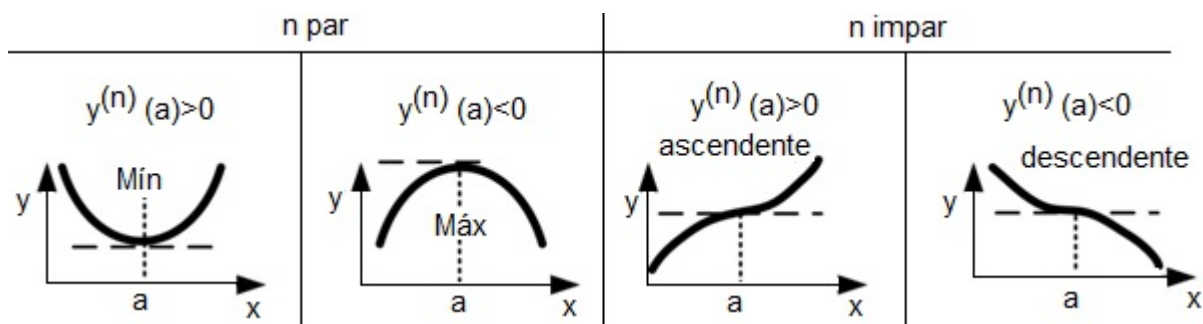
Curvatura

- $y''(x) > 0$ $y(x)$ será cóncava hacia arriba
 $y''(x) < 0$ $y(x)$ será cóncava hacia abajo
 $y''(x) = 0$ con cambio de signo $y(x)$ tendrá en x un punto de inflexión
 sin cambio de signo $y(x)$ tendrá en x un máximo o un mínimo

Otros casos

Si para $x = a$

$y'(a) = y''(a) = y'''(a) = \dots = y^{(n-1)}(a) = 0$, pero $y^{(n)} \neq 0$, pueden presentarse los cuatro casos siguientes:



Tablas de derivadas

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

Derivadas de las funciones exponenciales y logarítmicas

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

Derivadas de las funciones trigonométricas y de las trigonométricas inversas

$\frac{d}{dx} \operatorname{sen} u = \cos u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \cot u = -\operatorname{csc}^2 u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \cos u = -\operatorname{sen} u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \sec u = \sec u \tan u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \tan u = \sec^2 u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \operatorname{csc} u = -\operatorname{csc} u \cot u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \cos^{-1} u = \frac{-1}{\sqrt{1-u^2}} \frac{du}{dx}$ $[0 < \cos^{-1} u < \pi]$	$\frac{d}{dx} \operatorname{sen}^{-1} u = \frac{1}{\sqrt{1-u^2}} \frac{du}{dx}$ $[-\frac{\pi}{2} < \operatorname{sen}^{-1} u < \frac{\pi}{2}]$
$\frac{d}{dx} \tan^{-1} u = \frac{1}{1+u^2} \frac{du}{dx}$ $[-\frac{\pi}{2} < \tan^{-1} u < \frac{\pi}{2}]$	$\frac{d}{dx} \cot^{-1} u = \frac{-1}{1+u^2} \frac{du}{dx}$ $[0 < \cot^{-1} u < \pi]$

$\frac{d}{dx} \sec^{-1} u = \frac{1}{ u \sqrt{u^2 - 1}} \frac{du}{dx} = \frac{\pm 1}{u\sqrt{u^2 - 1}} \frac{du}{dx},$ $\begin{cases} +si & 0 < \sec^{-1} u < \frac{\pi}{2} \\ -si & \frac{\pi}{2} < \sec^{-1} u < \pi \end{cases}$	$\frac{d}{dx} \csc^{-1} u = \frac{-1}{ u \sqrt{u^2 - 1}} \frac{du}{dx} = \frac{\mp}{u\sqrt{u^2 - 1}} \frac{du}{dx},$ $\begin{cases} -si & 0 < \csc^{-1} u < \frac{\pi}{2} \\ +si & -\frac{\pi}{2} < \csc^{-1} u < 0 \end{cases}$
--	--

Derivadas de las funciones hiperbólicas y de las hiperbólicas recíprocas

$\frac{d}{dx} \sinh u = \cosh u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \coth u = -\operatorname{csc} h^2 u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \cosh u = \sinh u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \operatorname{sech} u = -\operatorname{sech} u \tanh u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \tanh u = \operatorname{sech}^2 u \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \operatorname{csch} u = -\operatorname{csch} u \coth u \frac{du}{dx}$
$\frac{d}{dx} \sinh^{-1} u = \frac{1}{\sqrt{u^2 + 1}} \frac{du}{dx}$	$\frac{d}{dx} \tanh^{-1} u = \frac{1}{1 - u^2} \frac{du}{dx}, \quad [-1 < u < 1]$
$\frac{d}{dx} \operatorname{csch}^{-1} u = \frac{-1}{ u \sqrt{1 + u^2}} \frac{du}{dx},$ $[- si \ u > 0, + si \ u < 0]$	$\frac{d}{dx} \cosh^{-1} u = \frac{\pm 1}{\sqrt{u^2 - 1}} \frac{du}{dx},$ $\begin{cases} + si \ \cosh^{-1} u > 0, & u > 1 \\ - si \ \cosh^{-1} u < 0, & u < 1 \end{cases}$
$\frac{d}{dx} \operatorname{sech}^{-1} u = \frac{\pm 1}{u\sqrt{u^2 - 1}} \frac{du}{dx},$ $\begin{cases} - si \ \operatorname{sech}^{-1} u > 0, & 0 < u < 1 \\ + si \ \operatorname{sech}^{-1} u < 0, & 0 < u < 1 \end{cases}$	$\frac{d}{dx} \coth^{-1} u = \frac{1}{1 - u^2} \frac{du}{dx},$ $[u > 1 \text{ ó } u < -1]$

Cálculo integral

Significado de la integración

Por integración se entiende el encontrar una función $F(x)$ a partir de una función dada $y = f(x)$ de manera que la derivada $F'(x)$ sea igual a la original $f(x)$. Por lo tanto,

$$F'(x) = \frac{dF(x)}{dx} = f(x)$$

La integral indefinida

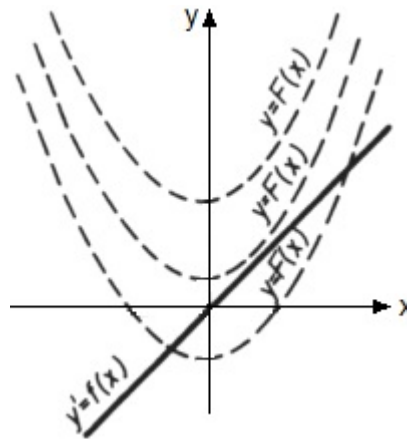
$$\int f(x)dx = F(x) + C$$

C es una constante indeterminada que desaparece al derivar, ya que la derivada de una constante es igual a cero.

Significado geométrico de la integral indefinida

Como muestra la figura, hay una infinidad de curvas $y = F(x)$ con pendiente o derivada $y' = f(x)$. Todas las curvas $y = f(x)$ son iguales pero desplazadas paralelamente y en la dirección del eje y . La constante C fija una curva determinada. Si la curva debe pasar por el punto x_0, y_0 se tendrá:

$$C = y_0 - F(x_0)$$



La integral definida

La integral definida tiene la forma:

$$\int_a^b f(x)dx = F(x)\Big|_a^b = F(b) - F(a)$$

En la integral resultante se sustituye primero el límite superior y luego el inferior, y se resta el segundo resultado del primero. Desaparece así la constante C .

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

$$\int \operatorname{sen} u du = -\cos u + C$$

$$\int \csc u \cot u du = -\csc u + C$$

$$\int \cos u du = \operatorname{sen} u + C$$

$$\int \tan u du = \ln|\sec u| + C$$

$$\int \sec^2 u du = \tan u + C$$

$$\int \cot u du = \ln|\operatorname{sen} u| + C$$

$$\int \csc^2 u du = -\cot u + C$$

$$\int \sec u du = \ln|\sec u + \tan u| + C$$

$$\int \sec u \tan u du = \sec u + C$$

$$\int \csc u du = \ln|\csc u - \cot u| + C$$

Formas cuadráticas

$$\int \sqrt{a^2 + u^2} du = \frac{u}{2} \sqrt{a^2 + u^2} + \frac{a^2}{2} \ln|u + \sqrt{a^2 + u^2}| + C$$

$$\int \frac{du}{\sqrt{a^2 - u^2}} = \operatorname{sen}^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int u \sqrt{a + bu} du = \frac{2}{15b^2} (3bu - 2a)(a + bu)^{3/2} + C$$

$$\int \frac{du}{a^2 + u^2} = \frac{1}{a} \tan^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a^2 + u^2}}{u} du = \sqrt{a^2 + u^2} - a \ln \left| \frac{a + \sqrt{a^2 + u^2}}{u} \right| + C$$

$$\int \frac{du}{u \sqrt{u^2 - a^2}} = \frac{1}{a} \sec^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int \frac{du}{u^2 \sqrt{a^2 + u^2}} = -\frac{\sqrt{a^2 + u^2}}{a^2 u} + C$$

$$\int \frac{du}{a^2 - u^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{u+a}{u-a} \right| + C$$

$$\int \frac{du}{(a^2 + u^2)^{3/2}} = \frac{u}{a^2 \sqrt{a^2 + u^2}} + C$$

$$\int \frac{du}{u^2 - a^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{u-a}{u+a} \right| + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a^2 + u^2}}{u^2} du = -\frac{\sqrt{a^2 + u^2}}{u} + \ln|u + \sqrt{a^2 + u^2}| + C$$

$$\int \frac{du}{u\sqrt{a^2 + u^2}} = -\frac{1}{a} \ln \left| \frac{\sqrt{a^2 + u^2} + a}{u} \right| + C$$

$$\int u^2 \sqrt{a^2 - u^2} du = \frac{u}{8} (2u^2 - a^2) \sqrt{a^2 - u^2} + \frac{a^4}{8} \sin^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int \sqrt{a^2 - u^2} du = \frac{u}{2} \sqrt{a^2 - u^2} + \frac{a^2}{2} \sin^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int \frac{u^2 du}{\sqrt{a^2 + u^2}} = \frac{u}{2} \sqrt{a^2 + u^2} - \frac{a^2}{2} \ln|u + \sqrt{a^2 + u^2}| + C$$

$$\int \frac{du}{\sqrt{a^2 + u^2}} = \ln|u + \sqrt{a^2 + u^2}| + C$$

$$\int \sqrt{u^2 - a^2} du = \frac{u}{2} \sqrt{u^2 - a^2} - \frac{a^2}{2} \ln|u + \sqrt{u^2 - a^2}| + C$$

$$\int \frac{u^2 du}{\sqrt{a^2 - u^2}} = -\frac{u}{2} \sqrt{a^2 - u^2} + \frac{a^2}{2} \sin^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a^2 - u^2}}{u} du = \sqrt{a^2 - u^2} - a \ln \left| \frac{a + \sqrt{a^2 - u^2}}{u} \right| + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a^2 - u^2}}{u^2} du = -\frac{1}{u} \sqrt{a^2 - u^2} - \sin^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int \frac{du}{u\sqrt{a^2 - u^2}} = -\frac{1}{a} \ln \left| \frac{a + \sqrt{a^2 - u^2}}{u} \right| + C$$

$$\int \frac{u^n du}{\sqrt{a + bu}} = \frac{2u^n \sqrt{a + bu}}{b(2n + 1)} - \frac{2na}{b(2n + 1)} \int \frac{u^{n-1} du}{\sqrt{a + bu}}$$

$$\int \frac{du}{u^2 \sqrt{a^2 - u^2}} = -\frac{1}{a^2 u} \sqrt{a^2 - u^2} + C$$

$$\int \frac{\sqrt{u^2 - a^2}}{u} du = \sqrt{u^2 - a^2} - a \cos^{-1} \frac{a}{u} + C$$

$$\int \frac{u^2 du}{(a + bu)^2} = \frac{1}{b^3} \left(a + bu - \frac{a^2}{a + bu} - 2a \ln|a + bu| \right) + C$$

$$\int \frac{\sqrt{u^2 - a^2}}{u^2} du = -\frac{\sqrt{u^2 - a^2}}{u} + \ln|u + \sqrt{u^2 - a^2}| + C$$

$$\int \frac{du}{(a^2 - u^2)^{3/2}} = \frac{u}{a^2 \sqrt{a^2 - u^2}} + C$$

$$\int \frac{du}{\sqrt{u^2 - a^2}} = \ln|u + \sqrt{u^2 - a^2}| + C$$

$$\int \frac{u^2 du}{\sqrt{u^2 - a^2}} = \frac{u}{2} \sqrt{u^2 - a^2} + \frac{a^2}{2} \ln|u + \sqrt{u^2 - a^2}| + C$$

$$\int \frac{udu}{a + bu} = \frac{1}{b^2} (a + bu - a \ln|a + bu|) + C$$

$$\int \frac{du}{u^n \sqrt{a + bu}} = -\frac{\sqrt{a + bu}}{a(n-1)u^{n-1}} - \frac{b(2n-3)}{2a(n-1)} \int \frac{du}{u^{n-1} \sqrt{a + bu}}$$

$$\int \frac{du}{u^2 \sqrt{u^2 - a^2}} = \frac{\sqrt{u^2 - a^2}}{a^2 u} + C$$

$$\int \frac{udu}{\sqrt{a + bu}} = \frac{2}{3b^2} (bu - 2a) \sqrt{a + bu}$$

$$\int \frac{du}{(u^2 - a^2)^{3/2}} = -\frac{u}{a^2 \sqrt{u^2 - a^2}} + C$$

$$\int \frac{du}{u(a + bu)} = \frac{1}{a} \ln \left| \frac{u}{a + bu} \right| + C$$

$$\int \frac{du}{u\sqrt{a + bu}} = \frac{1}{\sqrt{a}} \ln \left| \frac{\sqrt{a + bu} - \sqrt{a}}{\sqrt{a + bu} + \sqrt{a}} \right| + C, \text{ si } a > 0$$

$$= \frac{2}{\sqrt{-a}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{a + bu}{-a}} + C, \text{ si } a < 0$$

$$\int \frac{du}{u^2(a+bu)} = -\frac{1}{au} + \frac{b}{a^2} \ln \left| \frac{a+bu}{u} \right| + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a+bu}}{u} du = 2\sqrt{a+bu} + a \int \frac{du}{u\sqrt{a+bu}}$$

$$\int \frac{u du}{(a+bu)^2} = \frac{a}{b^2(a+bu)} + \frac{1}{b} \ln |a+bu| + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a+bu}}{u^2} du = -\frac{\sqrt{a+bu}}{u} + \frac{b}{2} \int \frac{du}{u\sqrt{a+bu}}$$

$$\int \frac{du}{u(a+bu)^2} = \frac{1}{a(a+bu)} - \frac{1}{a^2} \ln \left| \frac{a+bu}{u} \right| + C$$

$$\int (a^2 - u^2)^{3/2} du = -\frac{u}{8}(2u^2 - 5a^2)\sqrt{a^2 - u^2} + \frac{3a^4}{8} \sin^{-1} \frac{u}{a} + C$$

$$\int u^2 \sqrt{a^2 + u^2} du = \frac{u}{8}(a^2 + 2u^2)\sqrt{a^2 + u^2} - \frac{a^2}{8} \ln |u + \sqrt{a^2 + u^2}| + C$$

$$\int \frac{u^2 du}{a+bu} = \frac{1}{2b^3} \left[(a+bu)^2 - 4a(a+bu) + 2a^2 \ln |a+bu| \right] + C$$

$$\int u^2 \sqrt{u^2 - a^2} du = \frac{u}{8}(2u^2 - a^2)\sqrt{u^2 - a^2} - \frac{a^4}{8} \ln |u + \sqrt{u^2 - a^2}| + C$$

Otras formas trigonométricas

$$\int \csc^3 u du = -\frac{1}{2} \csc u \cot u + \frac{1}{2} \ln |\csc u - \cot u| + C$$

$$\int \sin^2 u du = \frac{1}{2} u - \frac{1}{4} \sin 2u + C$$

$$\int \sin^n u du = -\frac{1}{n} \sin^{n-1} u \cos u + \frac{n-1}{n} \int \sin^{n-2} u du$$

$$\int \cos^2 u du = \frac{1}{2} u + \frac{1}{4} \sin 2u + C$$

$$\int \cos^n u du = \frac{1}{n} \cos^{n-1} u \sin u + \frac{n-1}{n} \int \cos^{n-2} u du$$

$$\int \tan^2 u du = \tan u - u + C$$

$$\int \tan^n u du = \frac{1}{n-1} \tan^{n-1} u - \int \tan^{n-2} u du$$

$$\int \cot^2 u du = -\cot u - u + C$$

$$\int \cot^n u du = \frac{-1}{n-1} \cot^{n-1} u - \int \cot^{n-2} u du$$

$$\int \sin^3 u du = -\frac{1}{3} (2 + \sin^2 u) \cos u + C$$

$$\int \sec^n u du = \frac{1}{n-1} \tan u \sec^{n-2} u + \frac{n-2}{n-1} \int \sec^{n-2} u du$$

$$\int \cos^3 u du = \frac{1}{3} (2 + \cos^2 u) \sin u + C$$

$$\int \csc^n u du = \frac{1}{n-1} \cot u \csc^{n-2} u + \frac{n-2}{n-1} \int \csc^{n-2} u du$$

$$\int \tan^3 u du = \frac{1}{2} \tan^2 u + \ln |\cos u| + C$$

$$\int \sin au \sin bu du = \frac{\sin(a-b)u}{2(a-b)} - \frac{\sin(a+b)u}{2(a+b)} + C$$

$$\int \cot^3 u du = -\frac{1}{2} \cot^2 u - \ln |\sin u| + C$$

$$\int \cos au \cos bu du = \frac{\sin(a-b)u}{2(a-b)} + \frac{\sin(a+b)u}{2(a+b)} + C$$

$$\int \sec^3 u du = \frac{1}{2} \sec u \tan u + \frac{1}{2} \ln |\sec u + \tan u| + C$$

$$\int u^n \cos u du = u^n \sin u - n \int u^{n-1} \sin u du$$

$$\int \sin au \cos bu du = -\frac{\cos(a-b)u}{2(a-b)} - \frac{\cos(a+b)u}{2(a+b)} + C$$

$$\int u \operatorname{sen} u \, du = \operatorname{sen} u - u \cos u + C$$

$$\begin{aligned} \int \operatorname{sen}^n u \cos^m u \, du \\ = -\frac{\operatorname{sen}^{n-1} u \cos^{m+1} u}{n+m} + \frac{n-1}{n+m} \int \operatorname{sen}^{n-2} u \cos^m u \, du \\ = -\frac{\operatorname{sen}^{n+1} u \cos^{m-1} u}{n+m} + \frac{m-1}{n+m} \int \operatorname{sen}^n u \cos^{m-2} u \, du \end{aligned}$$

$$\int u \cos u \, du = \cos u + u \operatorname{sen} u + C$$

$$\int u^n \operatorname{sen} u \, du = u^n \cos u + n \int u^{n-1} \cos u \, du$$

$$\int u \cos^{-1} u \, du = \frac{2u^2 - 1}{4} \cos^{-1} u - \frac{u\sqrt{1-u^2}}{4} + C$$

$$\int u \tan^{-1} u \, du = \frac{u^2 + 1}{2} \tan^{-1} u - \frac{u}{2} + C$$

$$\int u^n \operatorname{sen}^{-1} u \, du = \frac{1}{n+1} \left[u^{n+1} \operatorname{sen}^{-1} u - \int \frac{u^{n+1} du}{\sqrt{1-u^2}} \right], \quad n \neq -1$$

$$\int \operatorname{sen}^{-1} u \, du = u \operatorname{sen}^{-1} u + \sqrt{1-u^2} + C$$

$$\int u^n \cos^{-1} u \, du = \frac{1}{n+1} \left[u^{n+1} \cos^{-1} u + \int \frac{u^{n+1} du}{\sqrt{1-u^2}} \right], \quad n \neq -1$$

$$\int \cos^{-1} u \, du = u \cos^{-1} u - \sqrt{1-u^2} + C$$

$$\int u^n \tan^{-1} u \, du = \frac{1}{n+1} \left[u^{n+1} \tan^{-1} u - \int \frac{u^{n+1} du}{\sqrt{1+u^2}} \right], \quad n \neq -1$$

$$\int \tan^{-1} u \, du = u \tan^{-1} u - \frac{1}{2} \ln(1+u^2) + C$$

Formas exponenciales y logarítmicas

$$\int u e^{au} \, du = \frac{1}{a^2} (au - 1) e^{au} + C$$

$$\int \ln u \, du = u \ln u - u + C$$

$$\int u^n e^{au} \, du = \frac{1}{a} u^n e^{au} - \frac{n}{a} \int u^{n-1} e^{au} \, du$$

$$\int u^n \ln u \, du = \frac{u^{n+1}}{(n+1)^2} [(n+1) \ln u - 1] + C$$

$$\int e^{au} \operatorname{sen} bu \, du = \frac{e^{au}}{a^2 + b^2} (a \operatorname{sen} bu - b \cos bu) + C$$

$$\int \frac{1}{u \ln u} \, du = \ln |\ln u| + C$$

$$\int e^{au} \cos bu \, du = \frac{e^{au}}{a^2 + b^2} (a \cos bu + b \operatorname{sen} bu) + C$$

Formas hiperbólicas

$$\int \operatorname{senh} u \, du = \cosh u + C$$

$$\int \operatorname{sech} u \, du = \ln \left| \tan \frac{1}{2} u \right| + C$$

$$\int \cosh u \, du = \operatorname{senh} u + C$$

$$\int \operatorname{sech}^2 u \, du = \tanh u + C$$

$$\int \tanh u \, du = \ln \cosh u + C$$

$$\int \operatorname{csch}^2 u \, du = -\coth u + C$$

$$\int \coth u \, du = \ln |\operatorname{senh} u| + C$$

$$\int \operatorname{sech} u \tanh u \, du = -\operatorname{sech} u + C$$

$$\int \operatorname{sech} u \, du = \tan^{-1} |\operatorname{senh} u| + C$$

$$\int \operatorname{csch} u \coth u \, du = -\operatorname{csch} u + C$$

Otras formas cuadráticas

$$\int \sqrt{2au - u^2} du = \frac{u-a}{2} \sqrt{2au - u^2} + \frac{a^2}{2} \cos^{-1}\left(\frac{a-u}{a}\right) + C \quad \int \frac{du}{\sqrt{2au - u^2}} = \cos^{-1}\left(\frac{a-u}{a}\right) + C$$

$$\int \frac{\sqrt{2au - u^2}}{u^2} du = -\frac{2\sqrt{2au - u^2}}{u} - \cos^{-1}\left(\frac{a-u}{a}\right) + C \quad \int \frac{u du}{\sqrt{2au - u^2}} = -\sqrt{2au - u^2} + a \cos^{-1}\left(\frac{a-u}{a}\right) + C$$

$$\int \frac{\sqrt{2au - u^2}}{u^2} du = \sqrt{2au - u^2} + a \cos^{-1}\left(\frac{a-u}{a}\right) + C \quad \int \frac{du}{u\sqrt{2au - u^2}} = -\frac{\sqrt{2au - u^2}}{au} + C$$

$$\int \frac{u^2 du}{\sqrt{2au - u^2}} = -\frac{(u+3a)}{2} \sqrt{2au - u^2} + \frac{3a^2}{2} \cos^{-1}\left(\frac{a-u}{a}\right) + C$$

$$\int u\sqrt{2au - u^2} du = \frac{2u - au - 3a^2}{6} \sqrt{2au - u^2} + \frac{a^3}{2} \cos^{-1}\left(\frac{a-u}{a}\right) + C$$

Regla de Simpson

Para curvas hasta de tercer grado

$$A_i = \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2)$$

Para curvas de grado mayor que el tercero

$$A = \frac{h}{3} [y_0 + y_n + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2}) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1})]$$

Integrales múltiples

$$\int_{x=a}^b \int_{y=f_1(x)}^{f_2(x)} F(x, y) dy dx = \int_{x=a}^b \left\{ \int_{y=f_1(x)}^{f_2(x)} F(x, y) dy \right\} dx$$

donde $y = f_1(x)$ e $y = f_2(x)$ son las ecuaciones de las curvas HPG y PGQ respectivamente, mientras que a y b son las abscisas de los puntos P y Q. Esta integral también se puede escribir así:

$$\int_{y=c}^d \int_{x=g_1(y)}^{g_2(y)} F(x, y) dx dy = \int_{y=c}^d \left\{ \int_{x=g_1(y)}^{g_2(y)} F(x, y) dx \right\} dy$$

donde $x = g_1(y)$, $x = g_2(y)$ son las ecuaciones de las curvas HPG y PGQ, respectivamente, mientras que c y d son las ordenadas de H y G.

Estas son las llamadas integrales dobles o integrales de área. Los anteriores conceptos se pueden ampliar para considerar integrales triples o de volumen así como integrales múltiples en más de tres dimensiones.

$$s = s(t) = \int_a^t \|\vec{r}'(t)\| dt$$

Es la longitud de curva correspondiente al intervalo paramétrico $[a, t]$.

	En parámetro arbitrario:	En parámetro s:
Vector tangente unitario	$\vec{t}(t) = \frac{\vec{r}'(t)}{\ \vec{r}'(t)\ }$	$\vec{t}(s) = \frac{\vec{r}'(s)}{\ \vec{r}'(s)\ }$
Vector normal principal	$\vec{n}(t) = \frac{\vec{r}''(t) \times \vec{r}'(t)}{\ \vec{r}''(t) \times \vec{r}'(t)\ }$	$\vec{n}(s) = \frac{\vec{r}''(s) \times \vec{r}'(s)}{\ \vec{r}''(s) \times \vec{r}'(s)\ }$
Vector binormal	$\vec{b}(t) = \frac{\vec{r}'(t) \times \vec{r}''(t)}{\ \vec{r}'(t) \times \vec{r}''(t)\ }$	$\vec{b}(s) = \frac{\vec{r}'(s) \times \vec{r}''(s)}{\ \vec{r}'(s) \times \vec{r}''(s)\ }$

Los vectores unitarios $\vec{t}, \vec{n}, \vec{b}$ forman una triada positiva ($\vec{b} = \vec{t} \times \vec{n}, \vec{n} = \vec{b} \times \vec{t}, \vec{t} = \vec{n} \times \vec{b}$)

Recta tangente en t_0

Ecuación vectorial

$$\vec{r}(t) = \vec{r}(t_0) + \lambda \vec{r}'(t_0)$$

Ecuación paramétrica

$$\frac{x - x_0}{x'_0} = \frac{y - y_0}{y'_0} = \frac{z - z_0}{z'_0}$$

Plano oscilador $(\vec{t}, \vec{n})$ en t_0

Ecuación vectorial

$$(\vec{r} - \vec{r}(t_0)) \cdot (\vec{r}'(t_0) \times \vec{r}''(t_0)) = 0$$

Ecuación paramétrica

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \\ x'_0 & y'_0 & z'_0 \\ x''_0 & y''_0 & z''_0 \end{vmatrix} = 0$$

Curvatura y torsión

$$\kappa = \frac{y'''}{[1 + (y')^2]^{\frac{3}{2}}}$$

$$\kappa(t) = \frac{\|\vec{r}'(t) \times \vec{r}''(t)\|}{\|\vec{r}'(t)\|^3} = \frac{\|\vec{r}'(t)\| \cdot \|\vec{r}''(t)\| \sin(\theta)}{\|\vec{r}'(t)\|^3}$$

$$\kappa(s) = \|\ddot{\vec{r}}(s)\|$$

$$\frac{d}{ds} \vec{T} = \kappa \vec{N}$$

$$\frac{d}{ds} \vec{N} = \tau \vec{B} - \kappa \vec{T}$$

$$\frac{d}{ds} \vec{B} = -\tau \vec{N}$$

Plano normal

Ecuación vectorial

$$(\vec{r} - \vec{r}(t_0)) \cdot \vec{r}'(t_0) = 0$$

Ecuación paramétrica

$$x'_0(x - x_0) + y'_0(y - y_0) + z'_0(z - z_0) = 0$$

Plano rectificante $(\vec{t}, \vec{b})$ en t_0

Ecuación vectorial

$$(\vec{r} - \vec{r}(t_0)) \cdot \vec{n}(t_0) = 0$$

Ecuación paramétrica

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \\ x'_0 & y'_0 & z'_0 \\ y'_0 z''_0 - y''_0 z'_0 & z'_0 x''_0 - z''_0 x'_0 & x'_0 y''_0 - x''_0 y'_0 \end{vmatrix} = 0$$

Componentes tangencial y normal de la aceleración

$$a_T = \vec{a} \cdot \frac{\vec{v}}{\|\vec{v}\|}$$

$$a_N = \frac{\|\vec{v} \times \vec{a}\|}{\|\vec{v}\|}$$

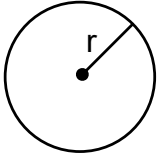
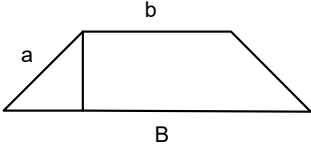
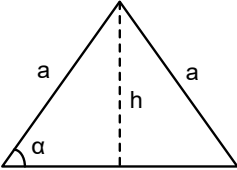
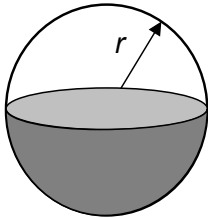
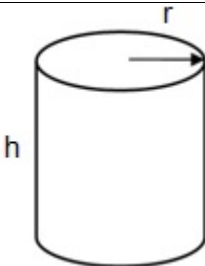
Propiedades de la divergencia

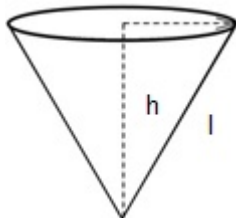
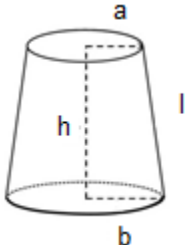
$$i) \operatorname{div}(\vec{F} + \vec{G}) = \operatorname{div}(\vec{F}) + \operatorname{div}(\vec{G})$$

$$ii) \operatorname{div}(\phi \vec{F}) = \phi \operatorname{div}(\vec{F}) + (\operatorname{grad} \phi) \cdot \vec{F}$$

$$iii) \operatorname{div}(\vec{F} \times \vec{G}) = \vec{G} \cdot [\operatorname{rot}(\vec{F})] - \vec{F} \cdot [\operatorname{rot}(\vec{G})]$$

Geometría

Áreas	
Círculo $A = \pi r^2$	
Trapecio $A = \frac{B+b}{2} h$	
Triángulo $A = \frac{ab \sin \alpha}{2} = \frac{bh}{2}$	
Volúmenes	
Prismas $V = S_B h$ donde S_B = área de la base	
Pirámides $V = \frac{S_B h}{3}$ donde S_B = área de la base	
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 $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$ $A = \pi r \sqrt{r^2 + h^2} = \pi r l$	 A diagram of a cone. A vertical dashed line from the center of the circular base to the apex is labeled 'h'. A solid line along the side of the cone from the base to the apex is labeled 'l'.
$V = \frac{1}{3} \pi h (a^2 + ab + b^2)$ $A = \begin{cases} \pi(a+b)\sqrt{h^2 + (b-a)^2} \\ \pi(a+b)l \end{cases}$	 A diagram of a frustum of a cone. The top circular face has radius 'a' and the bottom circular face has radius 'b'. A vertical dashed line between the centers of the two bases is labeled 'h'. A solid line along the side of the frustum is labeled 'l'.

Geometría analítica plana

Distancia entre dos puntos

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Pendiente de una recta

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Ecuación de una recta

$$y - y_1 = m(x - x_1); \quad Ax + By + C = 0$$

Ángulo entre rectas

$$\tan \theta = \frac{m_1 - m_2}{1 + m_1 m_2}$$

Circunferencia

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = r^2; \quad Ax^2 + Ay^2 + Dx + Ey + F = 0$$

Parábola

Eje vertical $(x - h)^2 = 4p(y - k); \quad Ax^2 + Dx + Ey + F = 0$

Eje horizontal $(y - k)^2 = 4p(x - h); \quad By^2 + Dx + Ey + F = 0$
 $LR = 4P$
 $e = 1$

Elipse

Eje focal horizontal $\frac{(x - h)^2}{a^2} + \frac{(y - k)^2}{b^2} = 1 \quad ; a > b$

Eje focal vertical $\frac{(x - h)^2}{b^2} + \frac{(y - k)^2}{a^2} = 1 \quad ; a > b$

$$a^2 = b^2 + c^2; \quad LR = \frac{2b^2}{a}; \quad e = \frac{c}{a} < 1;$$

$$Ax^2 + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0; \quad AC > 0$$

Hipérbola

Eje focal horizontal $\frac{(x-h)^2}{a^2} - \frac{(y-k)^2}{b^2} = 1$

Eje focal vertical $\frac{(y-k)^2}{a^2} - \frac{(x-h)^2}{b^2} = 1$

$$c^2 = a^2 + b^2; \quad LR = \frac{2b^2}{a}; \quad e = \frac{c}{a} < 1;$$

$$Ax^2 + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0; \quad AC < 0$$

Geometría analítica del espacio

Considerando $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$ y $P_2 = (x_2, y_2, z_2)$

Vector que une P_1 y P_2

$$\overrightarrow{P_1P_2} = \langle (x_2 - x_1), (y_2 - y_1), (z_2 - z_1) \rangle = (l, m, n)$$

Distancia entre dos puntos

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}$$

Recta que pasa por dos puntos

Forma paramétrica

$$x = x_1 + l t$$

$$y = y_1 + m t$$

$$z = z_1 + n t$$

Forma simétrica

$$t = \frac{x - x_1}{l}$$

$$t = \frac{y - y_1}{m}$$

$$t = \frac{z - z_1}{n}$$

Cosenos directores

$$\cos \alpha = \frac{x_2 - x_1}{d} = \frac{l}{d}$$

$$\cos \beta = \frac{y_2 - y_1}{d} = \frac{m}{d}$$

$$\cos \gamma = \frac{z_2 - z_1}{d} = \frac{n}{d}$$

donde α , β , γ denotan los ángulos que forman la línea que une los puntos P_1 y P_2 con la parte positiva de los ejes x, y, z, respectivamente.

Ecuación del plano

- Que pasa por un punto $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$ y tiene vector normal $\vec{a} = \langle a_1, a_2, a_3 \rangle$:

$$a_1(x - x_1) + a_2(y - y_1) + a_3(z - z_1) = 0$$

-Forma general:

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

o

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1$$

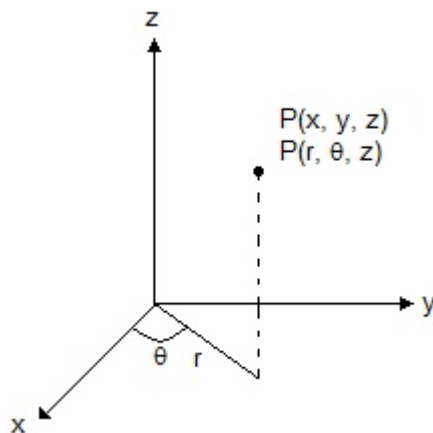
Distancia del punto $P_0 = (x_0, y_0, z_0)$ al plano $Ax + By + Cz + D = 0$

$$d = \frac{Ax_0 + By_0 + Cz_0 + D}{\pm \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

en la cual el signo debe escogerse de tal manera que la distancia no resulte negativa.

Coordenadas cilíndricas

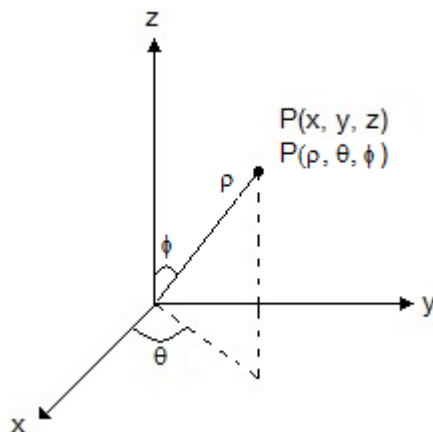
$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \\ z = z \end{cases} \begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \\ z = z \end{cases}$$



Coordenadas esféricas

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

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



Definiciones geométricas importantes

Ángulo entre dos rectas en el plano	$\tan \alpha = \frac{m_1 - m_2}{1 + m_1 m_2}$
Producto escalar para $\vec{a}$ y $\vec{b}$ que pertenecen a $\mathbb{R}^3$	$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$
Producto vectorial	$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix}$
Producto mixto	$[\vec{a} \ \vec{b} \ \vec{c}] = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$
Ángulo entre dos vectores	$\cos \theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{ \vec{a} \vec{b} }; \quad \text{sen} \theta = \frac{ \vec{a} \times \vec{b} }{ \vec{a} \vec{b} }$
Ecuación vectorial de la recta	$\vec{p} = \vec{p}_o + t\vec{u}$
Ecuaciones paramétricas de la recta	$\begin{cases} x = x_o + at \\ y = y_o + bt \\ z = z_o + ct \end{cases} \quad \vec{u} = (a, b, c)$
Ecuaciones cartesianas de la recta, en forma simétrica	$\frac{x - x_o}{a} = \frac{y - y_o}{b} = \frac{z - z_o}{c}$ $\vec{u} = (a, b, c)$
Distancia de un punto Q a una recta	$d = \frac{ \overrightarrow{P_o Q} \times \vec{u} }{ \vec{u} }$
Distancia entre dos rectas	$d = \frac{ \overrightarrow{P_1 P_2} \cdot (\vec{u}_1 \times \vec{u}_2) }{ \vec{u}_1 \times \vec{u}_2 }$
Ecuación vectorial de un plano	$\vec{p} = \vec{p}_o + r\vec{u} + s\vec{v}$
Ecuaciones paramétricas de un plano	$\begin{cases} x = x_o + ru_x + sv_x \\ y = y_o + ru_y + sv_y \\ z = z_o + ru_z + sv_z \end{cases}$
Ecuación cartesiana de un plano en forma general	$Ax + By + Cz + D = 0$ $\vec{N} = (A, B, C)$

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Ecuación normal de un plano	$\overrightarrow{PoP} \cdot \overrightarrow{N} = 0 ; \quad \overrightarrow{N} = (A, B, C)$
Distancia de un punto Q a un plano	$d = \frac{ \overrightarrow{PoQ} \cdot \overrightarrow{N} }{ \overrightarrow{N} }$
Ángulo entre una recta y un plano	$sen\alpha = \frac{ \overrightarrow{u} \cdot \overrightarrow{N} }{ \overrightarrow{u} \overrightarrow{N} }$

Trigonometría

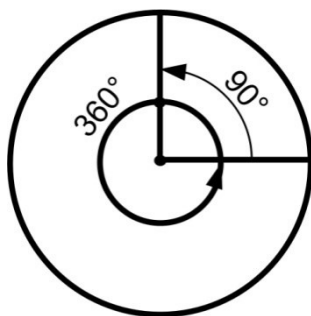
Medida de ángulos planos

Representación

La medida de un ángulo puede expresarse en unidades comunes (grados) o en unidades de arco (radianes). Se representa a veces, respectivamente, por α y $\hat{\alpha}$.

Unidades comunes (sexagesimales): grado ($^{\circ}$), minuto ($'$), segundo ($''$).

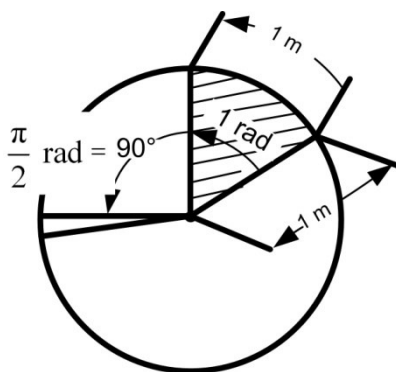
$$1^{\circ} = 60'; 1' = 60''$$



Unidad de arco

1 radián (rad) es el ángulo central de una circunferencia de radio unitario que intercepta un arco también unitario. Por lo tanto:

$$1 \text{ rad} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 1(\text{número adimensional})$$



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

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

Equivalencias

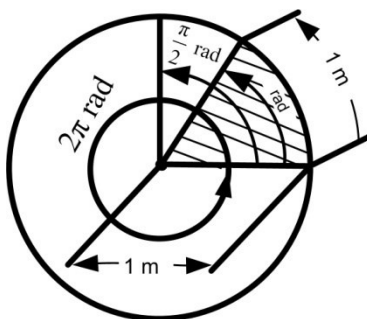
Por definición:

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

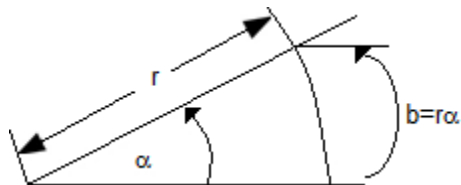
$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad} = 0.017453 \text{ rad}$$

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

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



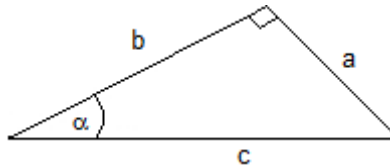
La longitud de un arco (b) es el producto del radio r y el ángulo central $\hat{\alpha}$ (en radianes) de la circunferencia: $b = r\hat{\alpha}$



Funciones trigonométricas

En un triángulo rectángulo:

$$\begin{aligned}\operatorname{sen} \alpha &= \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{a}{c} \\ \cos \alpha &= \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{b}{c} \\ \tan \alpha &= \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} = \frac{a}{b}\end{aligned}$$



Operaciones con funciones trigonométricas

$$\operatorname{sen}^2 A + \cos^2 A = 1$$

$$\sec^2 A - \tan^2 A = 1$$

$$\csc^2 A - \cot^2 A = 1$$

$$\tan A = \frac{\operatorname{sen} A}{\cos A}$$

$$\cot A = \frac{\cos A}{\operatorname{sen} A}$$

$$\operatorname{sen} A \csc A = 1$$

$$\cos A \sec A = 1$$

$$\tan A \cot A = 1$$

$$\operatorname{sen}(-A) = -\operatorname{sen} A$$

$$\cos(-A) = \cos A$$

$$\tan(-A) = -\tan A$$

$$\operatorname{sen}^2 A = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2A$$

$$\cos^2 A = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2A$$

$$\operatorname{sen} 2A = 2 \operatorname{sen} A \cos A$$

$$\cos 2A = \cos^2 A - \operatorname{sen}^2 A$$

$$\operatorname{sen}(A \pm B) = \operatorname{sen} A \cos B \pm \cos A \operatorname{sen} B$$

$$\cos(A \pm B) = \cos A \cos B \pm \operatorname{sen} A \operatorname{sen} B$$

$$\tan(A \pm B) = \frac{\tan A \pm \tan B}{1 \pm \tan A \tan B}$$

$$\operatorname{sen} \frac{A}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos A}{2}}$$

$$\cos \frac{A}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos A}{2}}$$

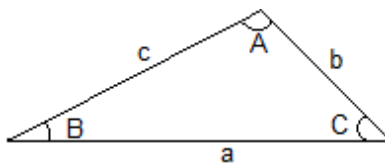
$$\operatorname{sen} A \cos B = \frac{1}{2} [\operatorname{sen}(A - B) + \operatorname{sen}(A + B)]$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} [\cos(A - B) + \cos(A + B)]$$

$$\operatorname{sen} A \operatorname{sen} B = \frac{1}{2} [\operatorname{sen}(A - B) - \operatorname{sen}(A + B)]$$

$$\cos A \operatorname{sen} B = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)]$$

Las leyes siguientes son válidas para cualquier triángulo plano ABC de lados a, b, c y de ángulos A, B, C.



Ley de los senos

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

Ley de los cosenos

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

Los otros lados y ángulos están relacionados en forma similar

Ley de las tangentes

$$\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{1}{2}(A+B)}{\tan \frac{1}{2}(A-B)}$$

Los otros lados y ángulos están relacionados en forma similar

Teorema de Pitágoras

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Valores de las funciones de ángulos importantes

θ	$\text{sen } \theta$	$\text{cos } \theta$	$\tan \theta$	$\cot \theta$	$\sec \theta$	$\csc \theta$
0°	0	1	0	∞	1	∞
30°	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{3}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	2
45°	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$
60°	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	2	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$
90°	1	0	∞	0	∞	1

Relaciones entre ángulo simple, ángulo doble y mitad de ángulo

$\text{sen } \alpha$	$\text{cos } \alpha$	$\tan \alpha$	$\cot \alpha$
$\text{cos}(90^\circ - \alpha)$	$= \text{sen}(90^\circ - \alpha)$	$= \cot(90^\circ - \alpha)$	$= \tan(90^\circ - \alpha)$
$= \sqrt{1 - \text{cos}^2 \alpha}$	$= \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha}$	$= \frac{1}{\cot \alpha}$	$= \frac{1}{\tan \alpha}$
$= 2 \text{sen} \frac{\alpha}{2} \cdot \text{cos} \frac{\alpha}{2}$	$= \text{cos}^2 \frac{\alpha}{2} - \text{sen}^2 \frac{\alpha}{2}$	$= \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha}$	$= \frac{\text{cos } \alpha}{\text{sen } \alpha}$
$= \frac{\tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$	$= \frac{\cot \alpha}{\sqrt{1 + \cot^2 \alpha}}$	$= \frac{\text{sen } \alpha}{\sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha}}$	$= \frac{\text{cos } \alpha}{\sqrt{1 - \text{cos}^2 \alpha}}$
$= \sqrt{\text{cos}^2 \alpha - \text{cos} 2\alpha}$	$= 1 - 2 \text{sen}^2 \frac{\alpha}{2}$	$= \sqrt{\frac{1}{\text{cos}^2 \alpha} - 1}$	$= \sqrt{\frac{1}{\text{sen}^2 \alpha} - 1}$
$= \frac{1}{\sqrt{1 + \cot^2 \alpha}}$	$= \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$	$= \frac{2 \tan \frac{\alpha}{2}}{1 - \tan^2 \frac{\alpha}{2}}$	$= \frac{\cot^2 \frac{\alpha}{2} - 1}{2 \cot \frac{\alpha}{2}}$
$= \frac{2 \tan \frac{\alpha}{2}}{1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2}}$	$= \frac{1 - \tan^2 \frac{\alpha}{2}}{1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2}}$		

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

$\text{sen} 2\alpha$	$\cos 2\alpha$	$\tan 2\alpha$	$\cot 2\alpha$
$= 2 \text{sen} \alpha \cos \alpha$	$= \cos^2 \alpha - \text{sen}^2 \alpha$ $= 2 \cos^2 \alpha - 1$ $= 1 - 2 \text{sen}^2 \alpha$	$= \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha}$ $= \frac{2}{\cot \alpha - \tan \alpha}$	$= \frac{\cot^2 \alpha - 1}{2 \cot \alpha}$ $= \frac{1}{2} \cot \alpha - \frac{1}{2} \tan \alpha$
$\text{sen} \frac{\alpha}{2}$	$\cos \frac{\alpha}{2}$	$\tan \frac{\alpha}{2}$	$\cot \frac{\alpha}{2}$
$= \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$	$= \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$	$= \frac{\text{sen} \alpha}{1 + \cos \alpha}$ $= \frac{1 - \cos \alpha}{\text{sen} \alpha}$ $= \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}}$	$= \frac{\text{sen} \alpha}{1 - \cos \alpha}$ $= \frac{1 + \cos \alpha}{\text{sen} \alpha}$ $= \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}}$

Números complejos

Forma trigonométrica o polar de un número complejo

Se tiene que $r = |z| = |(x, y)|$ y que $\theta = \arg(z) = \tan^{-1} \frac{y}{x}$

Luego:

$$\begin{cases} \text{sen} \theta = \frac{y}{r} \Rightarrow y = r \text{ sen} \theta \\ \cos \theta = \frac{x}{r} \Rightarrow x = r \cos \theta \end{cases}$$

Por lo tanto:

$$z = (x, y) = x + yi = r \cos \theta + i r \text{ sen} \theta = r (\cos \theta + i \text{ sen} \theta)$$

Forma exponencial de un número complejo

Sea $z = r(\cos \theta + i \text{ sen} \theta)$ un número complejo donde r es su módulo y θ su argumento. Entonces mediante el empleo de la fórmula de Euler se obtiene:

$$z = r(\cos \theta + i \text{ sen} \theta) = r e^{i\theta}$$

Operaciones de números complejos en forma polar

$$(r_1 \angle \theta_1)(r_2 \angle \theta_2) = r_1 r_2 \angle (\theta_1 + \theta_2) \quad \text{Nota: } \angle \theta = \cos \theta + i \text{ sen} \theta$$

$$\sqrt[n]{r \angle \theta} = \sqrt[n]{r} \angle \frac{\theta + k(360^\circ)}{n} \quad k \text{ entero}$$

$$\ln(re^{i\theta}) = \ln r + (\theta + 2k\pi)i; \quad k \text{ entero}$$

Teorema de De Moivre

Siendo p un número real cualquiera, el teorema de De Moivre establece que

$$[r(\cos \theta + i \text{ sen} \theta)]^p = r^p (\cos p\theta + i \text{ sen} p\theta)$$

Sea n cualquier entero positivo y $p = \frac{1}{n}$, entonces:

$$[r(\cos \theta + i \operatorname{sen} \theta)]^{1/n} = r^{1/n} \left(\cos \frac{\theta + 2k\pi}{n} + i \operatorname{sen} \frac{\theta + 2k\pi}{n} \right)$$

donde k es un entero positivo. De aquí se pueden obtener las n raíces n -ésimas distintas de un número complejo haciendo $k = 0, 1, 2, \dots$.

Análisis vectorial

Magnitud, dirección y componentes de vectores

Vector: Representación de una cantidad física con magnitud y dirección.

Coordenadas del punto inicial A del vector $\vec{a}$: x_1, y_1, z_1

Coordenadas del punto final B del vector $\vec{a}$: x_2, y_2, z_2

Vectores unitarios sobre los ejes OX, OY, OZ : $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$

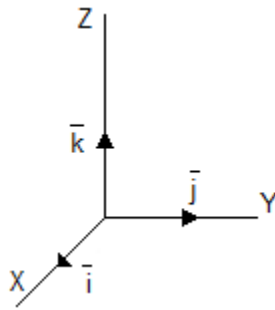
Componentes escalares

$$a_x, a_y, a_z \geq 0$$

$$a_x = x_2 - x_1$$

$$a_y = y_2 - y_1$$

$$a_z = z_2 - z_1$$



Componentes vectoriales

$$\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z$$

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

Magnitud de un vector: $|\vec{a}|$ (o bien, a)

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (|\vec{a}| \text{ siempre } \geq 0)$$

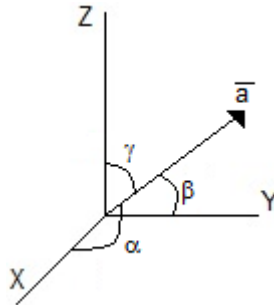
Cosenos directores de un vector: $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$

α, β, γ son los ángulos entre el vector $\vec{a}$ y los ejes OX, OY, OZ ($\alpha, \beta, \gamma = 0^\circ \dots$)

$$\cos \alpha = \frac{a_x}{|\vec{a}|}, \quad \cos \beta = \frac{a_y}{|\vec{a}|}, \quad \cos \gamma = \frac{a_z}{|\vec{a}|}$$

Cálculo de las componentes. Si se conocen $|\vec{a}|, \alpha, \beta, \gamma$,

$$a_x = |\vec{a}| \cos \alpha; \quad a_y = |\vec{a}| \cos \beta; \quad a_z = |\vec{a}| \cos \gamma$$



Observación: Operaciones vectoriales como la determinación de magnitudes, cosenos directores, sumas y productos se llevan a cabo con las componentes de los vectores a lo largo de los ejes OX, OY, OZ

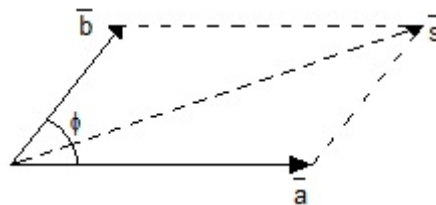
Adición y sustracción de vectores

Suma vectorial $\vec{s}$ de dos vectores libres $\vec{a}$ y $\vec{b}$

$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} = s_x \vec{i} + s_y \vec{j} + s_z \vec{k}$$

$$s_x = a_x + b_x, s_y = a_y + b_y, s_z = a_z + b_z$$

$$|\vec{s}| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$

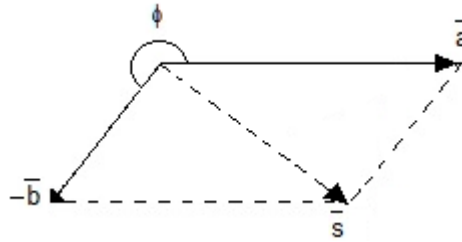


Diferencia vectorial $\vec{s}$ de dos vectores libres $\vec{a}$ y $\vec{b}$

$$\vec{s} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

$$s_x = a_x - b_x, s_y = a_y - b_y, s_z = a_z - b_z$$

$$|\vec{s}| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$



Valores importantes $ \vec{s} $ para 2 vectores	ϕ	$0^\circ; 360^\circ$	90°	180°	270°
	$ \vec{a} \neq \vec{b} $	$ \vec{a} + \vec{b} $	$\sqrt{ \vec{a} ^2 + \vec{b} ^2}$	$ \vec{a} - \vec{b} $	$\sqrt{ \vec{a} ^2 + \vec{b} ^2}$
	$ \vec{a} = \vec{b} $	$2 \vec{a} $	$ \vec{a} \sqrt{2}$	0	$ \vec{a} \sqrt{2}$

Suma vectorial $\vec{s}$ de dos vectores libres $\vec{a}$ y $\vec{b}$, $-\vec{c}$, etc.:

$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} - \vec{c} + \dots = s_x \vec{i} + s_y \vec{j} + s_z \vec{k}$$

$$s_x = a_x + b_x - c_x + \dots, s_y = a_y + b_y - c_y + \dots, s_z = a_z + b_z - c_z + \dots$$

$$|\vec{s}| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$

Producto de un escalar por un vector

Escalar: Magnitud física sin dirección.

El producto escalar k con el vector $\vec{a}$ da el vector $\vec{c}$

$$\vec{c} = k \cdot \vec{a}$$

$$c_x = k \cdot a_x; c_y = k \cdot a_y; c_z = k \cdot a_z; c = k \cdot |\vec{a}|$$

Si $k > 0$ entonces $\vec{c}$ // $\vec{a}$ por lo que:



Si $k < 0$ entonces $\vec{c} \perp \vec{a}$ por lo que:



Productos de dos vectores libres

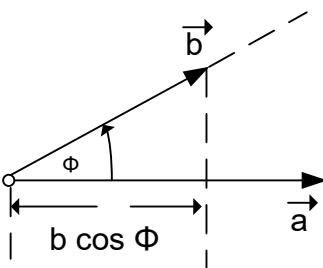
El producto escalar de dos vectores libres $\vec{a}$ y $\vec{b}$ da el escalar k

Símbolo del producto escalar: punto “ $\cdot$ ”

$$k = \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \phi$$

$$k = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|}$$

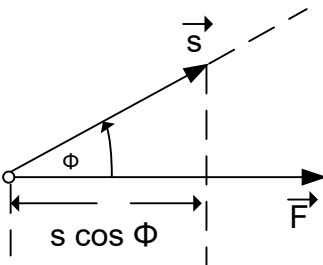


Valores importantes	ϕ	$0^\circ; 360^\circ$	90°	180°	270°
	$ \vec{a} \vec{b} \cos \phi$	$+ \vec{a} \vec{b} $	0	$- \vec{a} \vec{b} $	0

Ejemplo: Trabajo W de una fuerza F en el desplazamiento s

$$W = \text{Fuerza} \times \text{Desplazamiento} = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

$$W = F s \cos \phi$$



El producto vectorial de dos vectores libres $\vec{a}$ y $\vec{b}$ da el vector $\vec{c}$

Símbolo del producto vectorial: cruz "x"

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{b} \times \vec{a})$$

$$|\vec{c}| = ab \sin \varphi = |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \varphi$$

$$\vec{c} \perp \vec{a} \text{ y } \vec{c} \perp \vec{b}$$

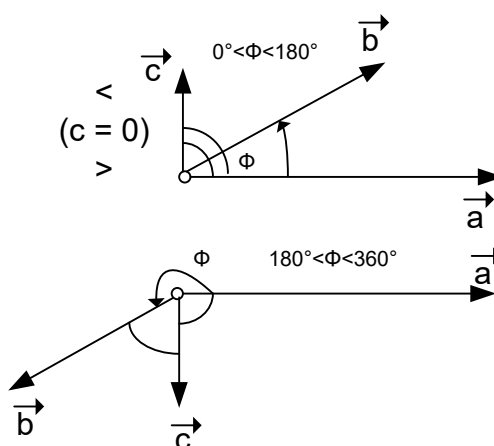
$\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ forman una triada derecha

$$c_x = a_y b_z - a_z b_y$$

$$c_y = a_z b_x - a_x b_z$$

$$c_z = a_x b_y - a_y b_x$$

$$|\vec{c}| = \sqrt{c_x^2 + c_y^2 + c_z^2}$$



Valores importantes	φ	$0^\circ; 360^\circ$	90°	180°	270°
	$ \vec{a} \vec{b} \sin \varphi$	0	$+ \vec{a} \vec{b} $	0	$- \vec{a} \vec{b} $

$$A \bullet B = \|A\| \|B\| \cos \theta \quad 0 \leq \theta \leq \pi$$

donde θ es el ángulo formado por A y B

$$A \bullet B = A_1 B_1 + A_2 B_2 + A_3 B_3$$

donde:

$$A = A_1 \hat{i} + A_2 \hat{j} + A_3 \hat{k}$$

$$B = B_1 \hat{i} + B_2 \hat{j} + B_3 \hat{k}$$

Son resultados fundamentales:

$$\text{Producto cruz: } A \times B = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \end{vmatrix} = (A_2 B_3 - A_3 B_2) \hat{i} + (A_3 B_1 - A_1 B_3) \hat{j} + (A_1 B_2 - A_2 B_1) \hat{k}$$

Magnitud del producto cruz $\|A \times B\| = \|A\| \|B\| \sin \theta$

El operador *nabla* se define así:

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k}$$

En las fórmulas siguientes se asume que $U = U(x, y, z)$ y $A = A(x, y, z)$ tienen derivadas parciales.

Gradiente de U

$$\text{grad}(U) = \nabla U = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) U = \left(\frac{\partial U}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \hat{k} \right)$$

Divergencia de A

$$\text{div}(A) = \nabla \cdot A = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) \cdot (A_1 \hat{i} + A_2 \hat{j} + A_3 \hat{k}) = \frac{\partial A_1}{\partial x} + \frac{\partial A_2}{\partial y} + \frac{\partial A_3}{\partial z}$$

Rotacional de A

$$\begin{aligned} \text{rot}A &= \nabla \times A = \left(\frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k} \right) \times (A_1 \mathbf{i} + A_2 \mathbf{j} + A_3 \mathbf{k}) \\ &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_1 & A_2 & A_3 \end{vmatrix} \\ &= \left(\frac{\partial A_3}{\partial y} - \frac{\partial A_2}{\partial z} \right) \mathbf{i} + \left(\frac{\partial A_1}{\partial z} - \frac{\partial A_3}{\partial x} \right) \mathbf{j} + \left(\frac{\partial A_2}{\partial x} - \frac{\partial A_1}{\partial y} \right) \mathbf{k} \end{aligned}$$

Laplaciano de U

$$\nabla^2 U = \nabla \cdot (\nabla U) = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$$

Fracciones racionales

Descomposición

$$y(x) = \frac{P(x)}{Q(x)} = \frac{a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m}{b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n}$$

donde n y m son enteros y $n > m$.

Los coeficientes a_γ, b_μ pueden ser reales o complejos. Si n_δ son las raíces de $Q(x)$, se obtiene la forma factorizada:

$$y(x) = \frac{P(x)}{Q(x)} = \frac{P(x)}{\alpha(x - n_1)^{k_1}(x - n_2)^{k_2} \dots (x - n_q)^{k_q}}$$

En esta expresión pueden representarse raíces de multiplicidad $k_1, k_2, \dots, k_q$ de $Q(x)$, que pueden ser reales o complejas; α es un factor constante.

Descomposición de fracciones parciales

Para lograr un manejo más sencillo de $y(x)$ es conveniente descomponerla en fracciones parciales:

$$y(x) = \frac{P(x)}{Q(x)} = \frac{A_{11}}{x - n_1} + \frac{A_{12}}{(x - n_1)^2} + \dots + \frac{A_{1k_1}}{(x - n_1)^{k_1}} +$$

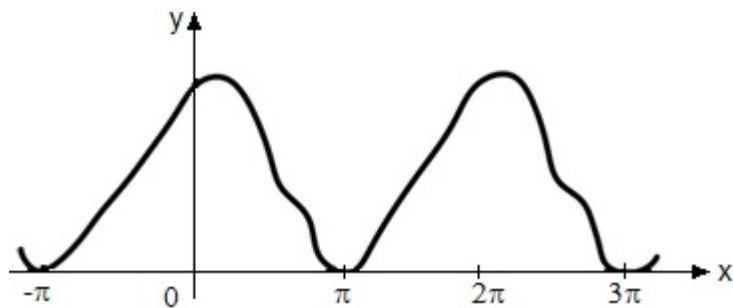
$$\frac{A_{21}}{x - n_2} + \frac{A_{22}}{(x - n_2)^2} + \dots + \frac{A_{2k_2}}{(x - n_2)^{k_2}} + \dots +$$

$$\frac{A_{q1}}{x - n_q} + \frac{A_{q2}}{(x - n_q)^2} + \dots + \frac{A_{qk_q}}{(x - n_q)^{k_q}}$$

Si los coeficientes de $Q(x)$ son reales, aparecen raíces complejas por parejas (raíces complejas conjugadas). Para efectuar la descomposición se agrupan estas parejas en fracciones parciales reales. Si en $b'1, n_2 = n_1$ (compleja conjugada de n_1) y debido a su aparición por parejas $k_1 = k_2 = k_3$, entonces las fracciones parciales de $b'2$, con las constantes $A_{11}, \dots, A_{2k_2}$ pueden agruparse en las fracciones parciales:

$$\frac{B_{11}x + C_{11}}{x^2 + ax + b} + \frac{B_{12}x + C_{12}}{(x^2 + ax + b)^2} + \dots + \frac{B_{1k}x + C_{1k}}{(x^2 + ax + b)^k}$$

Series de Fourier



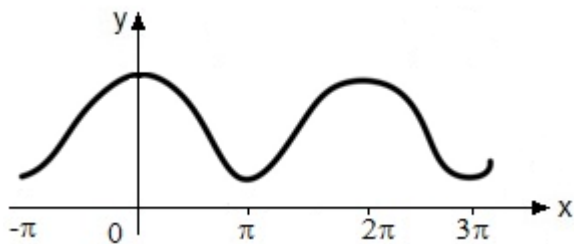
Toda función periódica $f(x)$, que puede descomponerse en el intervalo de periodicidad $-\pi \leq x \leq \pi$ en un número finito de intervalos continuos, podrá descomponerse en ese intervalo en una serie convergente de la forma:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)]$$

Los coeficientes de cada término se forman como sigue:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(kx) dx \qquad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(kx) dx$$

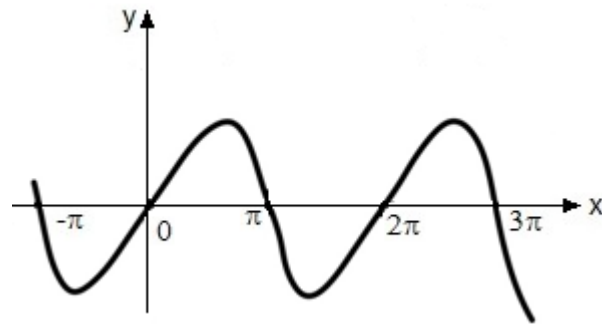
Funciones pares: $f(x) = f(-x)$



$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \cos(kx) dx \quad \text{para } k = 0, 1, 2, \dots$$

$$b_k = 0$$

Funciones impares: $f(x) = -f(-x)$



$$a_k = 0$$

$$b_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \sin(kx) dx \quad \text{para } k = 0, 1, 2, \dots$$

Tablas de desarrollo en series de Fourier

$y = a$ para $0 < x < \pi$ $y = -a$ para $\pi < x < 2\pi$ $y = \frac{4a}{\pi} \left[\text{sen } x + \frac{\text{sen}(3x)}{3} + \frac{\text{sen}(5x)}{5} + \dots \right]$	
$y = a$ para $\alpha < x < \pi - \alpha$ $y = -a$ para $\pi + \alpha < x < 2\pi - \alpha$ $y = \frac{4a}{\pi} \left[\cos \alpha \text{sen } x + \frac{1}{3} \cos(3\alpha) \text{sen}(3x) + \frac{1}{5} \cos(5\alpha) \text{sen}(5x) + \dots \right]$	
$y = a$ para $\alpha < x < 2\pi - \alpha$ $y = f(2\pi + x)$ $y = \frac{2a}{\pi} \left[\frac{\pi - \alpha}{2} - \frac{\text{sen}(\pi - \alpha)}{1} \cos x + \frac{\text{sen}2(\pi - \alpha)}{3} \cos 2x - \frac{\text{sen}3(\pi - \alpha)}{5} \cos 3x + \dots \right]$	
$y = \frac{ax}{b}$ para $0 \leq x \leq b$ $y = a$ para $b \leq x \leq \pi - b$ $y = \frac{a(\pi - x)}{b}$ para $\pi - b \leq x \leq \pi$ $y = \frac{4a}{\pi b} \left[\frac{1}{1^2} \text{sen } b \text{sen } x + \frac{1}{3^2} \text{sen}(3b) \text{sen}(3x) + \frac{1}{5^2} \text{sen}(5b) \text{sen}(5x) + \dots \right]$	
$y = \frac{ax}{2\pi}$ para $0 < x < 2\pi$ $y = f(2\pi + x)$ $y = \frac{a}{2} - \frac{a}{\pi} \left[\frac{\text{sen } x}{1} + \frac{\text{sen}2x}{2} + \frac{\text{sen}3x}{3} + \dots \right]$	
$y = \frac{2ax}{\pi}$ para $0 \leq x \leq \pi/2$	

$y = \frac{2a(\pi - x)}{\pi} \text{ para } \frac{\pi}{2} \leq x \leq \pi$ $y = -f(\pi + x)$ $y = \frac{8}{\pi^2} a \left[\text{sen } x - \frac{\text{sen } 3x}{3^2} + \frac{\text{sen } 5x}{5^2} - \dots \right]$	
$y = \frac{ax}{\pi} \text{ para } 0 \leq x \leq \pi$ $y = \frac{a(2\pi - x)}{\pi} \text{ para } \pi < x < 2\pi$ $y = f(2\pi + x)$ $y = \frac{a}{2} - \frac{4a}{\pi^2} \left[\frac{\cos x}{1^2} + \frac{\cos 3x}{3^2} + \frac{\cos 5x}{5^2} + \dots \right]$	
$y = a \text{sen } x \text{ para } 0 \leq x \leq \pi$ $y = -a \text{sen } x \text{ para } \pi \leq x \leq 2\pi$ $y = f(\pi + x)$ $y = \frac{2a}{\pi} - \frac{4a}{\pi} \left[\frac{\cos 2x}{1 \cdot 3} + \frac{\cos 4x}{3 \cdot 5} + \frac{\cos 6x}{5 \cdot 7} + \dots \right]$	
$y = 0 \text{ para } 0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ $y = a \text{sen}(x - \frac{\pi}{2}) \text{ para } \frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{3\pi}{2}$ $y = f(2\pi + x)$ $y = \frac{2a}{\pi} \left[\frac{1}{2} - \frac{\pi}{4} \cos x + \frac{\cos 2x}{2^2 - 1} - \frac{\cos 4x}{4^2 - 17} + \frac{\cos 6x}{6^2 - 1} - \dots \right]$	
$y = x^2 \text{ para } \pi \leq x \leq -\pi$ $y = f(-x) = f(2\pi + x)$ $y = \frac{\pi^2}{3} - 4 \left[\frac{\cos x}{1^2} - \frac{\cos 2x}{2^2} + \frac{\cos 3x}{3^2} - \dots \right]$	
$y = \frac{ax}{\pi} \text{ para } 0 < x < \pi$ $y = f(2\pi + x)$ $y = \frac{a}{4} - \frac{2a}{\pi^2} \left[\frac{\cos x}{1^2} + \frac{\cos 2x}{2^2} + \frac{\cos 3x}{3^2} + \dots \right]$ $+ \frac{a}{\pi} \left[\frac{\text{sen } x}{1} - \frac{\text{sen } 2x}{2} + \frac{\text{sen } 3x}{3} - \dots \right]$	

Transformada de Fourier

Definiciones:

$$F\{s(t)\} = S(w) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt; \quad j = \sqrt{-1}$$

$$F^{-1}\{S(w)\} = s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(w) e^{j\omega t} dw; \quad j = \sqrt{-1}$$

Reglas de operación

Desplazamiento en tiempo $F\{s(t - \tau)\} = S(w) e^{-j\omega \tau}$

Convolución

$$s_1(t) * s_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(\tau) \cdot s_2(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} s_2(\tau) * s_1(t - \tau) d\tau$$

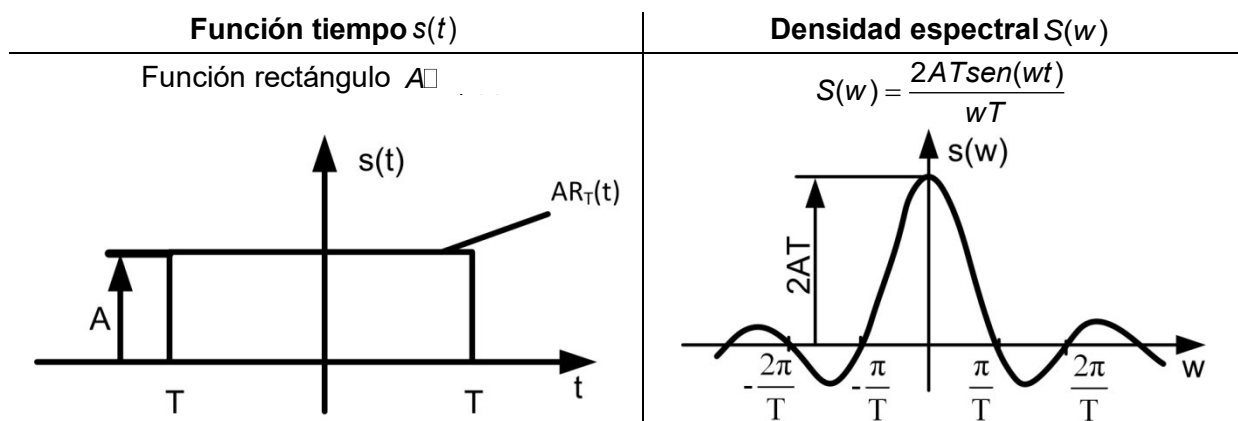
$$F\{s_1(t) \cdot s_2(t)\} = S_1(w) * S_2(w)$$

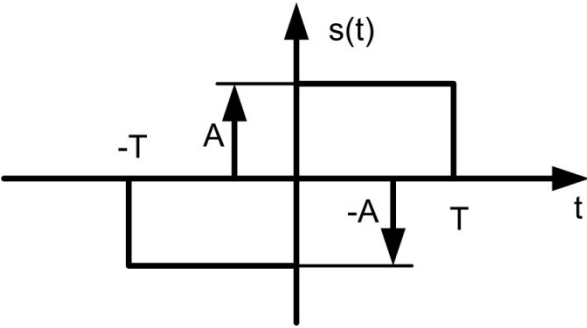
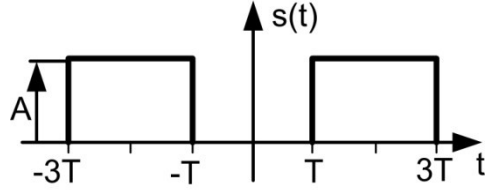
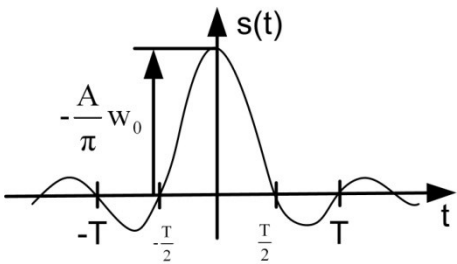
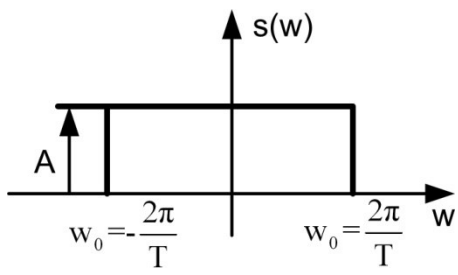
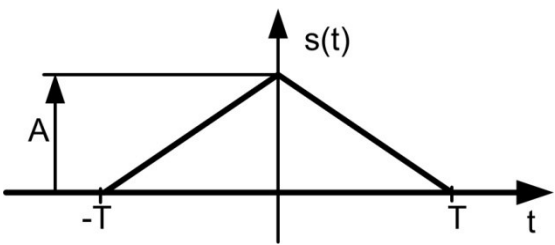
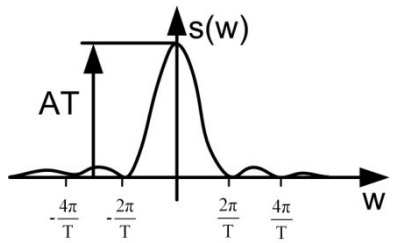
$$F\{s(t)\} = S(w)$$

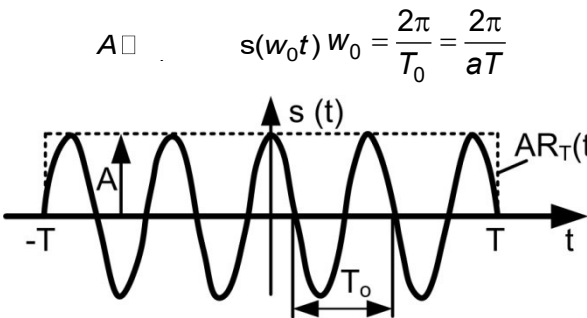
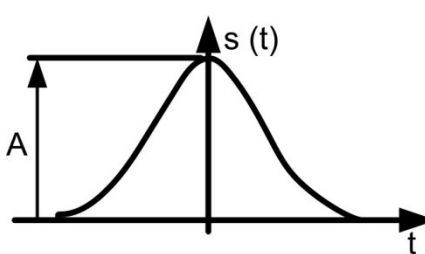
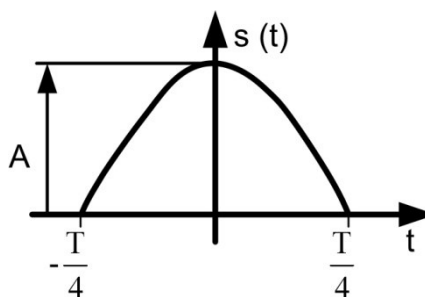
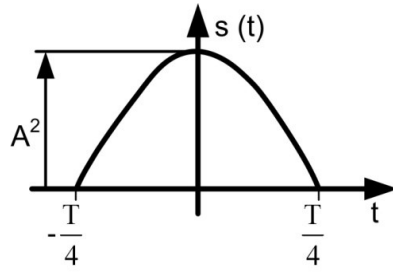
$$F\{s(at)\} = \frac{1}{|a|} S\left(\frac{w}{a}\right), \quad a > 0$$

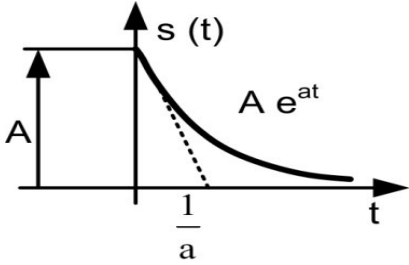
$$F\{s_1(t) + s_2(t)\} = S_1(w) + S_2(w)$$

Enseguida se indican las densidades espectrales calculadas para algunas importantes funciones del tiempo.



Función tiempo $s(t)$	Densidad espectral $S(w)$
Función rectángulo con cambio de signo 	$S(w) = -j2AT \frac{\text{sen}^2 \frac{wt}{2}}{\frac{wt}{2}}$
	$S(w) = 4AT \cos(2wt) \frac{\text{sen} wt}{wt}$
$s(t) = \frac{A}{\pi} w_0 \frac{\text{sen}(w_0 t)}{w_0 t} \quad w_0 = \frac{2\pi}{T}$ 	$S(w) = AR_{w_0}(w)$ (Función rectángulo) 
Función triángulo $AD_T(t)$ 	$S(w) = \left(\frac{\text{sen}\left(\frac{Tw}{2}\right)}{\frac{Tw}{2}} \right)^2 AT$ 

Función tiempo $s(t)$	Densidad espectral $S(w)$
Rectángulo modulado $s(w_0 t) w_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\pi}{aT}$ 	$S(w) = A \frac{\text{sen} T(w + w_0)}{w + w_0} + A \frac{\text{sen} T(w - w_0)}{w - w_0}$
Impulso de Gauss $Ae^{-a^2 t^2}$ 	$S(w) = \frac{A}{a} \sqrt{\pi} e^{-\frac{w^2}{2}}$
Impulso coseno $A \cos(w_0 t) w_0 = \frac{2\pi}{T}$ 	$S(w) = \frac{AT}{\pi} \frac{\cos\left(\frac{T}{4}w\right)}{1 - \left(\frac{T}{2\pi}w\right)^2}$
Impulso $\cos^2 A^2 \cos^2(w_0 t) w_0 = \frac{2\pi}{T}$ 	$S(w) = \frac{AT}{4} \frac{\text{sen}\left(\frac{T}{4}w\right)}{\left(\frac{T}{4}w\right)} \frac{1}{1 - \left(\frac{T}{4\pi}w\right)^2}$

Función tiempo $s(t)$	Densidad espectral $S(w)$
Impulso exponencial  The graph shows a function $s(t)$ on the vertical axis and time t on the horizontal axis. For $t < 0$, the function is zero. At $t = 0$, the function starts at a value A and decays exponentially as t increases. A dashed line from the point $(1/a, A/e)$ on the curve to the t-axis at $1/a$ indicates the time constant. The curve is labeled $A e^{at}$.	$S(w) = \frac{A}{jw + a}$

Transformada de Laplace

Definiciones:

$$L\{f(t)\} = F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt;$$

$$L^{-1}\{F(s)\} = f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-\infty}^{+\infty} F(s)e^{st} ds; \quad j = \sqrt{-1}$$

Reglas de operación

Linealidad	$L\{f_1(t) + f_2(t)\} = F_1(s) + F_2(s)$ $L\{c f(t)\} = c F(s)$
Teorema de traslación	$L\{f(t - a)\} = e^{-as} F(s)$
Teorema de convolución	$f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau$ $L\{f_1(t) * f_2(t)\} = F_1(s) F_2(s)$
Cambio de variable	$L\left\{\frac{1}{a} f\left(\frac{t}{a}\right)\right\} = F(as)$
Diferenciación	$L\{f'(t)\} = sF(s) - f(0)$ $L\{f''(t)\} = s^2 F(s) - sf(0) - f'(0)$ $L\{f^{(n)}(t)\} = s^n F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} f^{(k)}(0) s^{n-k-1}$
Integración	$L\left\{\int_0^t f(\tau) d\tau\right\} = \frac{1}{s} F(s)$

Tabla de transformadas de Laplace:

$f(t)$	$F(s) = L \{f(t)\}$
1. 1	$\frac{1}{s}$
2. $t^n, \quad n = 1, 2, 3, \dots$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
3. $t^{-1/2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{s}}$
4. $e^{\pm at}$	$\frac{1}{s \mp a}$
5. $\text{sen} kt$	$\frac{k}{s^2 + k^2}$
6. $\cos kt$	$\frac{s}{s^2 + k^2}$
7. $\text{senh} kt$	$\frac{k}{s^2 - k^2}$
8. $\cosh kt$	$\frac{s}{s^2 - k^2}$
9. $e^{at} f(t)$	$F(s - a)$
10. $\mu(t - a), a \geq 0$	$\frac{e^{-as}}{s}$
11. $f(t - a)U(t - a), \quad a \geq 0$	$e^{-as}F(s)$
12. $t^n f(t), \quad n = 1, 2, 3, \dots$	$(-1)^n \frac{d^n}{ds^n} F(s)$
13. $f^n(t), \quad n = 1, 2, 3, \dots$	$s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - \dots - f^{(n-1)}(0)$
14. $\int_0^t f(\tau)g(t - \tau)d\tau$	$F(s)G(s)$
15. $\delta(t - t_0), t_0 \geq 0$	e^{-st_0}
16. $t^n e^{at}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$	$\frac{n!}{(s - a)^{n+1}}$

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

17. $e^{at} \operatorname{sen} kt$	$\frac{k}{(s-a)^2 + k^2}$
18. $e^{at} \cos kt$	$\frac{s-a}{(s-a)^2 + k^2}$
19. $t \operatorname{sen} kt$	$\frac{2ks}{(s^2 + k^2)^2}$
20. $t \cos kt$	$\frac{s^2 - k^2}{(s^2 + k^2)^2}$
21. $\operatorname{sen} kt - kt \cos kt$	$\frac{2k^3}{(s^2 + k^2)^2}$
22. $\operatorname{sen} kt + kt \cos kt$	$\frac{2ks^2}{(s^2 + k^2)^2}$
23. $\operatorname{senh} kt - \operatorname{sen} kt$	$\frac{2k^3}{s^4 - k^4}$
24. $\cosh kt - \cos kt$	$\frac{2k^2 s}{s^4 - k^4}$
25. $1 - \cos kt$	$\frac{k^2}{s(s^2 + k^2)}$
26. $kt - \operatorname{sen} kt$	$\frac{k^3}{s(s^2 + k^2)}$
27. $\frac{a \operatorname{sen} bt - b \operatorname{sen} at}{ab(a^2 - b^2)}$	$\frac{1}{(s^2 + a^2)(s^2 + b^2)}$
28. $\frac{\cos bt - \cos at}{a^2 - b^2}$	$\frac{s}{(s^2 + a^2)(s^2 + b^2)}$
29. $\delta(t)$	1
30. $\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}$	$\frac{1}{s^n}$
31. $\exp(at) - 1$	$\frac{a}{s(s-a)}$

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

32. $\frac{1}{T} \exp(-t/T)$	$\frac{1}{1+Ts}$
33. $\frac{1}{2k} \sin kt$	$\frac{s}{(s^2 + k^2)^2}$
34. $\frac{1}{2k} \sin kt + \frac{t}{2} \cos kt$	$\frac{s^2}{(s^2 + k^2)^2}$
35. $\cos kt - \frac{k}{2} t \sin kt$	$\frac{s^3}{(s^2 + k^2)^2}$
36. $\frac{e^{bt} - e^{at}}{b-a}, b \neq a$	$\frac{1}{(s-a)(s-b)}$
37. $\frac{1}{k} e^{-at} \sin kt$	$\frac{1}{(s+a)^2 + k^2}$
38. $\frac{1}{\sqrt{\pi t}}$	$\frac{1}{\sqrt{s}}$
39. $2\sqrt{\frac{t}{\pi}}$	$\frac{1}{s\sqrt{s}}$
40. $-\frac{1}{2\sqrt{\pi} \bullet t^{3/2}}$	$\sqrt{s}$
41. $\frac{3}{4\sqrt{\pi} \bullet t^{5/2}}$	$s\sqrt{s}$
42. $\frac{1}{t}(e^{-at} - e^{-bt})$	$\ln \frac{s+b}{s+a}$
43. $\frac{1}{t} \sin(a \cdot t)$	$\tan^{-1}(a/s)$
44. $\frac{a}{2t\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{a^2}{4t}}$	$e^{-a\sqrt{s}}, a > 0$
45. $\operatorname{erfc} \frac{a}{2\sqrt{t}}$	$\frac{1}{s} e^{-a\sqrt{s}}, a \geq 0$
46. Función de Bessel $J_0(kt)$	$\frac{1}{\sqrt{s^2 + k^2}}$

Transformada inversa

Fracciones parciales

Sea:

$$G(s) = \frac{Q(s)}{P(s)}$$

donde:

$$P(s) = s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_0$$

Si $G(s)$ tiene polos simples

$$G(s) = \frac{K_1}{s + s_1} + \frac{K_2}{s + s_2} + \dots + \frac{K_n}{s + s_n}$$

$$K_i = \left[(s + s_i) \frac{Q(s)}{P(s)} \right]_{s=-s_i}$$

Si $G(s)$ tiene polos de orden múltiple

$$G(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} = \frac{Q(s)}{(s + s_1)(s + s_2) \dots (s + s_r)^r}$$

Siendo: $i \neq 1, 2, \dots$

$$G(s) = \underbrace{\frac{K_1}{s + s_1} + \frac{K_2}{s + s_2} + \dots + \frac{K_{n-r}}{s + s_{n-r}}}_{n - r \text{ términos de polos simples}} + \underbrace{\frac{A_r}{s + s_i} + \frac{A_{r-1}}{(s + s_i)^2} + \dots + \frac{A_1}{(s + s_i)^r}}_{r \text{ términos de polos repetidos}}$$

$$A_r = \left[(s + s_i)^r G(s) \right]_{s=-s_i}$$

$$A_{r-1} = \frac{d}{ds} \left[(s + s_i)^r G(s) \right]_{s=-s_i}$$

$$A_{r-2} = \frac{1}{2!} \frac{d^2}{ds^2} \left[(s + s_i)^r G(s) \right]_{s=-s_i}$$

$$A_1 = \frac{1}{(r-1)!} \frac{d^{r-1}}{ds^{r-1}} \left[(s + s_i)^r G(s) \right]_{s=-s_i}$$

Probabilidad y estadística

Parámetro	Estimador puntual	Intervalo de confianza (1-α) 100%
Media μ		
(varianza σ^2 conocida)	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$	$\bar{X} - z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Varianza σ^2 (de una distribución normal)		
	$S_{n-1}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$	$\frac{(n-1)s_{n-1}^2}{x_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s_{n-1}^2}{x_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}^2}$

Desviación estándar de distribución de medias

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Valor promedio (media)

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

Media de medias

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_j}{m}$$

Intervalo o rango de valores

$$R = V_{\max} - V_{\min}$$

Media de rangos

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j}{m}$$

Hipótesis nula

$$H_0: \mu = \mu_0, \quad \sigma^2 \text{ conocida}$$

$$H_0: \mu = \mu_0, \quad \sigma^2 \text{ desconocida}$$

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

Estadístico de prueba

$$Z_0 = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S_{n-1}}{\sqrt{n}}}$$

$$\chi_0^2 = \frac{(n-1)S_{n-1}^2}{\sigma_0^2}$$

Regresión lineal

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

$$\beta_0 = y - \beta_1 x$$

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}$$

Coefficiente de correlación de la muestra

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n y_i (x_i - \bar{x})}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}}$$

Permutaciones

$$P_r^n = \frac{n!}{(n-r)!}$$

Combinaciones

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

Permutaciones con objetos similares

$$P_{n_1, n_2, \dots, n_k}^n = \frac{n!}{n_1! n_2! \dots n_k!}$$

Probabilidad condicional

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Teorema de Bayes

$$P(B_k|A) = \frac{P(B_k)P(A|B_k)}{\sum_{i=1}^N P(B_i)P(A|B_i)}$$

Valor promedio

$$a_{prom} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

donde:

a_{prom} = valor promedio

a_n = valor de cada lectura

n = número de lecturas

Desviación estándar y varianza

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n - 1}}$$

donde:

σ = desviación estándar

d_i = desviación de la lectura i -ésima con respecto al valor promedio

La varianza V es el valor de la desviación estándar σ elevado al cuadrado

Distribución gaussiana

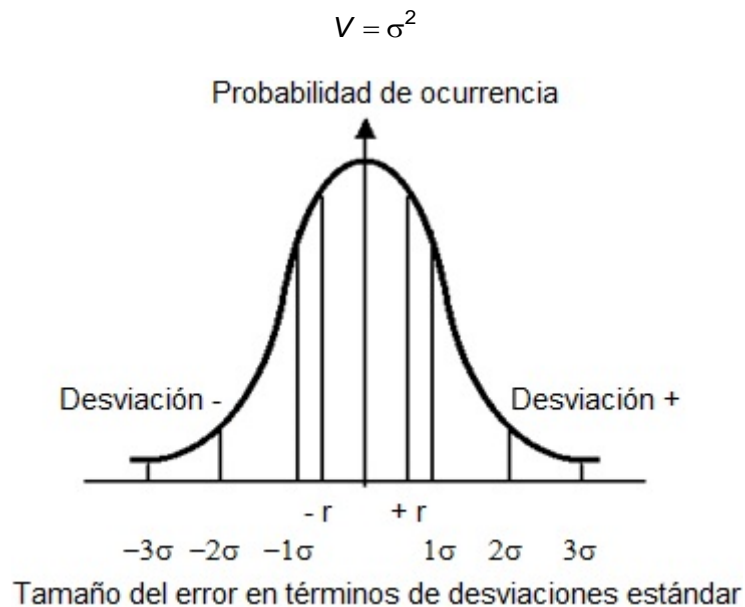
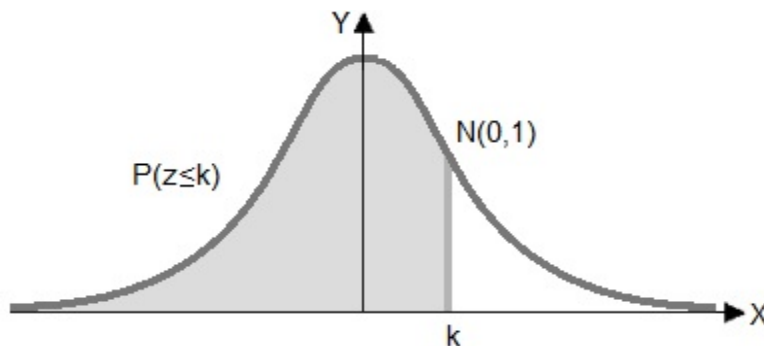


Tabla de distribución de probabilidad normal estándar



z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.516	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.648	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.67	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.695	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.719	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.758	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.791	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.834	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.877	0.879	0.881	0.883
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.898	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.937	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.975	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.983	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.985	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.989
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.992	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.994	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.996	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.997	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.998	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.999	0.999
3.1	0.999	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Modelos probabilísticos comunes

Nombre	Distribución	Rango	Media	Varianza	Función generatriz de momentos
Binomial	$\binom{n}{x} p^x q^{n-x}$	$x = 0, 1, \dots, n$	np	npq	$(q + pe^\theta)^n$
Geométrica	pq^{x-1}	$x = 1, 2, \dots$	$\frac{1}{p}$	$\frac{q}{p^2}$	$\frac{pe^\theta}{1 - qe^\theta}$
De Pascal (Binomial negativa)	$\binom{x-1}{r-1} p^r q^{x-r}$	$x = r, r+1, \dots$	$\frac{r}{p}$	$\frac{rq}{p^2}$	$\left(\frac{pe^\theta}{1 - qe^\theta}\right)^r$
De Poisson	$\frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$	$x = 0, 1, 2, \dots$	λt	λt	$e^{\lambda t(e^\theta - 1)}$
Uniforme	$\frac{1}{b-a}$	$a \leq x \leq b$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$	$\frac{e^{b\theta} - e^{a\theta}}{(b-a)\theta}$
Exponencial	$\lambda e^{-\lambda x}$	$x \geq 0$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$	$\frac{\lambda}{\lambda - \theta}$
Normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$	$-\infty < x < \infty$	μ	σ^2	$e^{\mu\theta + \frac{1}{2}\sigma^2\theta^2}$
Ji-cuadrada		$x > 0$	v	$2v$	$(1 - 2\theta)^{-\frac{v}{2}}$
t de Student		$-\infty < x < \infty$	0	$\frac{v}{v-2}, v > 2$	
F (de Fisher)		$0 < x < \infty$	$\frac{v_2}{v_2 - 2}, v_2 > 2$	$\frac{2v_2^2(v_1 + v_2 - 2)}{v_1(v_2 - 2)^2(v_2 - 4)}, v_2 > 4$	
Erlang	$\frac{\lambda(\lambda t)^{r-1} e^{-\lambda t}}{(r-1)!}$	$t > 0$	$\frac{r}{\lambda}$	$\frac{r}{\lambda^2}$	

Física

Mecánica

Centroides

Arco de circunferencia

$$y = \frac{r(\operatorname{sen} \alpha) \left(180^\circ\right)}{\pi \left(\alpha^\circ\right)} = \frac{rs}{b}$$

Triángulo

$$y = \frac{1}{3}h$$

Sector de círculo

$$y = \frac{2r(\operatorname{sen} \alpha) \left(180^\circ\right)}{3\pi \left(\alpha^\circ\right)} = \frac{2rs}{3b}$$

Trapezio

$$y = \frac{h}{3} \frac{a + 2b}{a + b}$$

Segmento de corona circular

$$y = \frac{2}{3} \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\alpha}$$

$$y = \frac{2}{3} \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \frac{s}{b}$$

Segmento de círculo

$$y = \frac{s^3}{12A}$$

Estática

Fuerza aplicada paralelamente al plano de deslizamiento

Fricción estática

$$\begin{aligned}F_{f1} &= -F_1 = G \tan \phi_1 \\N &= -G \\C &< \phi_1 (\text{variable}) < \phi_0\end{aligned}$$

Valor límite

$$\begin{aligned}F_{f0} &= -F_0 = G \tan \phi_0 \\N &= -G \\\mu_0 &= \tan \phi_0 > \mu \\\phi_0 &= \text{constante} > \phi\end{aligned}$$

Fricción dinámica

$$\begin{aligned}F_f &= -F = G \tan \phi \\N &= -G \\\mu &= \tan \phi > \mu_0 \\\phi &= \text{constante} > \phi_0\end{aligned}$$

Fuerza aplicada oblicuamente respecto al plano de deslizamiento

$$F = G \frac{\mu_0}{\sin \alpha - \mu_0 \cos \alpha} = G \frac{\sin \phi_0}{\sin(\alpha - \phi_0)}$$

Rozamiento en un plano inclinado

$$\tan \alpha = \tan \phi = \mu$$

Fricción de chumaceras

De carga radial

$$M_1 = \mu_r r F$$

De carga axial

$$M_f = \mu_\alpha \frac{r_1 + r_2}{2} F$$

Fricción rodante

Rodamiento de un cilindro macizo

$$F = \frac{f}{r} N \cong \frac{f}{r} G$$

Condición de rodamiento

$$F_f < \mu_0 N$$

Movimiento de una placa sobre rodillos

$$F = \frac{(f_1 + f_2)G_1 + nf_2G_2}{2r}$$

Si $f_1 = f_2 = f$ y $nG_2 < G_1$

$$F = \frac{f}{r} G_1$$

Fricción en cables

Fuerza de tracción para subir la carga G

$$F_1 = e^{\mu_0} G, \quad F_f = (e^{\mu_0} - 1)G$$

Fuerza de tracción para bajar la carga G

$$F_2 = e^{-\mu_0} G, \quad F_f = (1 - e^{-\mu_0})G$$

Transmisión de banda o correa

$$F_p = \frac{M_i}{r} \quad \text{y} \quad F_p = F$$

En movimiento

$$F_0 = \frac{F_p}{e^{\mu_0} - 1}$$

$$F_1 = F_p \frac{e^{\mu_0}}{e^{\mu_0} - 1}$$

$$F_a = F_p \frac{e^{\mu_0} + 1}{e^{\mu_0} - 1}$$

En reposo

$$F_0 = F_1 = \frac{F_a (e^{\mu_0} + 1)}{2(e^{\mu_0} - 1)}$$

$$F_a = F_p \frac{e^{\mu_0} + 1}{e^{\mu_0} - 1}$$

Cinemática

$$F = xi + yj + zk$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Características cinemáticas de puntos y segmentos rectilíneos

Conceptos lineales y angulares¹

Se tiene que son conceptos lineales:

$$r = \text{posición}, v = \text{velocidad}, a = \text{aceleración}, t = \text{tiempo}$$

Se tiene que son conceptos angulares:

$$\theta = \text{posición}, w = \text{velocidad}, \alpha = \text{aceleración}, t = \text{tiempo}$$

Expresión que relaciona ambos conceptos:

$$v = wxr$$

Conceptos correspondientes a puntos y partículas en movimiento

Concepto	Símbolo(s) más común(es)	Relación con otra(s) función(es)
Vector de posición (lineal)	r	
Velocidad (lineal)	$\square$ v, r	$v = \frac{dr}{dt}$
Aceleración (lineal)	$\square\square$ a, r	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}$

Conceptos correspondientes a segmentos rectilíneos que modifican su dirección durante el movimiento, y de cuerpos rígidos que contengan ese tipo de segmentos

Concepto	Símbolo(s) más común(es)	Relación con otra(s) función(es)
Vector de posición (angular)	θ	
Velocidad (angular)	$\square$ w, θ	$w = \frac{d\theta}{dt}$
Aceleración (angular)	$\square\square$ α, θ	$\alpha = \frac{dw}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

¹ Por simplicidad se omite la dependencia del tiempo en las funciones. Por ejemplo: $v(t) \equiv V$.

Componentes cartesianas de los vectores de posición, velocidad y aceleración lineales para movimientos en el espacio, en un plano y rectilíneos.

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

$$\mathbf{v} = \dot{\mathbf{r}} = \dot{x}\mathbf{i} + \dot{y}\mathbf{j} + \dot{z}\mathbf{k}$$

$$\mathbf{a} = \ddot{\mathbf{r}} = \ddot{x}\mathbf{i} + \ddot{y}\mathbf{j} + \ddot{z}\mathbf{k}$$

Entonces, si P se mueve en el plano xy tenemos:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$$

$$\mathbf{v} = \dot{\mathbf{r}} = \dot{x}\mathbf{i} + \dot{y}\mathbf{j}$$

$$\mathbf{a} = \ddot{\mathbf{r}} = \ddot{x}\mathbf{i} + \ddot{y}\mathbf{j}$$

Si P realiza un movimiento rectilíneo cualquiera en el eje x se tienen:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x\mathbf{i}$$

$$\mathbf{v} = \dot{\mathbf{r}} = \dot{x}\mathbf{i}$$

$$\mathbf{a} = \ddot{\mathbf{r}} = \ddot{x}\mathbf{i}$$

Relaciones entre conceptos lineales y angulares.

$$\mathbf{a} = \omega(\omega\mathbf{r}) + \alpha\mathbf{r}$$

Cinemática del cuerpo rígido

$$\mathbf{v} = \mathbf{R} + \omega \times \mathbf{r}_p$$

$$\mathbf{a} = \dot{\mathbf{R}} + \alpha \times \mathbf{r}_p + \omega \times (\omega \times \mathbf{r}_p)$$

Ecuaciones aplicables a cualquier tipo de movimiento del cuerpo rígido.

Centro y eje instantáneo de rotación.

$$\mathbf{v} = \omega \Gamma$$

donde Γ es un vector perpendicular al eje instantáneo de rotación.

Primeros momentos de la masa de un sistema de partículas.

Con respecto a los planos xy , xz , yz tenemos:

$$M_{xy} = \sum_{i=1}^n m_i z_i, \quad M_{xz} = \sum_{i=1}^n m_i y_i, \quad M_{yz} = \sum_{i=1}^n m_i x_i$$

Primeros momentos de la masa de un cuerpo rígido.

$$M_{xy} = \int_V z dM, \quad M_{xz} = \int_V y dM, \quad M_{yz} = \int_V x dM$$

Ecuaciones escalares de centro de masa.

$$M_{xc} = \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad M_{yc} = \sum_{i=1}^n m_i y_i, \quad M_{zc} = \sum_{i=1}^n m_i z_i$$

Para cuerpos rígidos tenemos:

$$M_{xc} = \int_V x dM, \quad M_{yc} = \int_V y dM, \quad M_{zc} = \int_V z dM$$

Momentos de inercia de la masa de un cuerpo rígido.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= M M_{xz} + M M_{xy} \\ I_{yy} &= M M_{yz} + M M_{xy} \\ I_{zz} &= M M_{yz} + M M_{xz} \end{aligned}$$

Dinámica de la partícula

Ecuaciones de movimiento

$$F = ma$$

Trabajo y energía

$$dT = p \cdot dx$$

Energía cinética y su relación con el trabajo realizado por la fuerza resultante que actúa sobre una partícula

$$EC = \frac{1}{2} m v^2$$

Impulso y cantidad de movimiento lineales

$$\int_2^1 F dt = (mv)_2 - (mv)_1$$

Ecuación del impulso y la cantidad de movimiento lineales

Ecuación diferencial de movimiento para sistemas de partículas

$$F = \sum_{i=1}^n m_i a_i$$

$$F = Ma_c$$

$$\int_1^2 F dt = \left(\sum_{i=1}^n m_i v_i \right)_2 - \left(\sum_{i=1}^n m_i v_i \right)_1$$

Ecuación de impulso y cantidad de movimiento lineales para sistemas de partículas

Principio de la conservación de la cantidad de movimiento lineal para sistemas de partículas.

$$\left(\sum_{i=1}^n m_i v_i \right)_2 - \left(\sum_{i=1}^n m_i v_i \right)_1 = 0$$

Ecuación para obtener la cantidad de movimiento angular de un cuerpo rígido.

$$H_{cc} = I_{cc} \omega$$

Ecuación para obtener la suma de los momentos de los elementos mecánicos que actúan sobre un cuerpo rígido.

$$M_{cc} = I_{cc} \alpha$$

Momento de un sistema de fuerzas y/o pares que actúan sobre un cuerpo, con respecto el eje CC.

$$M_{cc} = \sum_{i=1}^n (p_i * F_i)$$

Primera forma de la ecuación del trabajo y la energía para un cuerpo rígido que realiza un movimiento plano general.

$$\int_1^2 \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i = \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} m_j v_j^2 - \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} m_j v_{j1}^2, \quad \Delta\theta_j = \frac{1}{2} M V_c^2 + \frac{1}{2} I_{cc} \omega^2$$

Ecuación del impulso y la cantidad de movimiento angulares.

$$\int_1^2 M_{cc} dt = I_{cc} (\omega_2 - \omega_1)$$

Modelo matemático correspondiente a las vibraciones libres con un grado de libertad.

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = 0 \text{ con } \omega_n^2 = \text{cte}$$

Modelo matemático correspondiente a las vibraciones forzadas con un grado de libertad.

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = \frac{F_e}{m}$$

donde $\omega_n^2 = \text{cte}$.

Trabajo, energía y conservación de la energía

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

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

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

P : potencia

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

η : eficiencia

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

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

K : energía cinética

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

V : energía potencial

$$V(y) = mgy$$

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

Impulso e ímpetu

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

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

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad p : \text{ímpetu}$$

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = \int \vec{F} dt \quad \Delta \vec{p} : \text{impulso}$$

Electricidad y magnetismo

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \left(\frac{\vec{r}}{r} \right) \quad |\vec{F}| = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \vec{r} = r_1 - r_2$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot \vec{dA} \quad \epsilon_0 \quad \Phi_E : \text{flujo eléctrico}$$

$$V = k \frac{q}{r} \quad V : \text{potencial electrostático}$$

$$V_b - V_a = \frac{U_b - U_a}{q} = -\frac{W_{ab}}{q} = -\int_a^b \vec{E} \cdot \vec{dA}$$

$$U = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{i-1} \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} \quad U : \text{energía potencial electrostática}$$

Capacitancia

$$q = CV \quad C : \text{capacitancia}$$

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad \text{Capacitor de placas paralelas}$$

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad \epsilon = k\epsilon_0 \quad k : \text{Constante dieléctrica}$$

$$C = k\epsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln(b/a)} \quad \text{Capacitor cilíndrico}$$

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV \quad U: \text{energía almacenada en un capacitor}$$

$$u = \frac{1}{2} k\epsilon_0 E^2 \quad u: \text{densidad de energía}$$

Corriente, resistencia y fuerza electromagnética

$$i = \frac{dq}{dt} \quad i: \text{corriente eléctrica}$$

$$i = nqvA$$

$$j = \frac{i}{A} = \sum_i n_i q_i v_i \quad j: \text{densidad de corriente, } A: \text{área}$$

$$\rho = \frac{E}{j} \quad \rho: \text{resistividad}$$

$$R = \frac{V}{i} = \rho \frac{l}{A} \quad R: \text{resistencia}$$

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta t) \quad \text{Variación de } R \text{ con la temperatura}$$

$$V_{ab} = \sum IR - \sum \varepsilon$$

$$\sum i_{ent} = \sum i_{sal}$$

$$\sum \text{Elevaciones de potencial} = \sum \text{Caídas de potencial} \quad \sum v_i = 0$$

$$P = Vi = Ri^2 = \frac{V^2}{R} \quad P: \text{potencia eléctrica}$$

Magnetismo

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \vec{v}: \text{velocidad}, \quad \vec{B}: \text{campo magnético}$$

$$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B} \quad \vec{l}: \text{elemento de longitud}$$

$$\tau = NiAB\sin\theta$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad r: \text{distancia}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

$$B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r} \quad N: \text{número de vueltas}$$

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \sin\theta d\theta \quad r: \text{radio}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \varepsilon: \text{fuerza electromagnética}$$

$$\varepsilon = -vBl$$

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$$

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Equivalencias

Longitud

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

Masa

	Kg	uma	lb
1 kg	1	6.022×10^{26}	2.205
1 uma	1.661×10^{-27}	1	3.662×10^{-27}
1 lb	0.4536	2.732×10^{26}	1

Fuerza

	dina	N	lb _f	kg _f
1 dina	1	10^{-5}	2.248×10^{-6}	1.020×10^{-6}
1 N	10^5	1	0.2248	0.1020
1 lb _f	4.448×10^5	4.448	1	0.4536
1 kg _f	9.807×10^5	9.807	2.205	1

Presión

	atm	mm Hg	Pa	bar
1 atm	1	760	1.013×10^5	1.013
1 mm Hg	1.316×10^{-3}	1	133.3	1.333×10^{-3}
1 Pa	9.869×10^{-6}	7.501×10^{-3}	1	10^{-5}
1 bar	0.987	750.062	10^5	1

Energía, trabajo, calor

	Btu	HP·h	J	cal	kWh	eV
1 Btu	1	3.929×10^{-4}	1055	252	2.930×10^{-4}	6.585×10^{21}
1 HP·h	2545	1	2.385×10^6	6.413×10^5	0.7457	1.676×10^{25}
1 J	9.481×10^{-4}	3.725×10^{-7}	1	0.2389	2.778×10^{-7}	6.242×10^{18}
1 cal	3.969×10^{-3}	1.560×10^{-6}	4.186	1	1.163×10^{-6}	2.613×10^{19}
1 kWh	3413	1.341	3.600×10^6	8.600×10^5	1	2.247×10^{25}
1 eV	1.519×10^{-22}	5.967×10^{-26}	1.602×10^{-19}	3.827×10^{-20}	4.450×10^{-26}	1

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

$$1 \text{ rpm} = 6.283 \text{ rad/min}$$

Química

Constantes

Carga del electrón = $-1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$
Carga del protón = $1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masa electrón = $9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masa protón = $1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Constante de Boltzmann = $1.3805 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Constante de Planck = $6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Constante de Avogadro = $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante gravitacional $G = 6.67384 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
Constante dieléctrica $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
Constante de permeabilidad = $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} = 1.2566 \times 10^{-6} \text{ H/m}$
Electrón-volt (eV) = $1.6021 \times 10^{-19} \text{ J}$
Radio medio de la Tierra = $6.378 \times 10^6 \text{ m}$
Distancia de la Tierra a la Luna = $3.844 \times 10^8 \text{ m}$
Masa de la Tierra = $5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$
Masa de la Luna = $7.349 \times 10^{22} \text{ kg}$
Aceleración en la superficie de la:
 Luna 1.62 m/s^2
 Tierra $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 $\rho_{\text{Cu}} = 1.71 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
 $\rho_{\text{Al}} = 2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
 $\rho_{\text{Ag}} = 1.62 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
 $\rho_{\text{Fe}} = 9.71 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
 $\delta_{\text{Cu}} = 8.96 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
 $\delta_{\text{Al}} = 2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
 $\delta_{\text{madera}} = 0.6 - 0.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Tabla Periódica de los elementos

grupo																		18																	
I																		VIII																	
1	1.00797 -252.7 -259.2 0.071 ¹ H Hidrógeno																	2	4.0026 -268.9 -269.7 0.126 ¹ He Helio																
2	3 6.941 1330 180.5 0.53 ^{1s} 2s ² Li Litio	4	9.0122 2770 1227 1.85 ^{1s} 2s ² Be Berilio																																
3	11 22.9898 892 97.8 0.97 [Ne]3s ¹ Na Sodio	12	24.305 1107 650 1.74 [Ne]3s ² Mg Magnesio																																
4	19 39.098 760 63.7 0.86 [Ar]4s ¹ K Potasio	20	40.08 1440 838 1.55 [Ar]4s ² Ca Calcio	21	44.956 2730 1539 3.0 [Ar]3d ¹ 4s ² Sc Escandio	22	47.90 3260 1668 4.51 [Ar]3d ² 4s ² Ti Titanio	23	50.942 3450 1900 4.51 [Ar]3d ³ 4s ² V Vanadio	24	51.996 2645 1875 7.19 [Ar]3d ⁵ 4s ¹ Cr Cromo	25	54.938 2150 1245 7.43 [Ar]3d ⁵ 4s ¹ Mn Manganeso	26	55.847 2150 1356 7.86 [Ar]3d ⁶ 4s ² Fe Hierro	27	58.93 2730 1453 8.9 [Ar]3d ⁷ 4s ² Co Cobalto	28	58.71 2730 1453 8.9 [Ar]3d ⁸ 4s ² Ni Níquel	29	63.54 2595 1083 8.96 [Ar]3d ⁹ 4s ¹ Cu Cobre	30	65.37 906 419.5 7.14 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² Zn Zinc	31	69.72 2237 29.8 5.91 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹ Ga Galio	32	72.59 2830 93.4 5.32 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ² Ge Germanio	33	74.922 613 217 5.72 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³ As Arsénico	34	78.96 685 217 4.79 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴ Se Selenio	35	79.909 58 -7.2 3.1 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵ Br Bromo	36	83.80 -152 -15.7 3.6 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ Kr Cripton
5	37 85.47 38.9 1.53 [Kr]5s ¹ Rb Rubidio	38	87.62 1380 76 2.6 [Kr]5s ² Sr Estroncio	39	89.906 2927 1509 4.47 [Kr]4d ⁵ 5s ² Y Itrio	40	91.22 3580 1852 6.49 [Kr]4d ⁴ 5s ² Zr Circonio	41	92.906 3300 2468 8.4 [Kr]4d ⁵ 5s ¹ Nb Niobio	42	95.94 4900 2610 11.0 [Kr]4d ⁴ 5s ¹ Mo Molibdeno	43	(97) 4900 2500 12.2 [Kr]4d ⁵ 5s ² Tc Tecnecio	44	101.07 4900 1966 12.4 [Kr]4d ⁵ 5s ¹ Ru Rutenio	45	102.905 4500 1966 12.4 [Kr]4d ⁵ 5s ¹ Rh Rodio	46	106.4 3980 1552 12.0 [Kr]4d ⁶ 5s ¹ Pd Paladio	47	107.87 2210 960.8 10.5 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹ Ag Plata	48	112.40 2210 320.9 7.31 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² Cd Cadmio	49	114.82 2000 156.2 7.31 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹ In Indio	50	118.69 2270 231.9 7.30 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ² Sn Estañio	51	121.75 1380 630.5 6.62 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³ Sb Antimonio	52	127.60 989.8 449.5 6.24 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴ Te Teluro	53	126.904 583 113.7 4.94 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵ I Yodo	54	131.30 -104.0 -111.9 3.06 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶ Xe Xenón
6	55 132.905 690 28.7 1.90 [Xe]6s ¹ Cs Cesio	56	137.34 1640 71.5 3.14 [Xe]6s ² Ba Bario	57	174.97 3327 2222 9.84 [Xe]4f ¹ 4s ¹ 6s ² Lu Lutecio	58	178.49 5400 1652 13.1 [Xe]4f ¹⁴ 5s ² 6s ² Hf Hafnio	59	180.948 7200 2996 16.61 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ² Ta Tántalo	60	183.85 5900 3180 21.0 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² W Volframio	61	186.2 5500 3180 22.6 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² Re Renio	62	190.2 5300 2454 22.5 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ¹ Os Osmio	63	192.22 4530 1769 21.4 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ¹ Ir Iridio	64	195.09 2970 1063 19.3 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ¹ Pt Platino	65	196.967 357 1063 16.6 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ Au Oro	66	200.59 380 327.4 9.8 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² Hg Mercurio	67	204.37 1457 303 11.85 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹ Tl Talio	68	207.19 1725 327.4 9.8 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ² Pb Plomo	69	208.98 1560 271.3 9.8 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³ Bi Bismuto	70	209 1560 271.3 9.8 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴ Po Polonio	71	(210) 302 -71 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵ At Astato	72	(210) -61.8 -71 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ Rn Radón
7	87 (223) -27 7.0 [Rn]7s ¹ Fr Francio	88 (226) -7 5.0 [Rn]7s ² Ra Radio	103 (262) -7 [Rn]4f ¹⁴ 6d ¹ 7s ² Lr Lawrencio	104 (261) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ² 7s ² Rf Rutherfordio	105 (262) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ³ 7s ² Db Dubnio	106 (263) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ² Sg Seaborgio	107 (262) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ² Bh Bohrio	108 (265) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ² Hs Hassio	109 (266) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ² Mt Meitnerio	110 (269) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ² Uun Ununnilio	111 (272) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ² Uuu Unununio	112 (277) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² Uub Ununbio	113 -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹ Uut Ununtrio	114 (285) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ² Uuq Ununcuadio	115 -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³ Unp Ununpentio	116 (289) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴ Uuh Ununhexio	117 -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵ Uus Ununseptio	118 (293) -7 [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶ Uuo Ununoctio																	

Notación:

Número atómico	1	1.00797	Peso atómico	1.00797
Punto de ebullición (°C)	-252.7		Valencia	1
Punto de fusión (°C)	-259.2		Símbolo	H
Densidad (g/ml)	0.071		Estructura atómica	1s ¹
			Nombre	Hidrógeno

Lantánidos *

Actínidos *

Referencias:

No metales	Alcalinos	Alcalinotérreos	Metales de transición	Metales del bloque p	Metaloides	Halógenos	Gases nobles
------------	-----------	-----------------	-----------------------	----------------------	------------	-----------	--------------

(1) base en peso atómico del carbono 12

() Indica el más estable o el isótopo más conocido

El autor original del trabajo es el Ingeniero Alejandro Segade Reyes, y lo publica bajo licencia GNU

Teoría de circuitos eléctricos

Notación

Símbolo	Descripción	Unidad
B	Susceptancia	[Siemen, S]
C	capacitancia	[Farad, F]
E	fuentes de tensión	[Volt, V]
f	frecuencia	[Hertz, Hz]
G	conductancia	[Siemen, S]
h	operador-h	[1∠120°]
I-j	Corriente-operador imaginario j	[Ampere, A]- [1∠90°]
L	inductancia	[Henry, H]
P	potencia activa	[Watts, W]
Q	potencia reactiva	[VAR]
Q	factor de calidad	Adimensional
R	resistencia	[Ohm, Ω]
S	potencia aparente	[Volt-Ampere, VA]
t	tiempo	[segundo, s]
V	caída de tensión	[Volt, V]
W	energía	[Joule, J]
X	reactancia	[Ohm, Ω]
Y	admitancia	[Siemen, S]
Z	impedancia	[Ohm, Ω]
φ	ángulo de fase	[grado, °]
ω	frecuencia angular	[rad/s]

Impedancia

La impedancia Z de una resistencia R en serie con una reactancia X es:

$$Z = R \pm jX$$

Formas rectangular y polar de la impedancia Z :

$$Z = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} \angle \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

$$Z = |Z| \angle \phi = |Z| \cos \phi + j |Z| \sin \phi$$

Adición de impedancias Z_1 y Z_2 :

$$Z_1 + Z_2 = (R_1 + jX_1) + (R_2 + jX_2) = (R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)$$

Sustracción de impedancias Z_1 y Z_2 :

$$Z_1 - Z_2 = (R_1 + jX_1) - (R_2 + jX_2) = (R_1 - R_2) + j(X_1 - X_2)$$

Multiplicación de impedancias Z_1 y Z_2 :

$$Z_1 * Z_2 = |Z_1| \angle \phi_1 * |Z_2| \angle \phi_2 = (|Z_1| * |Z_2|) \angle (\phi_1 + \phi_2)$$

División de impedancias Z_1 y Z_2 :

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{|Z_1| \angle \phi_1}{|Z_2| \angle \phi_2} = \frac{|Z_1|}{|Z_2|} \angle (\phi_1 - \phi_2)$$

En resumen:

- use la forma rectangular para adición y sustracción
- use la forma polar para multiplicación y división

Admitancia

Una impedancia Z que comprende una resistencia R en serie con una reactancia X puede convertirse en una admitancia Y que comprende una conductancia G en paralelo con una susceptancia B :

$$Y = Z^{-1} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} = G - jB$$

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

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

Usando la forma polar de la impedancia Z :

$$Y = \frac{1}{|Z| \angle \phi} = |Z|^{-1} \angle -\phi$$

$$Y = |Y| \angle -\phi = |Y| \cos \phi - j |Y| \sin \phi$$

De manera similar, una admitancia Y que comprende una conductancia G en paralelo con una susceptancia B puede convertirse en una impedancia Z que comprende una resistencia R en serie con una reactancia X :

$$Z = Y^{-1} = \frac{1}{G - jB} = \frac{G + jB}{G^2 + B^2} = \frac{G}{G^2 + B^2} + j \frac{B}{G^2 + B^2} = R + jX$$

$$R = \frac{G}{G^2 + B^2} = \frac{G}{|Y|^2}$$

$$X = \frac{B}{G^2 + B^2} = \frac{B}{|Y|^2}$$

Usando la forma polar de la admitancia Y :

$$Z = \frac{1}{|Y| \angle -\phi} = |Y|^{-1} \angle \phi$$
$$Z = |Z| \angle \phi = |Z| \cos \phi + j |Z| \sin \phi$$

La impedancia total Z_S de las impedancias $Z_1, Z_2, Z_3, \dots$ conectadas en serie es:

$$Z_S = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$

La admitancia total Y_P de las admitancias $Y_1, Y_2, Y_3, \dots$ conectadas en paralelo es:

$$Y_P = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$

En resumen:

- use impedancias cuando opere circuitos serie
- use admitancias cuando opere circuitos paralelo

Reactancia

Reactancia inductiva

La reactancia inductiva X_L de una inductancia L a una frecuencia angular ω y una frecuencia f es:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

Para una corriente sinusoidal i de una amplitud I y una frecuencia angular ω :

$$i = I \sin \omega t$$

Si la corriente sinusoidal i pasa a través de una inductancia L , la tensión v a través de la inductancia es:

$$v = L \frac{di}{dt} = \omega L I \cos \omega t = X_L I \cos \omega t$$

La corriente a través de una inductancia atrasa la tensión a través de la misma por 90° .

Reactancia capacitiva

La reactancia capacitiva X_C de una capacitancia C a una frecuencia angular ω y a una frecuencia f es:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Para una tensión sinusoidal v de amplitud V y frecuencia angular ω :

$$v = V \sin \omega t$$

Si la tensión sinusoidal v se aplica a través de una capacitancia C , la corriente i a través de la capacitancia es:

$$i = C \frac{dv}{dt} = \omega C V \cos \omega t = \frac{V \cos \omega t}{X_C}$$

La corriente a través de una capacitancia adelanta la tensión a través de la misma por 90° .

Resonancia

Resonancia serie

Un circuito serie que comprende una inductancia L , una resistencia R y una capacitancia C tiene una impedancia Z_S de:

$$Z_S = R + j(X_L - X_C)$$

donde $X_L = \omega L$ y $X_C = 1/\omega C$

En resonancia, la parte imaginaria de Z_S es cero

$$X_C = X_L$$

$$Z_{Sr} = R$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_r$$

El factor de calidad a la resonancia Q_r es:

$$Q_r = \frac{\omega_r L}{R} = \sqrt{\frac{L}{CR^2}} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{\omega_r CR}$$

Resonancia paralelo

Un circuito paralelo que comprende una inductancia L con una resistencia serie R , conectada en paralelo con una capacitancia C , tiene una admitancia Y_P de:

$$Y_P = \frac{1}{R + jX_L} + \frac{1}{-jX_C} = \frac{R}{R^2 + X_L^2} - j\left(\frac{X_L}{R^2 + X_L^2} - \frac{1}{X_C}\right)$$

donde $X_L = \omega L$ y $X_C = 1/\omega C$

En resonancia, la parte imaginaria de Y_P es cero:

$$X_C = \frac{R^2 + X_L^2}{X_L} = X_L + \frac{R^2}{X_L} = X_L \left(1 + \frac{R^2}{X_L^2}\right)$$

$$Z_{Pr} = Y_{Pr}^{-1} = \frac{R^2 + X_L^2}{R} = \frac{X_L X_C}{R} = \frac{L}{CR}$$

$$\omega_r = \sqrt{1/LC - R^2/L^2} = 2\pi f_r$$

El factor de calidad a la resonancia Q_r es:

$$Q_r = \frac{\omega_r L}{R} = \sqrt{L / CR^2 - 1} = \frac{1}{R} \sqrt{L / C - R^2}$$

Note que para los mismos valores de L, R y C, la frecuencia de resonancia en paralelo es menor que la frecuencia de resonancia en serie, pero si la relación R / L es menor entonces la frecuencia de resonancia en paralelo es cercana a la frecuencia de resonancia en serie.

Cargas reactivas y factor de potencia

Resistencia y reactancia en serie

La impedancia Z de una carga reactiva que comprende una resistencia R y una reactancia serie X es:

$$Z = R + jX = |Z| \angle \phi$$

Convirtiéndola a su admitancia equivalente Y :

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} = \frac{R}{|Z|^2} - j \frac{X}{|Z|^2}$$

Cuando una tensión V (tomada como referencia) se aplica a través de la carga reactiva Z , la corriente I es:

$$I = VY = V \left(\frac{R}{|Z|^2} - j \frac{X}{|Z|^2} \right) = \frac{VR}{|Z|^2} - j \frac{VX}{|Z|^2} = I_P - jI_Q$$

La corriente activa I_P y la corriente reactiva I_Q son:

$$I_P = \frac{VR}{|Z|^2} = |I| \cos \phi$$

$$I_Q = \frac{VX}{|Z|^2} = |I| \operatorname{sen} \phi$$

La potencia aparente S , potencia activa P y potencia reactiva Q son:

$$S = V^* I = V^* \frac{V}{Z} = \frac{|V|^2}{Z}$$

o

$$S = V^* I = Z^* I^* I = Z^* |I|^2 = \frac{|I|^2}{Y^*}$$

$$P = VI_P = \frac{I_P^2 |Z|^2}{R} = \frac{V^2 R}{|Z|^2} = |I|^2 R$$

$$Q = VI_Q = \frac{I_Q^2 |Z|^2}{X} = \frac{V^2 X}{|Z|^2} = |I|^2 X$$

El factor de potencia $\cos \phi$ y el factor reactivo $\sin \phi$ son:

$$\cos \phi = \frac{I_P}{|I|} = \frac{P}{S} = \frac{R}{|Z|}$$

$$\sin \phi = \frac{I_Q}{|I|} = \frac{Q}{S} = \frac{X}{|Z|}$$

Resistencia y reactancia en derivación (shunt)

La impedancia Z de una carga reactiva que comprende una resistencia R y una reactancia en derivación X se obtiene de:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX}$$

Convirtiéndola a su admitancia equivalente Y comprendiendo la conductancia G y la susceptancia en derivación B :

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX} = G + jB = |Y| \angle \phi$$

Cuando una tensión V (tomada como referencia) se aplica a través de la carga reactiva Y , la corriente I es:

$$I = VY = V(G + jB) = VG + jVB = I_P + jI_Q$$

La corriente activa I_P y la corriente reactiva I_Q son:

$$I_P = VG = \frac{V}{R} = |I| \cos \phi$$

$$I_Q = VB = \frac{V}{X} = |I| \sin \phi$$

La potencia aparente S, potencia activa P y potencia reactiva Q son:

$$S = V^* I = V^* \frac{V}{Z} = \frac{|V|^2}{Z}$$

o

$$S = V^* I = Z^* I^* I = Z^* |I|^2 = \frac{|I|^2}{Y^*}$$

$$P = VI_P = \frac{I_P^2}{G} = \frac{|I|^2 G}{|Y|^2} = V^2 G$$

$$Q = VI_Q = \frac{I_Q^2}{B} = \frac{|I|^2 B}{|Y|^2} = V^2 B$$

El factor de potencia $\cos \phi$ y el factor reactivo $\sin \phi$ son:

$$\cos \phi = \frac{I_P}{|I|} = \frac{P}{S} = \frac{G}{|Y|}$$

$$\sin \phi = \frac{I_Q}{|I|} = \frac{Q}{S} = \frac{B}{|Y|}$$

Potencia compleja

Cuando una potencia V causa una corriente I que circula a través de una carga reactiva Z, la potencia compleja S es:

$$S = VI^*$$

donde I^* es el conjugado de la corriente compleja I.

Carga inductiva

$$Z = R + jX_L$$

$$I = I_P - jI_Q$$

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|} \text{ (en atraso)}$$

$$I^* = I_P + jI_Q$$

$$S = P + jQ$$

Carga capacitiva

$$Z = R - jX_c$$

$$I = I_P + jI_Q$$

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|} \text{ (en adelante)}$$

$$I^* = I_P - jI_Q$$

$$S = P - jQ$$

Potencia trifásica

Para una carga balanceada conectada en estrella con una tensión de línea $V_{\text{línea}}$ y una corriente de línea $I_{\text{línea}}$:

$$V_{\text{estrella}} = \frac{V_{\text{línea}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{estrella}} = I_{\text{línea}}$$

$$Z_{\text{estrella}} = \frac{V_{\text{estrella}}}{I_{\text{estrella}}} = \frac{V_{\text{línea}}}{\sqrt{3}I_{\text{línea}}}$$

$$S_{\text{estrella}} = 3V_{\text{estrella}}I_{\text{estrella}} = \sqrt{3}V_{\text{línea}}I_{\text{línea}} = \frac{V_{\text{línea}}^2}{Z_{\text{estrella}}} = 3I_{\text{línea}}^2Z_{\text{estrella}}$$

Para una carga balanceada conectada en delta con una tensión de línea $V_{\text{línea}}$ y una corriente de línea $I_{\text{línea}}$:

$$V_{\text{delta}} = V_{\text{línea}}$$

$$I_{\text{delta}} = \frac{I_{\text{línea}}}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{\text{delta}} = \frac{V_{\text{delta}}}{I_{\text{delta}}} = \sqrt{3} \frac{V_{\text{línea}}}{I_{\text{línea}}}$$

$$S_{\text{delta}} = 3V_{\text{delta}}I_{\text{delta}} = \sqrt{3}V_{\text{línea}}I_{\text{línea}} = 3 \frac{V_{\text{línea}}^2}{Z_{\text{delta}}} = I_{\text{línea}}^2Z_{\text{delta}}$$

La potencia aparente S , potencia activa P y potencia reactiva Q están dadas por:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$P = S \cos \phi$$

$$Q = S \sen \phi$$

donde $\cos \phi$ es el factor de potencia y $\sen \phi$ es el factor reactivo

Note que la equivalencia entre cargas balanceadas conectadas en estrella y delta es:

$$Z_{\text{delta}} = 3Z_{\text{estrella}}$$

Señales con componentes armónicas

Coefficiente de distorsión armónico total

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1}$$

Factor de potencia

$$FP = \frac{\cos \phi}{\sqrt{1 + THD^2}}$$

Sistemas eléctricos de potencia

Sistema por unidad

Para cada parámetro del sistema, el valor por unidad es igual al valor real dividido por un valor base:

$$V_{PU} = \frac{V}{V_{base}}$$

$$I_{PU} = \frac{I}{I_{base}}$$

$$Z_{PU} = \frac{Z}{Z_{base}}$$

Seleccionar los valores nominales como valores base, normalmente la potencia nominal en MVA y la tensión nominal de fase en kV:

$$S_{base} = S_{nominal} = \sqrt{3}V_{linea}I_{linea}$$

$$V_{base} = V_{fase} = \frac{V_{linea}}{\sqrt{3}}$$

Los valores base para la corriente de línea en kA y la impedancia en estrella por fase en ohm/fase son:

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{3V_{base}} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{linea}}$$

$$Z_{base} = \frac{V_{base}}{I_{base}} = \frac{3V_{base}^2}{S_{base}} = \frac{V_{linea}^2}{S_{base}}$$

Note que seleccionando los valores base para cualesquiera 2 valores de S_{base} , V_{base} , I_{base} o Z_{base} fija los valores base de los 4. Note también que la ley de Ohm se satisface para cada grupo de valores reales, base y por unidad para tensión, corriente e impedancia.

Transformadores

El valor nominal de MVA del primario y secundario de un transformador es igual, sin embargo las tensiones y corrientes en el primario (subíndice 1) y en el secundario (subíndice 2) normalmente son diferentes:

$$\sqrt{3}V_{linea1}I_{linea1} = S = \sqrt{3}V_{linea2}I_{linea2}$$

Convirtiendo a valores base (estrella por fase):

$$3V_{base1}I_{base1} = S_{base} = 3V_{base2}I_{base2}$$

$$\frac{V_{base1}}{V_{base2}} = \frac{I_{base2}}{I_{base1}}$$

$$\frac{Z_{base1}}{Z_{base2}} = \left(\frac{V_{base1}}{V_{base2}} \right)^2$$

La impedancia Z_{21pu} referida al lado primario, equivalente a una impedancia Z_{2pu} en el lado secundario, es:

$$Z_{21 pu} = Z_{2 pu} \left(\frac{V_{base1}}{V_{base2}} \right)^2$$

La impedancia Z_{12pu} referida al lado secundario, equivalente a una impedancia Z_{1pu} en el lado primario, es:

$$Z_{12 pu} = Z_{1 pu} \left(\frac{V_{base2}}{V_{base1}} \right)^2$$

Note que los valores por unidad y en por ciento están relacionados por:

$$Z_{pu} = \frac{Z_{\%}}{100}$$

Componentes simétricas

En cualquier sistema trifásico, las corrientes de línea I_a , I_b e I_c pueden expresarse como la suma de los fasores de:

- un grupo de corrientes balanceadas de secuencia positiva de fase I_{a1} , I_{b1} e I_{c1} (secuencia de fase a-b-c).
- un grupo de corrientes balanceadas de secuencia negativa de fase I_{a2} , I_{b2} e I_{c2} (secuencia de fase a-c-b),
- un grupo de corrientes idénticas de secuencia cero de fase I_{a0} , I_{b0} e I_{c0} (todas en fase, sin secuencia de fase).

Las corrientes de secuencia positiva, negativa y cero se calculan de las corrientes de línea utilizando:

$$I_{a1} = \frac{I_a + aI_b + a^2I_c}{3}$$

$$I_{a2} = \frac{I_a + a^2I_b + aI_c}{3}$$

$$I_{a0} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$$

Las corrientes de secuencia positiva, negativa y cero se combinan para obtener las corrientes de línea utilizando:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} = a^2I_{a1} + aI_{a2} + I_{a0}$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} = aI_{a1} + a^2I_{a2} + I_{a0}$$

La corriente residual I_r es igual a la corriente total de secuencia cero:

$$I_r = I_{a0} + I_{b0} + I_{c0} = 3I_{a0} = I_a + I_b + I_c = I_e$$

La cual se mide utilizando 3 transformadores de corriente con los secundarios conectados en paralelo.

I_e es la corriente de falla a tierra del sistema.

Similarmente, para las tensiones fase a tierra V_{ae} , V_{be} y V_{ce} , la tensión residual V_r es igual a la tensión total de secuencia cero:

$$V_r = V_{a0} + V_{b0} + V_{c0} = 3V_{a0} = V_{ae} + V_{be} + V_{ce} = 3V_{ne}$$

La cual se mide utilizando un transformador de tensión conectado en estrella a tierra/delta abierta.

V_{ne} es la tensión del desplazamiento del neutro del sistema.

El operador “a”

El operador “a” ($1\angle 120^\circ$) es la raíz cúbica compleja de unidad:

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1\angle 120^\circ = 1\angle -240^\circ$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1\angle 240^\circ = 1\angle -120^\circ$$

Algunas propiedades útiles de “a” son:

$$1 + a + a^2 = 0$$

$$a + a^2 = -1 = 1\angle 180^\circ$$

$$a - a^2 = j\sqrt{3} = \sqrt{3}\angle 90^\circ$$

$$a^2 - a = -j\sqrt{3} = \sqrt{3}\angle -90^\circ$$

En forma matricial

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \text{ donde } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \text{ con } a = e^{j\frac{2\pi}{3}}; A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Definiciones base por unidad trifásico:

$$S_{\text{base}3\phi} = 3S_{\text{base}1\phi}$$

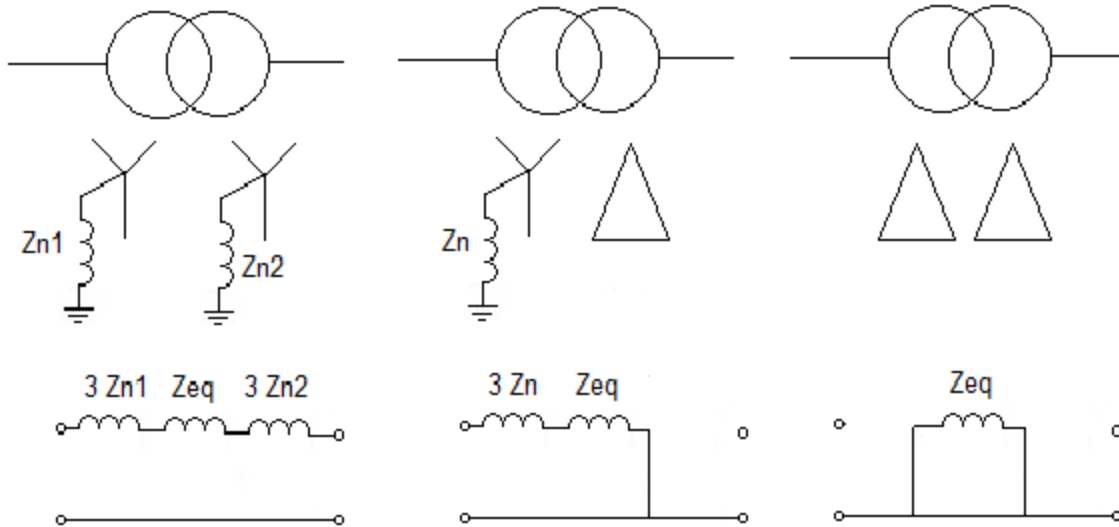
$$V_{\text{baseLN}} = \frac{V_{\text{baseLL}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{base}} = \frac{S_{\text{base}1\phi}}{V_{\text{baseLN}}} = \frac{S_{\text{base}3\phi}}{\sqrt{3}V_{\text{baseLL}}}$$

$$Z_{\text{base}} = \frac{V_{\text{baseLN}}}{I_{\text{base}}} = \frac{V_{\text{baseLN}}^2}{S_{\text{base}1\phi}} = \frac{V_{\text{baseLL}}^2}{S_{\text{base}3\phi}}$$

$$Y_{\text{base}} = \frac{1}{Z_{\text{base}}}$$

Redes de secuencia cero, despreciando la admitancia en derivación y cambiadores de fase (*phase shift*).



Corrientes de falla de secuencia cero, positiva y negativa (I_{n-0} , I_{n-1} , I_{n-2}) para una falla en bus n

Falla trifásica

$$I_{n-1} = \frac{V_F}{Z_{nn-1}}; \quad I_{n-0} = I_{n-2} = 0$$

Falla monofásica a tierra, fase a

$$I_{n-0} = I_{n-1} = I_{n-2} = \frac{V_F}{Z_{nn-0} + Z_{nn-1} + Z_{nn-2} + 3Z_F}$$

Falla bifásica, fase b y c

$$I_{n-1} = I_{n-2} = \frac{V_F}{Z_{nn-1} + Z_{nn-2} + Z_F}; \quad I_{n-0} = 0$$

Falla bifásica a tierra, fase b y c

$$I_{n-1} = \frac{V_F}{Z_{nn-1} + \frac{Z_{nn-2}(Z_{nn-0} + 3Z_F)}{Z_{nn-2} + Z_{nn-0} + 3Z_F}}$$

$$I_{n-2} = -I_{n-1} \frac{Z_{nn-0} + 3Z_F}{Z_{nn-2} + Z_{nn-0} + 3Z_F}$$

$$I_{n-0} = -I_{n-1} \frac{Z_{nn-2}}{Z_{nn-2} + Z_{nn-0} + 3Z_F}$$

Z_{nn-0} , Z_{nn-1} y Z_{nn-2} note el elemento (n,n) de matriz de impedancia de bus de secuencia cero, positiva y negativa Z_{bus} .

Si las corrientes de prefalla se desprecian, las tensiones de bus durante la falla en el bus n.

$$V_{bus} = V_F - Z_{bus} I_F$$

donde I_F tiene un elemento no cero I_n - la corriente de falla que deja el bus n.

Corriente de cortocircuito eficaz (rms) de máquina síncrona

Simétrica (CA)

$$I_{CA}(t) = E_g \left[\left(\frac{1}{X''_d} - \frac{1}{X'_d} \right) e^{-t/T''_d} + \left(\frac{1}{X'_d} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-t/T'_d} + \frac{1}{X_d} \right]$$

Asimétrica (CA + CD)

$$I_{rms(t)} = \sqrt{I_{CA}^2(t) + I_{CD}^2(t)}$$

Asimétrica (CA + CD máxima)

$$I_{rms(t)} = \sqrt{I_{CA}^2(t) + \left[\sqrt{2} I'' e^{-t/T_A} \right]^2}$$

donde:

$$I'' = \frac{E_g}{X''_d}$$

Generador síncrono con rotor de polos salientes

$$P_e(\delta) = \frac{E_q V}{X_d} \sin \delta + \frac{V^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta$$

$$Q_e(\delta) = \frac{E_q V}{X_d} \cos \delta - V^2 \left(\frac{\cos^2 \delta}{X_q} + \frac{\sin^2 \delta}{X_d} \right)$$

Solución Newton-Raphson de $y=f(x)$, iteración de i :

$$x(i+1) = x(i) + J^{-1}(i) \{y - f[x(i)]\}$$

Matriz de elementos

$$J_{mn}(i) = \left. \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \right|_{x=x(i)}$$

Potencia compleja inyectada al bus k calculada utilizando la matriz de admitancias de bus, vector de tensión de bus:

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \Rightarrow \begin{cases} P_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_k) \\ Q_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_k) \end{cases}$$

donde:

$$Y_{kn} e^{j\theta_{kn}} = Y_{bus}(k,n)$$

$$V_k e^{j\delta_k} = V_{bus}(k)$$

Δ -Y transformación

$$Z_{AB} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_C} \quad Z_A = \frac{Z_{AB} Z_{AC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}$$

$$Z_{BC} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_A} \quad Z_B = \frac{Z_{AB} Z_{BC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}$$

$$Z_{AC} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_B} \quad Z_C = \frac{Z_{AC} Z_{BC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}$$

Cálculo de fallas

Los diferentes tipos de fallas de cortocircuito que ocurren en un sistema de potencia son:

- monofásica a tierra
- bifásica
- bifásica a tierra
- trifásica
- trifásica a tierra

Para cada tipo de falla de cortocircuito que ocurre en un sistema sin carga:

- la primera columna de cada tabla establece las condiciones de la tensión de fase y la corriente de línea en la falla
- la segunda columna de cada tabla establece las condiciones de tensión y corriente de secuencia “a” de fase en la falla
- la tercera columna de cada tabla proporciona la fórmula para las corrientes de secuencia “a” de fase en la falla
- la cuarta columna de cada tabla proporciona la fórmula para la corriente de falla y las corrientes de línea resultantes

Por convención, las fases falladas se seleccionan por falla simétrica con respecto a la fase de referencia “a”.

I_f = corriente de falla

I_e = corriente de falla a tierra

V_a = tensión de fase normal en el sitio de la falla

Z_1 = impedancia de red de secuencia positiva de fase a la falla

Z_2 = impedancia de red de secuencia negativa de fase a la falla

Z_0 = impedancia de red de secuencia cero de fase a la falla

Monofásica a tierra – falla de la fase “a” a tierra:

$V_a = 0$ $I_b = I_c = 0$ $I_f = I_a = I_e$	$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{I_a}{3}$ $V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 0$	$I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$ $I_{a2} = I_{a1}$ $I_{a0} = I_{a1}$	$I_f = 3I_{a0} = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = I_e$ $I_a = I_f = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$
---	--	--	--

Bifásica – falla de la fase “b” a la fase “c”:

$V_b = V_c$ $I_a = 0$ $I_f = I_b = -I_c$	$I_{a1} = I_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $V_{a1} = V_{a2}$	$I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2}$ $I_{a2} = -I_{a1}$ $I_{a0} = 0$	$I_f = -j\sqrt{3}I_{a1} = -j\sqrt{3} \frac{V_a}{Z_1 + Z_2}$ $I_b = I_f = -j\sqrt{3} \frac{V_a}{Z_1 + Z_2}$ $I_c = -I_f = j\sqrt{3} \frac{V_a}{Z_1 + Z_2}$
--	--	--	---

Bifásica a tierra – falla de la fase “b” y la fase “c” a tierra:

$V_b = V_c = 0$ $I_a = 0$ $I_f = I_b + I_c = I_e$	$I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0$ $V_{a1} = V_{a2} = V_{a0}$	$I_{a1} = \frac{V_a}{Z_{net}}$ $Z_{net} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}$ $I_{a2} = -I_{a1} \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0}$ $I_{a0} = -I_{a1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0}$	$I_f = 3I_{a0} = -3 \frac{V_a Z_2}{\sum Z}$ $\sum Z = Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1$ $= Z_{net} (Z_2 + Z_0)$ $I_b = \frac{I_f}{2} - j\sqrt{3}V_a \frac{\left(\frac{Z_2}{2} + Z_0\right)}{\sum Z}$ $I_c = \frac{I_f}{2} + j\sqrt{3}V_a \frac{\left(\frac{Z_2}{2} + Z_0\right)}{\sum Z}$
---	--	---	--

Trifásica (y trifásica a tierra) – falla de la fase “a” a la fase “b” a la fase “c” (a tierra):

$V_a = V_b = V_c (= 0)$ $I_a + I_b + I_c = 0 (= I_e)$ $I_f = I_a = hI_b = h^2 I_c$	$V_{a0} = V_a = (0)$ $V_{a1} = V_{a2} = 0$	$I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1}$ $I_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$	$I_f = I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1} = I_a$ $I_b = \frac{V_b}{Z_1}$ $I_c = \frac{V_c}{Z_1}$
--	---	--	--

Los valores de Z_1 , Z_2 y Z_0 se determinan cada uno respectivamente de la impedancia de red de secuencia positiva, negativa y cero por reducción de la red a una sola impedancia.

Note que la corriente de falla monofásica es mayor que la corriente de falla trifásica si Z_0 es menor que $(2Z_1 - Z_2)$.

Note también que si el sistema está conectado a tierra a través de una impedancia Z_n (llevando una corriente $3I_0$) entonces una impedancia $3Z_n$ (llevando una corriente I_0) debe incluirse en la impedancia de red de secuencia cero.

Nivel de falla trifásico

La corriente de cortocircuito trifásica simétrica I_{sc} de un sistema de potencia con tensiones de línea y fase sin carga $V_{línea}$ y V_{fase} y la impedancia de la fuente Z_s en estrella por fase es:

$$I_{sc} = \frac{V_{fase}}{Z_s} = \frac{V_{línea}}{\sqrt{3}Z_s}$$

El nivel de falla trifásico S_{sc} del sistema de potencia es:

$$S_{sc} = 3I_{sc}^2 Z_s = 3V_{fase} I_{sc} = 3 \frac{V_{fase}^2}{Z_s} = \frac{V_{línea}^2}{Z_s}$$

Note que si la relación X/R de la impedancia de la fuente Z_s (comprendiendo una resistencia R_s y una reactancia X_s) es suficientemente grande, entonces $Z_s \approx X_s$.

Transformadores

Si un transformador con un valor nominal S_T (tomada como base) y una impedancia por unidad Z_{Tpu} se alimenta de una fuente con un nivel de falla ilimitado (bus infinito), entonces la corriente de cortocircuito del secundario por unidad I_{2pu} y el nivel de falla S_{2pu} son:

$$I_{2pu} = \frac{V_{2pu}}{Z_{Tpu}} = \frac{1}{Z_{Tpu}}$$

$$S_{2pu} = I_{2pu} = \frac{1}{Z_{Tpu}}$$

Si el nivel de falla de la fuente se limita a S_S por una impedancia de la fuente por unidad Z_{Spu} (con la misma base Z_{Tpu}), entonces la corriente de cortocircuito del secundario I_{2pu} y el nivel de falla S_{2pu} se reduce a:

$$I_{2pu} = \frac{V_{2pu}}{Z_{Tpu} + Z_{Spu}} = \frac{1}{Z_{Tpu} + Z_{Spu}}$$

$$S_{2pu} = I_{2pu} = \frac{1}{Z_{Tpu} + Z_{Spu}}$$

donde: $Z_{Spu} = S_T/S_S$

Valores nominales térmicos de corto tiempo

Si un conductor que está designado para conducir una corriente de carga plena continua I_{load} se designa para conducir una corriente de falla máxima I_{lim} por un tiempo t_{lim} , entonces puede conducir una corriente de falla menor I_{fault} por un tiempo mayor t_{fault} de acuerdo con:

$$(I_{lim} - I_{load})^2 t_{lim} = (I_{fault} - I_{load})^2 t_{fault}$$

Reacomodando para I_{fault} y t_{fault} :

$$I_{fault} = (I_{lim} - I_{load}) \sqrt{\frac{t_{lim}}{t_{fault}}} + I_{load}$$
$$t_{fault} = \frac{(I_{lim} - I_{load})^2}{(I_{fault} - I_{load})^2} t_{lim}$$

Si I_{load} es menor comparada con I_{lim} y I_{fault} , entonces:

$$I_{lim}^2 t_{lim} \approx I_{fault}^2 t_{fault}$$
$$I_{fault} \approx I_{lim} \sqrt{\frac{t_{lim}}{t_{fault}}}$$
$$t_{fault} \approx \frac{I_{lim}^2}{I_{fault}^2} t_{lim}$$

Note que si la corriente I_{fault} se reduce por un factor de 2, entonces el tiempo t_{fault} se incrementa por un factor de 4.

Transformadores de instrumento (transformadores de medida)

Transformador de potencial

Para un transformador de potencial con un valor nominal de VA para S, tensión primaria nominal V_P y tensión secundaria nominal V_S , la corriente secundaria máxima $I_{S_{\max}}$, la conductancia máxima de carga del secundario $G_{B_{\max}}$ y la corriente máxima del primario $I_{P_{\max}}$ son:

$$\begin{aligned}I_{S_{\max}} &= \frac{S}{V_S} \\G_{B_{\max}} &= \frac{I_{S_{\max}}}{V_S} = \frac{S}{V_S^2} \\I_{P_{\max}} &= \frac{S}{V_P} = I_{S_{\max}} \frac{V_S}{V_P}\end{aligned}$$

Transformador de corriente

Para un transformador de corriente de medición con un valor nominal de VA para S, corriente primaria nominal I_P y corriente secundaria nominal I_S , la tensión máxima secundaria $V_{S_{\max}}$, la resistencia máxima de carga del secundario $R_{B_{\max}}$ y la tensión máxima del primario $V_{P_{\max}}$ son:

$$\begin{aligned}V_{S_{\max}} &= \frac{S}{I_S} \\R_{B_{\max}} &= \frac{V_{S_{\max}}}{I_S} = \frac{S}{I_S^2} \\V_{P_{\max}} &= \frac{S}{I_P} = V_{S_{\max}} \frac{I_S}{I_P}\end{aligned}$$

Para un transformador de corriente de protección con un valor nominal de VA para S, corriente primaria nominal I_P , corriente secundaria nominal I_S y factor límite de exactitud nominal F, la tensión nominal de referencia del secundario V_{SF} , la resistencia máxima de carga del secundario $R_{B_{\max}}$ y la tensión de referencia equivalente del primario V_{PF} son:

$$\begin{aligned}V_{SF} &= \frac{SF}{I_S} \\R_{B_{\max}} &= \frac{V_{SF}}{I_S F} = \frac{S}{I_S^2} \\V_{PF} &= \frac{SF}{I_P} = V_{SF} \frac{I_S}{I_P}\end{aligned}$$

Impedancia de medición

Si la tensión primaria V_{prim} y la corriente primaria I_{prim} se miden en un punto del sistema, entonces la impedancia del primario Z_{prim} en ese punto es:

$$Z_{prim} = \frac{V_{prim}}{I_{prim}}$$

Si la tensión medida es la tensión secundaria V_{sec} de un transformador de potencial de relación primaria/secundaria N_V y la corriente medida es la corriente secundaria I_{sec} de un transformador de corriente de relación primaria/secundaria N_I , entonces la impedancia del primario Z_{prim} se refiere a la impedancia del secundario Z_{sec} por:

$$Z_{prim} = \frac{V_{prim}}{I_{prim}} = \frac{V_{sec}}{I_{sec}} \frac{N_V}{N_I} = Z_{sec} \frac{N_V}{N_I} = Z_{sec} N_Z$$

donde: $N_Z = \frac{N_V}{N_I}$

Si la tensión (fuente) sin carga E_{prim} también se mide en el punto, entonces la impedancia de la fuente Z_{Tprim} en el punto es:

$$Z_{Tprim} = \frac{E_{prim} - V_{prim}}{I_{prim}} = \frac{E_{sec} - V_{sec}}{I_{sec}} \frac{N_V}{N_I} = Z_{Tsec} \frac{N_V}{N_I} = Z_{Tsec} N_Z$$

Corrección del factor de potencia

Si una carga inductiva con una demanda de potencia activa P tiene un factor de potencia $\cos \phi_1$ en atraso sin corregir, y se requiere tener un factor de potencia corregido del $\cos \phi_2$ atrasado, las demandas de potencia reactiva sin corregir y corregida, Q_1 y Q_2 , son:

$$Q_1 = P \tan \phi_1$$

$$Q_2 = P \tan \phi_2$$

donde: $\tan \phi_n = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi_n} - 1}$

La demanda de potencia reactiva en adelanto (capacitiva) Q_C que debe conectarse a través de la carga es:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

Las demandas de potencia aparente sin corregir y corregida, S_1 y S_2 , se relacionan por:

$$S_1 \cos \phi_1 = P = S_2 \cos \phi_2$$

Comparando las corrientes de carga corregidas y sin corregir y las demandas de potencia aparente:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2}$$

Si se requiere que la carga tenga un factor de potencia corregido unitario, Q_2 es cero y:

$$Q_C = Q_1 = P \tan \phi_1$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{S_2}{S_1} = \cos \phi_1 = \frac{P}{S_1}$$

Capacitores en derivación (shunt)

Para capacitores en derivación conectados en estrella cada uno con capacitancia $C_{estrella}$ en un sistema trifásico de tensión de línea $V_{línea}$ y frecuencia f , la demanda de potencia reactiva en adelanto $Q_{Cestrella}$ y la corriente de línea reactiva en adelanto $I_{línea}$ son:

$$Q_{Cestrella} = \frac{V_{línea}^2}{X_{Cestrella}} = 2\pi f C_{estrella} V_{línea}^2$$

$$I_{línea} = \frac{Q_{Cestrella}}{\sqrt{3} V_{línea}} = \frac{V_{línea}}{\sqrt{3} X_{Cestrella}}$$

$$C_{estrella} = \frac{Q_{Cestrella}}{2\pi f V_{línea}^2}$$

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Para los capacitores en derivación conectados en delta C_{delta} en un sistema trifásico de tensión de línea $V_{\text{línea}}$ y una frecuencia f , la demanda de potencia reactiva en adelanto $Q_{C\text{delta}}$ y la corriente de línea reactiva en adelanto $I_{\text{línea}}$ son:

$$Q_{C\text{delta}} = \frac{3V_{\text{línea}}^2}{X_{C\text{delta}}} = 6\pi f C_{\text{delta}} V_{\text{línea}}^2$$

$$I_{\text{línea}} = \frac{Q_{C\text{delta}}}{\sqrt{3} V_{\text{línea}}} = \frac{\sqrt{3} V_{\text{línea}}}{X_{C\text{delta}}}$$

$$C_{\text{delta}} = \frac{Q_{C\text{delta}}}{6\pi f V_{\text{línea}}^2}$$

Note que para la misma potencia reactiva en adelanto Q_C :

$$X_{C\text{delta}} = 3X_{C\text{estrella}}$$

$$C_{\text{delta}} = \frac{C_{\text{estrella}}}{3}$$

Capacitor serie

Para capacitores de línea en serie cada uno de capacitancia C_{serie} conduciendo una corriente de línea $I_{\text{línea}}$ en un sistema trifásico de frecuencia f , la caída de tensión V_{drop} a través de cada capacitor de línea y la demanda total de potencia reactiva en adelanto $Q_{C\text{serie}}$ del grupo de los 3 capacitores de línea son:

$$V_{\text{drop}} = I_{\text{línea}} X_{C\text{serie}} = \frac{I_{\text{línea}}}{2\pi f C_{\text{serie}}}$$

$$Q_{C\text{serie}} = \frac{3V_{\text{drop}}^2}{X_{C\text{serie}}} = 3V_{\text{drop}} I_{\text{línea}} = 3I_{\text{línea}}^2 X_{C\text{serie}} = \frac{3I_{\text{línea}}^2}{2\pi f C_{\text{serie}}}$$

$$C_{\text{serie}} = \frac{3I_{\text{línea}}^2}{2\pi f Q_{C\text{serie}}}$$

Note que el valor nominal de la potencia aparente S_{rating} del grupo de 3 capacitores de línea en serie se basa en la tensión de línea $V_{\text{línea}}$ y no en la caída de tensión V_{drop} :

$$S_{\text{rating}} = \sqrt{3} V_{\text{línea}} I_{\text{línea}}$$

Reactores

Reactores en derivación (shunt)

Para reactores en derivación conectados en estrella cada uno de inductancia $L_{estrella}$ en un sistema trifásico de tensión de línea $V_{línea}$ y frecuencia f , la demanda de potencia reactiva en atraso $Q_{L_{estrella}}$ y la corriente reactiva de línea en atraso $I_{línea}$ son:

$$Q_{L_{estrella}} = \frac{V_{línea}^2}{X_{L_{estrella}}} = \frac{V_{línea}^2}{2\pi f L_{estrella}}$$

$$I_{línea} = \frac{Q_{L_{estrella}}}{\sqrt{3} V_{línea}} = \frac{V_{línea}}{\sqrt{3} X_{L_{estrella}}}$$

$$L_{estrella} = \frac{V_{línea}^2}{2\pi f Q_{L_{estrella}}}$$

Para reactores en derivación conectados en delta cada uno de inductancia L_{delta} en un sistema trifásico de tensión de línea $V_{línea}$ y frecuencia f , la demanda de potencia reactiva en atraso $Q_{L_{delta}}$ y la corriente reactiva de línea en atraso $I_{línea}$ son:

$$Q_{L_{delta}} = \frac{3V_{línea}^2}{X_{L_{delta}}} = \frac{3V_{línea}^2}{2\pi f L_{delta}}$$

$$I_{línea} = \frac{Q_{L_{delta}}}{\sqrt{3} V_{línea}} = \frac{\sqrt{3} V_{línea}}{X_{L_{delta}}}$$

$$L_{delta} = \frac{3V_{línea}^2}{2\pi f Q_{L_{delta}}}$$

Note que para la misma potencia reactiva en atraso Q_L :

$$X_{L_{delta}} = 3X_{L_{estrella}}$$

$$L_{delta} = 3L_{estrella}$$

Reactores en serie

Para reactores de línea en serie cada uno de inductancia L_{serie} conduciendo una corriente de línea $I_{línea}$ en un sistema trifásico de frecuencia f , la caída de tensión V_{drop} a través de cada reactor de línea y la demanda total de potencia reactiva en atraso Q_{Lserie} del grupo de 3 reactores de línea son:

$$V_{drop} = I_{línea} X_{Lserie} = 2\pi f L_{serie} I_{línea}$$

$$Q_{Lserie} = \frac{3V_{drop}^2}{X_{Lserie}} = 3V_{drop} I_{línea} = 3I_{línea}^2 X_{Lserie} = 6\pi f L_{serie} I_{línea}^2$$

$$L_{serie} = \frac{Q_{Lserie}}{6\pi f I_{línea}^2}$$

Note que el valor nominal de la potencia aparente S_{rating} del grupo de 3 reactores de línea en serie se baso en la tensión de línea $V_{línea}$ y no en la caída de tensión V_{drop} :

$$S_{rating} = \sqrt{3} V_{línea} I_{línea}$$

Resonancia armónica

Si un nodo en un sistema de potencia que opera a una frecuencia f tiene una reactancia inductiva de fuente X_L por fase y tiene corrección de factor de potencia con una reactancia capacitiva X_C por fase, la inductancia de la fuente L y la capacitancia de corrección C son:

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_C}$$

donde $\omega = 2\pi f$

La frecuencia angular de resonancia en serie ω_r de una inductancia L con una capacitancia C es:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

El nivel de falla trifásico S_{sc} en el nodo para la tensión de fase sin carga E y la impedancia de la fuente Z en estrella por fase es:

$$S_{sc} = 3 \frac{E^2}{|Z|} = 3 \frac{E^2}{|R + jX_L|}$$

Si la relación X_L/R de la impedancia de la fuente Z es suficientemente grande, $|Z| \approx X_L$ entonces:

$$S_{sc} \approx 3 \frac{E^2}{X_L}$$

El valor nominal de la potencia reactiva Q_C de los capacitores de corrección del factor de potencia para una reactancia capacitiva X_C por fase a la tensión de fase E es:

$$Q_C \approx 3 \frac{E^2}{X_C}$$

El número armónico f_r/f de la resonancia serie de X_L y X_C es:

$$\frac{f_r}{f} = \frac{\omega_r}{\omega} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \approx \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_C}}$$

Note que la relación X_L/X_C que resulta en un número armónico f_r/f es:

$$\frac{X_L}{X_C} = \frac{f^2}{f_r^2}$$

para que f_r/f sea igual a la media geométrica del tercer y quinto armónico:

$$\frac{f_r}{f} = \sqrt{15} = 3.873$$

$$\frac{X_L}{X_C} = \frac{1}{15} = 0.067$$

Resistencia

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

R = resistencia [Ω]

ρ = resistividad del conductor $\left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right)$

L = longitud [m]

A = área [m^2]

Variación de la resistencia con la temperatura

$$R_2 = R [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

Por relaciones de resistencia

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

$$\alpha = \frac{1}{T}$$

coeficiente de corrección por temperatura

Inductancia

$$e = \frac{d\tau}{dt} v$$

$$e = L \frac{di}{dt} v$$

e = voltaje inducido [V]

$\frac{d\tau}{dt}$ = velocidad del flujo [wb-vueltas/s]

$\frac{di}{dt}$ = velocidad de la corriente [A/s]

Enlace de flujo, voltaje inducido

$$\Psi = LI$$

Ψ = enlaces de flujo [wb-vueltas]

L = inductancia [H]

I = corriente [A]

$$V = j\omega \Psi \quad M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_2}$$

V = voltaje [V]

ω = velocidad angular [rad/s]

M_{12} = inductancia mutua [H]

Enlaces de flujo interno e inductancia en conductor Inductancia de una línea monofásica

$$\Psi_{\text{int}} = \frac{I}{2} \times 10^{-7} \text{ [wb-vueltas/m]}$$

$$L_{\text{int}} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

$$L_1 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'_1} \text{ [H/m]}$$

$$L_2 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'_2} \text{ [H/m]}$$

$$L = L_1 + L_2$$

Inductancia entre dos puntos externos de un conductor

$$L_{12} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ (H / m)}$$

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \text{ (H / m)}$$

$$L = \text{inductancia (Henry)}$$

$$D = \text{Distancia (m)}$$

$$D = \text{Distancia (m)}$$

$$r' = r e^{\frac{1}{4}}$$

$$r = \text{radio conductor (m)}$$

Inductancia de una línea monofásica con conductores compuestos

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \times \ln \frac{\sqrt{(D_{aa'}D_{ab'}D_{ac'} \dots D_{am})(D_{ba'}D_{bb'}D_{bc'} \dots D_{bm}) \dots (D_{na'}D_{nb'}D_{nc'} \dots D_{nm})}}{n^2 \sqrt{(D_{aa}D_{ab}D_{ac} \dots D_{an})(D_{ba}D_{bb}D_{bc} \dots D_{bm}) \dots (D_{na}D_{nb}D_{nc} \dots D_{nn})}}$$

$$L_y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s}$$

$$L = L_x + L_y$$

donde:

L = inductancia (H)
 L_x = inductancia lado x (H)
 L_y = inductancia lado y (H)
 $D_{aa'}D_{ab'}D_{ac'}$ distancia mutua (m)
 $D_{aa} = r'_a = r_a e^{-1/4}$ distancia propia (m)
 $D_{bb} = r'_b = r_b e^{-1/4}$
 $D_{cc} = r'_c = r_c e^{-1/4}$
 D_m = distancia media geométrica entre conductores (m)
 D_s = distancia media geométrica propia (radio medio geométrico)

Reactancia inductiva en líneas monofásicas

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 4\pi f \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s} . (\Omega / m)$$

Por tablas

$$X_L = X_a + X_d . (\Omega / mi)$$

X_a = Reactancia inductiva a 1 pie

espaciamiento $\frac{\Omega}{mi}$

X_d = factor de espaciamiento (Ω / mi)

Inductancia de líneas trifásicas con disposición equilátera

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{D_s} . (H / m)$$

Inductancia de líneas con conductores agrupados

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^b}$$

Inductancia de líneas trifásicas con disposición asimétrica

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \dots\dots (H / m)$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$

D_{eq} = distancia equivalente (m)

D = distancia (m)

Para dos conductores por fase

$$D_s^b = \sqrt{(D_s \times d)}$$

Para tres conductores por fase

$$D_s^b = \sqrt[3]{D_s \times d^2}$$

Para cuatro conductores por fase

$$D_s^b = 1.09 \sqrt[4]{D_s \times d^3}$$

Inductancia de líneas trifásicas de circuitos paralelos

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^p} . (H / m)$$

Distancia media geométrica

$$D_{ab}^P = \sqrt[4]{D_{ab}D_{ab'}D_{ba}D_{ba'}}$$

$$D_{bc}^P = \sqrt[4]{D_{bc}D_{bc'}D_{cb}D_{cb'}}$$

$$D_{ca}^P = \sqrt[4]{D_{ac}D_{ac'}D_{ca}D_{ca'}}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}^P D_{bc}^P D_{ca}^P}$$

Radio medio geométrico

Distancia $D_{a-a'} = \sqrt{D_{a-a'}D_s}$

$$D_{b-b'} = \sqrt{D_{b-b'}D_s}$$

$$D_{c-c'} = \sqrt{D_{c-c'}D_s}$$

$$D_s^P = \sqrt{D_{a-a'}D_{b-b'}D_{c-c'}}$$

Capacitancia

Capacitancia entre dos conductores

$$C = \frac{q}{v} \cdot (F / m)$$

$$C_{ab} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln(D/r)} \cdot (F / m)$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \cdot (F / m)$$

C = capacitancia (F / m)

C_{ab} = capacitancia en líneas a y b (F / m)

D = distancia entre conductores (m)

r = radio del conductor (m)

Capacitancia entre conductores y neutro

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(D/r)} \cdot (F / m)$$

C_n = capacitancia respecto al neutro

Reactancia capacitiva

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$X_c = \frac{2.862}{f} \times 10^9 \ln \frac{D}{r} \cdot (\Omega \cdot m)$$

respecto al neutro

Por tablas

$$X_c = X'_a + X'_d$$

X_c = reactancia capacitiva ($M\Omega \cdot mi$)

X'_a = reactancia capacitiva a un pie
($M\Omega \cdot mi$)

X'_d = factor de espaciamiento ($M\Omega \cdot mi$)

Capacitancia en líneas trifásicas con espaciamiento equilátero

$$C_{an} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(D/r)} \cdot (F / m) \text{ respecto al neutro}$$

$$I_{crg} = j\omega C_n V_{an} \cdot (A / mi)$$

C_{an} = capacitancia respecto al neutro $\frac{F}{m}$

D = distancia entre conductores (m)

r = radio del conductor (m)

I_{crg} = corriente de carga

ω = velocidad angular (rad / seg)

V_{an} = voltaje respecto al neutro (v)

Capacitancia en líneas trifásicas con disposición asimétrica

$$C_n = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(D_{eq}/r)} \cdot (F / m) \text{ respecto al neutro}$$

C_n = capacitancia respecto al neutro $\frac{F}{m}$

D_{eq} = distancia equivalente (m)

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$$

r = radio del conductor (m)

Líneas trifásicas de circuitos paralelos

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(D_{eq}/D_{sc}^p)} \dots\dots\dots (F / m) \text{ respecto al neutro}$$

Distancia media geométrica

$$D_{ab}^p = \sqrt[4]{D_{ab}D_{ab'}D_{ba}D_{ba'}}$$

$$D_{bc}^p = \sqrt[4]{D_{bc}D_{bc'}D_{cb}D_{cb'}}$$

$$D_{ca}^p = \sqrt[4]{D_{ac}D_{ac'}D_{ca}D_{ca'}}$$

$$D_{eq}^p = \sqrt[3]{D_{ab}^p D_{bc}^p D_{ca}^p}$$

Radio medio geométrico

$$\text{Distancia } D_{a-a'} = \sqrt{D_{a-a'}r}$$

$$D_{b-b'} = \sqrt{D_{b-b'}r}$$

$$D_{c-c'} = \sqrt{D_{c-c'}r}$$

$$D_s^p = \sqrt{D_{a-a'}D_{b-b'}D_{c-c'}}$$

Cálculo de líneas

Caída de tensión (V_c)

Se llama caída de tensión a la pérdida de d.d.p. entre dos puntos de un circuito, como puede ser por ejemplo entre acometida y receptor.

$$V_c = V_1 - V_2$$

donde:

V_1 – tensión en la acometida

V_2 – tensión en el receptor (utilización)

Porcentaje de caída de tensión ($e\%$)

$$e\% = \frac{100 - V_c}{V_1}$$

Densidad eléctrica (d)

Corresponde al número de amperios que circulan por mm^2 de sección en un conductor

$$d = \frac{I}{S} \text{ en A/mm}^2$$

donde:

I = Intensidad en amperes

S = Sector en mm^2

Cálculo de secciones en conductores cilíndricos (s)

$$S = \pi^2; S = \frac{\pi d^2}{4}; \frac{\pi}{4} = 0.785; S = 0.785 d^2$$

Volumen de un conductor (v)

$$V = SL; V = \frac{SL}{1000} \text{ en dm}^3$$

donde:

S = Sección en mm^2

L = Longitud en m

Peso de un conductor (p)

$$P = Vd; \quad P \frac{SLD}{1000} \text{ en kg}$$

donde:

S = sección en mm²

L = Longitud en m

d = Densidad en kg/dm³

Líneas aéreas

Longitud corta

$$\overline{V_S} = \overline{V_R} + \overline{I_L Z}$$

Para el f.p. =1

$$V_S = \sqrt{(V_R + I_L R)^2 + (I_L X_L)^2}$$

Para el f.p. en atraso

$$V_S = \sqrt{(V_R \cos \theta + I_L R)^2 + (V_R \operatorname{sen} \theta + I_L X_L)^2}$$

Para el f.p. en adelanto

$$V_S = \sqrt{(V_R \cos \theta + I_L R)^2 + (V_R \operatorname{sen} \theta - I_L X_L)^2}$$

donde:

V_S = voltaje de envío por fase [V]

V_R = voltaje de recepción por fase [V]

I_L = corriente de carga [A]

R = resistencia [Ω]

X_L = reactancia inductiva [Ω]

θ = ángulo entre voltaje y corriente

Porcentaje de regulación

$$\% \operatorname{Reg} = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\%$$

donde:

V_S = voltaje de envío [V]

V_R = voltaje de recepción [V]

Longitud media

$$V_S = AV_R + BI_R, \quad I_S = CV_R + DI_R$$

Constantes generalizadas de circuito

$$A = D = \frac{ZY}{2} + 1$$

$$B = Z$$

$$C = Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right)$$

V_S = voltaje de envío [V]

V_R = voltaje de recepción [V]

I_S = corriente de la fuente de suministro [A]

Z = impedancia (Ω)

Y = admitancia (S)

Porcentaje de regulación

$$\%Reg = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

Líneas de tensión

Pérdida de tensión en líneas trifásicas

$$V_C = \sqrt{3} \cdot I (R \cos \varphi + \omega \cdot L \cdot \sin \varphi)$$

donde:

V_C : caída de tensión en volts

I : intensidad que circula por el conductor

R : resistencia del conductor

φ : ángulo de desfase entre tensión e intensidad

$\omega = 2\pi f$

L : sección del conductor

Pérdida de potencia en una línea trifásica

$$P_p = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L$$

donde:

P_p : potencia de pérdida [W]

I : intensidad que circula por la línea

R : resistencia kilométrica [Ω]

L : longitud de la línea [km]

Capacidad aparente entre un conductor de una línea de corriente alterna y el neutro

$$C = \frac{0.0241}{\log \left(\frac{s}{d} + \frac{\sqrt{s^2 - d^2}}{d} \right)} \text{ [}\mu\text{F/km]}$$

donde:

d: diámetro del conductor

s: distancia media geométrica entre conductores. Con la misma unidad que d para líneas monofásicas, s es la distancia coaxial entre conductores.

Para líneas trifásicas:

$$s = \sqrt{a \cdot b \cdot c}$$

a, b, c - distancias axiales entre cada dos conductores.

Cálculo de conductores

El cálculo del conductor debe efectuarse principalmente de dos maneras: por corriente y por caída de tensión. El resultado del cálculo que arroje el conductor de mayor sección transversal será el que se seleccione. La tabla siguiente muestra fórmulas para dichos cálculos.

Sistema	Cálculo de corriente de carga, con VA	Cálculo de corriente de la carga, con P	Cálculo de la sección transversal (mm ²)
1F-2H	$I = \frac{S}{E_n}$	$I = \frac{P}{E_n \times F.P}$	$s = \frac{4 \times L \times I}{E_n \times e\%}$
1F-3H	$I = \frac{S}{2 \times E_n}$	$I = \frac{P}{2 \times E_n \times F.P}$	$s = \frac{2 \times L \times I}{E_n \times e\%}$
3F-3H o 3F-4H	$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times E_f}$	$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times E_f \times F.P}$	$s = \frac{2 \times \sqrt{3} \times L \times I}{E_f \times e\%}$ $E_f = \sqrt{3} \times E_n$ $s = \frac{2 \times L \times I}{E_n \times e\%}$
Donde: I = corriente eléctrica en A S = potencia aparente de la carga en VA E_f = voltaje entre fases en V E_n = voltaje de fase a neutro en Volts P = Potencia eléctrica de la carga en W s = sección transversal del conductor en mm² L = longitud del circuito considerado en metros e% = caída de tensión en %			

NOTA: Las expresiones para cálculo por caída de tensión de la tabla anterior solo incluyen el efecto resistivo y no consideran los efectos de la reactancia. Los resultados

para conductores de secciones hasta de 107.2 mm² (4/0 AWG) son aceptables. Para cálculos en los que se involucren conductores de secciones transversales grandes será necesario consultar las tablas de los fabricantes para incluir el valor de la reactancia inductiva.

Cálculo de conductores para cargas específicas

Cálculo de conductores que alimentan un tablero de alumbrado con cargas continuas

$$I_c = 1.25 (I_n \text{ tablero})$$

Cálculo de conductores que alimentan un tablero de alumbrado con cargas continuas y cargas no continuas.

$$I_c = 1.25 (I_n \text{ cargas continuas del tablero}) + (I_n \text{ cargas no continuas del tablero})$$

Cálculo de conductores que alimentan un solo motor

$$I_c = 1.25 I_n \text{ motor}$$

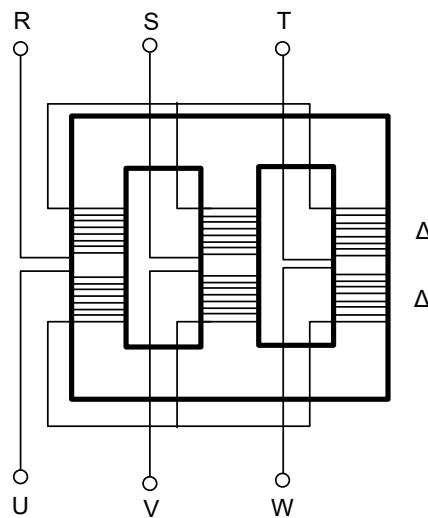
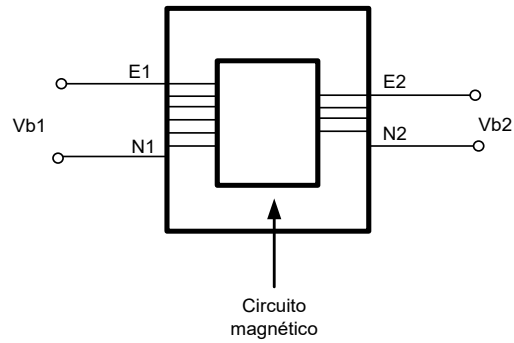
Cálculo de conductores que alimentan un grupo de motores

$$I_c = 1.25 (I_n \text{ motor mayor}) + \Sigma (I_n \text{ otros motores})$$

Formulario para el sustentante del Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC) Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Diámetro en CMIL o AWG para aluminio	Aluminio			Acero			Diámetro exterior IN	Equivalente en cobre CMIL o AWG	Esfuerzo de rotura lb	Peso lb/milla	Radio medio geométrico A 60 Hz FT	Capacidad aproximada de corriente	Resistencia Ω / Milla conductor						X Reactancia inductiva milla conductor		X Reactancia capacitiva Ω/Milla conductor		
	Hilos	Capas	Diámetro de los hilos	Hilos	Diámetro de los hilos	25 °C. (77°F.) Pequeñas corrientes							50°C. (122°F.) Corriente aprox. 75% de la capacidad			50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz				
						CD							50 Hz	60 Hz	CD					50 Hz	60 Hz		
1 590 000	54	3	0.1716	19	0.1030	1.545	1 000 000	56 000	10 777	0.0520	1 389	0.0587	0.0590	0.0591	0.0646	0.0675	0.0684	0.299	0.359	0.0977	0.0814		
1 510 500	54	3	0.1673	19	0.1040	1.506	950 000	53 000	10 237	0.0507	1 340	0.0618	0.0621	0.0622	0.0680	0.0710	0.0720	0.302	0.362	0.0986	0.0821		
1 431 000	54	3	0.1628	19	0.0977	1.465	900 000	50 400	9 699	0.0493	1 300	0.0652	0.0655	0.0656	0.0718	0.0749	0.0760	0.304	0.365	0.0996	0.0830		
1 351 000	54	3	0.1582	19	0.0949	1.424	850 000	47 600	9 160	0.0479	1 250	0.0691	0.0694	0.0695	0.0761	0.0792	0.0803	0.307	0.369	0.1006	0.0838		
1 272 000	54	3	0.1535	19	0.0921	1.382	800 000	44 800	8 621	0.0465	1 200	0.0734	0.0737	0.0738	0.0808	0.0840	0.0851	0.310	0.372	0.1016	0.0847		
1 192 500	54	3	0.1486	19	0.0892	1.338	750 000	41 100	8 082	0.0450	1 160	0.0783	0.0786	0.0788	0.0862	0.0894	0.0906	0.314	0.376	0.1028	0.0857		
1 113 000	54	3	0.1436	19	0.0862	1.293	700 000	40 200	7 544	0.0435	1 110	0.0839	0.0842	0.0844	0.0924	0.0957	0.0969	0.317	0.380	0.1040	0.0867		
1 033 500	54	3	0.1384	7	0.1384	1.246	650 000	37 100	7 019	0.0420	1 060	0.0903	0.0907	0.0909	0.0994	0.1025	0.1035	0.321	0.385	0.1053	0.0878		
954 000	54	3	0.1329	7	0.1329	1.196	600 000	34 200	6 479	0.0403	1 010	0.0979	0.0981	0.0982	0.1078	0.1180	0.1128	0.325	0.390	0.1068	0.0890		
900 000	54	3	0.1291	7	0.1291	1.162	566 000	32 300	6 112	0.0391	979	0.104	0.104	0.104	0.1145	0.1175	0.1185	0.328	0.393	0.1078	0.0898		
874 000	54	3	0.1273	7	0.1273	1.146	550 000	31 400	5 940	0.0386	950	0.107	0.107	0.108	0.1178	0.1218	0.1228	0.329	0.395	0.1083	0.0903		
795 000	54	3	0.1214	7	0.1214	1.093	500 000	28 500	5 399	0.0368	900	0.117	0.118	0.119	0.1288	0.1358	0.1378	0.334	0.401	0.1100	0.0917		
795 000	26	2	0.1749	7	0.1360	1.108	500 000	31 200	5 770	0.0375	900	0.117	0.117	0.117	0.1288	0.1288	0.1288	0.332	0.399	0.1095	0.0912		
795 000	30	2	0.1628	19	0.0977	1.140	500 000	38 400	6 517	0.0393	910	0.117	0.117	0.117	0.1288	0.1288	0.1288	0.327	0.393	0.1085	0.0904		
715 000	54	3	0.1451	7	0.1151	1.036	450 000	26 300	4 859	0.0349	830	0.131	0.132	0.132	0.1442	0.1472	0.1482	0.339	0.407	0.1119	0.0932		
715 000	26	2	0.1659	7	0.1290	1.051	450 000	28 100	5 193	0.0355	840	0.131	0.131	0.131	0.1442	0.1442	0.1442	0.337	0.405	0.1114	0.0928		
715 000	30	2	0.1544	19	0.0925	1.081	450 000	34 600	5 365	0.0372	840	0.131	0.131	0.131	0.1442	0.1442	0.1442	0.333	0.399	0.1104	0.0920		
636 000	54	2	0.	7	0.1514	1.000	419 000	24 500	4 527	0.0337	800	0.140	0.141	0.141	0.1541	0.1591	0.1601	0.343	0.412	0.1132	0.0943		
636 000	54	3	0.1085	7	0.1085	0.977	400 000	23 600	4 319	0.0329	770	0.147	0.148	0.148	0.1618	0.1678	0.1688	0.345	0.414	0.1140	0.0950		
636 000	26	2	0.1564	7	0.1216	0.990	400 000	25 000	4 616	0.0335	780	0.147	0.147	0.147	0.1618	0.1618	0.1614	0.344	0.412	0.1135	0.0946		
636 000	30	2	0.1456	19	0.0874	1.019	400 000	31 500	5 213	0.0351	780	0.147	0.147	0.147	0.1618	0.1618	0.1618	0.339	0.406	0.1125	0.0937		
605 000	54	2	0.1059	7	0.1059	0.953	380 500	22 500	4 109	0.0321	750	0.154	0.155	0.155	0.1695	0.1755	0.1775	0.348	0.417	0.1149	0.0957		
605 000	26	2	0.1525	7	0.1186	0.966	380 500	24 100	4 391	0.0327	760	0.154	0.154	0.154	0.1700	0.1720	0.1720	0.346	0.415	0.1144	0.0953		
556 500	26	2	0.1463	7	0.1138	0.927	350 000	22 400	4 039	0.0313	730	0.168	0.168	0.168	0.1849	0.1859	0.1859	0.350	0.420	0.1159	0.0965		
556 500	30	2	0.1362	7	0.1362	0.953	350 000	27 200	4 588	0.0328	730	0.168	0.168	0.168	0.1849	0.1859	0.1859	0.346	0.415	0.1149	0.0957		
500 000	30	2	0.1291	7	0.1291	0.904	314 500	24 400	4 122	0.0311	690	0.187	0.187	0.187	0.206	0.206	0.206	0.351	0.421	0.1167	0.0973		
477 000	26	2	0.1355	7	0.1054	0.358	300 000	19 430	3 462	0.0290	670	0.196	0.196	0.196	0.216	0.216	0.216	0.358	0.430	0.1186	0.0988		
477 000	30	2	0.1261	7	0.1261	0.883	300 000	23 300	3 933	0.0304	670	0.196	0.196	0.196	0.216	0.216	0.216	0.353	0.424	0.1176	0.0980		
397 500	26	2	0.1236	7	0.0961	0.783	250 000	16 190	2 885	0.0265	590	0.235	0.235	0.235	0.259	Igual que en CD	Igual que en CD	0.367	0.441	0.1219	0.1015		
397 500	30	2	0.1151	7	0.1151	0.806	250 000	19 980	3 277	0.0278	600	0.235	Igual que en CD	Igual que en CD	0.259	Igual que en CD	Igual que en CD	0.362	0.435	0.1208	0.1006		
336 400	26	2	0.0385	7	0.0385	0.721	4/0	14 050	2 442	0.0244	530	0.278	0.278	0.278	0.306	0.306	0.306	0.376	0.451	0.1248	0.1039		
336 400	30	2	0.1059	7	0.1059	0.741	4/0	17 040	2 774	0.0255	530	0.278	0.278	0.278	0.306	0.306	0.306	0.371	0.445	0.1238	0.1032		
300 000	26	2	0.0835	7	0.0835	0.680	188 700	12 650	2 178	0.0230	490	0.311	0.311	0.311	0.342	0.342	0.342	0.382	0.458	0.1269	0.1057		
300 000	30	2	0.1000	7	0.1000	0.700	188 700	15 430	2 473	0.0241	500	0.311	0.311	0.311	0.342	0.342	0.342	0.377	0.452	0.1258	0.1049		
266 800	26	2	0.0738	7	0.0738	0.642	30	11 250	1 936	0.0217	460	0.350	0.350	0.350	0.385	0.385	0.385	0.387	0.465	0.1289	0.1074		
Para corriente aproximada del 75% de capacidad												Conductores de una sola capa											
												Corrientes pequeñas				Corriente aprox. de 75% de capacidad							
												50 Hz		60 Hz		50 Hz		60 Hz					
5/0	6	1	0.2109	7	0.0703	0.633	3/0	9 645	1 802	0.00684	460	0.351	0.351	0.352	0.386	0.510	0.552	0.338	0.466	0.504	0.605	0.1294	0.1079
4/0	6	1	0.1878	1	0.1878	0.563	2/0	8 420	1 542	0.00814	340	0.444	0.441	0.445	0.485	0.567	0.592	0.437	0.524	0.484	0.581	0.1336	0.1113
3/0	6	1	0.1672	1	0.1672	0.502	1/0	6 675	1 223	0.00600	300	0.556	0.556	0.560	0.612	0.697	0.723	0.450	0.540	0.517	0.621	0.1477	0.1147
2/0	6	1	0.1490	1	0.1490	0.442	1	5 348	970	0.00510	270	0.702	0.704	0.406	0.773	0.866	0.895	0.462	0.554	0.534	0.641	0.1418	0.1182
1/0	6	1	0.1327	1	0.1427	0.498	2	4 280	769	0.00446	230	0.885	0.887	0.888	0.974	1.08	1.12	0.473	0.568	0.547	0.656	0.1460	0.1216
1	6	1	0.1182	1	0.1182	0.335	3	3 480	610	0.00418	200	1.12	1.12	1.12	1.23	1.34	1.38	0.483	0.580	0.554	0.665	0.1500	0.1250
2	6	1	0.1052	1	0.1052	0.446	4	3 790	484	0.00418	190	1.48	1.48	1.41	1.55	1.66	1.69	0.493	0.592	0.665	0.665	0.1342	0.1285
2	7	1	0.0924	1	0.1099	0.445	4	3 323	566	0.00504	180	1.41	1.41	1.41	1.55	1.62	1.65	0.493	0.592	0.642	0.642	0.1532	0.1276
4	6	1	0.0936	1	0.0937	0.280	5	2 250	384	0.00430	160	1.78	1.78	1.78	1.95	2.04	2.07	0.503	0.604	0.661	0.661	0.1583	0.1320
4	6	1	0.0834	1	0.0834	0.250	6	1 380	304	0.00437	140	2.24	2.24	2.24	2.47	2.54	2.57	0.514	0.611	0.659	0.659	0.1627	0.1355
4	7	1	0.0772	1	0.1020	0.257	6	2 388	156	0.00452	140	2.24	2.24	2.24	2.47	2.53	2.55	0.515	0.618	0.655	0.655	0.1615	0.1346
5	6	1	0.0711	1	0.0941	0.228	7	1 160	241	0.00416	241	2.82	2.82	2.82	3.10	3.16	3.18	0.525	0.63.				

Transformadores



Relación de transformación (m)

En función del número de espiras

$$m = \frac{N_1}{N_2}$$

donde:

N_1 -Número de espiras del primario

N_2 -Número de espiras del secundario

En función de la tensión en bornes (en vacío)

$$m = \frac{V_{b1}}{V_{b2}}$$

Fuerza electromotriz del primario (E_1)

$$E_1 = \frac{4.44\phi_0 \cdot F \cdot N_1}{10^8}$$

donde:

E_1 - en [V]

ϕ_0 - flujo máximo [Mx]

F- frecuencia [Hz]

N_1 - número de espiras del primario

Fuerza electromotriz del secundario (E_2)

$$E_2 = \frac{4.44\phi_0 \cdot F \cdot N_2}{10^8}$$

donde:

E_1 - en [V]

ϕ_0 - flujo máximo [Mx]

F- frecuencia [Hz]

N_2 - número de espiras del secundario

Volts por espira (V_{esp})

$$V_{esp} = \frac{E_1}{N_1}$$

$$V_{esp} = \frac{E_2}{N_2}$$

Rendimiento de un transformador

El rendimiento se le puede considerar máximo, cuando la pérdida de potencia (P_p) en el hierro sea igual o próxima a la pérdida de potencia en el cobre.

Pérdidas en el cobre (P_{Cu})

Transformador monofásico

$$P_{Cu} = r_1 \cdot I_1^2 + r_2 \cdot I_2^2$$

donde:

P_{Cu} - pérdida de potencia [W]

r_1 - resistencia del primario

I_1 - intensidad del primario

r_2 - resistencia del secundario

I_2 - intensidad del secundario

Transformador trifásico

$$P_{Cu} = 3r_1 \cdot I_1^2 + 3r_2 \cdot I_2^2$$

Sección del núcleo (S)

$$S = K \cdot \sqrt{P}$$

donde:

S- sección del núcleo [cm²]

K- constante del hierro (coeficiente)

P- potencia del transformador [kVA]

Condiciones que se han de cumplir para el acoplamiento en paralelo de los transformadores trifásicos

1. Igualdad de relación de transformación
Igualdad de tensiones secundarias

$$V_{b1} = V_{b2} = \dots$$

2. Igualdad de caída de tensión (no superior al 10%)

$$V_{c1} = V_{c2} = \dots$$

3. Igualdad de factores de potencia

$$\phi_1 = \phi_2 = \dots$$

4. Orden de polaridad en las conexiones

$$U_1 - V_1 - W_1$$

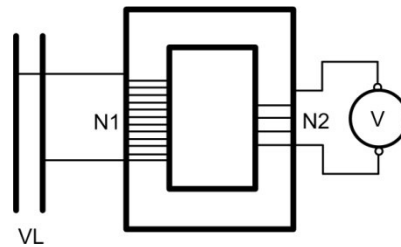
$$U_2 - V_2 - W_2$$

Transformadores de medida

Transformador de tensión

$$m = \frac{N_1}{N_2}$$

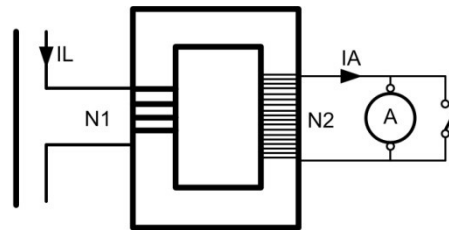
$$V_L = mV$$



Transformador de corriente

$$m = \frac{N_1}{N_2}$$

$$I_L = \frac{A}{m}$$



Óptica e iluminación

Cantidades básicas en luminotecnia

Magnitud	Símbolos y relaciones	Unidad	Explicación
Intensidad luminosa	I_v	Candela cd	I_v es una magnitud fundamental.
Ángulo sólido	$\Omega = \frac{A_s}{r_s^2}$	estereorradián $sr = \frac{1\text{ m}^2}{1\text{ m}^2}$	Ω es la relación del área A_s de la superficie esférica interceptada, al cuadrado del radio de la esfera r_s . Para un ángulo sólido completo se tiene $\Omega = 4\pi sr = 12.56sr$
Flujo lumínico (potencia lumínica)	$\Phi_v = \Omega I_v$	lumen $lm = cd \cdot sr$	Φ_v es el producto del ángulo sólido Ω y la intensidad luminosa.
Cantidad de luz (energía lumínica)	$Q_v = \Phi_v t$	lumen-segundo $lm \cdot s$	Q_v es el producto del flujo lumínico y el intervalo de tiempo.
Iluminación	$E_v = \frac{I_v \cos \alpha}{r^2}$	lux $lx = \frac{lm}{m^2}$	E_v es el coeficiente de flujo lumínico incidente y la superficie iluminada $A = A_k / \cos \alpha$
Luminosidad (brillo)	$L_v = \frac{I_v}{A_1 \cos \varepsilon}$	$\frac{cd}{m^2}$	L_v es la relación de la intensidad luminosa I_v a la proyección de la superficie iluminada sobre un plano perpendicular a la dirección.

Flujo lumínico requerido para la iluminación:

Una superficie A sobre la que hay una iluminación E_v requiere un flujo lumínico

$$\Phi_v = \frac{AE_v}{\eta}$$

Equivalente fotométrico de la radiación

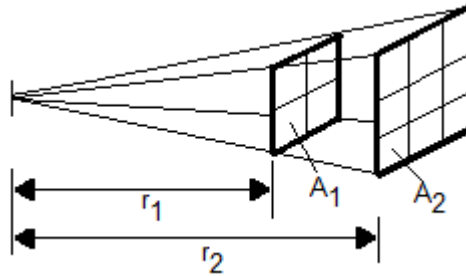
$$1 \text{ W} = 680 \text{ lm a una longitud de onda de } 0.555 \mu\text{m}$$

Definición de la unidad fundamental candela

Un radiador perfecto (cuerpo negro) con una superficie de $1/(6 \times 10^5) \text{ m}^2$ tiene a una temperatura de 2 043 K una intensidad luminosa de 1 candela.

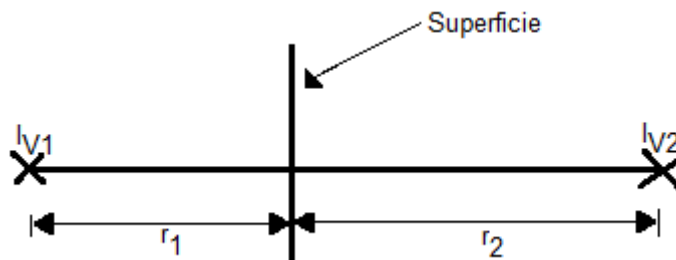
Ley de la iluminación

La iluminación de una superficie es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia a la fuente de la luz:



$$\frac{E_{v1}}{E_{v2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Para igual iluminación de una superficie las intensidades de dos fuentes de luz en relación directa al cuadrado de sus distancias a la superficie:

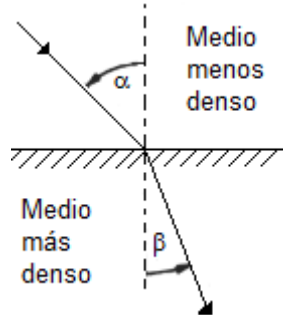


$$\frac{I_{v1}}{I_{v2}} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

Refracción de la luz

$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{constante para todo ángulo}$$

Cuando $\sin \beta \geq \frac{n_b}{n_a}$, hay reflexión total.



Niveles de iluminación en interiores

Viviendas

	Luxes
Alumbrado local en salas de estar (superficie de trabajo)	500 – 1 000
Alumbrado local en salas de estar (superficie de trabajo)	50 – 100
Cocinas	100 – 300
Dormitorios, cuartos de baño, W.C.	150 – 300
Pasillos, escaleras, garajes, cuartos de alumbrado	50 – 100
Escuelas	
Aulas	250 – 1 000
Salas de dibujo	400 – 800
Tableros de dibujo	1 000 – 3 000
Oficinas	
Salas de dibujo	750 – 1 500
Locales de oficina (trabajo normal, mecanografía, etc.)	400 – 800
Lugares de trabajo (archivos, salas de espera, etc.)	150 – 300

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tiendas

Grandes espacios de venta y exposiciones	500 – 1 500
Espacios normales de venta	250 – 500
Escaparates grandes	1 000 – 2 000
Escaparates pequeños	500 – 1 000

Industria

Trabajo de gran precisión	2 500 – 5 000
Trabajo de precisión	1 000 – 2 000
Trabajo ordinario	400 – 800
Trabajo basto	150 – 300

Niveles de iluminación exteriores

Alumbrado público

Paseos	12 – 16
Plazas en general	8 – 12
Grandes plazas	20 – 25
Vías secundarias	15 – 20
Vías principales	15 – 25
Carreteras de segundo orden	10 – 15
Autopistas, cruces, carreteras en general	15 – 25

Niveles de iluminación en zonas deportivas (mínimos)

Baloncesto	Competición	300
	Entrenamiento	200
Balonvolea	Competición	300
	Entrenamiento	200
Boxeo	Campeonatos	5 000
	Profesional	2 000
	Aficionados	1 000
Futbol	1ª división	1 000
	2ª división	500
	3ª división	300
	Entrenamiento	150
Golf	En los "Tees"	100
	A 180 m	50
	Alumbrado superficie	100
Tenis	Campeonato	300
	Club	200
	Entrenamiento	100
Frontón	Club	300
	Entrenamiento	150

Casquillos para lámparas

En función del tipo de casquillo

B o BA	Casquillo bayoneta o Swan
E	Rosca Edison
P	Profocus o preenfoco
S	Casquillos para lámparas tubulares de dos terminales
Bi	Biposte
K	Con cables terminales
T	Telefónicas

En función de su diámetro se denominan

Denominación	Diámetro (ϕ) en mm
Miniatura	10
Candelabro	14
Intermedio, medio o normal	27
Supermedio o Goliat	40

El número que va a continuación de la letra indica el diámetro del casquillo. Para designar el tipo de contacto que hace el casquillo se utilizan las letras:

s - contacto sencillo

d - contacto doble

Ejemplo: B-22 d

B- casquillo tipo bayoneta

22- diámetro del casquillo

d- contacto doble

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Iluminación media E_v (lux)

Tipo de instalación		Solo para alumbrado general	Alumbrado general y localizado	
			Localizado	General
Talleres de acuerdo con la clase de trabajo	Rudo	80	100	20
	Normal	160	400	40
	preciso	300	1 000	80
	Muy preciso	600	4 000	300
Habitaciones en que el alumbrado es	Débil	40		
	Moderado	80		
	Brillante	150		
Alumbrado público, en sitios con tránsito	Escaso	5		
	Mediano	10		
	Intenso	20		
	Muy intenso	40		
Patios de fábricas, con tránsito	Ligero	5		
	pesado	20		

Eficacia de iluminación η

Tipo de alumbrado	Tono de color en la superficie iluminada		
	claro	mediano	oscuro
Directo	0.50	0.40	0.30
Indirecto	0.35	0.20	0.05
Público	Con reflector		
	profundo	amplio	alto
	0.45	0.40	0.35

Flujo lumínico ϕ_v (kilolúmenes, klm)

Lámparas incandescentes de tipo normal (al voltaje de 220 V)	P_{el}	W	15	25	40	60	75	100
	ϕ_v	klm	0.12	0.23	0.43	0.73	0.96	1.38
	P_{el}	W	150	200	300	500	1 000	2 000
	ϕ_v	klm	2.22	3.15	5.0	8.4	18.8	40.0
Lámparas fluorescentes, tubulares de 38 mm de diámetro. Para tipos "blanco claro" y "luz de día"								
	P_{el}	W	15	20	25	40	65	
	ϕ_v	klm	0.59	1.22	1.71	2.98	4.78	
Lámparas de vapor de mercurio, alta presión	P_{el}	W	125	250	400	700	1 000	2 000
	ϕ_v	klm	5.6	12	21	37	52	125

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

P_{el} . Potencia eléctrica [W]

$$1 \text{ W}/(\text{m K}) = 0.8598 \text{ kcal}/(\text{h m } ^\circ\text{C})$$

$$1 \text{ kJ}/(\text{kg K}) = 0.2388 \text{ kcal}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) = 102 \text{ kgf m}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$$

Para $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Para $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Para $t = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Para $t = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

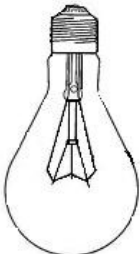
Magnitudes luminosas

Magnitud	Símbolo	Definición	Unidad	Fórmula
Flujo luminoso	ϕ	Potencia o caudal de energía luminosa emitida por una fuente de luz (visible)	Lumen (Lm)	$\phi = \frac{Q}{t}$
Cantidad de luz	Q	Producto del flujo luminoso por su duración Flujo luminoso por una fuente de luz	Lumen·segundo (lm·s)	$Q = \phi t$
Intensidad luminosa	I	Coefficiente del flujo luminoso que partiendo de una superficie luminosa se propaga en un elemento de ángulo solido	Candela (Cd)	$I = \frac{\phi}{\omega}$
Ángulo sólido	ω	Espacio limitado en una esfera por una zona de su superficie y los radios que van en su perímetro	Estereorradián (str)	$\omega = \frac{S}{r^2}$
Iluminación	E	Cantidad de luz proyectada sobre una superficie	Lux (lx)	$E = \frac{\phi}{S}$
Luminancia	B	Intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de la superficie	Stilb (sb)	$B = \frac{I \alpha}{S \cos \varphi}$
Eficacia luminosa	ε	Relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y el flujo energético correspondiente	Lumen/watt (lm/W)	$\varepsilon = \frac{\phi}{W}$

Factores de conversión entre las unidades luminosas

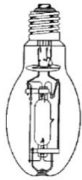
Unidades	Candela	Bujía internacional	Bujía Hefner	Bujía alemana
Candela	1	0.98	1.09	1.034
Bujía internacional	1.02	1	1.11	1.055
Bujía Hefner	0.92	0.90	1	1.170
Bujía alemana	0.96	0.95	0.855	1

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

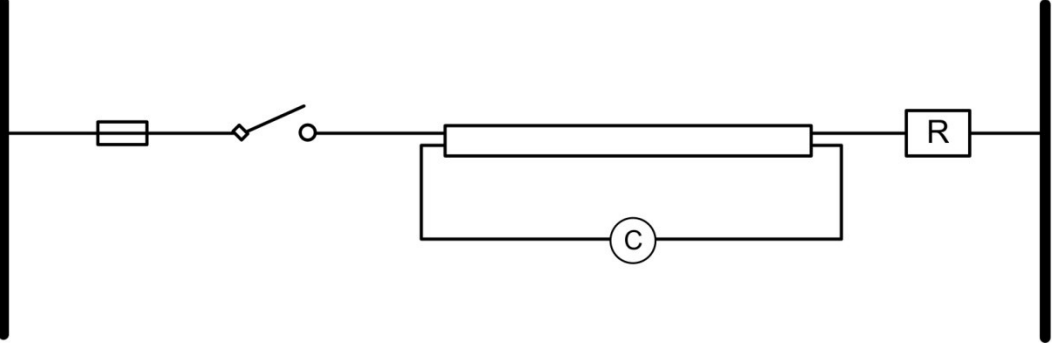
Lámparas con filamento de tungsteno								
Forma	Potencia W	a 125 V		a 220 V		Dimensiones		Tipo de casquillo
		ø(lm)	lm/W	ø(lm)	lm/W	L	ø	
	10	80	8	70	7	105	60	E-27
	15	140	9	125	8	105	60	E-27
	25	240	9.5	225	9	105	60	E-27
	40	490	12	430	10.5	105	60	E-27
	60	820	13.5	730	12	105	60	E-27
	100	1 560	15.5	1 380	14	105	60	E-27
	150	2 350	15.5	2 100	14	140	80	E-27
	200	3 250	16.5	2 950	14.5	173	80	E-27
	300	5 100	17	4 750	16	233	110	E-40
	500	9 500	19	8 450	17	267	130	E-40
	750	14 800	19.5	13 500	18	300	150	E-40
	1 000	20 300	20	18 500	18.5	300	150	E-40
	1 500	31 000	20.5	27 700	18.5	335	170	E-40
	2 000	43 000	21.5	40 000	20	380	200	E-40
Reflector incorporado	100	1 000	10	900	9	130	95	E-27
	150	1 500	10	1 350	9	160	125	E-27
	250	2 900	11.5	2 650	10.5	260	183	E-40
	500	6 800	13.5	6 200	12.5	260	183	E-40
Spot	100	1117	11.5	1 100	11	125	70	E-27 o B-22
Par	100	960	9.5	820	8	134	122	E-27
	150	1 500	10	1 400	9	134	122	E-27
	300	3 400	11	3 000	10	113	177	Contacto Presión
Proyección	100	1 100	11	900	9	120	80	E-27
	250	3 800	15	3 200	12.5	125	80	E-27
	500	8 800	17.5	8 000	16	175	120	E-40
	1 000	19 000	19	18 000	18	252	130	E-40
	1 500	31 000	20.5	29 000	19	343	170	E-40

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tipos de lámparas

Lámparas de mercurio y sodio								
Forma	Color	Potencia W	a 220 V		Dimensiones		Tipo de casquillo	
			ø(lm)	lm/W	L	ø		
		Lámparas de vapor de mercurio						
	Color corregido	50	1 800	36	130	55	E-27	
		80	3 500	43.5	157	70	E-27	
		125	5 600	45	186	75	E-27 o E-40	
		250	12 000	48	227	90	E-40	
		400	21 000	52.5	290	120	E-40	
		700	37 000	53	330	140	E-40	
		1 000	52 000	52	410	165	E-40	
		2 000	125 000	62.5	445	185	E-40	
	Color corregido con vanadio de itrio	50	2 000	40	130	55	E-27	
		80	3 800	47.5	157	70	E-27	
		125	6 300	50.5	177	75	E-27	
		250	13 500	54	227	90	E-40	
		400	23 000	57.5	290	120	E-40	
		700	42 500	60.5	330	140	E-40	
		100	60 000	60	400	165	E-40	
	Sin corrección de color	250	11 500	46	256	49	E-40	
		400	21 000	52.5	313	49	E-40	
		1 000	52 000	52	282	68	E-40	
		2 000	11 800	59	172	85	E-40	
		Lámparas de vapor de sodio						
	Baja presión	35	4 650	133	310	54	B-22	
		55	7 700	425	425	54	B-22	
		90	12 700	528	528	68	B-22	
		135	21 500	775	775	68	B-22	
		80	33 000	1120	1120	68	B-22	
		250	23 000	92	227	90	E-40	
	Alta presión	400	43 000	107.5	290	120	E-40	
		1 000	120 000	120	400	165	E-40	
		Altura recomendada para un punto de luz en función del flujo luminoso dado. De 3.000 a 9.000 lm – entre 6.5 y 7.5 m 9.000 a 19.00 lm – entre 7.5 y 9 m 19.000 lm en adelante – >9 m Factor de conversión de flujo dado por una lámpara por efecto de la suciedad prevista, o flujo útil en función de tipo luminaria Hermética – Multiplicar flujo por 0.80 a 0.87 Ventilada – Multiplicar flujo por 0.70 a 0.80 Abierta – Multiplicar flujo por 0.65 a 0.75						

Características de las lámparas fluorescentes normales

									
Potencia en watts(W)	6	8	14	15	20	30	40	65	100
Longitud del tubo en mm	229	305	381	457	611	914	1 219	914	1 524
Diámetro del tubo en mm	16	16	38	25	38	25	38	54	54
Tensión de trabajo del tubo	46	57	41	56	62	103	108	50	73
Tensión mínima de arranque	118	110	118	118	118	200	200	118	150
Intensidad absorbida	0.15	0.18	0.37	0.30	0.35	0.34	0.41	1.35	1.45
Consumo de la reactancia	1.5		3.5	6	7	12	12		
Duración media en horas	1 000	1 000	1 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 000	3 000

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Capacidad de condensadores en μf para un $\cos \phi = 0.9 \pm 0.05$

Potencia W	Capacidad en μf		Intensidad servicio Amperios	Potencia W	Capacidad en μf		Intensidad W
	125 V	120 V			125 V	120 V	
Fluorescente				Sodio baja presión (b.p.)			
14-15	6	4	0.33	35		20	0.60
20-22	7	4	0.36	55		20	0.60
22-32	12	4	0.38	90		26	0.90
40	12	4	0.42	135		35	0.90
60	20	6.5	0.70	180		40	0.90
Vapor de mercurio				Sodio alta presión (a.p.)			
50		6	0.60	250		36	3.00
80		8	0.80	400		50	4.40
125		10	1.15	1000		100	10.30
250		18	2.15				
400		25	3.25				
700		45	5.45				
1 000		60	7.50				
2 000		100	8.00				

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tensiones eléctricas normalizadas

Clasificación

Por nivel de tensión eléctrica del sistema, las tensiones eléctricas normalizadas se clasifican:

Baja tensión: desde 100 V hasta 1000 V

Media tensión: mayor de 1000 V hasta 34.5 kV

Alta tensión: mayor de 34.5 kV hasta 230 kV

Extra alta tensión: mayor de 230 kV hasta 400 kV

Tabla 1.- Tensiones eléctricas normalizadas						
Clasificación	Tensión eléctrica nominal del sistema (1) V			Tensión eléctrica de servicio V		Tensión eléctrica normalizada de utilización V (3)
	1 fase 3 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	máximo	mínimo	
Baja tensión	<u>120 / 240</u> -- -- -- --	-- -- -- <u>480</u>	-- <u>220 Y / 127</u> <u>480 Y / 277</u> --	126 / 252 231 / 133.3 504 / 291 504	108 / 216 198 / 114.3 432 / 249.4 432	<u>115 / 230</u> <u>208 Y / 120</u> <u>460 Y / 265</u> <u>460</u>
Mediana tensión		2 400 <u>4 160</u> -- <u>13 800</u> -- <u>23 000</u> -- <u>34 500</u> --	-- (2) -- -- -- <u>13 800 Y / 7 970</u> -- <u>23 000 Y / 13 280</u> -- <u>34 500 Y / 19 920</u>	2 520 4 368 7 245 14 490 14 490 / 8 366 24 150 24 150 / 13 943 36 225 36 225 / 20 915	2 160 3 744 6 210 12 420 12 420 / 7 171 20 700 20 700 / 11 951 31 050 31 050 / 17 927	2 300 <u>4 000</u> 6 600 <u>13 200</u>
Alta tensión		<u>69 000</u> 85 000 <u>115 000</u> 138 000 161 000 <u>230 000</u>		72 450 89 250 120 750 144 900 169 050 241 500	62 100 76 500 103 500 124 200 144 900 207 000	
Extra alta tensión		<u>400 000</u>		420 000	360 000	

Descripción de los números ANSI / IEEE

No ANSI /IEEE	Descripción
1	Elemento principal es el dispositivo de iniciación, tal como el interruptor de control, relé de tensión, interruptor de flotador, etcétera, que sirve para poner el aparato en operación o fuera de servicio, bien directamente o a través de dispositivos, tales como relés de protección con retardo.
2	Relé de cierre o arranque temporizado es el que da la temporización deseada entre operaciones de una secuencia automática o de un sistema de protección, excepto cuando es proporcionado específicamente por los dispositivos 48, 62 y 79 descritos más adelante.
3	Relé de comprobación o de bloqueo es el que opera en respuesta a la posición de un número de condiciones determinadas, en un equipo para permitir que continúe su operación, para que se pare o para proporcionar una prueba de la posición de estos dispositivos o de estas condiciones para cualquier fin.
4	Contacto principal es un dispositivo generalmente mandado por el dispositivo N° 1 o su equivalente y los dispositivos de permiso y protección necesarios, y sirve para cerrar y abrir los circuitos de control necesarios para reponer un equipo en marcha, bajo las condiciones deseadas o bajo condiciones anormales.
5	Dispositivo de parada es aquel cuya función primaria es quitar y mantener un equipo fuera de servicio.
6	Interruptor de arranque es un dispositivo cuya función principal es conectar la máquina a su fuente de tensión de arranque.
7	Interruptor de ánodo es el utilizado en los circuitos del ánodo de un rectificador de potencia, principalmente para interrumpir el circuito rectificador por retorno del encendido de arco.
8	Dispositivo de desconexión de energía de control es un dispositivo de desconexión (tal como un conmutador de cuchilla, interruptor o bloque de fusibles extraíbles) que se utiliza con el fin de conectar y desconectar, respectivamente, la fuente de energía de control hacia y desde la barra o equipo de control. Nota: Se considera que la energía de control incluye la energía auxiliar que alimenta aparatos pequeños como motores calefactores.
9	Dispositivo de inversión es el que se utiliza para invertir las conexiones del campo de una máquina o bien para otras funciones especiales de inversión.
10	Conmutador de secuencia es el que se utiliza para cambiar la secuencia de conexión o desconexión de unidades de un equipo de unidades múltiples.
11	Reservado para aplicaciones futuras
12	Dispositivo de exceso de velocidad es normalmente un interruptor de velocidad de conexión directa que actúa cuando la máquina embala.

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

13	Dispositivo de velocidad síncrona es el que funciona con aproximadamente la velocidad normal de una máquina, tal como un conmutador de velocidad centrífuga, relés de frecuencia de deslizamiento, relé de tensión, relé de intensidad mínima o cualquier tipo de dispositivo similar.
14	Dispositivo de falta de velocidad es el que actúa cuando la velocidad de la máquina desciende por debajo de un valor predeterminado.
15	Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia de una máquina o sistema a un cierto valor o bien entre ciertos límites.
16	Reservado para aplicaciones futuras.
17	Conmutador para puentear el campo serie sirve para abrir y cerrar un circuito en shunt entre los extremos de cualquier pieza o aparto (excepto una resistencia) tal como el campo de una máquina un condensador o una reactancia. Nota: Eso incluye los dispositivos que realizan las funciones de shunt necesarias para arrancar una máquina por los dispositivos 6 o 42, su equivalente, y también excluye la función del dispositivo 73 que sirve para la operación de las resistencias.
18	Dispositivo de aceleración o declaración es el que se utiliza para cerrar o hacer cerrar los circuitos que sirven para aumentar o disminuir la velocidad de una máquina.
19	Contactos de transición de arranque a marcha normal son aquellos cuya función es hacer las transferencias de las conexiones de alimentación de arranque a las de marcha normal de la máquina.
20	Válvula maniobrada eléctricamente es accionada por solenoide o motor, que se utiliza en circuitos de vacío, aire, gas, aceite, agua o similares.
21	Relé de distancia es el que funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia del circuito disminuyen o aumentan a unos límites preestablecidos.
22	Interruptor igualador sirve para conectar y desconectar las conexiones para actualización de intensidad para los reguladores del campo de la máquina o de la tensión de la máquina, en una instalación de unidades múltiples.
23	Dispositivo regulador de temperatura es el que funciona para mantener la temperatura de la máquina u otros aparatos dentro de ciertos límites. Nota: Un ejemplo es un termostato que enciende un calentador en un elemento de aparellaje, cuando la temperatura desciende a un valor deseado que es distinto de un dispositivo usado para proporcionar regulación de temperatura automática entre límites próximos, y que sería designado como 90T.
24	Sobreexcitación es un relé que funciona cuando la relación V/Hz (tensión/frecuencia) excede un valor previamente ajustado. El relé puede tener una característica temporizada o instantánea.

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

25	Dispositivo de sincronización o puesta en paralelo es el que funciona cuando dos circuitos de alterna están dentro de los límites deseados de tensión, frecuencia o ángulo de fase, lo cual permite o causa la puesta en paralelo de estos circuitos.
26	Dispositivo térmico es el que funciona cuando la temperatura del campo en shunt, o el bobinado amortiguador de una máquina, o el de una resistencia de limitación de carga o de cambio de carga, o de un líquido u otro medio, excede un valor determinado con anterioridad: si la temperatura del aparato protegido, tal como un rectificador de energía o de cualquier otro medio, es inferior a un valor fijado con antelación.
27	Relé de mínima tensión es el que funciona al descender la tensión de un valor predeterminado.
28	Detector de llama sirve para detectar la existencia de llama en el piloto o quemador principal, por ejemplo de una caldera o una turbina de gas.
29	Contactador de aislamiento es el que se utiliza con el propósito especial de desconectar un circuito de otro, por razones de maniobra de emergencia, conservación o prueba.
30	Relé anunciador es un dispositivo de reposición no automática que da un número de indicaciones visuales independientes al accionar el dispositivo de protección y además también puede estar dispuesto para efectuar la función de bloqueo.
31	Dispositivo de excitación separada es el que conecta un circuito, tal como el campo shunt de una conmutatriz, a la fuente de excitación separada durante el proceso de arranque, o bien se utiliza para energizar la excitación y el circuito de encendido de un rectificador.
32	Relé direccional de potencia es el que funciona sobre un valor deseado de potencia en una dirección dada o sobre la inversión de potencia como por ejemplo, la resultante del retroceso del arco en los circuitos de ánodo o cátodo de un rectificador de potencia
33	Conmutador de posición es el que hace o abre contacto cuando el dispositivo principal o parte del aparato, que no tiene un número funcional de dispositivo, alcanza una posición dada.
34	Conmutador de secuencia movido a motor es un conmutador de contactos múltiples que fija la secuencia de operación de los dispositivos principales durante el arranque y la parada, o durante otras operaciones que requieran una secuencia.
35	Dispositivo de cortocircuito de las escobillas o anillos rozantes es el que sirve para elevar, bajar o desviar las escobillas de una máquina, o para cortocircuitar los anillos rozantes.
36	Dispositivo de polaridad es el que acciona o permite accionar a otros dispositivos con una polaridad funciona cuando la intensidad o la potencia caen por debajo de un valor predeterminado.
38	Dispositivo térmico de cojinetes es el que funciona con temperatura excesiva de los cojinetes.

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

39	Detector de condiciones mecánicas es el que tiene por cometido funcionar en situaciones mecánicas anormales (excepto las que suceden a los cojinetes de una máquina, tal y como se explica en la función 38), tales como vibración excesiva, excentricidad, etcétera.
40	Relé de campo es el que funciona por un valor dado, anormalmente bajo, por fallo de la intensidad de campo de la máquina, o por un valor excesivo del valor de la componente reactiva de la corriente de armadura en una máquina de CA, que indica excitación del campo anormalmente baja.
41	Interruptor de campo es un dispositivo que funciona para aplicar o quitar la excitación de campo de una máquina.
42	Interruptor de marcha es un dispositivo cuya función principal es la de conectar la máquina a su fuente de tensión de funcionamiento en marcha, después de haber sido llevada hasta la velocidad deseada desde la conexión de arranque.
43	Dispositivo de transferencia es un dispositivo accionado a mano, que efectúa la transferencia de los circuitos de control para modificar el proceso de operación del equipo de conexión de los circuitos o de algunos de los dispositivos.
44	Relé de secuencia de arranque del grupo es el que funciona para arrancar la unidad próxima disponible en un equipo de unidades múltiples cuando falta o no está disponible la unidad que normalmente precede.
45	Detector de condiciones atmosféricas Funciona ante condiciones atmosféricas anormales, como humos peligrosos, gases explosivos, fuego, etc.
46	Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases es el que funciona cuando las intensidades polifásicas están en secuencia inversa o desequilibrada o contienen componentes de secuencia negativa.
47	Relé de tensión para secuencia de fase es el que funciona con un valor dado de tensión polifásica de la secuencia de fase deseada.
48	Relé de secuencia incompleta es el que vuelve al equipo a la posición normal o “desconectado” y lo enclava si la secuencia normal de arranque, funcionamiento o parada no se completa debidamente dentro de un intervalo predeterminado.
49	Relé térmico para máquina, aparato o transformador es el que funciona cuando la temperatura de la máquina, aparato o transformador excede de un valor fijado.
50	Relé instantáneo de sobreintensidad o de velocidad de aumento de intensidad es el que funciona instantáneamente con un valor excesivo de velocidad de aumento de intensidad.
51	Relé de sobreintensidad temporizado es un relé con una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito de CA sobrepasa un valor dado.
52	Interruptor de CA es el que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia de CA bajo condiciones normales, o para interrumpir este circuito bajo condiciones de falta de emergencia.

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

53	Relé de la excitatriz o del generador de CD es el que fuerza un campo de la máquina de CD durante el arranque o funciona cuando la tensión de la máquina ha llegado a un valor dado.
54	Reservado para aplicaciones futuras.
55	Relé de factor de potencia es el que funciona cuando el factor de potencia de un circuito de CA no llega o sobrepasa un valor dado.
56	Relé de aplicación del campo es el que se utiliza para controlar automáticamente la aplicación de la excitación de campo de un motor de CA en un punto predeterminado en el ciclo de deslizamiento.
57	Dispositivo de cortocircuito o de puesta a tierra es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.
58	Relé de fallo de rectificador de potencia es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.
59	Relé de sobretensión es que funciona con un valor dado de sobretensión.
60	Relé de equilibrio de tensión es el que opera con una diferencia de tensión entre dos circuitos.
61	Relé de parada o apertura temporizada es el que se utiliza en unión con el dispositivo que inicia la parada total o la indicación de parada o apertura en una secuencia automática.
62	Reservado para aplicaciones futuras.
63	Relé de presión de gas, líquido o vacío es el que funciona con un valor dado de presión del líquido o gas, para una determinada velocidad de variación de la presión.
64	Relé de protección de tierra es el que funciona con el fallo a tierra del aislamiento de una máquina, transformador u otros aparatos, o por contorneamiento de arco a tierra de una máquina de CD. Nota: Esta función se aplica solo a un relé que detecta el paso de corriente desde el armazón de una máquina, caja protectora o estructura de una pieza de aparatos, a tierra, o detecta una tierra en un bobinado o circuito normalmente no puesto a tierra. No se aplica a un dispositivo conectado en el circuito secundario o en el neutro secundario de un transformador o transformadores de intensidad, conectados en el circuito de potencia de un sistema puesto normalmente a tierra.
65	Regulador mecánico es el equipo que controla la apertura de la compuerta o válvula de la máquina motora para arrancarla, mantener su velocidad o detenerla.
66	Relé de pasos es el que funciona para permitir un número especificado de operaciones de un dispositivo dado o equipo, o bien un número especificado de operaciones sucesivas con un intervalo dado de tiempo entre cada una de ellas. También se utiliza para permitir el energizado periódico de un circuito y la aceleración gradual de una máquina.
67	Relé direccional de sobreintensidad de CA es el que funciona con un valor deseado de circulación de sobreintensidad de CA en una dirección dada.

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

68	Relé de bloqueo es el que inicia una señal piloto para bloquear o disparar en faltas externas en una línea de transmisión o en otros aparatos bajo condiciones dadas coopera con otros dispositivos para bloquear el disparo o bloquear el reenganche con una condición de pérdida de sincronismo o en oscilaciones de potencia.
69	Dispositivo de supervisión y control es generalmente un interruptor auxiliar de dos posiciones accionado a mano, el cual permite una posición de cierre de un interruptor o la puesta en servicio de un equipo y en la otra posición impide el accionamiento del interruptor o del equipo.
70	Reóstato es el que se utiliza para variar la resistencia de un circuito en respuesta a algún método de control eléctrico, que, o bien es accionado eléctricamente, o tiene otros accesorios eléctricos como contactos auxiliares de posición o limitación.
71	Relé de nivel líquido o gaseoso es el que funciona para valores dados de nivel de líquidos o gases, o para determinadas velocidades de variación de estos parámetros.
72	Interruptor de CD es el que se utiliza para cerrar o interrumpir el circuito de alimentación de CD bajo condiciones normales o para interrumpir este circuito bajo condiciones de emergencia.
73	Contactador de resistencia de carga es el que se utiliza para puentear o meter en circuito un punto de la resistencia limitadora, de cambio o indicadora, o bien para activar un calentador, una luz, o una resistencia de carga de un rectificador de potencia u otra máquina.
74	Relé de alarma es cualquier otro relé diferente al anunciador comprendido bajo el dispositivo 30 que se utiliza para accionar u operar en unión de una alarma visible o audible.
75	Mecanismo de cambio de posición es el que se utiliza para cambiar un interruptor desconectable en unidad entre las posiciones de conectado, desconectado y prueba.
76	Relé de sobreintensidad de CD es el que funciona cuando la intensidad en un circuito de CD sobrepasa un valor dado.
77	Transmisor de impulsos es el que se utiliza para generar o transmitir impulsos, a través de un circuito de telemida o hilos pilotos, a un dispositivo de indicación o recepción de distancia.
78	Relé de medio de ángulo de desfase o de protección de salida de paralelo es el que funciona con un valor determinado de ángulo de desfase entre dos tensiones o dos intensidades, o entre tensión e intensidad.
79	Relé de reenganche de CA es el que controla el reenganche enclavamiento de un interruptor de CA.
80	Relé de flujo líquido o gaseoso actúa para valores dados de la magnitud del flujo o para determinadas velocidades de variación de este
81	Relé de frecuencia es el que funciona con un valor dado de la frecuencia o por la velocidad de variación de la frecuencia.
82	Relé de reenganche de CD es el que controla el cierre y reenganche de un interruptor de CD generalmente respondiendo a las condiciones de la carga del circuito.

Formulario para el sustentante del

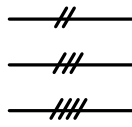
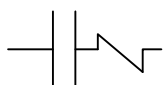
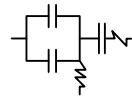
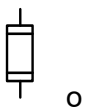
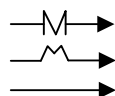
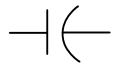
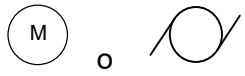
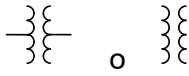
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

83	Relé de selección o transferencia del control automático es el que funciona para elegir automáticamente entre ciertas fuentes de alimentación o condiciones en un equipo, o efectúa automáticamente una operación de transferencia.
84	Mecanismo de accionamiento es el mecanismo eléctrico completo, o servomecanismo, incluyendo el motor de operación, solenoides, auxiliares de posición, etcétera, para un cambiador de tomas, regulador de inducción o cualquier pieza de un aparato que no tenga número de función.
85	Relé receptor de ondas portadoras o hilo piloto es el que se acciona o se frena por una señal y se usa en combinación con una protección direccional que funciona con equipos de transmisión de onda portadora o hilos piloto de CD.
86	Relé de enclavamiento es un relé accionado eléctricamente con reposición a mando o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo fuera de servicio cuando concurren condiciones anormales.
87	Relé de protección diferencial es el que funciona sobre un porcentaje o ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa de dos intensidades o algunas otras cantidades eléctricas.
88	Motor o grupo motor generador auxiliar es el que se utiliza para accionar equipos auxiliares, tales como bombas, ventiladores, excitatrices, etcétera.
89	Desconectador de línea es el que se utiliza como un desconectador de desconexión o aislamiento en un circuito de potencia de CA o CD cuando este dispositivo se acciona eléctricamente o bien tiene accesorios eléctricos, tales como interruptores auxiliares, enclavamiento electromagnético, etcétera.
90	Dispositivo de regulación es el que funciona para regular una cantidad, tal como la tensión, intensidad, potencia, velocidad, frecuencia, temperatura o carga a un valor dado, o bien ciertos límites para las máquinas, líneas de unión u otros aparatos.
91	Relé direccional de tensión es el que funciona cuando la tensión entre los extremos de un interruptor o contactor abierto sobrepasa de un valor dado en una dirección dada.
92	Relé direccional de tensión y potencia es un relé que permite y ocasiona la conexión de dos circuitos cuando la diferencia de tensión entre ellos excede de un valor dado en una dirección predeterminada y da lugar a que estos dos circuitos sean desconectados uno del otro cuando la potencia circulante entre ellos excede un valor dado en la dirección opuesta.
93	Contador de cambio de campo es el que funciona para cambiar el valor de la excitación de la máquina.
94	Relé de disparo o disparo libre es el que funciona para disparar o permitir disparar un interruptor, contactor o equipo, o para evitar el reenganche inmediato de un interruptor en el caso de que abra por sobrecarga, aunque el circuito inicial de mando de cierre sea mantenido.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

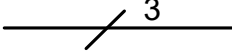
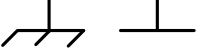
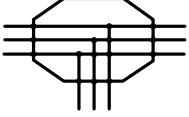
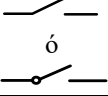
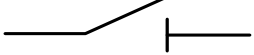
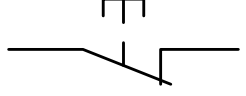
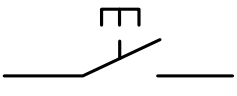
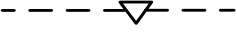
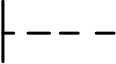
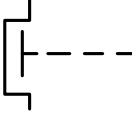
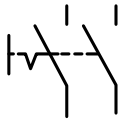
NMX-J-136-ANCE-2007

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Circuito (conductor o tubo) confinado entecho o pared		Circuitos (conductor o tubo). Las líneas inclinadas indican número de conductores.	
Ensamble de conductores que se conectan.		Ensamble de conductores que no se conectan.	
Conexión puesta a tierra.		Interruptor	
Interruptor termomagnético (automático)		Arrancador (con protección contra sobrecarga)	
Arrancador a tensión plena		Arrancador a tensión reducida	
Fusible		Acometida	
Receptáculos sencillo		Receptáculo doble	
Receptáculo trifásico		Interruptor sencillo	
Receptáculo de piso		Receptáculo de puesta a tierra	
Interruptor de un polo		Interruptor de 3 polos	
Salida de lámpara incandescente		Resistencia	
Capacitancia		Devanado	
Motor		Transformador con dos devanados	

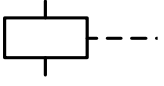
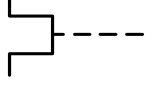
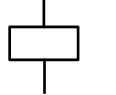
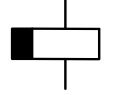
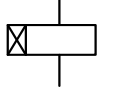
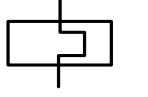
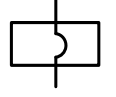
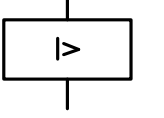
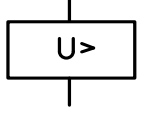
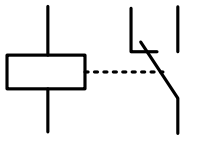
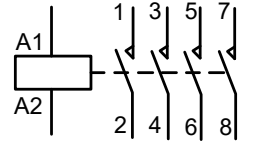
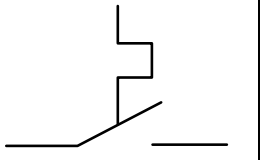
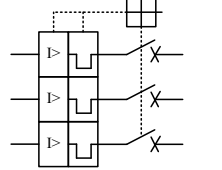
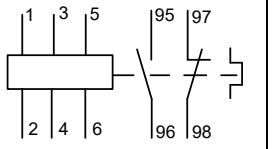
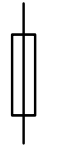
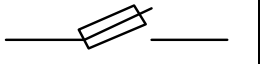
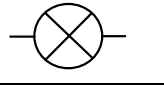
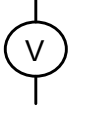
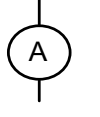
Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Transformador con dos devanados		Autotransformador	
Transformador de potencial		Voltímetro	
Amperímetro		Zumbador	
Tablero eléctrico general		Tablero de distribución general	
Tablero de distribución de alumbrado		Medio de desconexión	
Interruptor de seguridad		Apartarrayos	
Transformador de corriente		Equipo de medición	
Grupo generador		Interruptor de seguridad (desconectador de seguridad)	
Barra de neutro		Barra de puesta a tierra	
Tablero de fuerza			

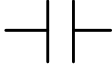
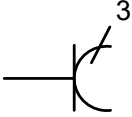
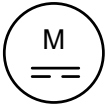
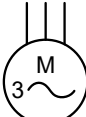
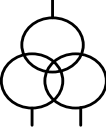
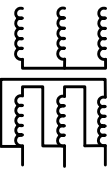
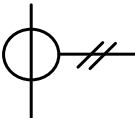
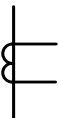
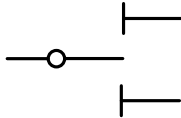
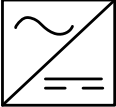
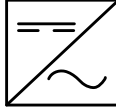
EN-60617 o IEC 60617

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Empalme de conductores en una misma línea		Unifilar 3 circuitos	
Unifilar 3 conductores		Terminal en placa	
Punto que indica conexión		El punto en blanco indica terminal del cable	
Representación de la toma de tierra		Tierra de protección	
Masa, chasis		Caja de empalme	
Falla		Convertidor, símbolo general	
Interruptor normalmente abierto		Interruptor normalmente cerrado	
Contacto principal de cierre de un contactor		Seccionador	
Pulsador normalmente cerrados		Pulsador normalmente abierto	
Trinquete, retén o retorno no automático.		Enclavamiento mecánico entre dos dispositivos	
Accionador manual, símbolo general		Accionador manual protegido contra una operación no intencionada	
Pulsador con retención		Interruptor bipolar	

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Accionamiento por efecto electromagnético		Accionamiento por dispositivo térmico	
Bobina de un relevador		Desconexión retardada al activar el mando.	
Conexión retardada al activar el mando.		Relevador electrónico	
Relevador térmico		Relevador electromagnético	
Relé de máxima intensidad		Relevador de máxima tensión	
Bobina en general de relés, contactores y otros dispositivos de mando.		Contactor y contactos principales	
Contacto auxiliar de cierre autoaccionado por un relé térmico		Interruptor automático tripolar	
Relevador térmico		Fusible	
Fusible interruptor		Sirena	
Lámpara símbolo general		Zumbador	
Vóltmetro		Ampérmetro	

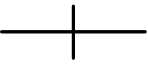
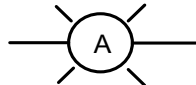
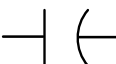
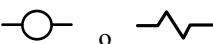
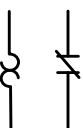
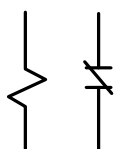
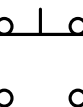
Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Resistencia		Capacitor	
Bobina			
Clavija de enchufe.		Arrancador de motor	
Clavija y receptáculo		Toma de corriente múltiple	
Motor de corriente continua		Motor trifásico	
Generador no rotativo		Generador síncrono trifásico, con inducido en estrella y neutro accesible.	
Transformador de tres arrollamientos. Unifilar		Transformador de tres arrollamientos. Multifilar	
Transformador trifásico, conexión estrella-triángulo		Transformador trifásico, conexión estrella-triángulo	
Transformador de corriente		Transformador de corriente	
Pararrayos		Seccionador de dos posiciones con posición intermedia	
Rectificador.		Ondulador, Inversor	

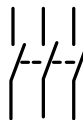
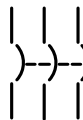
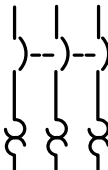
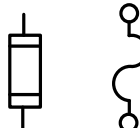
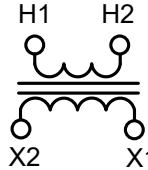
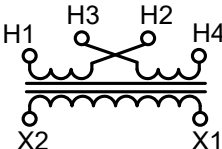
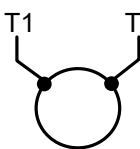
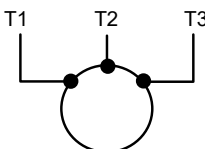
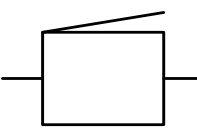
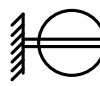
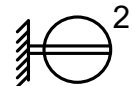
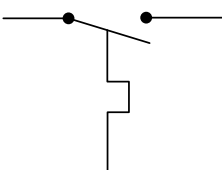
Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Arrancador estrella-delta		Arrancado por autotransformador	

Símbolos de acuerdo a la ANSI

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Conductor		Conductores no conectados	
Conductores conectados		Terminal del conductor	
Representación de la toma de tierra		Bloqueo mecánico	
Conexión mecánica		Vóltmetro	
Ampérmetro		Lámpara piloto	
Capacitor		Resistencia	
Bobinas		Relevador de sobrecarga térmico	
Relevador de sobrecarga magnético		Contacto de empuje normalmente abierto	
Contacto de empuje normalmente cerrado		Contacto de empuje doble	
Contactos instantáneos, normalmente abierto		Contactos instantáneos, normalmente cerrado	

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
Desconectador		Interruptor	
Interruptor con protección térmica		Fusible	
Transformador de corriente		Transformador de voltaje simple	
Transformador de voltaje doble.		Motor de corriente alterna monofásico	
Motor de corriente alterna trifásico		Zumbador	
Tomacorriente sencillo		Tomacorriente doble	
Contacto térmico			

Extracto de la NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización)

La correspondencia de algunas tablas de la NOM-001-SEDE-2012 con la NOM-001-SEDE-2005, aparecen entre corchetes.

Tabla 220-12 [220-3(b)].- Cargas de alumbrado general por tipo del inmueble.

Tabla 220-42 [220-11].- Factores de demanda de cargas de alumbrado.

Tabla 220-44 [220-13].- Factores de demanda para cargas de contactos que no son.

Tabla 250-66 [250-94].- Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna.

Tabla 250-102 [250-79].- Conductores y puentes de unión.

Tabla 250-122 [250-95].- Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos.

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

Tabla 310-15(b)(16) [310-16].- Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2 000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*.

Tabla 310-15(b)(17) [310-17].- Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30 °C.

Tabla 310-15(b)(18) [310-18].- Ampacidades permisibles de conductores aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en canalizaciones o cables y basadas en una temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-15(b)(19) [310-19].- Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-15(b)(20) [310-20].- Ampacidades de no más de tres conductores individuales aislados para Tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, sostenidos por un mensajero, con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(67) [310-67].- Ampacidad permisible de cables monoconductores de cobre aislados en configuración tríplex al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(68) [310-68].- Ampacidad de cables de ternas de conductores individuales de aluminio, aislados, al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire ambiente de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(69) [310-69].- Ampacidad de conductores de cobre individuales, aislados, y separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(70) [310-70].- Ampacidad de conductores individuales de aluminio, aislados, separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C (104 °C) y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(71) [310-71].- Ampacidad de cables de tres conductores de cobre, aislados, separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(72) [310-72].- Ampacidad de cables de tres conductores de aluminio, aislados, separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(73) [310-73].- Ampacidad de cables de tres conductores o temas de cables individuales aislados, de cobre, en tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(74) [310-74].- Ampacidad de cables de tres conductores o temas de cables individuales aislados, de aluminio, en tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(75) [310-75].- Ampacidad de cables de tres conductores de cobre aislados y en un tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(76) [310-76].- Ampacidad de cables de tres conductores de aluminio aislados, en un tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*.

Tabla 310-60(c)(77) [310-77].- Ampacidad de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, el montaje de los ductos eléctricos según se indica en la Figura 310-60, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C, temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C.

Tabla 310-60(c)(81) [310-81].- Ampacidad de conductores individuales de cobre, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, el montaje de los ductos eléctricos según se indica en la Figura 310-60, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C.

Tabla 392-22(a) [318-9].- Área de ocupación permisible para cables multiconductores en charolas portacables de tipo escalera, fondo ventilado, tipo malla o fondo sólido para cables de 2000 volts o menos.

Tabla 392-22(a)(5) [318-9(e)].- Área de ocupación permisible para cables multiconductores en charolas portacables de canal ventilado para cables de 2 000 volts o menos.

Tabla 392-22(a)(6) [318-9(f)].- Área de ocupación permisible para cables multiconductores en charolas portacables de canal sólido para cables de 2 000 volts o menos.

Tabla 392-22(b)(1) [318-10].- Área de ocupación permisible para cables de un solo conductor en charolas portacables de tipo escalera, fondo ventilado o malla ventilada para cables de 2 000 volts o menos.

Tabla 348-22. [350-12].- Número máximo de conductores aislados en el tubo conduit metálico flexible con designación métrica de 12 (tamaño comercial de 3/8)*.

Tabla 384-22 [352-45].- Dimensiones del canal y área de la sección transversal interior.

Tabla 314-16(a) [370-16(a)].- Cajas metálicas.

Tabla 314-16(b) [370-16(b)].- Volumen que es requerido considerar para cada conductor.

Tabla 312-6(a) [373-6(a)].- Espacio mínimo para el doblado de los cables en las terminales y ancho mínimo de las canales para alambrado.

Tabla 312-6(b) [373-6(b)].- Espacio mínimo para el doblado del alambre en las terminales

Tabla 430-22(e) [430-22 (b)].- Servicio por régimen de tiempo.

Tabla 430-247 [430-147].- Corriente a plena carga para motores de corriente continua.

Tabla 430-248 [430-148].- Corriente a plena carga de motores monofásicos de corriente alterna.

Tabla 430-249 [430-149].- Corriente a plena carga para motores de dos fases de corriente alterna (4 hilos).

Tabla 430-250 [430-150].- Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna.

Tabla 430-251(a) [430-151(a)].- Conversión de corrientes monofásicas a rotor bloqueado, para la selección de los medios de desconexión y controladores de los motores, de acuerdo a los valores nominales de tensión y potencia en kW.

Tabla 430-251(b) [430-151(b)].- Conversión de corriente polifásica máxima a rotor bloqueado, diseños B, C, y D, para la selección de medios de desconexión y controladores, determinados a partir del valor nominal de potencia en caballos de fuerza y la letra de diseño.

Tabla 1 [10-1].- Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores.

Tabla 4 [10-4].- Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit (basado en la **Tabla 1**, de este Capítulo).

Índice del contenido

Título 1 Objetivo y campo de aplicación

1.1 Objetivo

1.1.1 El objetivo de esta NOM es establecer las especificaciones y lineamientos 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 la protección contra:

- los descargas eléctricas
- los efectos térmicos
- las sobrecorrientes
- las corrientes de falla y
- las sobretensiones

El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta NOM garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura; asimismo esta NOM no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

1.2 Campo de aplicación

1.2.1 Esta NOM cubre a las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica en:

- a)** Propiedades industriales, comerciales, de vivienda, cualquiera que sea su uso, públicas y privadas, y en cualquiera de los niveles de tensiones 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, construcciones flotantes, ferias, circos y exposiciones, estacionamientos, talleres, lugares de reunión, lugares de atención a la salud, construcciones agrícolas, marinas y muelles.
- c)** Todas las instalaciones del usuario situadas fuera de edificios;
- d)** Alambrado fijo para telecomunicaciones, señalización, control y similares (excluyendo el alambrado interno de aparatos);
- e)** Las ampliaciones o modificaciones a las instalaciones, así como a las partes de instalaciones existentes afectadas por estas ampliaciones o modificaciones.

Los equipos eléctricos sólo están considerados respecto a su selección y aplicación para la instalación correspondiente.

1.2.2 Esta NOM no se aplica en:

- a)** Instalaciones eléctricas en embarcaciones.
- b)** Instalaciones eléctricas para unidades de transporte público eléctrico, aeronaves o vehículos automotores.
- c)** Instalaciones eléctricas del sistema de transporte público eléctrico en lo relativo a la generación, transformación, transmisión o distribución de energía eléctrica utilizada exclusivamente para la operación del equipo rodante o de señalización y comunicación.
- d)** Instalaciones eléctricas en áreas subterráneas de minas, así como en la maquinaria móvil autopropulsada de minería superficial y el cable de alimentación de dicha maquinaria.

e) Instalaciones de equipo de comunicaciones que esté bajo el control exclusivo de empresas de servicio público de comunicaciones donde se localice.

Título 2 Referencias

Para la correcta utilización de esta NOM, es necesario consultar los siguientes documentos vigentes o los que los sustituyan:

NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.

NOM-063-SCFI-2001, Productos eléctricos-Conductores-Requisitos de seguridad.

NMX-J-098-ANCE-1999, Sistemas eléctricos de potencia-Suministro-Tensiones Eléctricas Normalizadas.

Título 3 Lineamientos para la aplicación de las especificaciones en las instalaciones

3.1 Objetivo

El objetivo de las especificaciones es precisar las disposiciones de carácter técnico que deben cumplir las instalaciones eléctricas.

Las disposiciones establecidas en las especificaciones de esta NOM no deben considerarse como guía de diseño de instalaciones ni como un manual de instrucciones para personas no-calificadas (Ver definición de persona calificada en el Artículo 100 del Capítulo 1). Se considera que para hacer un uso apropiado de estas especificaciones, es necesario recibir capacitación y tener experiencia suficiente en el manejo de las instalaciones eléctricas.

Título 4 Principios fundamentales

4.1 Protección para la seguridad

4.1.1 Generalidades

Los requisitos establecidos en este capítulo tienen el propósito de garantizar la seguridad de las personas, animales y los bienes contra los riesgos que puedan resultar de la utilización de las instalaciones eléctricas.

Nota: En las instalaciones eléctricas, existen dos tipos de riesgos mayores:

- Las corrientes de choque.
- Las temperaturas excesivas capaces de provocar quemaduras, incendios u otros efectos peligrosos.

4.1.2 Protección contra choque eléctrico.

4.1.2.1 Protección principal (protección contra contacto directo).

La protección para las personas y animales debe proporcionarse contra los peligros que puedan resultar por el contacto con las partes vivas de la instalación.

Esta protección puede obtenerse por uno de los métodos siguientes:

- Previendo que una corriente pueda pasar a través del cuerpo de una persona o de un animal.
- Limitando la corriente que pueda pasar a través del cuerpo a un valor inferior al de la corriente de choque.

4.1.2.2 Protección contra falla (protección contra contacto indirecto)

Nota: Para las instalaciones, sistemas y equipo de baja tensión, la protección contra falla corresponde generalmente a la protección contra contacto indirecto, principalmente con respecto a la falla de aislamiento principal.

La protección para las personas y animales debe proporcionarse contra los peligros que puedan resultar por el contacto indirecto con las partes conductoras expuestas en caso de falla.

Esta protección puede obtenerse por uno de los métodos siguientes:

- Disposiciones para el paso de corriente que resulte de una falla y que pueda pasar a través del cuerpo de una persona.
- Limitando la magnitud de la corriente que resulte de una falla, a un valor no peligroso, la cual puede pasar a través del cuerpo.
- Limitando la duración de la corriente que resulte de una falla, que puede pasar a través del cuerpo, a un periodo no peligroso.

Nota: En relación con la protección contra los contactos indirectos, la aplicación del método de conexión de puesta a tierra, constituye un principio fundamental de seguridad.

4.1.3 Protección contra los efectos térmicos

La instalación eléctrica debe disponerse de forma tal que se minimice el riesgo de daño o ignición de materiales inflamables, que se originan por altas temperaturas o por arcos eléctricos. Además, durante el funcionamiento normal del equipo eléctrico, no debe haber riesgo de que las personas o animales sufran quemaduras.

4.1.4 Protección contra sobrecorriente

Las personas y los animales deben protegerse contra daños y las propiedades contra temperaturas excesivas o esfuerzos electromecánicos que se originan por cualquier sobrecorriente que pueda producirse en los conductores.

La protección puede obtenerse al limitar la sobrecorriente a un valor o una duración segura.

4.1.5 Protección contra las corrientes de falla

Los conductores que no sean los conductores activos, y las otras partes que se diseñan para conducir una corriente de falla, deben poder conducir estas corrientes sin alcanzar una temperatura excesiva. El equipo eléctrico, incluyendo a los conductores, debe proveerse con protección mecánica contra esfuerzos electromecánicos causados por las corrientes de falla, para prevenir lesiones o daños a las personas, animales o sus propiedades.

Los conductores vivos deben protegerse contra las sobrecorrientes de acuerdo con 4.1.4.

4.1.6 Protección contra disturbios de tensión y disposiciones contra influencias electromagnéticas

4.1.6.1 Las personas y los animales deben protegerse contra daños y las propiedades deben protegerse contra cualquier efecto dañino como consecuencia de una falla entre las partes vivas de circuitos alimentados a distintas tensiones.

4.1.6.2 Las personas, los animales y las propiedades deben protegerse contra daños como consecuencia de sobretensiones que se originan por fenómenos atmosféricos o por maniobras.

Nota: Para mayor información sobre la protección contra las tormentas eléctricas puede consultarse el Apéndice B1, TABLA B1.2

4.1.6.3 Las personas, los animales y las propiedades deben protegerse contra daños como consecuencia de una baja tensión y de cualquier recuperación subsecuente de la misma.

4.1.6.4 La instalación debe tener un nivel de inmunidad contra disturbios electromagnéticos de manera que funcione correctamente en el ambiente específico. De manera anticipada, el diseño de la instalación debe tomar en consideración las emisiones electromagnéticas que se generan por la instalación o por el equipo que se conecta, que debe ser acorde para el equipo que se utiliza o que se conecta a la instalación.

4.1.7 Protección contra interrupciones de la fuente de suministro

En el caso de que exista la probabilidad de que se presente peligro o daño debido a una interrupción en la fuente de suministro, deben tomarse en cuenta las provisiones adecuadas a realizarse en la instalación o en el equipo que se instala.

4.2 Diseño

4.2.1 Generalidades

Para el diseño de las instalaciones eléctricas, deben tomarse en cuenta los siguientes factores para proporcionar:

- Protección de las personas, animales y los bienes de acuerdo con 4.1;
- Funcionamiento satisfactorio de la instalación eléctrica acorde a la utilización prevista.

La información básica para la planeación de la instalación eléctrica se indica en 4.2.2 al 4.2.5. Los requisitos que debe cumplir el diseño de la instalación eléctrica, se establecen en los artículos del 4.2.6 al 4.2.12

Nota: Se recomienda tomar provisiones sobre futuras ampliaciones o expansiones de las instalaciones, con objeto de garantizar la seguridad en las instalaciones eléctricas.

4.2.2 Características de la fuente de suministro o del suministrador disponible.

Las instalaciones eléctricas deben diseñarse de acuerdo con las características de la fuente de suministro. La información específica de la fuente de suministro es necesaria para diseñar una instalación segura.

Las características de la fuente de suministro deben incluirse en la documentación para demostrar cumplimiento con la presente NOM. Se puede afectar la seguridad de la instalación si las características del sistema cambian.

4.2.2.1 Naturaleza de la corriente: corriente alterna o corriente continua.

4.2.2.2 Función de conductores:

- **Para corriente alterna:** Conductores de fase;
Conductor neutro;
Conductor de puesta a tierra (conductor de protección);
- **Para corriente continua:** Conductor de línea;
Conductor de punto medio;
Conductor de puesta a tierra (conductor de protección).

4.2.2.3 Valores:

- Valor de la tensión y tolerancia.
- Frecuencia y tolerancia.
- Frecuencia de interrupciones,
- Fluctuaciones y caídas de tensión.
- Corriente máxima admisible.
- Impedancia de falla a tierra.
- Corrientes probables de cortocircuito.

4.2.2.4 Medidas de protección inherentes en la alimentación; como por ejemplo: conductor neutro puesto a tierra, o conductor de puesta a tierra del punto medio o en el vértice de una fase (en un sistema delta abierto o cerrado).

4.2.2.5 Requisitos particulares de la alimentación de energía eléctrica, tales como: demanda, capacidad instalada, factor de demanda y tensión de alimentación.

4.2.3 Naturaleza de la demanda

El número y tipo de los circuitos alimentadores y derivados necesarios para iluminación, calefacción, fuerza motriz, control, señalización, telecomunicaciones, etc., deben ser determinados por:

- Puntos de consumo de la demanda de energía eléctrica;

- Cargas esperadas en los diferentes circuitos;
- Variación diaria y anual de la demanda;
- Condiciones especiales, tales como las armónicas;
- Requisitos para las instalaciones de control, de señalización, de telecomunicaciones, etc.

- Si es necesario, previsiones para futuras ampliaciones

4.2.4 Sistemas de emergencia o de reserva

- Fuente de alimentación (naturaleza, características).
- Circuitos a ser alimentados por el sistema de emergencia.
- Circuitos a ser alimentados por el sistema de reserva.

4.2.5 Condiciones ambientales

Deben considerarse las condiciones ambientales a las que va a estar sometida la instalación eléctrica.

4.2.6 Área de la sección transversal de los conductores

El área de la sección transversal de los conductores debe determinarse tanto para operación normal como para condiciones de falla en función:

- De su temperatura máxima admisible;
- De la caída de tensión admisible;
- De los esfuerzos electromecánicos que puedan ocurrir en caso de falla a tierra y corrientes de cortocircuito;
- De otros esfuerzos mecánicos a los que puedan estar sometidos los conductores;
- El valor máximo de la impedancia que permita asegurar el funcionamiento de la protección contra el cortocircuito.
- El método de instalación

Nota: Los puntos enumerados anteriormente, conciernen en primer lugar, a la seguridad de las instalaciones eléctricas. Es deseable tener áreas de sección transversal de los conductores mayores que las requeridas para la seguridad y para una operación económica.

4.2.7 Tipo de canalización y métodos de instalación de canalizaciones

La selección del tipo de alambrado y los métodos de instalación dependen de:

- La naturaleza del lugar;
- La naturaleza de las paredes u otras partes de los edificios que soportan el alambrado;
- La accesibilidad de las canalizaciones a las personas y animales domésticos;
- La tensión eléctrica;
- Los esfuerzos electromecánicos que puedan ocurrir en caso de falla a tierra y corrientes de cortocircuito;
- Otros esfuerzos a los cuales puedan ser expuestos los conductores durante la construcción de las instalaciones eléctricas o cuando están en servicio.

4.2.8 Dispositivos de protección

Las características de los dispositivos de protección, deben determinarse con respecto a su función, la cual puede ser por ejemplo, la protección contra los efectos de:

- Sobrecorrientes (sobrecargas, cortocircuito);
- Corrientes de falla a tierra;
- Sobre tensiones;
- Bajas tensiones o ausencia de tensión.

Los equipos de protección deben operar a los valores de corriente, tensión y tiempo convenientes de acuerdo con las características de los circuitos y a los peligros posibles.

4.2.9 Control de emergencia

En caso de peligro, si hay la necesidad de interrumpir inmediatamente el suministro de energía, debe instalarse un dispositivo de interrupción de manera tal, que sea fácilmente reconocible y rápidamente operable.

4.2.10 Dispositivos de seccionamiento

Deben proveerse dispositivos de desconexión para permitir desconectar de la instalación eléctrica, los circuitos o los aparatos individuales con el fin de permitir el mantenimiento, la comprobación, localización de fallas y reparaciones.

4.2.11 Prevención de las influencias perjudiciales mutuas

La instalación eléctrica debe estar dispuesta de tal forma que no haya influencia perjudicial mutua entre la instalación eléctrica y las instalaciones no eléctricas del edificio.

4.2.12 Accesibilidad de los equipos eléctricos

Los equipos eléctricos deben estar dispuestos para permitir tanto como sea necesario:

- Espacio suficiente para realizar la instalación inicial y el eventual reemplazo del equipo eléctrico;
- Accesibilidad para la operación, pruebas, inspección, mantenimiento y reparación.

Nota: Para la definición de Accesible (aplicado a equipo) ver Título 5, Artículo 100, Definiciones.

4.2.13 Proyecto eléctrico

Toda instalación eléctrica debe contar con un proyecto eléctrico (planos y memorias técnico descriptivas).

Los planos eléctricos varían ampliamente en su alcance, presentación y grado de detalle. Con frecuencia los planos industriales son más detallados que los planos para propósitos comerciales y éstos últimos son más detallados que los residenciales. Algunos proyectos incluyen planos de control y de conexiones; otros muestran solamente la distribución de la potencia. Muchos proyectos para oficinas, plazas comerciales y residenciales no tienen calculada más que la carga de acometida y los detalles de la instalación se resuelven en campo para cumplir con las necesidades del arrendatario o destino final del local.

El plano eléctrico más común es el diagrama unifilar que identifica y suministra información sobre las dimensiones de los componentes principales del sistema de alambrado eléctrico y muestra cómo la potencia es distribuida desde la fuente, habitualmente la acometida, hasta el equipo de utilización. Se representan equipos tales como tableros de distribución, equipos de conmutación, subestaciones, centros de control de motores, motores, equipos de emergencia, interruptores de transferencia y equipo de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

También se ilustran acometidas, alimentadores y algunas canalizaciones de circuitos derivados y cables. El diagrama unifilar normalmente indica el tipo de canalización o cable y el tamaño comercial, el número de conductores, sus tamaños y cualquier otra información especial; además puede indicar el nivel de tensión, las capacidades de las barras conductoras, la corriente de interrupción, las capacidades nominales de fusibles o interruptores, la puesta a tierra del sistema, medidores, relevadores y cualquier otra información para ayudar a identificar el sistema eléctrico. Un diagrama unifilar completo mostrará las acometidas, alimentadores y las cargas y equipos principales.

4.3 Selección del equipo eléctrico

4.3.1 Generalidades

En las instalaciones eléctricas a que se refiere esta NOM deben utilizarse materiales y equipos (productos) que cumplan con las normas oficiales mexicanas, con las normas mexicanas y, a falta de éstas, ostentar las especificaciones internacionales, las del país de origen o en su caso las del fabricante con las que cumplen.

4.3.2 Características

Cada producto eléctrico que se selecciona debe tener características acordes con los valores y las condiciones para los cuales está previsto el diseño de la instalación eléctrica y deben cumplir con los requisitos que se señalan a continuación:

4.3.2.1 Tensión

Los equipos eléctricos deben ser adecuados para el valor máximo de la tensión a la cual van a operar (valor eficaz en corriente alterna), así como también a las sobretensiones que pudieran ocurrir.

Nota: Para ciertos equipos puede ser necesario tomar en cuenta la tensión más baja que pudiera presentarse.

4.3.2.2 Corriente

Todos los equipos eléctricos deben seleccionarse considerando el valor máximo de la intensidad de corriente (valor eficaz en corriente alterna), que conducen en servicio normal, y considerando la corriente que pueda conducir en condiciones anormales, y el periodo de tiempo (por ejemplo, tiempo de operación de los dispositivos de protección, si existen) durante el cual puede esperarse que fluya esta corriente.

4.3.2.3 Frecuencia

Si la frecuencia tiene una influencia sobre las características de los equipos eléctricos, la frecuencia nominal de los equipos debe corresponder a la frecuencia susceptible de producirse en el circuito.

4.3.2.4 Factor de carga

Todos los equipos eléctricos, seleccionados, deben ser adecuados para el servicio previsto, tomando en cuenta las condiciones normales del servicio.

4.3.3 Condiciones de instalación

Todo equipo eléctrico debe seleccionarse para soportar con seguridad los esfuerzos y condiciones ambientales características de su ubicación a las que puede estar sometido. Si un equipo no tiene las características de diseño correspondientes para su ubicación, éste puede utilizarse siempre y cuando se proteja por medios complementarios, los cuales sean parte de la instalación terminada.

4.3.4 Prevención de los efectos nocivos

Todos los materiales y equipos eléctricos deben seleccionarse de manera tal que no causen efectos nocivos a otros equipos y a la alimentación durante condiciones normales de operación, incluyendo las maniobras de conexión y desconexión.

En este contexto, los factores que pueden tener una influencia son:

- El factor de potencia;
- La corriente de arranque;
- El desequilibrio de fases;
- Las armónicas.
- Sobretensiones transitorias generadas por los equipos de la instalación eléctrica.

4.4 Construcción, prueba inicial y verificación de las instalaciones eléctricas

4.4.1 Construcción

4.4.1.1 La construcción de instalaciones eléctricas debe ejecutarse por personas calificadas y con productos aprobados. El equipo eléctrico debe instalarse de acuerdo con sus instrucciones de instalación.

4.4.1.2 Las características del equipo eléctrico, una vez seleccionadas de acuerdo con lo establecido en 4.3, no deben modificarse o reducirse durante el proceso de instalación.

4.4.1.3 Los conductores deben identificarse de acuerdo con las Secciones aplicables de esta NOM.

4.4.1.4 Las conexiones entre conductores y otros equipos eléctricos, debe realizarse de tal manera que los contactos sean seguros y duraderos, de acuerdo con el Título 5 "Especificaciones".

4.4.1.5 Los equipos eléctricos deben instalarse de tal forma que no se afecten las condiciones de diseño de dispersión de calor de dichos equipos.

4.4.1.6 Los materiales equipos eléctricos susceptibles de provocar altas temperaturas o arcos eléctricos, deben colocarse o protegerse para eliminar cualquier riesgo de ignición de materiales inflamables. Cuando la temperatura de cualquier parte expuesta del equipo eléctrico puede provocar lesiones a las personas, estas partes deben protegerse para prevenir cualquier contacto accidental.

4.4.1.7 Si por razones de seguridad es necesario, deben instalarse señales o advertencias de precaución adecuadas.

4.4.1.8 Si una instalación es construida utilizando nuevos materiales, tecnologías o métodos que se desvíen de esta NOM, el grado de seguridad resultante no podrá ser inferior al obtenido cumpliendo esta NOM.

4.4.1.9 En caso de una adición o una modificación a una instalación existente, los valores asignados y las condiciones de los materiales existentes serán analizados considerando la carga adicional y las condiciones modificadas. Además, las conexiones a tierra y arreglos de puesta a tierra necesarios serán apropiadas a las medidas de protección seleccionadas para la seguridad.

4.4.2 Prueba inicial y periódica

4.4.2.1 Las instalaciones eléctricas deben probarse e inspeccionarse antes de ponerlas en servicio y después de cualquier modificación importante, para comprobar la adecuada ejecución de los trabajos de acuerdo con esta NOM.

4.4.2.2 Es recomendable que las instalaciones eléctricas se prueben e inspeccionen periódicamente.

4.10 Compatibilidad

4.10.1 Compatibilidad de las características

Es conveniente que, de manera anticipada, durante la etapa de diseño de la instalación se tomen en cuenta las características de compatibilidad, así como posibles emisiones electromagnéticas generadas por la instalación o el equipo que se instalará, para que el equipo de la instalación sea adecuado a las condiciones seguras de utilización, así como al equipo que se conectará a la misma. Estas características incluyen, por ejemplo:

Sobretensiones transitorias;

Caídas de tensión;

Cargas desequilibradas;

Cargas con fluctuaciones rápidas;

Corrientes de arranque;

Corrientes armónicas;

Componentes de corriente continua;

Oscilaciones de alta frecuencia;

Corrientes de fuga;

Necesidad para conexiones adicionales a tierra;

Corrientes excesivas en el conductor de protección, PE, pero no debidas a fallas.

Capítulo 1
Disposiciones generales
Artículo 100 definiciones
Artículo 110 Requisitos de las instalaciones eléctricas
A. Generalidades

TABLA 110-34(e).- Altura de las partes vivas sin proteger sobre el espacio de trabajo

Tensión eléctrica nominal entre fases (V)	Altura (m)
601-7 500	2.80
7 501-35 000	2.90
Más de 35 000	2.90 + (0.01 por cada kV arriba de 35 000 V)

110-40. Límites de temperatura en las terminales. Se permite que los conductores lleguen a terminales de 90 °C si se determina su ampacidad de acuerdo a la temperatura nominal como se especifica en las Tablas 310-60(c)(67) a 310-60(c)(86), a menos que otra cosa se especifique.

Capítulo 2
Alambrado y protección

Artículo 200 uso e identificación de los conductores puestos a tierra

Artículo 210-Circuitos derivados

B. Clasificación de los circuitos derivados

210-21. Dispositivos de salida. Los dispositivos de salida deben tener una capacidad nominal de corriente no menor que la carga que van a alimentar y deben cumplir lo establecido en los siguientes incisos (a) y (b):

a) Portalámparas. Cuando estén conectados a un circuito derivado de más de 20 amperes, los portalámparas deben ser del tipo para uso rudo. Un portalámparas para servicio pesado debe tener una capacidad nominal no menor a 660 watts si es de tipo admedium/ (designación de casquillo E29) y no menor a 750 watts si es de cualquier otro tipo.

b) Contactos

1) Contacto individual instalado en un circuito derivado individual. Un contacto sencillo instalado en un circuito derivado individual, debe tener una capacidad nominal no menor que la de dicho circuito.

Excepción 1: Si está instalado según se indica en 430-81(b).

Excepción 2: Está permitido que un contacto instalado exclusivamente para usar un equipo de soldadura por arco conectado con cordón y clavija, tenga una capacidad nominal de corriente no menor a la capacidad mínima de los conductores del circuito derivado, determinada como se establece en 630-11(a) para las máquinas de soldar por arco.

NOTA: Ver la definición de contacto en el Artículo 100.

2) Carga total conectada con cordón y clavija. Cuando dos o más contactos o salidas estén conectados a un circuito derivado, un contacto no debe alimentar una carga total conectada con cordón y clavija que exceda el máximo especificado en la Tabla 210-21(b)(2).

TABLA 210-21 (b) (2).- Carga máxima conectada a un contacto por medio de un cordón y clavija

Capacidad nominal del circuito (A)	Capacidad nominal del receptáculo (A)	Carga máxima (A)
15 o 20	15	12
20	20	16
30	30	24

3) Valor nominal del contacto. Cuando se conecten dos o más contactos o salidas a un circuito derivado, la capacidad nominal de los contactos debe corresponder a los valores de la Tabla 210-21(b)(3) o, si es de más de 50 amperes, la capacidad nominal del contacto no debe ser menor a la capacidad nominal del circuito derivado.

TABLA 210-21(b) (3).- Capacidad nominal de contactos en circuitos de varias capacidades

Capacidad nominal del circuito (A)	Capacidad nominal del contacto (A)
15	No más de 15
20	15 o 20
30	30
40	40 o 50
50	50

210-23. Cargas permisibles. En ningún caso la carga debe exceder a la capacidad nominal del circuito derivado. Está permitido que un circuito derivado individual suministre energía a cualquier tipo de carga dentro de su valor nominal. Un circuito derivado que suministre energía a dos o más contactos o salidas, sólo debe alimentar a las cargas de acuerdo con su tamaño, como se especifica en (a) hasta (d) y como se resume en 210-24 y en la Tabla 210-24.

a) Circuitos derivados de 15 y 20 amperes. Se permite que los circuitos derivados de 15 o 20 amperes alimenten a unidades de alumbrado, otros equipos de utilización o una combinación de ambos y debe cumplir con lo que se establece en (1) y (2) siguientes.

Excepción: Los circuitos derivados para aparatos pequeños, los circuitos derivados para lavadora y los circuitos derivados para cuartos de baño exigidos para las unidades de vivienda en 210-11(c)(1), (c)(2) y (c)(3), sólo deben alimentar las salidas de contactos especificadas en esa sección.

1) Equipo conectado con cordón y clavija que no está fijo en un lugar. La carga nominal de cualquier equipo individual de utilización conectado mediante cordón y clavija que no esté fijo en un lugar no debe superar el 80 por ciento de la capacidad nominal en amperes del circuito derivado.

2) Equipo de utilización fijo en un lugar. La carga nominal total del equipo de utilización fijo en un lugar, que no sean luminarias, no debe superar el 50 por ciento de la capacidad nominal en amperes del circuito derivado, cuando también se alimenten unidades de alumbrado o equipos de utilización conectados con cordón y clavija no fijos en un sitio, o ambos.

b) Circuitos derivados de 30 amperes. Se permite que los circuitos derivados de 30 amperes suministren energía a unidades fijas de alumbrado con portalámparas de servicio pesado, en lugares que no sean viviendas o a equipo de utilización en cualquier lugar. La capacidad nominal de cualquier equipo de utilización conectado con cordón y clavija no debe exceder 80 por ciento de la capacidad nominal del circuito derivado.

c) Circuitos derivados de 40 y 50 amperes. Se permite que un circuito derivado de 40 o 50 amperes suministre energía a equipo de cocina fijo en cualquier lugar. En edificios que no sean viviendas, se permite que tales circuitos suministren energía a unidades de alumbrado fijas con portalámparas de servicio pesado, unidades de calefacción por infrarrojos u otros equipos de utilización.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

d) Circuitos derivados de más de 50 amperes. Los circuitos de más de 50 amperes sólo deben suministrar energía a salidas que no sean para alumbrado.

210-24. Requisitos de los circuitos derivados-Resumen. En la Tabla 210-24 se resumen los requisitos de los circuitos que tengan dos o más salidas o receptáculos distintos a los circuitos de receptáculos indicados en 220-4(b) y (c), como se ha especificado anteriormente.

TABLA 210-24.- Resumen de requisitos de los circuitos derivados

Clasificación de circuito (amperes)	15	20	30	40	50
Conductores (tamaño mínimo)	mm ² -AWG	mm ² -AWG	mm ² -AWG	mm ² -AWG	mm ² -AWG
Conductores del circuito*	2.08(14)	3.31(12)	5.26(10)	8.37(8)	13.3(6)
Derivaciones	2.08(14)	2.08(14)	2.08(14)	3.31(12)	3.31(12)
Cables y cordones de artefactos eléctricos, Ver 240-4					
Protección contra sobrecorriente (amperes)	15	20	30	40	50

Dispositivos de salida:					
Portalámparas permitidos	De cualquier tipo	De cualquier tipo	Servicio pesado	Servicio pesado	Servicio pesado
Capacidad nominal del contacto (amperes)**	15 A máx.	15 A o 20 A	30 A	40 A o 50 A	50 A
Carga máxima (amperes)	15	20	30	40	50
Carga permisible	Ver 210-23(a)	Ver 210-23(a)	Ver 210-23(b)	Ver 210-23(c)	Ver 210-23 (c)

* Estos tamaños se refieren a conductores de cobre.

** Para la capacidad de los contactos instalados para alumbrado de descarga conectados con cordón y clavija, Ver 410-62(c).

Artículo 220

Cálculo de los circuitos derivados, alimentadores y acometidas

A. Generalidades

B. Cálculo de cargas de circuitos derivados.

220-10. Generalidades. Las cargas de los circuitos derivados deben calcularse como se indica en 220-12, 220-14 y 220-16.

220-12. Cargas de alumbrado para lugares específicos. La carga mínima de alumbrado por cada metro cuadrado de superficie del piso, debe ser mayor o igual que la especificada en la Tabla 220-12 para los lugares específicos indicados en la misma. El área del piso de cada planta debe calcularse a partir de las dimensiones exteriores del edificio, unidad de vivienda u otras áreas involucradas. Para las unidades de vivienda, el área calculada del piso no debe incluir los patios abiertos, las cocheras ni los espacios no utilizados o sin terminar, que no sean adaptables para su uso futuro.

Nota: Los valores unitarios de estos cálculos se basan en condiciones de carga mínima y un factor de potencia del 100 por ciento y puede ser que no provean la capacidad suficiente para la instalación considerada.

Tabla 220-12 .- Cargas de alumbrado general por tipo del inmueble

Tipo del inmueble	Carga unitaria (VA/m²)
Bancos	39 b
Casas de huéspedes	17
Clubes	22
Cuarteles y auditorios	11
Depósitos (almacenamiento)	3
Edificios de oficinas	39 b
Edificios industriales y comerciales (lugares de almacenamiento)	22
Escuelas	33
Estacionamientos públicos	6
Hospitales	22
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina*	22
Iglesias	11
Juzgados	22
Lugares de almacenamiento	3
Peluquerías y salones de belleza	33
Restaurantes	22
Tiendas	33
Unidades de vivienda a	33
En cualquiera de las construcciones anteriores excepto en viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares:	
- Vestíbulos, pasillos, closets, escaleras	6 5
- Lugares de reunión y auditorios	11
- Bodegas	3

a Ver 220-14(j)

b Ver 220-14(k)

B. Alimentadores y acometidas

C. Cálculos de cargas del alimentador y de la acometida.

220-40. Generalidades. La carga calculada de un alimentador o de una acometida no debe ser menor a la suma de las cargas en los circuitos derivados alimentados, como se determina en la Parte B de este Artículo, después de aplicar cualquier factor de demanda aplicable y permitido por las Partes C o D o exigidos por la Parte E.

NOTA: Ver 220-18(b) para la carga máxima en amperes, permitida para unidades de alumbrado que operan a menos de 100 por ciento del factor de potencia.

220-42. Alumbrado general. Los factores de demanda especificados en la Tabla 220-42 se deben aplicar a la parte de alumbrado general de la carga total calculada

220-43. Alumbrado de aparadores y riel de alumbrado.

a) Aparadores. Para el alumbrado de aparadores debe incluirse una carga no menor a 600 voltamperes/metro lineal de aparador, medido horizontalmente a lo largo de su base.

NOTA: Para los circuitos derivados que alimentan los aparadores, Ver 220-14 (g)

b) Rieles de alumbrado. Para rieles de alumbrado en sitios diferentes de unidades de vivienda o habitaciones o alcobas de huéspedes en hoteles o moteles, se debe incluir una carga adicional de 150 voltamperes por cada 60 centímetros o fracción de riel de alumbrado. Cuando se instalan rieles multicircuitos, se debe considerar que la carga está dividida uniformemente entre los circuitos del riel.

Excepción: Si los rieles de alumbrado son alimentados a través de un dispositivo que limita la corriente a los rieles, se permitirá que la carga sea calculada con base en el valor nominal del dispositivo empleado para limitar la corriente.

Tabla 220-42.- Factores de demanda de cargas de alumbrado

Tipo de inmueble	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (VA)	Factor de demanda (%)
Almacenes	Primeros 12 500 o menos	100
	A partir de 12 500	50
Hospitales*	Primeros 50 000 o menos	40
	A partir de 50 000	20
Hoteles y moteles, incluyendo los bloques de apartamentos sin cocina*	Primeros 20 000 o menos	50
	De 20 001 a 100 000	40
	A partir de 1 00000	30
Unidades de vivienda	Primeros 3 000 o menos	100
	De 3 001 a 120 000	35
	A partir de 120 000	25
Todos los demás	Total VA	100
* Los factores de demanda de esta Tabla no se deben aplicar a la carga calculada de los alimentadores que dan suministro a las zonas de hospitales, hoteles y moteles en las que es posible que se deba utilizar todo el alumbrado al mismo tiempo, como quirófanos, comedores y salas de baile.		

220-44. Cargas para contactos en inmuebles que no sean de vivienda. En inmuebles que no sean de vivienda, se permite que las cargas para contactos sean calculadas de acuerdo con 220-14(h) e (i), sujetas a los factores de demanda de la Tabla 220- 2 o la Tabla 220-44.

Tabla 220-44.- Factores de demanda para cargas de contactos en inmuebles que no son unidades de vivienda

Tabla 220-44.- Factores de demanda para cargas de contactos que no son unidades de vivienda

Parte de la carga de contactos a la que se aplica el factor de demanda (voltamperes)	Factor de demanda (%)
Primeros 10 kVA o menos	100
A partir de 10 kVA	50

220-61. Carga del neutro del alimentador o de la acometida.

a) Cálculo básico. La carga del neutro del alimentador o de la acometida debe ser el máximo desequilibrio de la carga determinado por este Artículo. La carga de máximo desequilibrio debe ser la carga neta máxima calculada entre el neutro y cualquier otro conductor de fase.

Excepción. La carga así obtenida, se debe multiplicar por 140 por ciento para sistemas de 2 fases, 3 hilos o 2 fases 5 hilos.

b) Reducciones permitidas. Se permitirá que un alimentador que alimente las siguientes cargas tenga un factor de demanda adicional de 70 por ciento que se aplica a la cantidad indicada en el numeral (1) o una parte de la cantidad indicada en el numeral (2) siguientes, determinada según el cálculo básico:

(1) Para un alimentador que alimente estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, estufas montadas en la cubierta del mueble de cocina y secadoras eléctricas, cuando la carga máxima no equilibrada se ha determinado según la Tabla 220-55 para estufas y la Tabla 220-54 para secadoras.

(2) La parte de la carga desbalanceada mayor de 200 amperes cuando el suministro del alimentador proviene de un sistema de corriente continua de 3 hilos o de corriente alterna de 1 fase; o un sistema de 4 hilos 3 fases, sistema de 3 hilos 2 fases; o un sistema de 5 hilos 2 fases.

c) Reducciones prohibidas. No debe reducirse la ampacidad del conductor neutro o del conductor puesto a tierra que se aplique a la cantidad indicada en el numeral (1) siguiente o la parte de la cantidad indicada en el numeral (2) que abajo se indica, con respecto a la determinada mediante el cálculo básico:

(1) Ninguna parte de un circuito de 3 hilos que esté formado por el conductor neutro y dos conductores de fase de un sistema de 3 fases, 4 hilos, conectado en estrella.

(2) Aquella parte que conste de cargas no lineales alimentadas por un sistema de 3 fases, 4 hilos, conectado en estrella.

NOTA: Un sistema de potencia de 3 fases, 4 hilos, conectado en estrella utilizado para alimentar cargas no lineales, puede requerir que el sistema de potencia esté proyectado de modo que permita que pasen por el conductor neutro corrientes con alto contenido de armónicas.

Artículo 250-Puesta a tierra y unión

C. Sistema de electrodos de puesta a tierra y conductor del electrodo de puesta a tierra

250-50. Sistema de electrodos de puesta a tierra. Todos los electrodos de puesta a tierra que se describen en 250-52(a)(1) hasta (a)(7), que estén presentes en cada edificio o estructura alimentada, se deben unir entre sí para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra. Cuando no existe ninguno de estos electrodos de puesta a tierra, se debe instalar y usar uno o más de los electrodos de puesta a tierra especificados en 250-52(a)(4) hasta (a)(8). En ningún caso, el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra puede ser mayor que 25 ohms.

NOTA: En el terreno o edificio pueden existir electrodos o sistemas de tierra para equipos de cómputo, pararrayos, telefonía, comunicaciones, subestaciones o acometida, apartarrayos, entre otros, y todos han de conectarse entre sí.

Excepción: No se exigirá que los electrodos recubiertos de concreto en los edificios o estructuras existentes, sean parte del sistema de electrodos de puesta a tierra, cuando las varillas de acero de refuerzo no estén accesibles sin dañar el concreto.

250-66. Tamaño del conductor del electrodo de puesta a tierra de corriente alterna. El tamaño del conductor del electrodo de puesta a tierra en la acometida, en cada edificio o estructura alimentada por un alimentador o circuito derivado o en un sistema derivado separado de un sistema de corriente alterna puesto a tierra o no puesto a tierra, no debe ser menor al dado en la Tabla 250-66, excepto como se permite en (a) hasta (c) siguientes.

Nota: Ver 250-24(c) para el tamaño de un conductor del sistema de corriente alterna llevado al equipo de acometida.

a) Conexiones a los electrodos de varilla, tubería o placa. Cuando el conductor del electrodo de puesta a tierra está conectado a electrodos de varilla, tubería o placa, como se permite en 250-52(a)(5) o (a)(7), no se requerirá que esa porción del conductor, que es la única conexión al electrodo de puesta a tierra, sea mayor de 13.3 mm^2 (6 AWG) si es alambre de cobre, o de 21.2 mm^2 (4 AWG) si es alambre de aluminio.

b) Conexiones a electrodos recubiertos de concreto. Cuando un conductor del electrodo de puesta a tierra esté conectado a un electrodo recubierto de concreto, como se permite en 250-52(a)(3), no se requerirá que esa porción de conductor, que es la única conexión al electrodo de puesta a tierra, sea mayor de 21.2 mm^2 (4 AWG) de alambre de cobre.

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

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

Cuando no hay conductores de acometida, el tamaño del conductor del electrodo de puesta a tierra se deberá determinar por el tamaño equivalente del conductor más grande de acometida requerido para la carga a alimentar.

^a Esta tabla también aplica para los conductores derivados de sistemas derivados separados de corriente alterna.

^b Ver 250-64(a) para restricciones de la instalación.

250-102. Conductores y puentes de unión.

a) Material. Los puentes de unión de equipos deben ser de cobre o de otro material resistente a la corrosión. Un puente de unión debe ser un alambre, una barra, un tornillo o un conductor similar adecuado.

b) Fijación. Los puentes de unión se deben fijar de la manera especificada en las disposiciones aplicables de 250-8 para circuitos y equipo y por 250-70 para electrodos de puesta a tierra.

c) Tamaño. Puentes de unión del lado del suministro.

1) Tamaño para conductores en el lado del suministro en una sola canalización o cable. El puente de unión del lado de alimentación no debe tener un tamaño menor a los indicados en la Tabla 250-66 para los conductores de electrodos de puesta a tierra. Cuando los conductores de fase de acometida son mayores de 557 mm² (1100 kcmil) de cobre, o 887 mm² (1750 kcmil) de aluminio, el puente de unión del lado de la alimentación debe tener un área no menor al 12.50 por ciento del área del grupo de conductores de fase de alimentación más grande.

2) Tamaño para instalaciones de conductores en paralelo. Cuando los conductores de acometida de fase están conectados en paralelo en dos o más canalizaciones o cables y un puente de unión individual del lado de la alimentación es utilizado para la unión de estas canalizaciones o cables, el tamaño del puente de unión individual del lado de la alimentación para cada canalización o cable debe ser seleccionado de acuerdo a la tabla

250-66 basado en el tamaño de los conductores de fase de acometida en cada canalización o cable. El tamaño de un puente de unión del lado de la alimentación que es instalado para la unión de dos o más canalizaciones o cables, debe estar de acuerdo a 250-102(c)(1).

3) Materiales diferentes. Cuando los conductores de alimentación de fase y el puente de unión del lado de la alimentación son de materiales diferentes (cobre o aluminio), el tamaño mínimo del puente de unión del lado de la alimentación se debe calcular suponiendo el uso de conductores de fase del mismo material que el puente de unión del lado de la alimentación y con una ampacidad equivalente a la de los conductores de alimentación de fase instalados.

d) Tamaño – Puente de unión del equipo en el lado carga de un dispositivo contra sobrecorriente. El tamaño del puente de unión del equipo en el lado carga de los dispositivos de sobrecorriente debe estar de acuerdo con 250-122.

Se permitirá que un solo puente de unión de equipos, conecte dos o más canalizaciones o cables, si el puente de unión está dimensionado de acuerdo con la Tabla 250-122, para el mayor dispositivo de sobrecorriente que alimenta esos circuitos.

e) Instalación. Se permitirá que los conductores o puentes de unión y los puentes de unión del equipo se instalen dentro o fuera de la canalización o envolvente.

1) Dentro de la canalización o envolvente. Si está instalado dentro de una canalización, el puente de unión del equipo y puentes de unión o conductores deben cumplir con los requisitos de 250-119 y 250-148.

2) Fuera de la canalización o envolvente. Si está instalado en el exterior, la longitud del puente de unión o del puente de unión de conductor o equipo, no debe ser mayor a 1.80 metros y debe ir junto a la canalización o envolvente.

Excepción: Se permitirá un puente de unión de equipos o un puente de unión del lado de alimentación con longitud mayor a 1.80 metros cuando está ubicado el poste afuera, con el propósito de unión o puesta a tierra de secciones aisladas de canalizaciones o codos metálicos instalados en tramos verticales expuestos de tubo conduit metálico u otra canalización metálica y para los electrodos de puesta a tierra y, además, no se requiere que vayan junto con la canalización o envolvente.

3) Protección. Los conductores o puentes de unión y los puentes de unión del equipo y de conductores deben instalarse de acuerdo con 250-64(a) y (b).

250-122. Tamaño de los conductores de puesta a tierra de equipos

a) General. Los conductores de puesta a tierra de equipos, de cobre, aluminio, o aluminio recubierto de cobre, del tipo alambre, no deben ser de tamaño menor a los mostrados en la Tabla 250-122, pero en ningún caso se exigirá que sean mayores que los conductores de los circuitos que alimentan el equipo. Cuando se usa una charola para cables, canalización, blindaje o cable armado como conductor de puesta a tierra de equipos, como se establece en 250-118 y 250-134(a), se debe cumplir con 250-4(a)(5) o (b)(4).

Se permitirá que los conductores de puesta a tierra de equipos sean seccionados dentro de un cable multiconductor, siempre y cuando el área combinada en mm² o kcmil cumpla con la Tabla 250-122.

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

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

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

*Ver 250-120 para restricciones de instalación.

Capítulo 3 Métodos de alambrado y materiales

Artículo 300 Métodos de alambrado

A. Requisitos Generales

300-5. Instalaciones subterráneas.

a) Requisitos de profundidad mínima. Los cables, tubos conduit u otras canalizaciones directamente enterradas, se deben instalar de modo que cumplan los requisitos de profundidad mínima de la Tabla 300-5.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 300-5.- Requisitos de profundidad mínima para sistemas de 0 a 600 volts

Ubicación de método de alambrado o circuito	Tipo de método de alambrado o circuito				
	1 Cables o conductores directamente enterrados	2 Tubo (conduit) metálico pesado o semipesado	3 Canalizaciones no metálicas aprobadas para instalar directamente enterradas directamente sin cubierta de concreto u otras canalizaciones aprobadas	4 Circuitos derivados para viviendas de 120 volts o menos con protección contra fallas a tierra y protección contra sobrecorriente máxima de 20 amperes	5 Circuitos de control de riego y alumbrado del paisaje limitado a 30 volt e instalados con cables tipo UF o en otros cables o canalizaciones identificados
Todas las condiciones no especificadas abajo	60	15	45	30	15
En zanjas con una cubierta de 5 cm de concreto de espesor o equivalente	45	15	30	15	15
Bajo edificios	0 (en canalizaciones o cable tipo MC o MI identificados para instalar directamente enterrados)	0	0	0 (en canalizaciones o cable tipo MC o tipo MI identificado para instalar directamente enterrados)	0 (en canalizaciones o cable tipo MC o tipo MI identificado para instalar directamente enterrados)
Bajo baldosas de concreto para espesores de mínimo 10 centímetros de espesor, sin tráfico de vehículos y que las baldosas sobresalgan no menos de centímetros de la instalación subterránea	45	10	10	15 (directamente enterrado) 10 (en canalizaciones)	15 (directamente enterrado) 10 (en canalizaciones)
Bajo calles, carreteras, autopistas, callejones, accesos vehiculares y estacionamientos	60	60	60	60	60
Accesos vehiculares y	45	45	45	30	45

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

estacionamientos exteriores para viviendas unifamiliares, bifamiliares y utilizados sólo para propósitos relacionados con la vivienda					
Dentro o bajo las pistas de los aeropuertos, incluidas las áreas adyacentes donde está prohibido el paso	45	45	45	45	45

1. Profundidad mínima se define como la distancia más corta en milímetros medida entre un punto en la superficie superior de cualquier conductor, cable, tubo conduit o canalización directamente enterrados, y el nivel superior del terreno terminado, concreto o cubierta similar.
2. Las canalizaciones aprobadas para enterramiento sólo embebidas en concreto requieren una cubierta de concreto de no menos de 5 centímetros de espesor.
3. Se permitirán menores profundidades cuando los cables y conductores suben para terminaciones o empalmes o cuando se requiere tener acceso a ellos.
4. Cuando se usa uno de los métodos de alambrado presentados en las columnas 1-3 para uno de los tipos de circuitos de las columnas 4 y 5, se permitirá enterrar los cables a la menor profundidad.
5. Si se encuentra roca sólida que impide cumplir con la profundidad especificada en esta Tabla, el alambrado se debe instalar en canalizaciones metálicas o no metálicas permitidas directamente enterradas. Las canalizaciones se deben cubrir con un mínimo de 5 centímetros de concreto que penetre hasta la roca.

300-19. Soporte de los conductores en canalizaciones verticales.

a) Intervalos de separación máximos. Los conductores en canalizaciones verticales se deben sujetar si la canalización vertical supera los valores de la Tabla 300-19(a). Debe haber un soporte para cables en la parte superior de la canalización vertical o lo más cerca posible de ella. Los soportes intermedios deben ser los necesarios para limitar la longitud del conductor sostenido, para que no sea mayor que los valores establecidos en la Tabla 300-19(a).

Tabla 300-19(a).- Separación entre los soportes de los conductores

Tamaño o designación del conductor	Soporte de los conductores en canalizaciones verticales	Conductores de aluminio o aluminio recubierto de cobre	Conductores de cobre
		Metros	Metros
Desde 0.824 mm ² (18 AWG) hasta 8.37 mm ² (8 AWG)	No mayores a	---	30
Desde 13.3 mm ² (6 AWG) hasta 53.5 mm ² (1/0 AWG)	No mayores a	60	30
Desde 67.4 mm ² (2/0 AWG) hasta 107 mm ² (4/0 AWG)		55	25
Mayor que 107 mm ² (4/0 AWG) hasta 177 mm ² (350 kcmil)		40	20
Mayor que 177 mm ² (350 kcmil) hasta 253 mm ² (500 kcmil)		35	15
Mayor que 253 mm ² (500 kcmil) hasta 380 mm ² (750 kcmil)		30	10
Mayor que 380 mm ² (750 kcmil)		25	10

Artículo 310
Conductores para alambrado en general

A. Generalidades

B. Instalación

310-15. Ampacidad para conductores con tensión de 0-2000 volts.

b) Tablas. La ampacidad de los conductores de 0 a 2000 volts debe ser la especificada en las tablas de ampacidad permisible 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19), y en las tablas de ampacidad 310-15(b)(20) y 310-15(b)(21), según se modifiquen con lo indicado en (b)(1) hasta (b)(7) siguientes.

Se permitirán aplicar los factores de ajuste y la corrección de temperatura a la ampacidad para el valor nominal de temperatura del conductor, siempre que la ampacidad corregida y ajustada no exceda la ampacidad para el valor nominal de temperatura de la terminal de acuerdo con 110-14(c).

NOTA: Las Tablas 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19) son Tablas de aplicación para usarse en la determinación del tamaño de los conductores con las cargas calculadas de acuerdo con el Artículo 220. La ampacidad permisible es el resultado de tener en cuenta uno o más de los siguientes factores:

- (1) La coordinación con los dispositivos de protección contra sobrecorriente del circuito y del sistema.
- (2) La conformidad con los requisitos de aprobación de productos. Ver 110-3(b).
- (3) Cumplir con las normas de seguridad establecidas por las prácticas industriales y procedimientos normalizados.

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

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

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

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

3) Factores de ajuste.

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

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

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

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

Número de conductores¹	Porcentaje de los valores en las tablas 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19), ajustadas para temperatura ambiente, si es necesario.
4-6	80
7-9	70
10-20	50
21-30	45
31-40	40
41 y más	35

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

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

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

Número de conductores¹	Porcentaje de los valores de las tablas 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19),ajustado para la temperatura ambiente si es necesario
4 a 6	80
7 a 9	70
10 a 20	50
21 a 30	45
31 a 40	40
41 y más	35

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

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-15(b)(16).- Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2 000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-104(a))					
mm ²	AWG o kcmil	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		Tipos TW*, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THW-LS, THWN, XHHW*, USE ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH*, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, USE-2, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	Tipos UF*	Tipos RHW*, XHHW*	Tipos SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2,
		Cobre			Aluminio		
0.824	18**	---	---	14	---	---	---
1.31	16**	---	---	18	---	---	---
2.08	14**	15	20*	25*	---	---	---
3.31	12**	20	25*	30*	---	---	---
5.26	10**	30	35*	40*	---	---	---
8.37	8	40	50	55	---	---	---
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.20	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1 000	455	545	615	375	445	500
633	1 250	495	590	665	405	485	545
760	1 500	525	625	705	435	520	585
887	1 750	545	650	735	455	545	615
1 013	2 000	555	665	750	470	560	630

* Ver 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 30 °C.

** Ver 240-4(d) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-15(b)(17).- Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor (ver tabla 310-104(a))					
mm ²	AWG o kcmil	60 °C Tipos TW, UF	75 °C Tipos RHW, THHW, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	90 °C Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, XHHW, XHHW-2	60 °C Tipos UF	75 °C Tipos RHW, XHHW, USE	90 °C Tipos SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
Cobre				Aluminio			
0.824	18	---	---	14	---	---	---
1.31	16	---	---	18	---	---	---
2.08	14	25	30	35	---	---	---
3.31	12	30	35	40	---	---	---
5.26	10	40	50	55	---	---	---
8.37	8	60	70	80	---	---	---
13.3	6	80	95	105	60	75	85
21.2	4	105	125	140	80	100	115
26.7	3	120	145	165	95	115	130
33.6	2	140	170	190	110	135	150
42.4	1	165	195	220	130	155	175
53.5	1/0	195	230	260	150	180	205
67.4	2/0	225	265	300	175	210	235
85.0	3/0	260	310	350	200	240	275
107	4/0	300	360	405	235	280	315
127	250	340	405	455	265	315	355
152	300	375	445	500	290	350	395
177	350	420	505	570	330	395	445
203	400	455	545	615	355	425	480
253	500	515	620	700	405	485	545
304	600	575	690	780	455	545	615
355	700	630	755	850	500	595	670
380	750	655	785	885	515	620	700
405	800	680	815	920	535	645	725
456	900	730	870	985	580	700	785
507	1 000	780	935	1 055	625	750	845
633	1 250	890	1 065	1 200	710	855	965
760	1 500	980	1 175	1 325	795	950	1 070
887	1 750	1 070	1 280	1 445	875	1 050	1 185
1 010	2 000	1 155	1 385	1 560	960	1 150	1 335

* Ver 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 30 °C.

** Ver 240-4(d) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-15(b)(18).- Ampacidades permisibles de conductores aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en canalizaciones o cables y basadas en una temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor. Ver tabla 310-13			
mm ²	AWG	150 °C	200 °C	250 °C	150 °C
		Tipo Z	Tipos FEP, FEPB, PFA, SA	Tipos PFAH, TFE	Tipo Z
	kcmil	Cobre		Níquel o níquel recubierto de cobre	Aluminio
2.08	14	34	36	39	----
3.31	12	43	45	54	---
5.26	10	55	60	73	---
8.37	8	76	83	93	---
13.3	6	96	110	117	75
21.2	4	120	125	148	94
26.7	3	143	152	166	109
33.6	2	160	171	191	124
42.4	1	186	197	215	145
53.5	1/0	215	229	244	169
67.4	2/0	251	260	273	198
85.0	3/0	288	297	308	227
107	4/0	332	346	361	260

* Ver 310-15(b)(2)(b) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 40 °C

Tabla 310-15(b)(19).- Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor. Ver tabla 310-104(a)			
mm ²	AWG	150 °C	200 °C	250 °C	150 °C
	o	Tipos Z, SF	Tipos FEP, FEPB, SA	Tipos PFAH, TFE	Tipo Z
	kcmil	Cobre		Níquel o cobre recubierto de níquel	De aluminio o aluminio recubierto de cobre
2.08	14	46	54	59	----
3.31	12	60	68	78	---
5.26	10	80	90	107	---
8.37	8	106	124	142	---
13.3	6	155	165	205	112
21.2	4	190	220	278	148
26.7	3	214	252	327	170
33.6	2	255	293	381	198
42.4	1	293	344	440	228

53.5	1/0	339	399	532	263
67.4	2/0	390	467	591	305
85.0	3/0	451	546	708	351
107	4/0	529	629	830	411

* Ver 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 40 °C

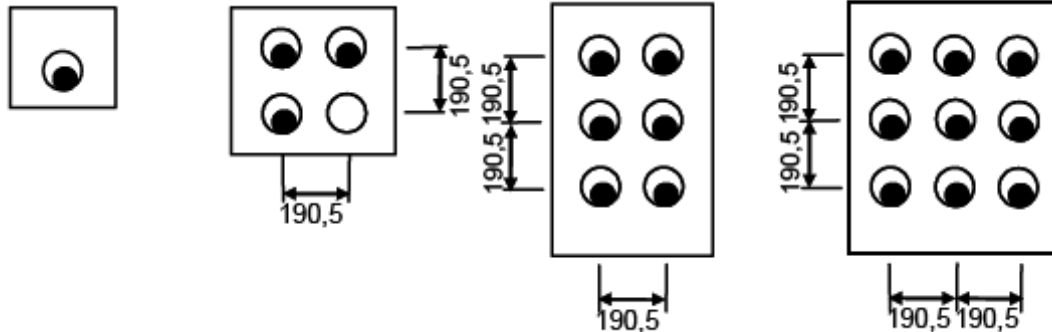
Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-15(b)(20).- Ampacidades de no más de tres conductores individuales aislados para tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, sostenidos por un mensajero, con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310-104(a)]			
		75 °C	90 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil	Tipos RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, ZW	Tipos MI, THHN, THHW, THHW-LS THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos RHW, XHHW	Tipos RHH, XHHW, RHW- 2, XHHW-2, USE-2, ZW-2
		Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre	
8.37	8	57	66	—	—
13.3	6	76	89	59	69
21.2	4	101	117	78	91
26.7	3	118	138	92	107
33.6	2	135	158	106	123
42.4	1	158	185	123	144
53.5	1/0	183	214	143	167
67.4	2/0	212	247	165	193
85.0	3/0	245	287	192	224
107	4/0	287	335	224	262
127	250	320	374	251	292
152	300	359	419	282	328
177	350	397	464	312	364
203	400	430	503	339	395
253	500	496	580	392	458
304	600	553	647	440	514
355	700	610	714	488	570
380	750	638	747	512	598
405	800	660	773	532	622
456	900	704	826	572	669
507	1000	748	879	612	716

* Ver 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 40 °C.

310-60. Conductores para tensiones nominales de 2 001 V a 35 000 V

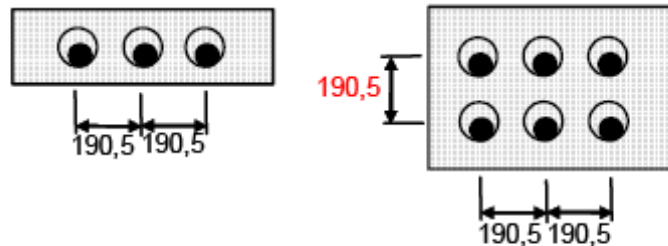


Detalle 1
292,1x292,1 mm
Zanja con cables
entubados, un
ducto eléctrico

Detalle 2
482,6x482,1 mm
Zanja con cables
entubados, tres
ductos eléctrico

Detalle 3
482,6x685,8 mm
Zanja con cables
entubados, seis
ductos eléctrico

Detalle 4
685,8x685,8 mm
Zanja con cables
entubados, nueve
ductos eléctrico



685,8x292,1 mm
Zanja **con cables** entubados,
tres conductos eléctricos

685,8x482,6 mm
Zanja **con cables** entubados,
seis conductos eléctricos

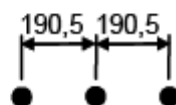


Detalle 5
Cable tripolar
enterrado

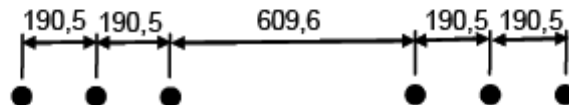
Detalle 6
Cables tripolares
enterrados

Detalle 7
Temas de cables
enterrados (un circuito)

Detalle 8
Temas de cables enterados
(dos circuitos)



Detalle 9
Cables unipolares enterrados
(un circuito)



Detalle 10
Cables unipolares enterrados
(dos circuito)

Figura 310-60.- Dimensiones para la instalación de cables en ductos aplicables a las tablas 310-77 a 310-86

Tabla 310-60(c)(4).- Factores de corrección a temperatura ambiente

Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:		
Temperatura ambiente (°C)	90 °C	105 °C
10 o menos	1.26	1.21
11-15	1.22	1.18
16-20	1.18	1.14
21-25	1.14	1.11
26-30	1.10	1.07
31-35	1.05	1.04
36-40	1.00	1.00
41-45	0.95	0.96
46-50	0.89	0.92
51-55	0.84	0.88
56-60	0.77	0.83
61-65	0.71	0.78
66-70	0.63	0.73
91-75	0.55	0.68
76-80	0.45	0.62
81-85	0.32	0.55
86-90	-	0.48
91-95	-	0.39
96-100	-	0.28

Tabla 310-60(c)(67).- Ampacidad permisible de cables monoconductores de cobre aislados en configuración triplex al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm ²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
8.37	8	65	74	----	----
13.3	6	90	99	100	110
21.2	4	120	130	130	140
33.6	2	160	175	170	195
42.4	1	185	205	195	225
53.5	1/0	215	240	225	255
67.4	2/0	250	275	260	295
85.0	3/0	290	320	300	340
107	4/0	335	375	345	390
127	250	375	415	380	430
177	350	465	515	470	525
253	500	580	645	580	650
380	750	750	835	730	820
507	1 000	880	980	850	950

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-60(c)(68).- Ampacidad de cables de ternas de conductores individuales de aluminio, aislados, al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire ambiente de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm ²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
13.3	6	70	77	75	84
21.2	4	90	100	100	110
33.6	2	125	135	130	150
42.4	1	145	160	150	175
53.5	1/0	170	185	175	200
67.4	2/0	195	215	200	230
85.0	3/0	225	250	230	265
107	4/0	265	290	270	305
127	250	295	325	300	335
177	350	365	405	370	415
253	500	460	510	460	515
380	750	600	665	590	660
507	1 000	715	800	700	780

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-60(c)(69).- Ampacidad de conductores de cobre individuales, aislados, y separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]					
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 – 15 000 volts		Ampacidad para 15 001 - 35 000 volts	
mm²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C					
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
8.37	8	83	93	----	----	----	----
13.3	6	110	120	110	125	----	----
21.2	4	145	160	150	165	----	----
33.6	2	190	215	195	215	----	----
42.4	1	225	250	225	250	225	250
53.5	1/0	260	290	260	290	260	290
67.4	2/0	300	330	300	335	300	330
85.0	3/0	345	385	345	385	345	380
107	4/0	400	445	400	445	395	445
127	250	445	495	445	495	440	490
177	350	550	615	550	610	545	605
253	500	695	775	685	765	680	755
380	750	900	1 000	885	990	870	970
507	1 000	1 075	1 200	1 060	1 185	1 040	1 160
633	1 250	1 230	1 370	1 210	1 350	1 185	1 320
760	1 500	1 365	1 525	1 345	1 500	1 315	1 465
887	1 750	1 495	1 665	1 470	1 640	1 430	1 595
1010	2 000	1 605	1 790	1 575	1 755	1 535	1 710

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-60(c)(70).- Ampacidad de conductores individuales de aluminio, aislados, separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C (104 °C) y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]					
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 – 15 000 volts		Ampacidad para 15 001 - 35 000 volts	
mm²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C					
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
13.3	6	85	95	87	97	----	----
21.2	4	115	125	115	130	----	----
33.6	2	150	165	150	170	----	----
42.4	1	175	195	175	195	175	195
53.5	1/0	200	225	200	225	200	225
67.4	2/0	230	260	235	260	230	260
85.0	3/0	270	300	270	300	270	300
107	4/0	310	350	310	350	310	345
127	250	345	385	345	385	345	380
177	350	430	480	430	480	430	475
253	500	545	605	535	600	530	590
380	750	710	790	700	780	685	765
507	1 000	855	950	840	940	825	920
633	1 250	980	1 095	970	1 080	950	1 055
760	1 500	1 105	1 230	1 085	1 215	1 060	1 180
887	1 750	1 215	1 355	1 195	1 335	1 165	1 300
1 010	2 000	1 320	1 475	1 295	1 445	1 265	1 410

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Tabla 310-60(c)(71).- Ampacidad de cables de tres conductores de cobre, aislados, separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm ²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
8.37	8	59	66	----	----
13.3	6	79	88	93	105
21.2	4	105	115	120	135
33.6	2	140	154	165	185
42.4	1	160	180	185	210
53.5	1/0	185	205	215	240
67.4	2/0	215	240	245	275
85.0	3/0	250	280	285	315
107	4/0	285	320	325	360
127	250	320	355	360	400
177	350	395	440	435	490
253	500	485	545	535	600
380	750	615	685	670	745
507	1 000	705	790	770	860

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-60(c)(72).- Ampacidad de cables de tres conductores de aluminio, aislados, separados en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
13.3	6	61	68	72	80
21.2	4	81	90	95	105
33.6	2	110	120	125	145
42.4	1	125	140	145	165
53.5	1/0	145	160	170	185
67.4	2/0	170	185	190	215
85.0	3/0	195	215	220	245
107	4/0	225	250	255	285
127	250	250	280	280	315
177	350	310	345	345	385
253	500	385	430	425	475
380	750	495	550	540	600
507	1 000	585	650	635	705

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Tabla 310-60(c)(73).- Ampacidad de cables de tres conductores o ternas de cables individuales aislados, de cobre, en tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm ²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
8.37	8	55	61	----	----
13.3	6	75	84	83	93
21.2	4	97	110	110	120
33.6	2	130	145	150	165
42.4	1	155	175	170	190
53.5	1/0	180	200	195	215
67.4	2/0	205	225	225	255
85.0	3/0	240	270	260	290
107	4/0	280	305	295	330
127	250	315	355	330	365
177	350	385	430	395	440
253	500	475	530	480	535
380	750	600	665	585	655
507	1 000	690	770	675	755

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-60(c)(74).- Ampacidad de cables de tres conductores o ternas de cables individuales aislados, de aluminio, en tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
13.3	6	58	65	65	72
21.2	4	76	85	84	94
33.6	2	100	115	115	130
42.4	1	120	135	130	150
53.5	1/0	140	155	150	170
67.4	2/0	160	175	175	200
85.0	3/0	190	210	200	225
107	4/0	215	240	230	260
127	250	250	280	255	290
177	350	305	340	310	350
253	500	380	425	385	430
380	750	490	545	485	540
507	1 000	580	645	565	640

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Tabla 310-60(c)(75).- Ampacidad de cables de tres conductores de cobre aislados y en un tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm ²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
8.37	8	52	58	----	----
13.3	6	69	77	83	92
21.2	4	91	100	105	120
33.6	2	125	135	145	165
42.4	1	140	155	165	185
53.5	1/0	165	185	195	215
67.4	2/0	190	210	220	245
85.0	3/0	220	245	250	280
107	4/0	255	285	290	320
127	250	280	315	315	350
177	350	350	390	385	430
253	500	425	475	470	525
380	750	525	585	570	635
507	1 000	590	660	650	725

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-60(c)(76).- Ampacidad de cables de tres conductores de aluminio aislados, en un tubo conduit físicamente aislado en el aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
		Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
mm²	AWG o kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
13.3	6	53	59	64	71
21.2	4	71	79	84	94
33.6	2	96	105	115	125
42.4	1	110	125	130	145
53.5	1/0	130	145	150	170
67.4	2/0	150	165	170	190
85.0	3/0	170	190	195	220
107	4/0	200	225	225	255
127	250	220	245	250	280
177	350	275	305	305	340
253	500	340	380	380	425
380	750	430	480	470	520
507	1 000	505	560	550	615

* Consulte 310-60(c)(4) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente del aire es diferente a 40 °C

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 310-60(c)(77).- Ampacidad de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, el montaje de los ductos eléctricos según se indica en la Figura 310-60, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C, temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver tabla 310-104(c)]			
		Ampacidad para 2 001 - 5 000 volts		Ampacidad para 5 001 - 35 000 volts	
mm²	AWG o kcmil	Temperatura de los conductores de mediana tensión en °C			
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
Un circuito (Ver la Figura 310-60, Detalle 1)					
8.37	8	64	69	-	-
13.3	6	85	92	90	97
21.2	4	110	120	115	125
33.6	2	145	155	155	165
42.4	1	170	180	175	185
53.5	1/0	195	210	200	215
67.4	2/0	220	235	230	245
85.0	3/0	250	270	260	275
107	4/0	290	310	295	315
127	250	320	345	325	345
177	350	385	415	390	415
253	500	470	505	465	500
380	750	585	630	565	610
507	1 000	670	720	640	690
Tres circuitos (Ver la Figura 310-60, Detalle 2)					
8.37	8	56	60	-	-
13.3	6	73	79	77	83
21.2	4	95	100	99	105
33.6	2	125	130	130	135
42.4	1	140	150	145	155
53.5	1/0	160	175	165	175
67.4	2/0	185	195	185	200
85.0	3/0	210	225	210	225
107	4/0	235	255	240	255
127	250	260	280	260	280
177	350	315	335	310	330
253	500	375	405	370	395
380	750	460	495	440	475
507	1 000	525	565	495	535
Seis circuitos (Ver la Figura 310-60, Detalle 3)					
8.37	8	48	52	-	-
13.3	6	62	67	64	68
21.2	4	80	86	82	88
33.6	2	105	110	105	115
42.4	1	115	125	120	125
53.5	1/0	135	145	135	145
67.4	2/0	150	160	150	165
85.0	3/0	170	185	170	185
107	4/0	195	210	190	205
127	250	210	225	210	225

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

177	350	250	270	245	265
253	500	300	325	290	310
380	750	365	395	350	375
507	1 000	410	445	390	415

Tabla 310-60(c)(81).- Ampacidad de conductores individuales de cobre, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, el montaje de los ductos eléctricos según se indica en la Figura 310-60, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperaturas del conductor de 90 °C y 105 °C

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Ver la Tabla 310-104(c)]			
mm²	AWG o kcmil	Ampacidad para 2 001-5 000 volts		Ampacidad para 5 001-35 000 volts	
		Temperatura de los conductores de media tensión en °C			
		90	105	90	105
Un circuito, tres conductores (Ver la Figura 310-60, Detalle 9)					
8.37	8	110	115	—	—
13.3	6	140	150	130	140
21.2	4	180	195	170	180
33.6	2	230	250	210	225
42.4	1	260	280	240	260
53.5	1/0	295	320	275	295
67.4	2/0	335	365	310	335
85.0	3/0	385	415	355	380
107	4/0	435	465	405	435
127	250	470	510	440	475
177	350	570	615	535	575
253	500	690	745	650	700
380	750	845	910	805	865
507	1 000	980	1 055	930	1 005
Dos circuitos, seis conductores (Véase la Figura 310-60, Detalle 10)					
8.37	8	100	110	—	—
13.3	6	130	140	120	130
21.2	4	165	180	160	170
33.6	2	215	230	195	210
42.4	1	240	260	225	240
53.5	1/0	275	295	255	275
67.4	2/0	310	335	290	315
85.0	3/0	355	380	330	355
107	4/0	400	430	375	405
127	250	435	470	410	440
177	350	520	560	495	530
253	500	630	680	600	645
380	750	775	835	740	795
507	1 000	890	960	855	920

C. Especificaciones de construcción

310-104. Construcción y aplicación de los conductores. Los conductores aislados deben cumplir las disposiciones aplicables de las Tablas 310-104(a) a 310-104(e). **Nota:** Los aislamientos termoplásticos se pueden endurecer a temperaturas menores a -10 °C. A temperatura normal, los aislamientos termoplásticos también se pueden deformar si están sometidos a presión, tal como en los puntos de soporte. Si se utilizan aislantes termoplásticos en circuitos de corriente continua en lugares mojados, se puede producir electroendósmosis entre el conductor y el aislamiento.

Tabla 310-104(a).- Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts

Nombre genérico	Tipo	Temperatura máxima del conductor	Aplicaciones previstas	Aislamiento	Recubrimiento externo 1
Etileno-propileno fluorado	FEP o FEPB	90 °C	Lugares secos y húmedos	Etileno-propileno fluorado	Ninguno
		200 °C	Lugares secos		Trenza de fibra de vidrio
			Para aplicaciones especiales ²		Trenza de fibra de vidrio u otro material trenzado.
Aislamiento mineral (con cubierta metálica)	MI	90 °C	Lugares secos y mojados	Óxido de magnesio ³	Cobre o aleación de acero
		250 °C	Para aplicaciones especiales ²		
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y al aceite	MTW	60 °C	Alambrado de máquinas herramienta en lugares mojados.	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad, al calor y al aceite	Ninguno, cubierta de nylon o equivalente
		90 °C	Alambrado de máquinas herramienta en lugares secos.		
Papel		85 °C	Para conductores subterráneos de acometida	Papel	Cubierta de plomo
Perfluoroalcoxi	PFA	90 °C	Lugares secos y húmedos	Perfluoroalcoxi	Ninguno
		200 °C	Lugares secos y aplicaciones especiales ²		
Perfluoroalcoxi	PFAH	250 °C	Sólo para lugares secos. Sólo para cables dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos (sólo de níquel o de cobre recubiertos de níquel)	Perfluoroalcoxi	Ninguno

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Termofijo	RHH	90 °C	Lugares secos y húmedos		Recubrimiento no metálico, resistente a la humedad y retardante a la flama ¹
Termofijo resistente a la humedad	RHW	75 °C	Lugares secos y mojados	Termofijo resistente a la humedad y retardante a la flama	Recubrimiento no metálico, resistente a la humedad y retardante a la flama ⁴
	RHW-2	90 °C			
Hule silicón	SA	90 °C	Lugares secos y húmedos	Hule silicón	Trenza de fibra de vidrio u otro material.
		200 °C	Para aplicaciones especiales ²		
Termofijo	SIS	90 °C	Sólo para alambrado de tableros.	Termofijo retardante a la flama	Ninguno
Termoplástico y malla externa de material fibroso	TBS	90 °C	Sólo para alambrado de tableros	Termoplástico	Recubrimiento no metálico retardante a la flama
Politetra-fluoroetileno	TFE	250 °C	Sólo para lugares secos. Sólo para cables dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos (sólo de níquel o de cobre recubierto de níquel)	Politetra-fluoroetileno	Ninguno
Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor y a la propagación de la flama.	THHN	90 °C	Lugares secos	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor	Cubierta de nylon o equivalente.
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y retardante a la flama.	THHW	75 °C	Lugares mojados	Termoplástico retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad.	Ninguno
		90 °C	Lugares secos		
Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y gas ácido	THHW-LS	75 °C	Lugares mojados	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y gas ácido	Ninguno
		90 °C	Lugares secos		

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor	THW	75 °C	Lugares mojados	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor	Ninguno
	THW-2	90 °C	Lugares secos y húmedos		
Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y de gas ácido.	THW-LS	75 °C	Lugares secos y mojados	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y de gas ácido.	Ninguno
Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor, a la humedad y retardante a la flama.	THWN	75 °C	Lugares secos y húmedos	Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor, a la humedad y retardante a la flama.	Cubierta de nylon o equivalente
	THWN-2	90 °C			
Termoplástico resistente a la humedad y retardante a la flama.	TW	60 °C	Lugares secos y mojados	Termoplástico resistente a la humedad y retardante a la flama.	Ninguno
Cable monoconductor subterráneo y circuitos derivados de un solo conductor (para cables de tipo UF con más de un conductor, ver el Artículo 340)	UF	60 °C	Ver el Artículo 340	Resistente a la humedad ⁴	Integrado con el aislante
		75 °C ⁵		Resistente a la humedad y al calor	
Cable de acometida subterránea de un solo conductor	USE	75 °C	Ver el Artículo 340 ⁶	Resistente al calor y a la humedad	Recubrimiento no metálico resistente a la humedad
	USE-2	90 °C	Lugares secos y mojados		
Termofijo retardante a la flama	XHH	90 °C	Lugares secos y húmedos	Termoplástico retardante a la flama	Ninguno
Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	XHHW	90 °C	Lugares secos y húmedos	Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	Ninguno
		75 °C	Lugares mojados		
Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	XHHW-2	90 °C	Lugares secos y mojados	Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	Ninguno
Tetrafluoroetilenomodificado con etileno.	Z	90 °C	Lugares secos y húmedos	Tetrafluoroetileno modificado con etileno.	Ninguno
		150 °C	Lugares secos y aplicaciones especiales ²		

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tetrafluoroetilenomodificado con etileno.	ZW	75 °C	Lugares húmedos	Tetrafluoroetileno modificado con etileno.	Ninguno
		90 °C	Lugares secos y mojados		
		150 °C	Lugares secos y aplicaciones especiales ²		
	ZW-2	90 °C	Lugares secos y mojados		

Notas:

1. Algunos aislamientos no requieren recubrimiento exterior.
 - 2 Cuando las condiciones de diseño requieren que la temperatura máxima de operación del conductor sea superior a 90 °C.
 - 3 Para circuitos de señalización que permiten un aislamiento de 300 volts.
 - 4 Incluye una cubierta integral.
 - 5 Para limitación de ampacidad, Ver 340-80.
 - 6 Para cables con un recubrimiento no metálico sobre conductores individualmente aislados con hule con una cubierta de aluminio o una cubierta de plomo o en cables multiconductores con algún tipo de estas cubiertas metálicas, no se requiere que sean retardantes de la flama. Para los cables de tipo MC, Ver 330-104.
- Para los cables de recubrimiento no metálico, Ver el Artículo 334, Parte C.
- Para los cables tipo UF, Ver el Artículo 340, Parte C
- Se permite que los tipos de cables para utilizarse en temperaturas de operación 90° C en lugares secos y mojados se marquen con el sufijo "-2" por ejemplo: THW-2, XHHW-2, RHW-2, etc.
- Los cables con aislamiento termofijo, sin contenido de halógenos, pueden tener un grabado "LS0H".
- Los cables que se graban como "LS" son no propagadores del incendio y de baja emisión de humos.

Tabla 310-104(b).- Espesor del aislamiento para conductores no blindados de tipos RHH y RHW aislados con dieléctricos sólidos y con tensión de operación de 2 000 volts

Tamaño o designación		Columna A1	Columna B2
mm ²	AWG o kcmil	milímetros	
2.08-5.26	1 410	2.03	1.52
8.37	8	2.03	1.78
13.3-33.6	62	2.41	1.78
42.4-6734	12/0	2.79	2.29
85.0-107	3/04/0	2.79	2.29
108-253	213 500	3.18	2.67
254-507	5 011 000	3.56	3.05
508-1013	10 012 000	3.56	3.56

- 1 Columna A: Los aislamientos se limitan a aislamientos de hule natural, SBR y hules a base de butilo.
- 2 Columna B: Los aislamientos son de materiales tales como polietileno de cadena cruzada, etileno propileno y aislamientos compuestos de ellos.

Tabla 310-104(c).- Aislamientos y aplicaciones de los conductores de media tensión

Nombre genérico	Denominación del cable de media tensión	Temperatura máxima de operación	Aplicaciones previstas	Aislamiento	Cubierta exterior
Dieléctrico sólido de media tensión	90	90 °C	Lugares secos o mojados	Termoplástico o termofijo	Cubierta, termoplástica o cubierta metálica o armadura
	105*	105 °C			

* Cuando las condiciones de diseño exigen temperaturas del aislamiento mayores que de 90° C.

Tabla 310-104(d).- Espesor del aislamiento y de la cubierta para cables con dieléctricos sólidos sin pantalla metálica, para 2 001 a 5 000 volts Esta tabla no es parte de los requerimientos y especificaciones de la NOM, se incluye únicamente con propósitos informativos

Tamaño o designación		Lugares secos, conductor individual			Lugares secos o mojados		
		Sin Cubierta	Con Cubierta		Monoconductores	Multiconductores*	
mm²	AWG o kcmil	Aislamiento	Aislamiento	Cubierta	Aislamiento	Cubierta	Aislamiento
		milímetros					
8.37	8	2.79	2.29	0.76	3.18	2.03	2.29
13.3	6	2.79	2.29	0.76	3.18	2.03	2.29
21.2-33.6	4-2	2.79	2.29	1.14	3.18	2.03	2.29
42.4-67.4	1-2/0	2.79	2.29	1.14	3.18	2.03	2.29
85.0-107	3/0-4/0	2.79	2.29	1.65	3.18	2.41	2.29
108-253	213-500	3.05	2.29	1.65	3.56	2.79	2.29
254-380	501-750	3.30	2.29	1.65	3.94	3.18	2.29
381-507	751-1000	3.30	2.29	1.65	3.94	3.18	2.29
508-633	1001-1250	3.56	2.92	1.65	4.32	3.56	2.92
634-760	1251-1500	3.56	2.92	2.03	4.32	3.56	2.92
761-1013	1501-2000	3.56	2.92	2.03	4.32	3.94	3.56

* Bajo un recubrimiento común externo como por ejemplo una cubierta, un forro o una armadura.

Tabla 310-104(e).- Espesor del aislamiento para cables con dieléctricos sólidos, con pantalla metálica, para 2 001 a 35 000 volts Esta tabla no es parte de los requerimientos y especificaciones de la NOM, se incluye únicamente con propósitos informativos

Tamaño o designación		2 001 a 5000 volts	5 001 a 8 000 volts				8 001 a 15 000 volts			15 001 a 25 000 volts		
		Nivel de aislamiento del										
mm²	AWG o kcmil	100%1	100%1	133%2	173%3	100%1	133%2	173%3	100%1	133%2	173%3	
		milímetros										
8.37	8	2.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13.3-21.2	6-4	2.29	2.92	3.56	4.45	-	-	-	-	-	-	
33.6	2	2.29	2.92	3.56	4.45	4.45	5.59	6.6	-	-	-	
42.4	1	2.29	2.92	3.56	4.45	4.45	5.59	6.6	6.60	8.13	10.67	
53.5	1/0-2000	2.29	2.92	3.56	4.45	4.45	5.59	6.6	6.60	8.13	10.67	
Tamaño o designación			25 001 a 28 000 volts					28 001 a 35 000 volts				
mm²	AWG o kcmil	Nivel de aislamiento del										
		100%1	133%2	173%3	100%1	133%2	173%3					
		milímetros										
42.4	1	7.11	8.76	11.30	-	-	-					
53.5-1013	1/0-2000	7.11	8.76	11.30	8.76	10.67	14.73					

1 Nivel de aislamiento del 100 por ciento. Se permitirá que los cables de esta categoría se apliquen cuando el sistema tiene protección de relevador de modo que las fallas a tierra se despejarán tan rápido como sea posible pero, en cualquier caso, en menos de 1 minuto. Aunque estos cables son aplicables a la gran mayoría de instalaciones que están en sistemas puestos a tierra, también se permitirá su uso en otros sistemas para los cuales la aplicación de estos cables sea aceptable, siempre que los requisitos anteriores de despeje de las fallas se cumplan al desenergizar por completo la sección que presenta la falla.

2 Nivel de aislamiento del 133 por ciento. Este nivel de aislamiento corresponde al que anteriormente se designaba para sistemas no puestos a tierra. Se permitirá que los cables de esta categoría se apliquen en situaciones en donde los requisitos del tiempo de despeje para la categoría del nivel de 100 por ciento no se pueden cumplir, y aun así existe la seguridad suficiente de que la sección con falla se desenergizará en un tiempo no superior a 1 hora. Igualmente, se permitirá su uso en aplicaciones con nivel de aislamiento de 100 por ciento cuando se desea un aislamiento adicional.

3 Nivel de aislamiento del 173 por ciento. Se permitirá que los cables de esta categoría se apliquen bajo todas las condiciones siguientes:

- (1) En establecimientos industriales cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión garanticen que únicamente personas calificadas atenderán la instalación.
- (2) Cuando los requisitos de tiempo de despeje de la falla de la categoría con nivel del 133 por ciento no se pueden cumplir.
- (3) Cuando la parada sistemática sea esencial para proteger al equipo y al personal.
- (4) Existe la seguridad suficiente de que la sección que presenta falla se desenergizará en una parada sistemática.

También se permitirá que los cables con este espesor de aislamiento se usen en aplicaciones con nivel de aislamiento del 100 o 133 por ciento cuando se desea una resistencia adicional del aislamiento.

310-106. Conductores

a) Tamaño mínimo de los conductores. El tamaño mínimo de los conductores debe ser como se presenta en la Tabla 310-106(a), excepto lo que se permita en otras partes de esta NOM.

Tabla 310-106(a).- Tamaño o designación mínimo de los conductores

Tensión nominal del conductor (volts)	Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre	
	Tamaño o designación			
	mm2	AWG	mm2	AWG
02 000	2.08	14	13.3	6
2 0015 000	8.37	8	13.3	6
5 0018 000	13.3	6	13.3	6
8 00115 000	33.6	2	33.6	2
15 00128 000	42.4	1	42.4	1
28 00135 000	53.5	1/0	53.5	1/0

b) Material de los conductores. Los conductores normalmente utilizados para transportar corriente deben ser de cobre, a no ser que en esta NOM, se indique otra cosa. Si no se especifica el material del conductor, el material y las secciones transversales que se indiquen en esta NOM se deben aplicar como si fueran conductores de cobre. Si se utilizan otros materiales como aluminio o aluminio recubierto de cobre, los tamaños deben cambiarse conforme a su equivalente en cobre

Conductores de aluminio. Los cables de aluminio para secciones transversales desde 13.3 mm² (6 AWG) hasta el 507 mm² (1000 kcmil), marcados como tipo RHH, RHW, XHHW, deben estar hechos de aleación de aluminio de grado eléctrico serie AA-8000

No se permite el uso de conductores de aluminio o de aleación de aluminio en tamaños nominales menores a 13.3 mm² (6AWG). Ver Tablas 310-15(b)(16) y 310-15(b)(17).

c) Conductores cableados. Cuando están instalados en canalizaciones, los conductores de tamaño 8.37 mm² (8 AWG) y mayores deben ser cableados, a menos que específicamente se requiera que sean alambres en otra parte de esta NOM.

d) Aislados. Los conductores deben ser aislados, a menos que específicamente se requiera en otra parte de esta NOM que sean recubiertos o desnudos.

NOTA Ver 250-184 para el aislamiento de los conductores del neutro de un sistema de alta tensión sólidamente puesto a tierra.

310-110. Identificación del conductor

a) Conductores puestos a tierra. Los conductores, aislados o cubiertos puestos a tierra, deben estar de acuerdo con 200-6.

b) Conductores de puesta a tierra de equipos. Los conductores de puesta a tierra del equipo deben estar de acuerdo con 250-119.

c) Conductores de fase. Los conductores que estén proyectados para usarlos como conductores de fase, si se usan como conductores individuales o en cables multiconductores, deben estar acabados de modo que se distingan claramente de los conductores puestos a tierra y de los conductores de puesta a tierra. Las marcas distintivas no deben interferir en modo alguno con las marcas superficiales exigidas en 310-120(b)(1). Los conductores de fase de los circuitos derivados se deben identificar de acuerdo con 210-5(c). Los alimentadores se deben identificar según 215-12.

Excepción: Se permitirá la identificación del conductor de acuerdo con 200-7.

310-120. Marcado

a) Información exigida. Todos los conductores y cables deben estar marcados con la siguiente información, usando el método aplicable de los descritos en el inciso (b) siguiente:

- (1) La tensión nominal máxima.
- (2) La letra o letras que indican el tipo de alambre o cable, tal como se especifica en otras partes de esta NOM.
- (3) El nombre del fabricante, marca comercial u otra marca distintiva que permita identificar fácilmente a la organización responsable del producto.
- (4) El tamaño nominal en mm² y en su designación (AWG o área en circular mils).
- (5) Los ensambles de cable en donde el conductor neutro es de menor tamaño que los conductores de fase, se identifican por la construcción y tamaño de los conductores para indicar tal condición.

b) Métodos de marcado.

1) Marcado en la superficie. Los siguientes conductores y cables se deben marcar en su superficie en forma indeleble. El tamaño nominal se deben repetir a intervalos no superiores a 60 centímetros. Todas las demás marcas se deben repetir a intervalos no superiores a 1.00 metro:

- (1) Cables y alambres de uno o varios conductores, con aislamiento de goma o termoplástico.
- (2) Cables con forro no metálico.
- (3) Cables de acometida.
- (4) Cables de alimentadores y circuitos derivados subterráneos.
- (5) Cables para charolas portacables.
- (6) Cables para equipos de riego.
- (7) Cables de potencia limitada para charolas portacables.
- (8) Cables de instrumentación para charolas portacables.

Artículo 312
Gabinetes, cajas de desconexión y bases para medidores
A. Instalación

Tabla 312-6(a).- Espacio mínimo para el doblado de los cables en las terminales y ancho mínimo de las canales para alambrado

Tamaño o designación		Alambres por cada terminal				
mm ²	AWG o kcmil	1	2	3	4	5
centímetros						
2.08-5.26	14-10	No se especifica	-	-	-	-
8.37-13.3	8-6	3.81	-	-	-	-
21.2-26.7	4-3	5.08	-	-	-	-
33.6	2	6.35	-	-	-	-
42.4	1	7.62	-	-	-	-
53.5-67.4	1/0-2/0	8.89	12.7	17.8	-	-
85.0-107	3/0-4/0	10.2	15.2	20.3	-	-
127	250	11.4	15.2	20.3	25.4	-
152-177	300-350	12.7	20.3	25.4	30.5	-
203-253	400-500	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6
304-355	600-700	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6
380-456	750-900	20.3	30.5	35.6	40.6	45.7
507-633	1 000-1 250	25.4	-	-	-	-
760-1 013	1 500-2 000	30.5	-	-	-	-

El espacio para realizar los dobleces en las terminales se debe medir en línea recta desde el extremo de la terminal o del conector del alambre (en la dirección en que el alambre sale de la terminal) hasta la pared, barrera u obstrucción.

b) Espacio para doblar los conductores en las terminales. El espacio para doblar el conductor en cada terminal debe cumplir con lo que se indica en los incisos (1) o (2).

1) Conductores que no entran ni salen por la pared opuesta.

Se debe aplicar la Tabla 312-6 (a) cuando el conductor no entra ni sale del envolvente por la pared opuesta a su terminal.

2) Conductores que entran o salen por la pared opuesta. Se debe aplicar la Tabla 312-6(b) cuando el conductor entra o sale del envolvente por de la pared opuesta a su terminal.

Excepción 1: Cuando la distancia entre la pared y su terminal está de acuerdo con la Tabla 312-6(a), se permitirá que un conductor entre o salga de un envolvente por la pared opuesta a su terminal, siempre que dicho conductor entre al envolvente o salga de él en el lugar donde la canal se une con la canal adyacente, cuyo ancho esté de acuerdo con el que se indica en la Tabla 312-6(b) para ese conductor.

Excepción 2: Se permitirá que un conductor de tamaño no mayor que 177 mm² (350 kcmil) entre o salga de un envolvente que contenga solamente una(s) base(s) para medidor(es), a través de la pared opuesta a su terminal, siempre que la distancia entre la terminal y la pared opuesta no sea menor a la que se especifica en la Tabla 312-6(a) y que la terminal sea de tipo zapata removible-cable, cuando la terminal cumpla cualquiera de las siguientes condiciones:

a. Dirigida hacia la abertura del envolvente y en un ángulo no mayor a 45° con respecto a la perpendicular a la pared del envolvente.

b. Dirigida de frente a la pared del envolvente y tenga una desviación no mayor al 50 por ciento del espacio de doblado que se especifica en la Tabla 312-6(a).

NOTA: La desviación es la distancia medida a lo largo de la pared del envolvente, desde el eje de la línea de centro de la terminal, hasta una línea que pasa por el centro de la abertura del envolvente.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 312-6(b).- Espacio mínimo para el doblado del alambre en las terminales

Tamaño o designación			Alambres por cada terminal			
mm2	AWG o kcmil		1	2	3	4 o más
	Todos los otros conductores	Conductores de aleación de aluminio AA- 8000, de trenzado compacto, (ver la Nota 3)	centímetros			
2.08 5.26	14-10	-	No se especifica	-	-	-
8.37	8	6	3.81	-	-	-
13.3	6	4	5.08	-	-	-
21.2	4	2	7.62	-	-	-
26.7	3	1	7.62	-	-	-
33.6	2	1/0	8.89	-	-	-
42.4	1	2/0	11.4	-	-	-
53.5	1/0	3/0	14	14	17.8	-
67.4	2/0	4/0	15.2	15.2	19	-
85.0	3/0	250	16.5a	16.5a	20.3	-
107	4/0	300	17.8b	19.0c	21.6a	-
127	250	350	21.6d	22.9d	25.4b	25.4
152	300	400	25.4e	25.4d	27.9b	30.5
177	350	500	30.5e	30.5e	33.0e	35.6d
203	400	600	33.0e	33.0e	35.6e	38.1e
253	500	700-750	35.6e	35.6e	38.1e	40.6e
304	600	800-900	38.1e	40.6e	45.7e	48.3e
355	700	1 000	40.6e	45.7e	50.8e	55.9e
380	750	-	43.2e	48.3e	55.9e	61.0e
405	800	-	45.7	50.8	55.9	61
456	900	-	48.3	55.9	61	61
507	1 000	-	50.8	-	-	-
633	1 250	-	55.9	-	-	-
760	1 500	-	61	-	-	-
887	1 750	-	61	-	-	-
1 013	2 000	-	61	-	-	-

1. El espacio para realizar los dobleces en los terminales se debe medir en una línea recta desde el extremo de la terminal de conexión o del conector del alambre en dirección perpendicular a la pared del embebido en concreto.

2. Para las terminales removibles y de tendido de cables para un solo alambre, se permitirá que el espacio para el doblado se reduzca en la siguiente cantidad de milímetros:

^a 12.7 milímetros

^b 25.4 milímetros

^c 38.1 milímetros

^d 50.8 milímetros

^e 76.2 milímetros

3. Se permitirá que en esta columna se determine el espacio exigido para el doblado del alambre para conductores de aluminio de trenzado compacto, con tamaño o designación hasta de 1000 kcmil y fabricados utilizando material para conductores de aleación de aluminio con grado eléctrico serie AA-8000, de acuerdo con 310- 106(b).

c) Conductores tamaño 21.2 mm² (4 AWG) o mayores. La instalación debe cumplir con lo que se indica en 300-4(g).

Artículo 314 Cajas, cajas de paso y sus accesorios, utilizadas para salida, empalme, unión o jalado
B. Instalación

314-15. Lugares húmedos o mojados. En lugares húmedos o mojados, las cajas y accesorios se deben colocar o deben estar equipados de modo que eviten que entre o se acumule humedad dentro de la caja o accesorio. Las cajas y accesorios instalados en lugares mojados deben ser aprobados para usarlos en esos lugares.

Nota 1: Ver 314-27(b) con respecto a las cajas en los pisos.

Nota 2: Ver 300-6 con respecto a la protección contra la corrosión.

314-16. Número de conductores en las cajas de salida, de dispositivos y de empalme. Las cajas deben tener el tamaño suficiente para brindar espacio libre para todos los conductores instalados. En ningún caso el volumen de la caja, calculado como se especifica en el siguiente inciso (a), debe ser menor que el cálculo para la ocupación, determinado como se indica en el siguiente inciso (b). El volumen mínimo para las cajas debe ser el que se calcula según el siguiente inciso (c).

Las disposiciones de esta sección no se deben aplicar a las cajas de terminales que se suministran con los motores o los generadores.

Nota: Ver 430-12 para los requisitos de volumen de las cajas de terminales de motores o generadores.

Las cajas que alojan conductores de 21.2 mm² (4 AWG) o mayores también deben cumplir con las disposiciones de 314-28.

a) Cálculos del volumen de la caja. El volumen de una caja de alambrado debe ser el volumen total de todas las secciones ensambladas y, cuando se utilice, el volumen de anillos sencillos, extensiones para cajas, etcétera, que estén marcados con el volumen en centímetros cúbicos o que se fabriquen con cajas cuyas dimensiones estén listadas en la Tabla 314-16(a).

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 314-16(a).- Cajas metálicas

Tamaño comercial cm	Volumen mínimo cm ³	Número máximo de conductores* mm ² (AWG)						
		0.824 (18)	1.31 (16)	2.08 (14)	3.31 (12)	5.26 (10)	8.37 (8)	13.3 (6)
10.2 x 3.2 redonda u octagonal	205	8	7	6	5	5	4	2
10.2 x 3.8 redonda u octagonal	254	10	8	7	6	6	5	3
10.2 x 5.4 redonda u octagonal	352	14	12	10	9	8	7	4
10.2 x 3.2 cuadrada	295	12	10	9	8	7	6	3
10.2 x 3.8 cuadrada	344	14	12	10	9	8	7	4
10.2 x 5.4 cuadrada	497	20	17	15	13	12	10	6
11.9 x 3.2 cuadrada	418	17	14	12	11	10	8	5
11.9 x 3.8 cuadrada	484	19	16	14	13	11	9	5
11.9 x 5.4 cuadrada	688	28	24	21	18	16	14	8
7.6 x 5.1 x 3.8 dispositivo	123	5	4	3	3	3	2	1
7.6 x 5.1 x 5.1 dispositivo	164	6	5	5	4	4	3	2
7.6 x 5.1 x 5.7 dispositivo	172	7	6	5	4	4	3	2
7.6 x 5.1 x 6.4 dispositivo	205	8	7	6	5	5	4	2
7.6 x 5.1 x 7.0 dispositivo	230	9	8	7	6	5	4	2
7.6 x 5.1 x 8.9 dispositivo	295	12	10	9	8	7	6	3
10.2 x 5.4 x 3.8 dispositivo	170	6	5	5	4	4	3	2
10.2 x 5.4 x 4.8 dispositivo	213	8	7	6	5	5	4	2
10.2 x 5.4 x 5.4 dispositivo	238	9	8	7	6	5	4	2
9.5 x 5.1 x 6.4 mampostería	230	9	8	7	6	5	4	2
9.5 x 5.1 x 8.9 mampostería	344	14	12	10	9	8	7	4
FS de Prof. mínima 4.5 c/tapa	221	9	7	6	6	5	4	2
FD de Prof. mínima 6.0 c/tapa	295	12	10	9	8	7	6	3
FS de Prof. mínima 4.5 c/tapa	295	12	10	9	8	7	6	3
FD de Prof. mínima 6.0 c/tapa	394	16	13	12	10	9	8	4

* Cuando no es requerido considerar volumen por 314-16(b)(2) hasta (b)(5).

1) Cajas estándar. El volumen para las cajas estándar, que no tienen marcado el volumen, debe ser el que se indica en la Tabla 314-16(a).

2) Otras cajas. Las cajas de 1640 cm³ o menos, distintas de las descritas en la Tabla 314-16(a) y las cajas no metálicas, deben ir marcadas por el fabricante de modo legible y duradero con el volumen en cm³. Las cajas descritas en la Tabla 314-16(a) que tengan mayor volumen del indicado en la tabla, pueden tener marcado su volumen en cm³ como exige esta Sección.

b) Cálculos de la ocupación de la caja. Se deben sumar los volúmenes de los párrafos (1) hasta (5), según aplique. No se exigirá que se asignen volúmenes a accesorios pequeños tales como pasacables o contratueras.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 314-16(b) 370-16(b).- Volumen que es requerido considerar para cada conductor

Tamaño o designación		Espacio libre dentro de la caja para cada conductor
mm ²	AWG	cm ³
0.824	18	24.6 25
1.31	16	28.7 29
2.08	14	32.8 33
3.31	12	36.9 37
5.26	10	41
8.37	8	49.2 49
13.3	6	81.9 82

Artículo 348
Tubo conduit metálico flexible tipo fmc

Tabla 348-22.- Número máximo de conductores aislados en el tubo conduit metálico flexible con designación métrica de 12 (tamaño comercial de 3/8)*

Tamaño o designación		Tipos RFH-2, SF-2		Tipos TF, XHHW, TW		Tipos TFN, THHN, THWN		Tipos FEP, FEBP, PF, PGF	
mm²	AWG	Accesorios dentro del conduit							
0.823	18	2	3	3	5	5	8	5	8
1.31	16	1	2	3	4	4	6	4	6
2.08	14	1	2	2	3	3	4	3	4
3.31	12	-	-	1	2	2	3	2	3
5.26	10	-	-	1	1	1	1	1	2

* Además, se permitirá un conductor de puesta a tierra de equipos del mismo tamaño o designación, aislado, cubierto o desnudo.

Artículo 384 Canalizaciones de canal de tipo vigueta

A. Generalidades

384-1 Alcance. Este Artículo trata del uso, instalación y especificaciones de construcción para las canalizaciones de canal tipo vigueta.

384-2 Definición.

Canalización de canal tipo vigueta. Canalización metálica proyectada para montaje en la superficie de una estructura o suspendida de ella, con accesorios asociados para la instalación de conductores y cables eléctricos.

384-6 Requisitos de aprobación. Las canalizaciones de canal tipo vigueta, las tapas y los accesorios deben estar aprobados e identificados para tal uso.

B. Instalación

384-22 Número de conductores. El número de conductores permitidos en una canalización de canal tipo vigueta no debe exceder los porcentajes de ocupación de la Tabla 384-22, ni el área de la sección transversal aplicable de los tipos y tamaños específicos de alambre dados en las Tablas del **Capítulo 10**.

A Los conductores instalados en canalizaciones de canal tipo vigueta no se les debe aplicar los factores de ajuste de 310-15(b)(3)(a), cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:

- (1) El área de la sección transversal de la canalización es mayor a 2 500 milímetros cuadrados
- (2) Los conductores portadores de corriente no son más de 30.
- (3) La suma de las áreas de las secciones transversales de todos los conductores contenidos no excede del 20 por ciento del área de la sección transversal interior de la canalización de canal tipo vigueta.

Tabla 384-22.- Dimensiones del canal y área de la sección transversal interior

Dimensión del canal	Área mm2	40% Área* mm2	25% Área** mm2
1 x 13/16	572	229	143
1 x 1	743	297	186
1 x 1	1 076	433	270
1 x 1	1 308	523	327
1 x 27/16	2 045	817	511
1 x 3¼	2 780	1 112	695
1½ x ¾	548	219	137
1½ x 1½	1 179	472	295
1½ x 1	1 485	594	371
1½ x 3	2 487	995	622

*Para calcular el número de conductores permitidos en las canalizaciones con uniones externas se debe usar un porcentaje del 40 por ciento de ocupación.

**Para calcular el número de conductores permitidos en las canalizaciones con uniones internas se debe usar un porcentaje del 25% de ocupación.

376-22. Número de conductores y ampacidad. El número de conductores y su ampacidad deben cumplir lo establecido en (a) y (b).

a) Área de la sección transversal del ducto. La suma de las áreas de la sección transversal de todos los conductores contenidos en cualquier sección transversal del ducto, no debe exceder el 20 por ciento del área de la sección transversal interior de la canalización.

b) Factores de ajuste. Los factores de ajuste especificados en 310-15(b)(3)(a) se deben aplicar únicamente cuando el número de conductores portadores de corriente, incluyendo los conductores del neutro clasificados como portadores de corriente de acuerdo con 310-15(b)(5) es mayor a 30. Los conductores para circuitos de señalización o los conductores del controlador, entre un motor y su arrancador, y que son usados sólo para el trabajo de arranque no se deben considerar como conductores portadores de corriente.

Artículo 392 Charolas portacables

A. Generalidades

392-1. Alcance. Este Artículo trata de los sistemas de charolas portacables, incluidos los tipos escalera, canal ventilado, fondo ventilado, fondo sólido, tipo malla y otras estructuras similares

B. Instalación.

392-22. Número de cables o conductores.

a) Número de cables multiconductores de 2 000 volts o menos, en charolas portacables. El número de cables multiconductores de 2 000 volts o menos, permitidos en una sola charola portacables, no debe exceder lo establecido en esta sección. Los tamaños de los conductores que se indican, se aplican tanto a conductores de cobre como de aluminio.

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

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

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

^b El término Sd de las columnas 2 y 4 es la suma de los diámetros, en milímetros, de todos los cables multiconductores de 107 mm² (4/0 AWG) y más grandes instalados en la misma charola con cables más pequeños.

1) Charolas portacables tipo escalera, tipo malla o fondo ventilado que contiene cualquier combinación de cables. Cuando una charola portacables de escalera, malla o fondo ventilado contenga cables multiconductores de fuerza o de alumbrado o cualquier combinación de cables multiconductores de fuerza, alumbrado, control y señalización, el número máximo de cables debe cumplir con lo siguiente:

- Si todos los cables son de tamaño 107 mm² (4/0 AWG) o más grandes, la suma de los diámetros de todos los cables no debe exceder el ancho de la charola y los cables deben ir instalados en una sola capa. Cuando la ampacidad del cable está determinada de acuerdo con 392-80(a)(1)(c), el ancho de la charola portacables no debe ser menor a la suma de los diámetros de los cables y la suma de los anchos de las separaciones exigidas entre los cables.
- Si todos los cables son de tamaño menor a 107 mm² (4/0 AWG), la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables no debe exceder el área de ocupación máxima de cables permitida en la columna 1 de la Tabla 392-22(a), para el ancho correspondiente de la charola portacables.
- Si en la misma charola portacables se instalan cables de tamaño 107 mm² (4/0 AWG) o mayores, con cables de tamaño menor que 107 mm² (4/0 AWG), la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables inferiores al 107 mm² (4/0 AWG) no debe exceder el área de ocupación máxima permisible resultante del cálculo de la columna 2 de la Tabla 392-22(a), para el ancho apropiado de la charola. Los cables de tamaño 107 mm² (4/0 AWG) y más grandes se deben instalar en una sola capa y no se deben colocar otros cables sobre ellos.

2) Charolas portacables de escalera, malla o fondo ventilado que contienen cables multiconductores de control y/o señalización únicamente. Cuando una charola portacables de escalera, malla o fondo ventilado, con una profundidad interior útil de 15 centímetros o menos, contenga sólo cables multiconductores de control y/o señalización, la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables en cualquier sección transversal no debe exceder el 50 por ciento del área de la sección transversal interior de dicha charola. Se debe usar una profundidad de 15 centímetros para calcular el área de la sección interior permisible de cualquier charola portacables que tenga una profundidad interior útil de más de 15 centímetros.

3) Charolas portacables de fondo sólido que contienen cualquier combinación de cables. Cuando haya charolas portacables de fondo sólido con cables multiconductores de fuerza o alumbrado o cualquier combinación de cables multiconductores de fuerza, alumbrado, señales y control, el número máximo de cables debe cumplir con lo siguiente:

- a. Si todos los cables son del 107 mm² (4/0 AWG) o mayores, la suma de los diámetros de todos los cables no debe exceder el 90 por ciento del ancho de la charola y los cables deben estar instalados en una sola capa.
- b. Si todos los cables son de menos tamaño de 107 mm² (4/0 AWG), la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables no debe exceder el área de ocupación máxima de cables permitida en la columna 3 de la Tabla 392-22(a), para el ancho apropiado de la charola.
- c. Si en la misma charola se instalan cables de tamaño 107 mm² (4/0 AWG) o más grandes, con cables de menor tamaño de 107 mm² (4/0 AWG), la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables de tamaño menor de 107 mm² (4/0 AWG) no debe exceder el área de ocupación máxima permitida resultante del cálculo de la columna 4 de la Tabla 392-22(a), para el ancho correspondiente de la charola. Los cables del 107 mm² (4/0 AWG) y más grandes se deben instalar en una sola capa y no se deben colocar otros cables sobre ellos.

4) Charolas de fondo sólido que contienen cables multiconductores de control y/o señalización solamente. Cuando una charola portacables de fondo sólido, con una profundidad interior útil de 15 centímetros o menos, contenga sólo cables multiconductores de control y/o señalización, la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables en cualquier sección transversal de la charola no debe exceder el 40 por ciento del área de la sección transversal interior de dicha charola. Se debe usar una profundidad de 15 centímetros para calcular el área máxima de la sección interior permisible de cualquier charola portacables que tenga una profundidad interior útil de más de 15 centímetros.

5) Charolas portacables de canal ventilado que contienen cables multiconductores de cualquier tipo. Cuando las charolas portacables de canal ventilado contengan cables multiconductores de cualquier tipo, se debe aplicar lo siguiente:

- a. Cuando se instale solamente un cable multiconductor, el área de su sección transversal no debe exceder el valor especificado en la columna 1 de la Tabla 392-22(a)(5).
- b. Cuando se instale más de un cable multiconductor, la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables no debe exceder el valor especificado en la columna 2 de la Tabla 392-22(a)(5)

6) Charolas portables de canal sólido. Cuando las charolas portables de canal sólido contengan cables multiconductores de cualquier tipo, se debe aplicar lo siguiente:

- a. Cuando se instale solamente un cable multiconductor, el área de su sección transversal no debe exceder el valor especificado en la columna 1 de la Tabla 392-22(a)(6).
- b. Cuando se instale más de un cable multiconductor, la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables no debe exceder el valor especificado en la columna 2 de la Tabla 392-22(a)(6).

Tabla 392-22(a)(5).- Área de ocupación permisible para cables multiconductores en charolas portables de canal ventilado para cables de 2 000 volts o menos

Ancho interior de la charola	Área de ocupación máxima permisible para cables multiconductores	
	Columna 1 Un solo cable	Columna 2 Más de un cable
cm	mm ²	mm ²
7.5	1 500	850
10	2 900	1 600
15	4 500	2 450

Tabla 392-22(a)(6).- Área de ocupación permisible para cables multiconductores en charolas portables de canal sólido para cables de 2 000 volts o menos

Ancho interior de la charola	Área de ocupación máxima permisible para cables multiconductores	
	Columna 1 Un solo cable	Columna 2 Más de un cable
cm	mm ²	mm ²
5	850	500
7.5	1 300	700
10	2 400	1 400
15	3 600	2 100

b) Número de cables de un solo conductor de 2000 volts o menos en charolas portables. El número de cables de un solo conductor de 2000 volts o menos, permitidos en una sola sección de una charola portables, no debe exceder los requisitos de esta sección. Los conductores individuales o los ensambles de conductores se deben distribuir uniformemente a lo ancho de toda la charola. Los tamaños de los conductores, se aplican tanto a conductores de cobre como de aluminio.

1) Charolas portables de tipo escalera o de fondo ventilado. Cuando una charola portables tipo malla, de escalera o de fondo ventilado contenga cables de un solo conductor, el número máximo de dichos cables debe cumplir los siguientes requisitos:

- a. Si todos los cables son de 507 mm² (1000 kcmil) o mayores, la suma de los diámetros de todos los cables de un solo conductor no debe exceder el ancho de la charola y todos los cables se deben instalar en una sola capa. Se permitirá que los conductores que están atados conjuntamente para abarcar cada grupo de un circuito, se instalen en forma diferente de una sola capa.
- b. Si todos los cables son de 127 mm² (250 kcmil) hasta 456 mm² (900 kcmil), la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables de un solo conductor, no debe exceder el área de ocupación máxima permitida en la columna 1 de la Tabla 392-22(b)(1) para el ancho correspondiente de la charola.

Tabla 392-22(b)(1).- Área de ocupación permisible para cables de un solo conductor en charolas portacables de tipo escalera, fondo ventilado o malla ventilada para cables de 2 000 volts o menos

Ancho interior de la charola portacables	Área de ocupación máxima permisible para cables multiconductores Charolas portacables tipo escalera o fondo ventilado	
	Columna 1 Aplicable sólo por 392-22(b)(1)(b)	Columna 2a Aplicable sólo por 392-22(b)(1)(c)
cm	mm²	mm²
5	1 400	1 400 - (28 Sd)
10	2 800	2 800 - (28 Sd)
15	4 200	4 200 - (28 Sd)
20	5 600	5 600 - (28 Sd)
22.5	6 100	6 100 - (28 Sd)
30	8 400	8 400 - (28 Sd)
40	11 200	11 200 - (28 Sd)
45	12 600	12 600 - (28 Sd)
50	14 000	14 000 - (28 Sd)
60	16 800	16 800 - (28 Sd)
75	21 000	21 000 - (28 Sd)
90	25 200	25 200 - (28 Sd)

a Se deben calcular las áreas de ocupación máxima permisible de las columnas 2. Por ejemplo, la ocupación máxima permisible, en milímetros cuadrados, para una charola portacables de 15 centímetros de ancho en la columna 2, debe ser 4 200 menos (28 multiplicado por Sd). El término Sd de las columnas 2 es la suma de los diámetros, en milímetros, de todos los cables individuales de 507 mm² y más mayores instalados en la misma charola con cables más pequeños.

Capítulo 4
4.4 Equipos de uso general

Artículo 430 - Motores, circuitos de motores y sus controladores

A. Generalidades

430-1. Alcance. Este Artículo trata sobre los motores, los conductores de los alimentadores y circuitos derivados de los motores y de su protección, sobre la protección contra sobrecargas de los motores, sobre los circuitos de control de los motores, de los controladores de los motores y de los centros de control de motores.

Nota 1: Los requisitos de instalación de los centros de control de motores se tratan en 110-26(e). Los equipos de refrigeración y de aire acondicionado se tratan en el Artículo 440.

Tabla 430-7(b).- Letras de código de indicación para rotor bloqueado

Letra de código	kilovoltamperes por HP con el rotor bloqueado
A	0.00 -- 3.14
B	3.15 -- 3.54
C	3.55 -- 3.99
D	4.00 -- 4.49
E	4.50 -- 4.99
F	5.00 -- 5.59
G	5.60 -- 6.29
H	6.30 -- 7.09
J	7.10 -- 7.99
K	8.00 -- 8.99
L	9.00 -- 9.99
M	10.00 -- 11.19
N	11.20 -- 12.49
P	12.50 -- 13.99
R	14.00 -- 15.99
S	16.00 -- 17.99
T	18.00 -- 19.99
U	20.00 -- 22.39
V	22.40 -- y más

B. Conductores para circuitos de motores

430-22. Un solo motor. Los conductores que alimenten un solo motor usado en una aplicación de servicio continuo, deben tener ampacidad no menor al 125 por ciento del valor nominal de corriente de plena carga del motor, como se determina en 430-6(a)(1), o no menos a la especificada a continuación .

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

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

(2) El 150 por ciento, cuando se use un puente rectificador monofásico de onda completa.

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

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

Nota: Los conductores individuales del circuito de motor de un motor con arranque en estrella y funcionamiento en delta transportan el 58 por ciento del valor nominal de la corriente de carga. El multiplicador del 72 por ciento se obtiene multiplicando el 58 por ciento por 1.25.

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

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

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

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

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

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

430-24. Varios motores o motores y otras cargas. Los conductores que alimentan varios motores o motores y otras cargas deben tener una ampacidad no menor a la suma de cada uno de los siguientes:

- (1) 125 por ciento de la corriente nominal de plena carga del motor con el valor nominal más alto, tal como se determina en 430-6(a).
- (2) La suma de las corrientes nominales de plena carga de todos los otros motores del grupo, tal como se determina en 430-6(a).
- (3) 100 por ciento de las cargas no continuas que no son motores.
- (4) 125 por ciento de las cargas continuas que no son motores.

430-32. Motores de servicio continuo.

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

1) Dispositivo separado de protección contra sobrecarga. Un dispositivo separado de protección contra sobrecarga que sea sensible a la corriente del motor. Este dispositivo se debe seleccionar para que se dispare o debe tener valor nominal no mayor al siguiente porcentaje del valor nominal de corriente de plena carga, de la placa de características del motor:

Motores con un factor de servicio marcado de 1.15 o más	125 por ciento
Motores con un aumento de temperatura marcado de 40 °C o menos	125 por ciento
Todos los demás motores	115 por ciento

Se permitirá modificar estos valores tal como lo establece 430-32(c). En los motores de velocidades múltiples, se debe considerar por separado la conexión de cada devanado. Cuando un dispositivo separado de protección contra sobrecarga de un motor esté conectado de modo que no conduzca la corriente total indicada en la placa de características del motor, como en el caso de un motor con arranque en estrella - delta, en el equipo debe estar claramente marcado el porcentaje de la corriente de la placa de características que se aplica a la selección o ajuste del dispositivo contra sobrecarga, o lo deberá tener en cuenta la tabla de selección dada por el fabricante.

NOTA: Cuando haya instalados capacitores en el lado de la carga del dispositivo de protección contra sobrecarga del motor, para la corrección del factor de potencia, Ver 460-9.

2) Protector térmico. Un protector térmico integrado con el motor, aprobado para su uso con el motor que protege, con el fin de evitar el sobrecalentamiento peligroso del motor debido a la sobrecarga y a las fallas al arrancar. La corriente máxima de disparo en un motor protegido térmicamente no debe superar los siguientes porcentajes de la corriente de plena carga del motor, presentados en las Tablas 430-248, 430-249 y 430-250:

Corriente de plena carga del motor de 9 amperes o menos	170 por ciento
Corriente de plena carga del motor entre 9.1 y 20 amperes inclusive	156 por ciento
Corriente de plena carga del motor mayor a 20 amperes	140 por ciento

Si el dispositivo de interrupción de corriente del motor está separado de él y su circuito de control es operado por un dispositivo protector integrado en el motor, debe estar dispuesto de manera que al abrirse el circuito de control, resulte en una interrupción de la corriente del motor.

3) Integrado al motor. Se permitirá instalar un dispositivo de protección integrado al motor que lo proteja contra los daños debidos a las fallas al arrancar, si el motor forma parte de un ensamble aprobado que normalmente no somete al motor a sobrecargas.

4) De más de 1120 kilowatts (1500 caballos de fuerza). Para motores de más de 1120 kilowatts (1500 hp), un dispositivo de protección con detectores de temperatura incorporados en el motor que cause la interrupción del paso de corriente cuando el motor alcance un aumento de la temperatura por encima del marcado en la placa de características, para una temperatura ambiente de 40 °C.

b) De 746 watts (1 hp) o menos con arranque automático. Un motor de 746 watts (1 hp) o menos con arranque automático debe estar protegido contra sobrecarga por uno de los siguientes medios:

1) Dispositivo separado de protección contra sobrecarga. Por un dispositivo separado de protección contra sobrecarga que cumpla con los requisitos de 430-32(a)(1). En los motores de velocidades múltiples se debe considerar por separado la conexión de cada devanado. Se permitirá modificar estos valores de acuerdo con lo establecido en 430-32(c).

2) Protector térmico. Un protector térmico integrado con el motor, aprobado para su uso con el motor que protege, con el fin de evitar el sobrecalentamiento peligroso debido a la sobrecarga y a las fallas al arrancar. Cuando el dispositivo de interrupción de corriente del motor esté separado de él y su circuito de control esté operado por un dispositivo protector integrado en el motor, debe estar dispuesto de manera que al abrirse el circuito de control, resulte en una interrupción de la corriente del motor.

3) Integrado al motor. Se permitirá instalar un dispositivo de protección integrado con un motor, que lo proteja contra los daños debidos a las fallas al arrancar:

(1) si el motor forma parte de un ensamble aprobado que normalmente no se somete al motor a sobrecargas, o

(2) si el ensamble está equipado también con otros controles de seguridad (como los controles de combustión de seguridad de un quemador doméstico de combustible) que protejan al motor contra los daños debidos a las fallas al arrancar. Cuando el ensamble cuente con controles de seguridad que protejan al motor, esto se debe indicar en la placa de características del ensamble, que debe quedar visible después de la instalación.

4) Protegido por impedancia. Si la impedancia de los devanados del motor es suficiente para evitar el sobrecalentamiento debido a las fallas al arrancar, se permitirá que el motor esté protegido como lo especifica 430-32(d)(2)(a) para los motores con arranque manual, si el motor forma parte de un ensamble aprobado en el cual el motor se auto-limita de modo que no se llegue a sobrecalentar peligrosamente.

Muchos motores de corriente alterna de menos de 37 watts (1/20 hp), como los motores de relojes, motores en serie, etc. y también otros más grandes, como los de par, entran en esta clasificación. En ella no entran los motores de fase dividida con interruptores automáticos que desconectan los devanados de arranque.

c) Selección del dispositivo de protección contra sobrecarga. Cuando el elemento detector o el ajuste o el dimensionamiento del dispositivo de protección contra sobrecarga seleccionado de acuerdo con 430-32(a)(1) y 430-32(b)(1) no son suficientes para arrancar el motor o llevar la carga, se permitirá el uso de elementos detectores de mayor tamaño o incrementos en los ajustes o el dimensionamiento, siempre que la corriente de disparo del dispositivo de protección contra sobrecarga no exceda los siguientes porcentajes del valor nominal de corriente de plena carga, de la placa de características del motor:

Motores con un factor de servicio marcado de 1.15 o más 140 por ciento

Motores con un aumento de temperatura marcado de 40 °C o 140 por ciento menos

Todos los demás motores 130 por ciento

El dispositivo de protección contra sobrecarga debe tener un tiempo de retardo suficiente para permitir que el motor arranque y acelere su carga, si no está derivado durante el periodo de arranque del motor, tal como se establece en 430-35.

Nota: Un relevador de sobrecarga Clase 20 o Clase 30 proporcionará un tiempo más prolongado de aceleración del motor que uno de Clase 10 o Clase 20 respectivamente. El uso de relevadores de sobrecarga de clase más alta puede evitar la necesidad de seleccionar una corriente de disparo más alta.

d) De 746 watts (1 hp) o menos con arranque no automático.

1) Instalado permanentemente. La protección contra sobrecarga debe estar de acuerdo con 430-32(b).

2) Instalado no permanentemente.

a. Al alcance de la vista desde el controlador. Se permitirá que la protección contra sobrecarga sea proporcionada por el dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra del circuito derivado; sin embargo, tal dispositivo de protección del circuito derivado no debe ser mayor que el especificado en la Parte D del Artículo 430.

Excepción: Se permitirá instalar un motor de este tipo en un circuito derivado a 120 volts nominales, protegido a no más de 20 amperes.

b. Fuera del alcance de la vista desde el controlador. La protección contra sobrecarga debe estar de acuerdo con 430-32(b).

e) Secundarios de rotor devanado. Se permitirá que los circuitos secundarios de motores de corriente alterna de rotor devanado, incluidos conductores, controladores, resistencias, etc., estén protegidos contra sobrecargas por el dispositivo contra sobrecarga del motor.

430-33. Motores de servicio intermitente y similares. Se permitirá que un motor, utilizado para una condición que es inherentemente de servicio de corta duración, intermitente, periódica o variable, como se indica en la Tabla 430-22(e), esté protegido contra sobrecargas por el dispositivo protector contra cortocircuito y fallas a tierra del circuito derivado, siempre que el valor nominal o ajuste del dispositivo protector no exceda los valores indicados en la Tabla 430-52. Todas las aplicaciones de los motores se deben considerar como de servicio continuo, excepto si la naturaleza del aparato accionado por el motor es tal que éste no puede funcionar continuamente con carga bajo ninguna condición de uso.

430-35. Derivación durante el periodo de arranque.

a) Arranque no automático. Para un motor que no es arrancado automáticamente, se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecarga sea derivado o se desconecte del circuito durante el periodo de arranque del motor, si el dispositivo mediante el cual la protección contra sobrecarga se pone en derivación o se desconecta, no se pueda dejar en la posición de arranque y si los fusibles o interruptores automáticos de tiempo inverso, tienen un valor nominal o un valor de ajuste no mayor al 400 por ciento de la corriente de plena carga del motor, y están ubicados en el circuito de modo que sean operativos durante el periodo de arranque del motor.

b) Arranque automático. Si el motor es arrancado automáticamente, el dispositivo de protección contra sobrecarga del motor no se debe poner en derivación ni desconectar durante el periodo de arranque.

Excepción: Se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecarga del motor se ponga en derivación o se desconecte durante el periodo de arranque en un motor que sea arrancado automáticamente, cuando:

a. El periodo de arranque del motor sea mayor que el tiempo de retardo de los dispositivos disponibles de protección contra sobrecarga del motor, y

b. Se proporcionan los medios aprobados para:

(1) Detectar la rotación del motor y prevenir automáticamente la conexión en derivación o la desconexión en el evento de que el motor falle al arrancar, y

(2) Limitar el tiempo de derivación o de desconexión de la protección contra sobrecarga a un tiempo menor que el nominal de rotor bloqueado del motor protegido, y

(3) Prevenir la parada y el re arranque manual del motor si éste no alcanza su condición de funcionamiento normal.

430-36. Fusibles - en cuáles conductores. Cuando se empleen fusibles para proteger a los motores contra sobrecargas, se debe insertar un fusible en cada conductor de fase y además en el conductor puesto a tierra, si el sistema de alimentación es de corriente alterna, trifásico y 3 hilos, con un conductor puesto a tierra.

430-37. Dispositivos diferentes de fusibles - en cuáles conductores. Cuando se proteja un motor contra sobrecarga mediante dispositivos que no sean fusibles, el número mínimo permisible y la ubicación de las unidades de sobrecarga, como bobinas de disparo o relevadores, se determinan de acuerdo con la Tabla 430-37.

430-38. Número de conductores abiertos por el dispositivo de protección contra sobrecarga. Los dispositivos de protección contra sobrecarga de los motores, distintos de los fusibles o protectores térmicos, deben abrir simultáneamente un número suficiente de conductores de fase para que se interrumpa el flujo de corriente al motor.

430-39. Controlador del motor como protección contra sobrecarga. También se permitirá usar un controlador de motor como protección contra sobrecarga si el número de unidades de sobrecarga cumple con lo establecido en la Tabla 430-37 y si esas unidades operan tanto durante el arranque como durante el funcionamiento del motor, en el caso de un motor de corriente continua, y durante el funcionamiento del motor en el caso de un motor de corriente alterna.

Tabla 430-37.- Dispositivos de sobrecarga para protección del motor

Tipo de motor	Sistema de alimentación	Número y ubicación de los dispositivos de protección contra sobrecarga tales como bobinas de disparo o relevadores
Monofásico de corriente alterna o corriente continua	De dos hilos, una fase de corriente alterna o corriente continua ninguno puesto a tierra.	1 en cualquier conductor.
Monofásico de corriente alterna o corriente continua	De dos hilos, una fase de corriente alterna o corriente continua, un conductor puesto a tierra.	1 en el conductor de fase.
Monofásico de corriente alterna o corriente continua	3 hilos, una fase de corriente alterna o corriente continua, con conductor del neutro puesto a tierra.	1 en cualquier conductor de fase.
Monofásico de corriente alterna	Cualquiera de las tres fases	1 en el conductor de fase.
Dos fases de corriente alterna	3 hilos, dos fases ninguno puesto a tierra.	2, uno en cada fase.
Dos fases de corriente alterna	3 hilos, dos fases de corriente alterna, con un conductor puesto a tierra.	2 en los conductores de fase.
Dos fases de corriente alterna	4 hilos, dos fases de corriente alterna, puesto a tierra .o no puesto a tierra	2, 1 por cada fase en los conductores de fase.
Dos fases de corriente alterna	Neutro puesto a tierra o 5 hilos, dos fases de corriente alterna, no puesto a tierra.	2, 1 por fase en cualquier hilo de fase no puesto a tierra.
Trifásico de corriente alterna	Cualquiera de las tres fases	3, 1 en cada fase *

***Excepción:** No se requerirá una unidad de protección contra sobrecarga en cada fase cuando se proporcione protección contra sobrecarga por otros medios aprobados.

Tabla 430-52.- Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo ¹	Fusible de dos elementos ¹ (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso ²
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de corriente alterna distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla: diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes	300	175	800	250
De diseño B energéticamente eficientes	300	175	1100	250
Síncronicos ³	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De corriente continua (tensión constante)	150	150	250	150

Para algunas excepciones a los valores especificados, ver 430-54.

1 Los valores de la columna fusible sin retardo de tiempo se aplican a fusibles de Clase CC de acción retardada.

2 Los valores de la última columna también cubren los valores nominales de los interruptores automáticos de tiempo inverso no ajustables, que se pueden modificar como se describe en 430-52(c)(1), Excepción 1 y. 2.

3 Los motores sincrónicos de bajo par y baja velocidad (usualmente 450 rpm o menos), como los utilizados para accionar compresores alternativos, bombas, etc. que arrancan sin carga, no requieren que el valor nominal de los fusibles o el ajuste de los interruptores automáticos sea mayor al 200 por ciento de la corriente a plena carga.

**TABLA 430-72 (b).- Ajuste máximo de los dispositivos de protección por
sobrecorriente en amperes**

Conductores del circuito de control		Columna A Regla básica		Protección brindada por el dispositivo de protección de circuitos derivados del motor			
				Columna B Conductores dentro del envolvente		Columna C Conductores que se extienden más allá del envolvente	
mm ²	AWG	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre
0.824	18	7	-	25	-	7	-
1.31	16	10	-	40	-	10	-
2.08	14	Nota 1	-	100	-	45	-
3.31	12	Nota 1	Nota 1	120	-	60	-
5.26	10	Nota 1	Nota 1	160	-	90	-
Mayor que 5.26	Mayor que 10	Nota 1	Nota 1	Nota 2	Nota 2	Nota 3	Nota 3

Nota 1. Valor especificado en 310-15, según sea aplicable.

Nota 2. 400 por ciento del valor especificado en la Tabla 310-15(b)(17) para conductores a 60 °C.

Nota 3. 300 por ciento del valor especificado en la Tabla 310-15(b)(16) para conductores a 60 °C.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 430-247.- Corriente a plena carga para motores de corriente continua
 Los siguientes valores de corriente a plena carga* son para motores que funcionan a su velocidad básica.

Valor nominal en		Tensión nominal de armadura		
kW	HP	120 volts	240 volts	500 volts
		Amperes		
0.19	¼	3.1	1.6	-
0.25		4.1	2	-
0.37	½	5.4	2.7	-
0.56	¾	7.6	3.8	-
0.75	1	9.5	4.7	-
1.12	1 ½	13.2	6.6	-
1.5	2	17	8.5	-
2.25	3	25	12.2	-
3.75	5	40	20	-
5.6	7 ½	58	29	13.6
7.5	10	76	38	18
11.2	15	-	55	27
14.9	20	-	72	34
18.7	25	-	89	43
22.4	30	-	106	51
29.8	40	-	140	67
37.3	50	-	173	83
44.8	60	-	206	99
56	75	-	255	123
75	100	-	341	164
93	125	-	425	205
112	150	-	506	246
149	200	-	675	330

* Estos valores son promedios para corriente continua.

Tabla 430-248.- Corriente a plena carga de motores monofásicos de corriente alterna

Los siguientes valores de corriente a plena carga corresponden a motores que funcionan a la velocidad usual y motores con características normales de par. Las tensiones listadas son las nominales de los motores. Las corrientes listadas deben utilizarse para sistemas de tensiones nominales de 110 a 120 volts y de 220 a 240 volts.

kW	HP	115 volts	127 volts	208 volts	230 volts
		Amperes			
0.12	1/6	4.4	4	2.4	2.2
0.19	1/4	5.8	5.3	3.2	2.9
0.25		7.2	6.5	4	3.6
0.37	1/2	9.8	8.9	5.4	4.9
0.56	3/4	13.8	11.5	7.6	6.9
0.75	1	16	14	8.8	8
1.12	1 1/2	20	18	11	10
1.5	2	24	22	13.2	12
2.25	3	34	31	18.7	17
3.75	5	56	51	30.8	28
5.6	7 1/2	80	72	44	40
7.5	10	100	91	55	50

Tabla 430-249.- Corriente a plena carga para motores de dos fases de corriente alterna (4 hilos)

Los siguientes valores de corriente a plena carga corresponden a motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con correas bandas y a motores con características normales de par. La corriente en el conductor común de un sistema de dos fases de 3 hilos será de 1.41 veces el valor dado. Las tensiones relacionadas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 600 volts.

kW	HP	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado				
		115 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts
		Amperes				
0.37	½	4	2	1	0.8	-
0.56	¾	4.8	2.4	1.2	1	-
0.75	1	6.4	3.2	1.6	1.3	-
1.12	1 ½	9	4.5	2.3	1.8	-
1.5	2	11.8	5.9	3	2.4	-
2.25	3	-	8.3	4.2	3.3	-
3.75	5	-	13.2	6.6	5.3	-
5.6	7 ½	-	19	9	8	-
7.5	10	-	24	12	10	-
11.2	15	-	36	18	14	-
14.9	20	-	47	23	19	-
18.7	25	-	59	29	24	-
22.4	30	-	69	35	28	-
29.8	40	-	90	45	36	-
37.3	50	-	113	56	45	-
44.8	60	-	133	67	53	14
56	75	-	166	83	66	18
75	100	-	218	109	87	23
93	125	-	270	135	108	28
120	150	-	312	156	125	32
149	200	-	416	208	167	43

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 430-250.- Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

Los siguientes valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par.

Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 600 volts.

kW	HP	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado. (amperes)							Tipo síncrono de factor de potencia unitario* (amperes)			
		115 volts	200 volts	208 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2 300 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2 300 volts
0.37	½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	-	-	-	-	-
0.56	¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	-	-	-	-	-
0.75	1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	-	-	-	-	-
1.12	1 ½	12	6.9	6.6	6	3	2.4	-	-	-	-	-
1.5	2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	-	-	-	-	-
2.25	3	-	11	10.6	9.6	4.8	3.9	-	-	-	-	-
3.75	5	-	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	-	-	-	-	-
5.6	7 ½	-	25.3	24.2	22	11	9	-	-	-	-	-
7.5	10	-	32.3	30.8	28	14	11	-	-	-	-	-
11.2	15	-	48.3	46.2	42	21	17	-	-	-	-	-
14.9	20	-	62.1	59.4	54	27	22	-	-	-	-	-
18.7	25	-	78.2	74.8	68	34	27	-	53	26	21	-
22.4	30	-	92	88	80	40	32	-	63	32	26	-
29.8	40	-	120	114	104	52	41	-	93	41	33	-
37.3	50	-	150	143	130	65	52	-	104	52	42	-
44.8	60	-	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
56	75	-	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
75	100	-	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
93	125	-	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
112	150	-	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
150	200	-	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
187	250	-	-	-	-	302	242	60	-	-	-	-
224	300	-	-	-	-	361	289	72	-	-	-	-
261	350	-	-	-	-	414	336	83	-	-	-	-
298	400	-	-	-	-	477	382	95	-	-	-	-
336	450	-	-	-	-	515	412	103	-	-	-	-
373	500	-	-	-	-	590	472	118	-	-	-	-

*Para factores de potencia de 90 por ciento y 80 por ciento, las cifras anteriores se deben multiplicar respectivamente por 1.10 y 1.25

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 430-251(a).- Conversión de corrientes monofásicas a rotor bloqueado, para la selección de los medios de desconexión y controladores de los motores, de acuerdo a los valores nominales de tensión y potencia en kW
 Para su uso solamente con 430-110, 440-12, 440-41 y 455-8(c).

kW	HP	Corriente monofásica máxima a rotor bloqueado		
		115 volts	208 volts	230 volts
		Amperes		
0.37	½	58.8	32.5	29.4
0.56	¾	82.8	45.8	41.4
0.75	1	96	53	48
1.12	1 ½	120	66	60
1.5	2	144	80	72
2.25	3	204	113	102
3.75	5	336	186	168
5.6	7 ½	480	265	240
7.5	10	600	332	300

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 430-251(b).- Conversión de corriente polifásica máxima a rotor bloqueado, diseños B, C, y D, para la selección de medios de desconexión y controladores, determinados a partir del valor nominal de potencia en caballos de fuerza y la letra de diseño

Para su uso solamente con 430-110, 440-12, 440-41 y 455-8(c).

kW	HP	Corriente máxima a rotor bloqueado, en amperes motores de dos y tres fases de diseño B, C y D*					
		115 volts	200 volts	208 volts	230 volts	460 volts	575 volts
		B, C, D y E	B, C, D y E	B, C, D y E	B, C, D y E	B, C, D y E	B, C, D y E
		Amperes					
0.37	½	40	23	22.1	20	10	8
0.56	¾	50	28.8	27.6	25	12.5	10
0.75	1	60	34.5	33	30	15	12
1.12	1 ½	80	46	44	40	20	16
1.5	2	100	57.5	55	50	25	20
2.25	3	-	73.6	71	64	32	25.6
3.75	5	-	105.8	102	92	46	36.8
5.6	7 ½	-	146	140	127	63.5	50.8
7.5	10	-	186.3	179	162	81	64.8
11.19	15	-	267	257	232	116	93
14.9	20	-	334	321	290	145	116
18.7	25	-	420	404	365	183	146
22.4	30	-	500	481	435	218	174
29.8	40	-	667	641	580	290	232
37.3	50	-	834	802	725	363	290
44.8	60	-	1001	962	870	435	348
56	75	-	1248	1200	1085	543	434
75	100	-	1668	1603	1450	725	580
93	125	-	2087	2007	1815	908	726
112	150	-	2496	2400	2170	1085	868
149	200	-	3335	3207	2900	1450	1160
186.4	250	-	-	-	-	1825	1460
223.7	300	-	-	-	-	2200	1760
261	350	-	-	-	-	2550	2040
298.3	400	-	-	-	-	2900	2320
335.6	450	-	-	-	-	3250	2600
372.9	500	-	-	-	-	3625	2900

*Los motores de diseño A no están limitados a una corriente máxima de arranque o una corriente de rotor bloqueado.

**Artículo 450
Transformadores y bóvedas para transformadores (incluidos los enlaces del secundario)**

Tabla 450-3(a).- Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador).

				Protección del secundario (ver la Nota 2)		
		Protección del primario, más de 600 volts		Más de 600 volts		600 volts o menos
Limitaciones sobre el lugar	Impedancia nominal del transformador	Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible	Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible	Valor nominal del interruptor automático o fusible
Cualquier lugar	No más del 6%	600%	300%	300%	250%	125%
		(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)
	Más del 6%, pero máximo el 10%	400%	300%	250%	225%	125%
		(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)
Lugares supervisados únicamente (ver Nota 3).	Cualquiera	300%	250%	No se exige	No se exige	No se exige
		(ver Nota 1)	(ver Nota 1)			
	No más del 6%	600%	300%	300%	250%	250%
				(ver Nota 5)	(ver Nota 5)	(ver Nota 5)
	Más del 6% pero máximo el 10%	400%	300%	250%	250%	250%
				(ver Nota 5)	(ver Nota 5)	(ver Nota 5)

Notas:

1. Cuando el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste estándares, se permitirá tomar el valor nominal o ajuste estándar inmediatamente superior.
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente del secundario, se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del secundario esté compuesto por un máximo de seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de los valores nominales de los dispositivos no debe exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente. Si como dispositivo de protección contra sobrecorriente se utilizan tanto interruptores como fusibles, el total de los valores nominales del dispositivo no debe exceder el permitido para los fusibles.
3. Un lugar supervisado es aquel en que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solamente personal calificado supervisará y prestará servicio a la instalación de transformadores.
4. Los fusibles accionados electrónicamente que se puedan ajustar para abrir a una corriente específica se deben ajustar de acuerdo con los ajustes para interruptores automáticos.
5. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga no tenga protección independiente del secundario.

Tabla 450-3(b).- Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 600 volts y menos (como un porcentaje nominal de la corriente nominal del transformador)

Método de protección	Protección del primario			Protección del secundario	
	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes	Corrientes de menos de 2 amperes	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes
Protección del primario solamente	125 % (Ver nota 1)	167%	300%	No se requiere	No se requiere
Protección del primario y secundario	250 % (Ver nota 3)	250 % (Ver nota 3)	250 % (Ver nota 3)	125 % (Ver nota 1)	167 %

Notas:

1. Cuando el 125 por ciento de la corriente no corresponde a un valor estándar de un fusible o interruptor automático no ajustable, se permitirá elegir el valor nominal estándar inmediatamente superior.
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente en el secundario, se permitirá que el dispositivo de sobrecorriente del secundario esté compuesto por máximo seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de todos los valores nominales de los dispositivos no deben exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente.
3. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga y dispuesta para interrumpir la corriente del primario, tenga protección contra sobrecorriente en el primario con valor nominal o ajuste a un valor de corriente que no sea más de seis veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que no tienen una impedancia de más del 6 por ciento y no más de cuatro veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que tienen una impedancia de más del 6 por ciento pero no más del 10 por ciento.

Capítulo 5 Ambientes especiales

Artículo 500

500-5 Clasificaciones de lugares.

a) Clasificaciones de lugares. Los lugares se deben clasificar dependiendo de las propiedades del gas inflamable, el vapor producido por líquido inflamable, los vapores producidos por líquidos combustibles, los polvos o fibras/partículas que puedan estar presentes, y similares con posibilidad de que estén presentes en concentraciones o cantidades inflamables o combustibles.

Cuando los únicos materiales utilizados o manipulados en estos lugares sean pirofóricos, estos lugares no deben ser clasificados.

Para determinar su clasificación, cada cuarto o área se debe considerar individualmente.

Nota: Aplicando el ingenio en el diseño de las instalaciones eléctricas para lugares peligrosos (clasificados), frecuentemente es posible ubicar la mayor parte de los equipos en un nivel más bajo de la clasificación o en un lugar no clasificado, y así reducir el número de equipos especiales necesarios.

Para cuartos y áreas que contienen sistemas de refrigeración con amoníaco, que están equipados con ventilación mecánica adecuada, se pueden clasificar como lugares "no clasificados".

b) Lugares Clase I. Los lugares Clase I son aquellos en los que hay o puede haber en el aire gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles, en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables. Los lugares Clase I deben incluir los especificados en (1) y (2) siguientes.

1) Clase I, División 1. Un lugar Clase I, División 1, es un lugar:

(1) En el cual, en condiciones normales de funcionamiento, pueden existir concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles.

(2) En el cual, debido a operaciones de reparación, mantenimiento o a fugas, frecuentemente pueden existir concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o líquidos combustibles por encima de sus puntos de ignición.

(3) En el cual la avería o funcionamiento defectuoso de equipos o procesos pueden liberar concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles y simultáneamente pueden causar una falla en el equipo eléctrico, de manera que provoque que el equipo eléctrico se convierta en la fuente de ignición.

Nota 1: Esta clasificación incluye usualmente los siguientes lugares:

(1) Lugares en los que se trasiegan, de un recipiente a otro, líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables.

(2) El interior de cabinas de aplicación de pintura por rociado y las áreas en los alrededores de los lugares donde se realizan operaciones de pintura y rociado donde se usan solventes volátiles inflamables.

(3) Lugares que contienen tanques o recipientes abiertos con líquidos volátiles inflamables.

(4) Las cámaras o compartimentos de secado para la evaporación de solventes inflamables.

(5) Lugares en los que se encuentran equipos de extracción de grasas y aceites, que utilizan solventes volátiles inflamables.

(6) Secciones de plantas de limpieza y teñido en las que se utilizan líquidos inflamables.

(7) Cuartos de generadores de gases y otras áreas de plantas de fabricación de gases en las que se puedan producir fugas de gases inflamables.

(8) Cuartos de bombas para gases inflamables o para líquidos volátiles inflamables, que estén inadecuadamente ventilados.

(9) El interior de refrigeradores y congeladores en los que se guardan materiales volátiles inflamables en recipientes abiertos, ligeramente tapados o que se puedan romper.

(10) Todos los demás lugares donde exista la probabilidad de que se produzcan concentraciones inflamables de vapores o gases inflamables durante su funcionamiento normal.

Nota 2: En algunos lugares de la División 1 se pueden presentar concentraciones de gases o vapores inflamables, continuamente o durante periodos prolongados de tiempo. Algunos ejemplos incluyen los siguientes:

(1) El interior de envolventes mal ventiladas que contienen instrumentos que normalmente descargan gases o vapores inflamables hacia el interior de la envolvente.

(2) El interior de tanques ventilados que contienen líquidos volátiles inflamables.

(3) El área entre las partes externa e interna de secciones del techo de tanques con techo flotante que contienen fluidos volátiles inflamables.

(4) Las áreas mal ventiladas dentro de los lugares donde se realizan operaciones de recubrimiento o rociado con fluidos volátiles inflamables.

(5) El interior de un ducto de descarga que se utiliza para dar salida a las concentraciones combustibles de gases o vapores.

La experiencia ha demostrado que es prudente evitar totalmente la instalación de instrumentación u otros equipos eléctricos en todas estas áreas en particular. Sin embargo, cuando no se pueda evitar porque son esenciales para los procesos y no sea factible hacer la instalación en otros lugares (ver 500-5(a), NOTA), se deben utilizar equipos o instrumentos eléctricos aprobados para esa aplicación específica o que sean sistemas intrínsecamente seguros, como se describe en el Artículo 504.

2) Clase I, División 2. Un lugar Clase I, División 2, es un lugar:

(1) En el cual se manipulan, procesan o utilizan gases volátiles inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles, pero en el que los líquidos, vapores o gases estarán confinados normalmente en contenedores cerrados o sistemas cerrados, de los que pueden escapar sólo por rotura accidental o avería de dichos contenedores o sistemas, o si los equipos funcionan mal;

(2) En el cual las concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles se evitan normalmente mediante la ventilación mecánica positiva y el cual podría convertirse en peligroso por la falla u operación anormal del equipo de ventilación

(3) Que está adyacente a un lugar de la Clase I División 1, y al cual ocasionalmente se pueden comunicar concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles, por encima de sus puntos de ignición, a menos que dicha comunicación se evite mediante un sistema de ventilación de presión positiva desde una fuente de aire limpio y que se proporcionen medidas de seguridad eficaces contra las posibles fallas de la ventilación.

Nota 1: Esta clasificación incluye usualmente los lugares en los que se utilizan líquidos volátiles inflamables o gases o vapores inflamables pero que, sólo resultarían peligrosos en caso de un accidente o de alguna condición de funcionamiento excepcional. Los factores que merecen consideración para establecer la clasificación y la extensión de cada lugar, son la cantidad de materiales inflamables que podrían escapar en caso de accidente, la suficiencia del equipo de ventilación, el área total involucrada y el historial de incendios o explosiones de esa industria o negocio.

Nota 2: Las tuberías sin válvulas, retenes, medidores y dispositivos similares generalmente no dan lugar a condiciones peligrosas, aunque se utilicen para líquidos o gases inflamables. Dependiendo de factores tales como la cantidad y tamaño de los recipientes y de la ventilación, los lugares usados para el almacenamiento de líquidos inflamables o gases licuados o comprimidos en recipientes sellados, se pueden considerar lugares peligrosos (clasificados) o lugares no clasificados.

c) Lugares Clase II. Un lugar de Clase II es el que resulta peligroso por la presencia de polvos combustibles. Los lugares Clase II deben incluir los especificados en (1) y (2) siguientes.

1) Clase II, División 1. Un lugar de Clase II, División 1 es un lugar:

(1) En el cual, en condiciones normales de operación hay polvo combustible en el aire, en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables; o

(2) En el que una falla mecánica o el funcionamiento anormal de la maquinaria o equipos pueden causar que se produzcan mezclas explosivas o inflamables y en el que además, puede haber una fuente de ignición debido a la falla simultánea de los equipos eléctricos, la operación de los dispositivos de protección o por otras causas, o

(3) En el que puede haber polvos combustibles del grupo E, en cantidades suficientes para ser peligrosos.

Nota: Son particularmente peligrosos los polvos que contienen magnesio o aluminio, por lo que se deben tomar las máximas precauciones para evitar su ignición y explosión.

2) Clase II, División 2. Un lugar de Clase II, División 2 es un lugar:

(1) En el que puede haber polvo combustible en el aire en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables, debido a operaciones anormales.

(2) En donde hay acumulación de polvo combustible pero es insuficiente para interferir con la operación normal del equipo eléctrico u otros aparatos, pero puede haber polvo combustible en suspensión en el aire como resultado de un mal funcionamiento de los equipos de manipulación o de proceso.

(3) En el que la acumulación de polvo combustible sobre, dentro o en la cercanía de los equipos eléctricos puede ser suficiente para interferir con la disipación segura del calor de dichos equipos, o puede ser inflamable por la operación anormal o falla de los equipos eléctricos.

Nota 1: Los factores que merecen tenerse en cuenta para establecer la clasificación de un lugar y que pueden dar como resultado un área no clasificada son, la cantidad de polvo combustible que pueda estar presente y la suficiencia de los sistemas de eliminación del polvo.

Nota 2: Cuando algunos productos, como las semillas, son manipulados de modo que producen poca cantidad de polvo, la cantidad de polvo depositado puede no justificar la clasificación del lugar.

d) Lugares Clase III. Los lugares de Clase III son aquellos que resultan peligrosos por la presencia de fibras fácilmente inflamables o cuando se manipulan, fabrican o utilizan materiales que producen partículas combustibles, pero en el que no es probable que tales fibras/partículas estén en suspensión en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables.

Los lugares Clase III deben incluir los especificados en (1) a (2) siguientes:

1) Clase III, División 1. Un lugar de Clase III, División 1 es un lugar en el que se manipulan, fabrican o usan fibras/partículas fácilmente inflamables.

Nota 1: Esta clasificación incluye normalmente algunas secciones de fábricas de rayón, algodón y otras fábricas de textiles; plantas de fabricación y procesamiento de fibras/partículas combustibles; desmotadoras y molinos de semillas de algodón; plantas de procesamiento de lino; fábricas de vestidos; plantas de procesamiento de madera y establecimientos e industrias que involucran procesos o circunstancias peligrosas similares.

Nota 2: Las fibras/partículas fácilmente inflamables son, entre otras, las de rayón, algodón (incluidas las pelusas y la borra), sisal o henequén, pita, ixtle, yute, cáñamo, estopa, fibra de cacao, estopa, guata de ceiba, musgo español, viruta de madera y otros materiales de naturaleza similar.

2) Clase III, División 2. Un lugar de Clase III, División 2 es un lugar en el que se almacenan o manipulan fibras/partículas fácilmente inflamables, en procesos diferentes de los de manufactura.

Artículo 514 Gasolineras y estaciones de servicio

Tabla 514-3(b)(1).- Áreas peligrosas (clasificadas) Clase I: Estaciones de servicio y gasolineras

Área	División Grupo D	Zona Grupo IIA	Extensión del área peligrosa (clasificada) ¹
Surtidores (dispensarios) (excepto del tipo elevado)²			
Bajo el contenedor del surtidor (dispensario)	1	1	Todo el espacio dentro y bajo la fosa del surtidor o contenedor.
Dispensario	2	2	Alrededor de 45.00 centímetros de la envolvente del dispensario o la parte de la envolvente del contenedor del dispensario que contiene componentes para manejo de líquidos que se extiende horizontalmente en todas direcciones y hacia abajo a nivel de piso.
Exterior	2	2	Hasta 45.00 centímetros sobre el nivel de piso, que se extiende 6.00 metros horizontalmente en todas las direcciones desde la envolvente del dispensario
Interior			
Con ventilación mecánica	2	2	Hasta 45.00 centímetros sobre el nivel de piso, que se extiende 6.00 metros horizontalmente en todas las direcciones de la envolvente del dispensario.
Con ventilación natural			Hasta 45.00 centímetros sobre el nivel de piso, que se extiende 7.50 metros horizontalmente en todas las direcciones de la envolvente del dispensario
Surtidores (dispensarios) - Tipo elevado			
	1	1	Espacio dentro de la envolvente del dispensario y todo el equipo eléctrico integral con la manguera del dispensario o la pistola de despacho.
	2	2	Dentro de 45.00 centímetros de la envolvente del dispensario, que se extiende horizontalmente en todas las direcciones y hacia abajo a nivel de piso.
	2	2	Hasta 45.00 centímetros sobre el nivel del piso, que se extiende 6.00 metros horizontalmente en todas las direcciones desde un punto verticalmente por debajo del exterior de la envolvente del dispensario.
Bombas remotas			
Exteriores	1	1	Todo el espacio dentro de una fosa o caja debajo del nivel de piso, cualquier parte de la cual esté a menos de 3 metros horizontalmente desde cualquier punto exterior de la bomba.
	2	2	Dentro de 1.00 metro de cualquier borde de la bomba, que se extiende horizontalmente en todas las direcciones.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Interiores	2	2	Hasta 45.00 centímetros sobre el nivel de piso, que se extiende 3.00 metros horizontalmente en todas las direcciones desde cualquier punto exterior de la bomba.
	1	1	Todo el espacio dentro de una fosa.
	2	2	Dentro de 1.50 metros de cualquier punto exterior de la bomba, que se extiende en todas las direcciones.
	2	2	Hasta 1.00 metro sobre el nivel de piso, que se extiende 7.50 metros horizontalmente en todas las direcciones desde cualquier punto exterior de la bomba.
Tiendas, bodegas, baños incluyendo estructuras (tales como las módulos de servicio) sobre oadyacentes a los surtidores (dispensarios).	No clasificada	No clasificada	Excepto como se indica a continuación
	1	1	Todo el volumen, si hay alguna abertura en el cuarto dentro la extensión de una área División 1 o Zona 1.
	2	2	Todo el volumen, si hay alguna abertura en el cuarto dentro la extensión de una área División 2 o Zona 2.
Tanque sobre piso			
En el interior del tanque	1	0	Todo el volumen interior
Carcasa, terminales, techo, área de dique	1	1	Todo el espacio dentro del dique, donde la altura del dique supere la distancia del tanque a la pared interior del dique por más del 50 por ciento de la circunferencia del tanque.
	2	2	Todo el espacio dentro del dique, donde la altura del dique no supere la distancia de la pared del tanque al interior de la pared del dique por más del 50 por ciento de la circunferencia del tanque.
	2	2	Dentro de 3.00 metros de la carcasa, terminales o techo del tanque
	1	1	Dentro de 1.50 metros de extremo abierto de venteo, que se extiende en todas las direcciones
	2	2	Entre 1.50 y 3.00 metros desde el extremo abierto de venteo, que se extiende en todas las direcciones
Tanque subterráneo			
En el interior del tanque	1	0	Todo el volumen interior
Boquillas de llenado	1	1	Todo el espacio dentro de una fosa o una caja debajo del nivel de piso, cualquier parte que esté dentro de una área peligrosa (clasificada) División 1 o División 2 o dentro de una área peligrosa (clasificada) Zona 1 o Zona 2.

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

	2	2	Hasta 45.00 centímetros por encima del nivel de piso, que se extiende 1.50 metros horizontalmente en todas las direcciones desde cualquier conexión hermética de llenado y se extiende 3 metros horizontalmente en todas las direcciones desde cualquier conexión enroscada de llenado.
Venteo	1	1	Dentro de 1.50 metros desde el extremo abierto de venteo, que se extiende en todas las direcciones
	2	2	Entre 1.50 y 3.00 metros desde el extremo abierto de venteo, que se extiende en todas las direcciones
Sistema de procesamiento de vapor			
Fosas	1	1	Todo el espacio dentro de una fosa o una caja debajo del nivel de piso, cualquier parte de la cual: (1) se encuentra dentro de una área peligrosa (clasificada) División 1 o División 2, (2) se encuentra dentro de una área peligrosa (clasificada) Zona 1 o Zona 2; (3) aloja cualquier equipo utilizado para transferir o procesar vapores.
Equipos con envoltorios de protección	2	2	Todo el espacio dentro de la envoltura.
Equipo sin envoltorios de protección	2	2	Dentro de 45.00 centímetros de equipos que contengan gases o líquidos inflamables, que se extiende horizontalmente en todas las direcciones y hacia abajo a nivel de piso.
	2	2	Hasta 45.00 centímetros sobre el nivel del piso a menos de 3.00 metros horizontalmente de los equipos de procesamiento de vapor
- Envoltorios de equipos	1	1	Todo el espacio dentro de la envoltura, si hay vapor o líquido inflamable en condiciones normales de operación.
	2	2	Todo el espacio dentro de la envoltura, si no hay vapor o líquido inflamable en condiciones normales de operación.
- Extracción por vacío	2	2	Dentro de 45.00 centímetros del ventilador, que se extiende horizontalmente en todas las direcciones y hacia abajo a nivel de piso.
	2	2	Hasta 45.00 centímetros por encima del nivel de piso, que se extiende 3.00 metros horizontalmente en todas las direcciones.
Bóveda	1	1	Espacio interior completo, si líquidos Clase I están almacenados dentro.

1 Para las aplicaciones marítimas, nivel del suelo significa la superficie de un muelle que se encuentra arriba del agua. 2 Ver Figura 514-3.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 514-3(b)(2).- Áreas clasificadas, equipo eléctrico para surtidores de combustible

Surtidor	Extensión de la superficie clasificada	
	Clase I, División 1	Clase I, División 2
Gas natural comprimido	Todo el espacio dentro de la cubierta del surtidor	1.50 metros en todas las direcciones desde la cubierta del surtidor
Gas natural licuado	Todo el espacio dentro de la cubierta del surtidor y 1.50 metros en todas las direcciones desde la cubierta del surtidor	Desde 1.50 metros hasta 3.00 metros en todas las direcciones desde la cubierta del surtidor
Gas de petróleo licuado	Todo el espacio dentro de la cubierta del surtidor; 45 centímetros desde la superficie exterior de la cubierta del surtidor hasta una elevación de 1.20 metros arriba de la base del surtidor; toda la fosa o espacio abierto por debajo del surtidor y dentro de 6.00 metros horizontalmente de cualquier arista de la cubierta del surtidor cuando la fosa o trinchera no está ventilada mecánicamente.	Hasta 45 centímetros sobre el nivel del piso y dentro de 6.00 metros horizontalmente de cualquier arista de la cubierta del surtidor, incluyendo fosas y trincheras dentro de esta área cuando se provee con ventilación mecánica adecuada

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tabla 551-73(a).- Factores de demanda para los conductores de entrada de acometida y alimentadores para lugares de estacionamiento

Número de lugares para vehículos de recreo	Factor de demanda %	Número de lugares para vehículos de recreo	Factor de demanda %
1	100	10 a 12	50
2	90	13 a 15	48
3	80	16 a 18	47
4	75	19 a 21	45
5	65	22 a 24	43
6	60	25 a 35	42
7 a 9	55	36 y más	41

Capítulo 10
4.10 Tablas

Tabla 1.- Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores

Número de conductores	1	2	Más de 2
Todos los tipos de conductores	53	31	40

Nota 1: Esta Tabla 1 se basa en las condiciones más comunes de cableado y alineación de los conductores, cuando la longitud de los tramos y el número de curvas de los cables están dentro de límites razonables. Sin embargo, en determinadas condiciones se podrá ocupar una parte mayor o menor de los conductos.

Tabla 4.- Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit (basado en la Tabla 1, de este Capítulo)

Artículo 358 Tubo conduit no metálico (EMT)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
16	½	15.8	196	118	104	61	78
21	¾	20.9	343	206	182	106	137
27	1	26.6	556	333	295	172	222
35	1 ¼	35.1	968	581	513	300	387
41	1 ½	40.9	1 314	788	696	407	526
53	2	52.5	2 165	1 299	1 147	671	866
63	2 ½	69.4	3 783	2 270	2 005	1 173	1 513
78	3	85.2	5 701	3 421	3 022	1 767	2 280
91	3 ½	97.4	7 451	4 471	3 949	2 310	2 980
103	4	110.1	9 521	5 712	5 046	2 951	3 808
Artículo 362 Tubo conduit no metálico (ENT)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
16	½	14.2	158	95	84	49	63
21	¾	19.3	293	176	155	91	117
27	1	25.4	507	304	269	157	203
35	1 ¼	34	908	545	481	281	363
41	1 ½	39.9	1 250	750	663	388	500
53	2	51.3	2 067	1 240	1 095	641	827
63	2 ½						

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

78	3						
91	3 ½						
Artículo 348 Tubo conduit metálico flexible (FMC)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
12		9.70	74	44	39	23	30
16	½	16.10	204	122	108	63	81
21	¾	20.90	343	206	182	106	137
27	1	25.90	527	316	279	163	211
35	1 ¼	32.40	824	495	437	256	330
41	1 ½	39.10	1 201	720	636	372	480
53	2	51.80	2 107	1 264	1 117	653	843
63	2 ½	63.50	3 167	1 900	1 678	982	1 267
78	3	76.20	4 560	2 736	2 417	1 414	1 824
91	3 ½	88.90	6 207	3 724	3 290	1 924	2 483
103	4	101	8 107	4 864	4 297	2 513	3 243
Artículo 342 Tubo conduit metálico semipesado (IMC)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
12							
16	½	16.80	222	133	117	69	89
21	¾	21.90	377	226	200	117	151
27	1	28.10	620	372	329	192	248
35	1 ¼	36.80	1 064	638	564	330	425
41	1 ½	42.70	1 432	859	759	444	573
53	2	54.60	2 341	1 405	1 241	726	937
63	2 ½	64.90	3 308	1 985	1 753	1 026	1 323
78	3	80.70	5 115	3 069	2 711	1 586	2 046
91	3 ½	93.20	6 822	4 093	3 616	2 115	2 729
103	4	105.40	8 725	5 235	4 624	2 705	3 490

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Artículo 356 Tubo conduit no metálico flexible hermético a los líquidos (LFNC-B*)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
12		12.5	123	74	65	38	49
16	½	16.1	204	122	108	63	81
21	¾	21.1	350	210	185	108	140
27	1	26.8	564	338	299	175	226
35	1 ¼	35.4	984	591	522	305	394
41	1 ½	40.3	1 276	765	676	395	510
53	2	51.6	2 091	1 255	1 108	648	836
Corresponde a 356.2(2) Artículo 356 Tubo conduit no metálico flexible hermético a los líquidos (LFNC-A*)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
12		12.6	125	75	66	39	50
16	½	16	201	121	107	62	80
21	¾	21	346	208	184	107	139
27	1	26.5	552	331	292	171	221
35	1¼	35.1	968	581	513	300	387
41	1½	40.7	1 301	781	690	403	520
53	2	52.4	2 157	1 294	1 143	669	863
Artículo 350 Tubo conduit metálico flexible hermético a los líquidos (LFMC)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
12		12.5	123	74	65	38	49
16	½	16.1	204	122	108	63	81
21	¾	21.1	350	210	185	108	140
27	1	26.8	564	338	299	175	226
35	1¼	35.4	984	591	522	305	394
41	1½	40.3	1 276	765	676	395	510
53	2	51.6	2 091	1 255	1 108	648	836
63	2½	63.3	3 147	1 888	1 668	976	1 259
78	3	78.4	4 827	2 896	2 559	1 497	1 931

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

91	3½	89.4	6 277	3 766	3 327	1 946	2 511
103	4	102.1	8 187	4 912	4 339	2 538	3 275
129	5						
155	6						
Artículo 344 Tubo conduit metálico pesado (RMC)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
12							
16	½	16.10	204	122	108	63	81
21	¾	21.20	353	212	187	109	141
27	1	27.00	573	344	303	177	229
35	1 ¼	35.40	984	591	522	305	394
41	1 ½	41.20	1 333	800	707	413	533
53	2	52.90	2 198	1 319	1 165	681	879
63	2 ½	63.20	3 137	1 882	1 663	972	1 255
78	3	78.50	4 840	2 904	2 565	1 500	1 936
91	3 ½	90.70	6 461	3 877	3 424	2 003	2 584
103	4	102.90	8 316	4 990	4 408	2 578	3 326
129	5	128.90	1 3050	7 830	6 916	4 045	5 220
155	6	154.80	1 8821	11 292	9 975	5 834	7 528
Artículo 352 Tubo conduit rígido de PVC (PVC), Cédula 80							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
12							
16	½	13.40	141	85	75	44	56
21	¾	18.30	263	158	139	82	105
27	1	23.80	445	267	236	138	178
35	1¼	31.90	799	480	424	248	320
41	1½	37.50	1 104	663	585	342	442
53	2	48.60	1 855	1 113	983	575	742
63	2½	58.20	2 660	1 596	1 410	825	1 064
78	3	72.70	4 151	2 491	2 200	1 287	1 660
91	3½	84.50	5 608	3 365	2 972	1 738	2 243
103	4	96.20	7 268	4 361	3 852	2 253	2 907
129	5	121.10	11 518	6 911	6 105	3 571	4 607
155	6	145.00	16 513	9 908	8 752	5 119	6 605

**Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura**

Artículos 352 y 353 Tubo conduit rígido de PVC (PVC), Cédula 40 y Conduit HDPE (HDPE)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
12							
16	½	15.3	184	110	97	57	74
21	¾	20.4	327	196	173	101	131
27	1	26.1	535	321	284	166	214
35	1¼	34.5	935	561	495	290	374
41	1½	40.4	1 282	769	679	397	513
53	2	52	2 124	1 274	1 126	658	849
63	2½	62.1	3 029	1 817	1 605	939	1 212
78	3	77.3	4 693	2 816	2 487	1 455	1 877
91	3½	89.4	6 277	3 766	3 327	1 946	2 511
103	4	101.5	8 091	4 855	4 288	2 508	3 237
129	5	127.4	12 748	7 649	6 756	3 952	5 099
155	6	153.2	18 433	11 060	9 770	5 714	7 373
Artículo 352 Tubo conduit rígido de PVC (PVC), Tipo A							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
16	½	17.80	249	149	132	77	100
21	¾	23.10	419	251	222	130	168
27	1	29.80	697	418	370	216	279
35	1¼	38.10	1 140	684	604	353	456
41	1½	43.70	1 500	900	795	465	600
53	2	54.70	2 350	1 410	1 245	728	940
63	2½	66.90	3 515	2 109	1 863	1 090	1 406
78	3	82.00	5 281	3 169	2 799	1 637	2 112
91	3½	93.70	6 896	4 137	3 655	2 138	2 758
103	4	106.20	8 858	5 315	4 695	2 746	3 543
129	5						
155	6						
Artículo 352 Tubo conduit rígido de PVC (PVC), Cédula 80							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm²	mm²	mm²	mm²	mm²
16	½						
21	¾						
27	1						

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

35	1¼						
41	1½						
53	2	56.40	2 498	1 499	1 324	774	999
63	2½						
78	3	84.60	5 621	3 373	2 979	1 743	2 248
91	3½	96.60	7 329	4 397	3 884	2 272	2 932
103	4	108.90	9 314	5 589	4 937	2 887	3 726
129	5	135.00	14 314	8 588	7 586	4 437	5 726
155	6	160.90	20 333	12 200	10 776	6 303	8 133

Tabla 5.- Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Área aproximada
	mm ²	AWG o kcmil	mm	mm ²
Tipo: FFH-2, RFH-1, RFH-2, RHH*, RHW*, RHW-2*, RHH, RHW, RHW-2, SF-1, SF-2, SFF-1, SFF-2, TF, TFF, THHW, THW, THW-2, TW, XF, XFF				
RFH-2, FFH-2	0.824	18	3.454	9.355
	1.31	16	3.759	11.10
RHH, RHW, RHW-2	2.08	14	4.902	18.9
	3.31	12	5.385	22.77
	5.26	10	5.994	28.19
	6.63	8	8.28	53.87
	8.37	6	9.246	67.16
	21.2	4	10.46	86
	26.7	3	11.18	98.13
	33.6	2	11.99	112.9
	42.4	1	14.78	171.6
	53.5	1/0	15.8	196.1
	67.4	2/0	16.97	226.1
	85.0	3/0	18.29	262.7
	107	4/0	19.76	306.7
	127	250	22.73	405.9
	152	300	24.13	457.3
	177	350	25.43	507.7
	203	400	26.62	556.5
	253	500	28.78	650.5
	304	600	31.57	782.9
	355	700	33.38	874.9
	380	750	34.24	920.8
	405	800	35.05	965
	456	900	36.68	1057

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Área aproximada
	mm ²	AWG o kcmil	mm	mm ²
	507	1000	38.15	1143
	633	1250	43.92	1515
	760	1500	47.04	1738
	887	1750	49.94	1959
	1013	2000	52.63	2175
SF-2, SFF-2	0.824	18	3.073	7.419
	1.31	16	3.378	8.968
	2.08	14	3.759	11.10
SF-1, SFF-1	0.824	18	2.311	4.194
RFH-1, XF, XFF	0.824	18	2.692	5.161
TF, TFF, XF, XFF	1.31	16	2.997	7.032
TW, XF, XFF, THHW, THW, THW-2	2.08	14	3.378	8.968
TW, THHW, THW, THW-2	3.31	12	3.861	11.68
	5.26	10	4.470	55.68
	6.63	8	5.994	28.19
RHH*, RHW*, RHW-2*	2.08	14	4.140	13.48
RHH*, RHW*, RHW-2*, XF, XFF	3.31	12	4.623	16.67
Tipo: RHH*, RHW*, RHW-2*, THHN, THHW, THW, RHH, RHW, THW-2, TFN, TFFN, THWN, THWN2, XF, XFF				
RHH*, RHW*, RHW-2*, XF, XFF	5.26	10	5.232	21.48
RHH*, RHW*, RHW-2*	6.63	8	6.756	35.87
TW, THW, THHW, THW-2, RHH*, RHW*, RHW-2*	8.37	6	7.722	46.84
	21.2	4	8.941	62.77
	26.7	3	9.652	73.16
	33.6	2	10.46	86.00
	42.4	1	12.50	122.60
	53.5	1/0	13.51	143.40
	67.4	2/0	14.68	169.30
	85.0	3/0	16.00	201.10
	107	4/0	17.48	239.90
	127	250	19.43	296.50
	152	300	20.83	340.70
	177	350	22.12	384.40
	203	400	23.32	427.00
	253	500	25.48	509.70
	304	600	28.27	627.7

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Área aproximada
	mm ²	AWG o kcmil	mm	mm ²
	355	700	30.07	710.3
	380	750	30.94	751.7
	405	800	31.75	791.7
	456	900	33.38	874.9
	507	1000	34.85	953.8
	633	1250	39.09	1200
	760	1500	42.21	1400
	887	1750	45.1	1598
	1013	2000	47.80	1795
TFN, TFFN	0.824	18	2.134	3.548
	1.31	16	2.438	4.645
THHN, THWN, THWN-2	2.08	14	2.819	6.258
	3.31	12	3.302	8.581
	5.26	10	4.166	13.61
	6.63	8	5.486	23.61
	8.37	6	6.452	32.71
	21.2	4	8.23	53.16
	26.7	3	8.941	62.77
	33.6	2	9.754	74.71
	42.4	1	11.33	100.8
	53.5	1/0	12.34	119.7
	67.4	2/0	13.51	143.4
	85.0	3/0	14.83	172.8
	107	4/0	16.31	208.8
	127	250	18.06	256.1
	152	300	19.46	297.3
Tipo: FEP, FEPB, PAF, PAFF, PF, PFA, PFAH, PFF, PGF, PGFF, PTF, PTFF, TFE, THHN, THWN, THWN-2, Z, ZF, ZFF				
THHN, THWN, THWN-2	177	350	20.75	338.2
	203	400	21.95	378.3
	253	500	24.1	456.3
	304	600	26.7	559.7
	355	700	28.5	637.9
	380	750	29.36	677.2
	405	800	30.18	715.2
	456	900	31.8	794.3
	507	1000	33.27	869.5
PF, PGFF, PGF, PFF, PTF, PAF, PTFF, PAFF	0.824	18	2.184	3.742
	1.31	16	2.489	4.839

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Área aproximada
	mm ²	AWG o kcmil	mm	mm ²
PF, PGFF, PGF, PFF, PTF, PAF, PTFF, PAFF, TFE, FEP, PFA, FEPB, PFAH	2.08	14	2.87	6.452
TFE, FEP, PFA, FEPB, PFAH	3.31	12	3.353	8.839
	5.26	10	3.962	12.32
	6.63	8	5.232	21.48
	8.37	6	6.198	30.19
	21.2	4	7.417	43.23
	26.7	3	8.128	51.87
	33.6	2	8.941	62.77
TFE, PFAH	42.4	1	10.72	90.26
TFE, PFA, PFAH, Z	53.5	1/0	11.73	108.1
	67.4	2/0	12.9	130.8
	85.0	3/0	14.22	158.9
	107	4/0	15.7	193.5
ZF, ZFF	0.824	18	1.93	2.903
	1.31	16	2.235	3.935
Z, ZF, ZFF	2.08	14	2.616	5.355
Z	3.31	12	3.099	7.548
	5.26	10	3.962	12.32
	6.63	8	4.978	19.48
	8.37	6	5.944	27.74
	21.2	4	7.163	40.32
	26.7	3	8.382	55.16
	33.6	2	9.195	66.39
	42.4	1	10.21	81.87
Tipo: KF-1, KF-2, KFF-1, KFF-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW				
XHHW, ZW, XHHW-2, XHH	2.08	14	3.378	8.968
	3.31	12	3.861	11.68
	5.26	10	4.47	15.68
	6.63	8	5.994	28.19
	8.37	6	6.96	38.06
	21.2	4	8.179	52.52
	26.7	3	8.89	62.06
	33.6	2	9.703	73.94
XHHW, XHHW-2, XHH	42.4	1	11.23	98.97
	53.5	1/0	12.24	117.7
	67.4	2/0	13.41	141.3
	85.0	3/0	14.73	170.5
	107	4/0	16.21	206.3
	127	250	17.91	251.9
	152	300	19.3	292.6

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Área aproximada
	mm ²	AWG o kcmil	mm	mm ²
	177	350	20.6	333.3
	203	400	21.79	373
	253	500	23.95	450.6
	304	600	26.75	561.9
	355	700	28.55	640.2
	380	750	29.41	679.5
	405	800	30.23	717.5
	456	900	31.85	796.8
	507	1000	33.32	872.2
	633	1250	37.57	1108
	760	1500	40.69	1300
	887	1750	43.59	1492
	1013	2000	46.28	1682
KF-2, KFF-2	0.824	18	1.6	2
	1.31	16	1.905	2.839
	2.08	14	2.286	4.129
	3.31	12	2.769	6
	5.26	10	3.378	8.968
KF-1, KFF-1	0.824	18	1.448	1.677
	1.31	16	1.753	2.387
	2.08	14	2.134	3.548
	3.31	12	2.616	5.355
	5.26	10	3.226	8.194

Tabla 5 A.- Dimensiones y áreas nominales de cables de aluminio tipo XHHW y de cobre compacto

Área	Tamaño	Conductor desnudo	Tipos THW y THHW	Área aproximada	Tipo THHN	Área aproximada	Tipo XHHW	Área aproximada
		Diámetro	Diámetro aproximado		Diámetro aproximado		Diámetro aproximado	
mm ²	AWG o kcmil	mm	mm	mm ²	mm	mm ²	mm	mm ²
8.37	8	3.404	6.477	32.9	—	—	5.69	25.42
13.3	6	4.293	7.366	42.58	6.096	29.16	6.604	34.19
21.2	4	5.41	8.509	56.84	7.747	47.10	7.747	47.1
33.6	2	6.807	9.906	77.03	9.144	65.61	9.144	65.61
42.4	1	7.595	11.81	109.5	10.54	87.23	10.54	87.23
53.5	1/0	8.534	12.7	126.6	11.43	102.6	11.43	102.6
67.4	2/0	9.55	13.84	150.5	12.57	124.1	12.45	121.6
85.0	3/0	10.74	14.99	176.3	13.72	147.7	13.72	147.7
107	4/0	12.07	16.38	210.8	15.11	179.4	14.99	176.3

**Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura**

127	250	13.21	18.42	266.3	17.02	227.4	16.76	220.7
152	300	14.48	19.69	304.3	18.29	262.6	18.16	259
177	350	15.65	20.83	340.7	19.56	300.4	19.3	292.6
203	400	16.74	21.97	379.1	20.7	336.5	20.32	324.3
253	500	18.69	23.88	447.7	22.48	396.8	22.35	392.4
304	600	20.65	26.67	558.6	25.02	491.6	24.89	486.6
355	700	22.28	28.19	624.3	26.67	558.6	26.67	558.6
380	750	23.06	29.21	670.1	27.31	585.5	27.69	602
456	900	25.37	31.09	759.1	30.33	722.5	29.69	692.3
507	1000	26.92	32.64	836.6	31.88	798.1	31.24	766.6

Tabla 8.- Propiedades de los conductores

Tamaño (AWG o kcmil)	Área		Conductores				Resistencia en corriente continua a 75 °C		
			Trenzado		Total		Cobre		Aluminio
			Cantidad de hilos	Diámetro	Diámetro	Área	No Cubierto	Recubierto	Aluminio
				mm	mm	mm ²	Ω/km	Ω/km	Ω/km
18	0.823	1620	1	—	1.02	0.823	25.5	26.5	—
18	0.823	1620	7	0.39	1.16	1.06	26.1	27.7	—
16	1.31	2580	1	—	1.29	1.31	16	16.7	—
16	1.31	2580	7	0.49	1.46	1.68	16.4	17.3	—
14	2.08	4110	1	—	1.63	2.08	10.1	10.4	—
14	2.08	4110	7	0.62	1.85	2.68	10.3	10.7	—
12	3.31	6530	1	—	2.05	3.31	6.34	6.57	—
12	3.31	6530	7	0.78	2.32	4.25	6.5	6.73	—
10	5.261	10380	1	—	2.588	5.26	3.984	4.148	—
10	5.261	10380	7	0.98	2.95	6.76	4.07	4.226	—
8	8.367	16510	1	—	3.264	8.37	2.506	2.579	—
8	8.367	16510	7	1.23	3.71	10.76	2.551	2.653	—
6	13.3	26240	7	1.56	4.67	17.09	1.608	1.671	2.652
4	21.15	41740	7	1.96	5.89	27.19	1.01	1.053	1.666
3	26.67	52620	7	2.2	6.6	34.28	0.802	0.833	1.32
2	33.62	66360	7	2.47	7.42	43.23	0.634	0.661	1.045
1	42.41	83690	19	1.69	8.43	55.8	0.505	0.524	0.829
1/0	53.49	105600	19	1.89	9.45	70.41	0.399	0.415	0.66
2/0	67.43	133100	19	2.13	10.62	88.74	0.317	0.329	0.523
3/0	85.01	167800	19	2.39	11.94	111.9	0.2512	0.261	0.413
4/0	107.2	211600	19	2.68	13.41	141.1	0.1996	0.205	0.328
250	127	—	37	2.09	14.61	168	0.1687	0.1753	0.2778
300	152	—	37	2.29	16	201	0.1409	0.1463	0.2318
350	177	—	37	2.47	17.3	235	0.1205	0.1252	0.1984

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tamaño (AWG o kcmil)	Área		Conductores				Resistencia en corriente continua a 75 °C		
			Trenzado		Total		Cobre		Aluminio
			Cantidad de hilos	Diámetro	Diámetro	Área	No Cubierto	Recubierto	Aluminio
	mm ²	kcmil		mm	mm	mm ²			
400	203	—	37	2.64	18.49	268	0.1053	0.1084	0.1737
500	253	—	37	2.95	20.65	336	0.0845	0.0869	0.1391
600	304	—	61	2.52	22.68	404	0.0704	0.0732	0.1159
700	355	—	61	2.72	24.49	471	0.0603	0.0622	0.0994
750	380	—	61	2.82	25.35	505	0.0563	0.0579	0.0927
800	405	—	61	2.91	26.16	538	0.0528	0.0544	0.0868
900	456	—	61	3.09	27.79	606	0.047	0.0481	0.077
1000	507	—	61	3.25	29.26	673	0.0423	0.0434	0.0695
1250	633	—	91	2.98	32.74	842	0.0338	0.0347	0.0554
1500	760	—	91	3.26	35.86	1011	0.02814	0.02814	0.0464
1750	887	—	127	2.98	38.76	1180	0.0241	0.0241	0.0397
2000	1013	—	127	3.19	41.45	1349	0.02109	0.02109	0.0348

Notas

- (1) Estos valores de resistencia son válidos solamente para los parámetros indicados. Al usar conductores con hilos recubiertos, de distinto tipo de trenzado y especialmente a otras temperaturas, cambia la resistencia.
- (2) Fórmula para el cambio de temperatura: $R_2 = R_1 [1 + (T_2 - 75)]$, donde $cu = 0.00323$, $AL = 0.00330$ a 75° C.
- (3) Los conductores con cableado compacto o comprimido tienen aproximadamente un 9% y un 3%, respectivamente, menos de diámetro del conductor desnudo que los conductores mostrados. Para las dimensiones reales de los cables compactos, véase la Tabla 5A.
- (4) Las conductividades usadas, según la IACS: cobre desnudo = 100%, aluminio = 61%.
- (5) El cableado de Clase B está aprobado también como sólido para algunos tamaños. Su área y diámetro total son los de la circunferencia circunscrita

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

**Tabla 9.- Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C.
Tres conductores individuales en un tubo conduit.**

Área mm ²	Tamaño (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro													
		X _L (Reactancia) para todos los conductores		Resistencia en corriente alterna para conductores de cobre sin recubrimiento			Resistencia en corriente alterna para conductores de aluminio			Z eficaz a <i>FP</i> = 0.85 para conductores de cobre sin recubrimiento			Z eficaz a <i>FP</i> = 0.85 para conductores de aluminio		
		Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero
2.08	14	0.190	0.240	10.2	10.2	10.2	—	—	—	8.9	8.9	8.9	—	—	—
3.31	12	0.177	0.223	6.6	6.6	6.6	—	—	—	5.6	5.6	5.6	—	—	—
5.26	10	0.164	0.207	3.9	3.9	3.9	—	—	—	3.6	3.6	3.6	—	—	—
8.36	8	0.171	0.213	2.56	2.56	2.56	—	—	—	2.26	2.26	2.30	—	—	—
13.30	6	0.167	0.210	1.61	1.61	1.61	2.66	2.66	2.66	1.44	1.48	1.48	2.33	2.36	2.36
21.15	4	0.157	0.197	1.02	1.02	1.02	1.67	1.67	1.67	0.95	0.95	0.98	1.51	1.51	1.51
26.67	3	0.154	0.194	0.82	0.82	0.82	1.31	1.35	1.31	0.75	0.79	0.79	1.21	1.21	1.21
33.62	2	0.148	0.187	0.62	0.66	0.66	1.05	1.05	1.05	0.62	0.62	0.66	0.98	0.98	0.98
42.41	1	0.151	0.187	0.49	0.52	0.52	0.82	0.85	0.82	0.52	0.52	0.52	0.79	0.79	0.82
53.49	1/0	0.144	0.180	0.39	0.43	0.39	0.66	0.69	0.66	0.43	0.43	0.43	0.62	0.66	0.66
67.43	2/0	0.141	0.177	0.33	0.33	0.33	0.52	0.52	0.52	0.36	0.36	0.36	0.52	0.52	0.52
85.01	3/0	0.138	0.171	0.253	0.269	0.259	0.43	0.43	0.43	0.289	0.302	0.308	0.43	0.43	0.46
107.2	4/0	0.135	0.167	0.203	0.220	0.207	0.33	0.36	0.33	0.243	0.256	0.262	0.36	0.36	0.36
127	250	0.135	0.171	0.171	0.187	0.177	0.279	0.295	0.282	0.217	0.230	0.240	0.308	0.322	0.33
152	300	0.135	0.167	0.144	0.161	0.148	0.233	0.249	0.236	0.194	0.207	0.213	0.269	0.282	0.289
177	350	0.131	0.164	0.125	0.141	0.128	0.200	0.217	0.207	0.174	0.190	0.197	0.240	0.253	0.262
203	400	0.131	0.161	0.108	0.125	0.115	0.177	0.194	0.180	0.161	0.174	0.184	0.217	0.233	0.240
253	500	0.128	0.157	0.089	0.105	0.095	0.141	0.157	0.148	0.141	0.157	0.164	0.187	0.200	0.210
304	600	0.128	0.157	0.075	0.092	0.082	0.118	0.135	0.125	0.131	0.144	0.154	0.167	0.180	0.190
380	750	0.125	0.157	0.062	0.079	0.069	0.095	0.112	0.102	0.118	0.131	0.141	0.148	0.161	0.171
507	1000	0.121	0.151	0.049	0.062	0.059	0.075	0.089	0.082	0.105	0.118	0.131	0.128	0.138	0.151

Notas:

1. Estos valores se basan en las siguientes constantes: conductores del tipo RHH con trenzado de Clase B, en configuración acunada. La conductividad de los alambres es del 100 por ciento IACS para cobre y del 61 por ciento IACS para aluminio; la del conduit de aluminio es del 45 por ciento IACS. No se tiene en cuenta la reactancia capacitiva, que es insignificante a estas tensiones. Estos valores de resistencia sólo son válidos a 75 °C y para los parámetros dados, pero son representativos para los tipos de alambres para 600 volts que operen a 60 Hz.

2. La impedancia (Z) eficaz se define como $R \cos(\theta) + X \sin(\theta)$, en donde θ es el ángulo del factor de potencia del circuito. Al multiplicar la corriente por la impedancia eficaz se obtiene una buena aproximación de la caída de tensión de línea a neutro. Los valores de impedancia eficaz de esta tabla sólo son válidos con un factor de potencia de 0.85. Para cualquier otro factor de potencia (FP) del circuito, la impedancia eficaz (Ze) se puede calcular a partir de los valores de R y X_L dados en esta tabla, como sigue: $Ze = R \times FP + X_L \sin[\arccos(FP)]$.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Extracto de la NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución

Tabla 1. Eficiencias mínimas permitidas para los transformadores de distribución.
(Eficiencias en %)

Tipo de alimentación	Capacidad kVA	Nivel básico de aislamiento		
		Hasta 95 kV (Clase 15 kV)	Hasta 150 kV (Clase 18 y 25 kV)	Hasta 200 kV (Clase 34,5 kV)
Monofásico	5	97.90	97.80	97.70
	10	98.25	98.15	98.05
	15	98.40	98.30	98.20
	25	98.55	98.45	98.35
	37,5	98.65	98.55	98.45
	50	98.75	98.65	98.55
	75	98.90	98.80	98.70
	100	98.95	98.85	98.75
Trifásico	167	99.00	98.90	98.80
	15	97.95	97.85	97.75
	30	98.25	98.15	98.05
	45	98.35	98.25	98.15
	75	98.50	98.40	98.30
	112,5	98.60	98.50	98.40
	150	98.70	98.60	98.50
	225	98.75	98.65	98.55
	300	98.80	98.70	98.60
	500	98.90	98.80	98.70
NOTA - Los transformadores de distribución con capacidades intermedias a las contempladas en esta tabla deben cumplir con las eficiencias de la capacidad preferente inmediata superior.				

**Extracto de la NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática en los centros de trabajo-
Condiciones de seguridad**

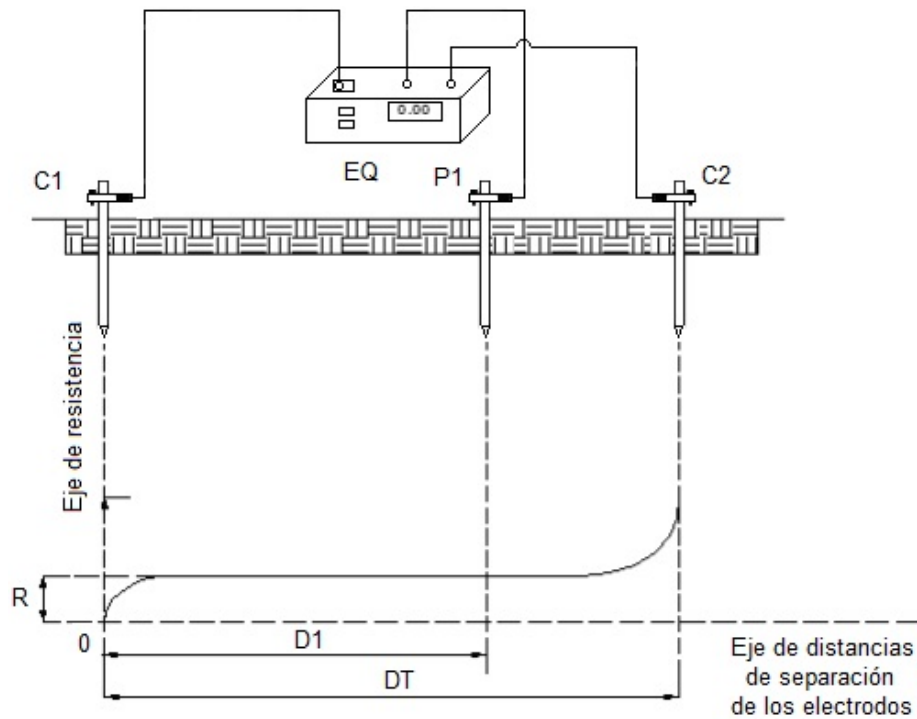
9. Método de caída de tensión para la medición de la resistencia de la red de puesta a tierra

9.1 Instrumentos.

- a)** Medidor de resistencia a tierra para medir la resistencia de la red de puesta a tierra, con una frecuencia entre 90 y 200 Hertz, y
- b)** Óhmetro, multímetro o medidor de resistencia a tierra, para medir la continuidad de las conexiones a tierra.

9.2 Procedimiento para evaluar la resistencia de la red de puesta a tierra.

- a)** Ajustar a cero la aguja del instrumento de medición analógico o verificar que la fuente de poder del equipo digital tenga suficiente energía para realizar el conjunto de mediciones, y comprobar la ausencia de tensión eléctrica en el sistema antes de efectuar la medición. En cualquier caso, constatar que el equipo de medición tenga el registro vigente de calibración;
- b)** La aplicación de este método, consiste en hacer circular una corriente entre dos electrodos: uno llamado c1 (que corresponde a la red de puesta a tierra) y un segundo electrodo auxiliar c2, mismo que se introduce al terreno a una distancia mínima de 20 metros. Para realizar la primera medición se introduce en el terreno un tercer electrodo auxiliar denominado p1, a un metro de distancia entre el electrodo bajo prueba c1 y el electrodo auxiliar c2. El segundo punto de medición se debe realizar desplazando el electrodo auxiliar p1 de manera radial a 3 metros de la primera medición y en dirección al electrodo auxiliar c2, los siguientes puntos de medición se desplazarán cada 3 metros hasta complementar 19 metros;
- c)** Con los valores registrados se debe elaborar una gráfica similar a la que se ilustra en la parte inferior de la figura 1;
- d)** El valor de la resistencia de la red de puesta a tierra, es el que se obtiene en la intersección del eje de resistencia con la parte paralela de la gráfica al eje de las distancias;
- e)** Si la curva no presenta un tramo paralelo, quiere decir que la distancia entre los electrodos c1 y c2 no es suficiente, por lo que el electrodo c2 debe alejarse de la red de puesta a tierra, y
- f)** Los valores de la resistencia de la red de puesta a tierra que se obtengan en esta prueba, deben estar comprendidos entre 0 y 25 ohms para el sistema de pararrayos, y tener un valor no mayor a 10 ohms para la resistencia de la red de puesta a tierra, con objeto de drenar a tierra las corrientes generadas por las cargas eléctricas estáticas.



9.3 Registro de las mediciones.

9.3.1 Debe contener, como mínimo, lo siguiente:

a) Datos del centro de trabajo:

- 1) Nombre o razón social del centro de trabajo;
- 2) Domicilio del centro de trabajo;
- 3) Fecha de realización de la medición, y
- 4) Nombre y firma de la persona que realizó la medición.

b) Datos de los instrumentos de medición:

- 1) Nombre genérico del instrumento utilizado;
- 2) Características del equipo de medición utilizado (modelo, número de serie, etc.), y
- 3) Fecha de emisión del certificado de calibración del instrumento utilizado.

c) Valores de las mediciones:

- 1) Valores de resistencia de la red de puesta a tierra, y
- 2) Valores de continuidad eléctrica de los puntos de conexión del sistema.

d) Características del pararrayos o sistema de pararrayos utilizado, con al menos lo siguiente:

- 1) Altura del pararrayos;
- 2) Ubicación, y
- 3) Angulo de protección.

Norma Oficiales Mexicanas más empleadas en Instalaciones Eléctricas.

1. Norma Oficial Mexicana. NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones Eléctricas (utilización). DOF 29/11/2012. El objetivo es establecer las especificaciones y lineamientos 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 la protección contra las descargas eléctricas, los efectos térmicos, las sobrecorrientes, las corrientes de falla y las sobretensiones.

2. Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2008. DOF 24/11/2008. Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo Condiciones de seguridad. El Objetivo es establecer las condiciones de seguridad de los edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo para su adecuado funcionamiento y conservación, con la finalidad de prevenir riesgos a los trabajadores.

3. Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010. DOF 9/12/2010. Condiciones de seguridad- Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. El objetivo es establecer los requerimientos para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.

4. Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008. DOF 6/12/2008. Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. El objetivo es 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.

5. Norma Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2011. DOF 29/12/2011. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad. El objetivo es establecer las condiciones de seguridad para la realización de actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo, a fin de evitar accidentes al personal responsable de llevarlas a cabo y a personas ajenas a dichas actividades que pudieran estar expuestas.

Otras normas frecuentemente referidas

1. Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014. DOF: 07/08/2014. Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto:

a) Establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones modificaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos.

b) Establecer el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) de los sistemas de alumbrado de edificios nuevos no residenciales, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes con el fin de verificar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

2. Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013. DOF: 14/06/2013. Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), así como la iluminancia o luminancia promedio para alumbrado en vialidades en las diferentes aplicaciones que se indican en la presente norma, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin menoscabo de los requerimientos visuales.

3. Norma Oficial Mexicana NOM-014-ENER-2004. DOF: 19/04/2015. 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.

4. Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2010. DOF: 19/10/2010. 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

5. Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2008. Electricidad estática en los centros de trabajo. Condiciones de seguridad. DOF 7/11/2008 El objetivo es: Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática.

6. Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. DOF 30/12/2008. **Objetivo.** Establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.

Reglamentos

1. Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, publicado en la gaceta oficial del Distrito Federal el 29 de enero de 2004 (texto original publicado GDF 29/01/2004. Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico publicada en la gaceta oficial del Distrito Federal el 8 de febrero de 2011.

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Tablas adicionales de datos prácticos

Sistema de unidades eléctricas. Fórmulas fundamentales en CD

Magnitud		Sistema				Fórmulas más utilizadas para su cálculo
		MKSI		CGSEM		
		Unidad	Símbolo	Unidad	Símbolo	
Desplazamiento o inducción	I, i	Ampere	A			I=V/R
Cantidad de electricidad	Q	Coulomb	Q			Q=I·t
d.d.p. o tensión	U	Volt	V			V=R·I
Resistencia	R	Ohm	Ω			R=V/I
Capacidad	C	Farad	F			C=Q/V
Campo eléctrico y gradiente de potencia	E	V/m	--			E=F/Q
Desplazamiento o inducción electrostática	D	Q/m²	--			D=ε·E
Inducción magnética	B	Tesla	W/m²	Gauss	Gs	β=1.25 · N · I · μ/L (Gs)
Campo magnético	H	A/m	--	Oersted	Oe	H=1.25 · N · I/L (Oe)
Permeabilidad	μ	--	--			μ=β/H
Flujo magnético	Φ	Weber	Wb	Maxwell	Mx	Φ=1.25·N·I·μ·S/L (mx)
Fuerza magnetomotriz		Ampere	At, A	Gisbert	Gb	ε=1.25 · N · I
Inductancia	L	Henry	H			L=N·φ/10 ⁸ ·I
Reluctancia	R	At/Wb				R=I/S·μ
Intensidad luminosa	I	Candela	Cd			I=φ/ω
Flujo luminoso	Φ	Lumen	lm			Φ=Q/t
Cantidad de luz	Q	lm/s	--			--
Iluminación	E	Lux	lx			E=φ/S
Brillo		Stilb	sb			Sb=1 cd/1 cm ² 1 nit= 1 cd/1 m ²

**Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura**

Resistividad ρ y conductividad γ de conductores (a 20 °C)

Material	$\frac{\rho}{\frac{\Omega \cdot m}{m}}$	$\gamma = \frac{1}{\rho}$	Material	$\frac{\rho}{\frac{\Omega \cdot m}{m}}$	$\gamma = \frac{1}{\rho}$
Acero dulce	0.1300	7.700	Latón Ms 63	0.0710	14.00
Aluminio	0.0278	36.00	Magnesio	0.0435	23.00
Antimonio	0.4170	2.400	Manganina	0.4230	2.370
Cadmio	0.0760	13.10	Mercurio	0.9410	1.063
Carbón	40.000	0.025	Níquel	0.0870	11.50
Cobre (eléc.)	0.0175	57.00	Niquelina	0.5000	2.000
Constantán	0.4800	2.080	Oro	0.0222	45.00
Cromo-Ni-Fe	0.1000	10.00	Plata	0.0160	62.50
Estaño	0.1200	8.300	Plata alemana	0.3690	2.710
Hierro fundido	1.0000	1.000	Platino	0.1110	9.000
Hierro (puro)	0.1000	10.00	Plomo	0.2080	4.800
Grafito	8.0000	0.125	Tungsteno	0.0590	17.00
Latón Ms 58	0.0590	17.00	Zinc	0.0610	16.50

Resistividad de ρ aislantes

Material	$\Omega \cdot m$	Material	$\Omega \cdot m$
Aceite de parafina	10^{18}	Mica	10^{17}
Agua de mar	10^6	Parafina (pura)	10^{18}
Agua destilada	10^7	Plexiglás	10^{15}
Ámbar comprimido	10^{18}	Poliestireno	10^{18}
Baquelita	10^{14}	Porcelana	10^{14}
Caucho (hule) duro	10^{18}	Tierra húmeda	10^8
Mármol	10^{10}	Vidrio	10^{15}

Coefficiente térmico de resistencia α_{20} (a 20 °C)

Material	$^{\circ}C^{-1}$	Material	$^{\circ}C^{-1}$
Acero dulce	+ 0.00660	Manganina	+/- 0.00001
Aluminio	+ 0.00390	Mercurio	+ 0.00090
Carbón	-0.00030	Níquel	+ 0.00400
Cobre	+0.00380	Niquelina	+ 0.00023
Constantán	-0.00003	Plata	+ 0.00377
Estaño	+ 0.00420	Plata alemana	+ 0.00070
Grafito	-0.00020	Platino	+ 0.00390
Latón	+ 0.00150	Zinc	+ 0.00370

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Constante dieléctrica ϵ_r

Material aislante	ϵ_r	Material aislante	ϵ_r	Material aislante	ϵ_r
Aceite de oliva	3	Caucho (hule) duro	4	Papel Kraft	4.5
Aceite de parafina	2.2	Caucho (hule) suave	2.5	Papel pescado	4
Aceite de ricino	4.7	Compuesto (compound)	2.5	Parafina	2.2
Aceite mineral para transformadores	2.2	Cuarzo	4.5	Petróleo	2.2
Aceite vegetal para transformadores	2.5	Ebonita	2.5	Pizarra	4
Agua	80	Esteatita	6	Plexiglás	3.2
Aire	1	Fibra vulcanizada	2.5	Poliamida	5
Aislamiento para cable alta tensión	4.2	Gutapercha	4	Poliestireno	3
Aislamiento para cable telefónico	1.5	Laca (Shellac)	3.5	Porcelana	4.4
Araldita	3.6	Mármol	8	Resina fenólica	8
Baquelita	3.6	Mica	6	Teflón	2
Cartón comprimido	4	Micanita	5	Tela	4
		Papel	2.3	Trementina (aguarrás)	2.2
		Papel impregnado	5	Vidrio	5

Serie de potenciales electroquímicos

Diferencia de potencial referida a electrodo de hidrógeno

Material	Volts	Material	Volts	Material	Volts
Aluminio	-1.66	Hidrógeno	0.00	Platino	+1.20
Berilio	-1.85	Hierro	-0.41	Plomo	-0.13
Cadmio	-0.40	Magnesio	-2.37	Potasio	-2.93
Calcio	-2.87	Manganeso	-1.19	Sodio	-2.71
Cobalto	-0.28	Mercurio	+0.85	Tungsteno	-0.58
Cobre	+0.34	Níquel	-0.23	Zinc	-0.76
Cromo	-0.74	Oro	+1.50		
Estaño	-0.14	Plata	+0.80		

Números estandarizados mediante una razón progresiva

Serie E 6 ($\approx \sqrt[6]{10}$)			Serie E 12 ($\approx \sqrt[12]{10}$)			Serie E 24 ($\approx \sqrt[24]{10}$)		
1.0	2.2	4.7	1.0	2.2	4.7	1.0	2.2	4.7
						1.1	2.4	5.1
			1.2	2.7	5.6	1.2	2.7	5.6
						1.3	3.0	6.2
1.5	3.3	6.8	1.5	3.3	6.8	1.5	3.3	6.8

Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

						1.6	3.6	7.5
			1.8	3.9	8.2	1.8	3.9	8.2
						2.0	4.3	9.1
10	22	47	10	22	47	10	22	47
etc.			etc.			etc.		

Intensidad de campo h y permeabilidad relativa μ_r en función de la inducción magnética b deseada

Inducción o densidad de flujo		Hierro fundido		Acero fundido y lámina tipo "dynamo" $\rho_{Fe10} = 3.6 \frac{W}{kg}$		Lámina de acero aleado $\rho_{Fe10} = 1.3 \frac{W}{kg}$	
B		H	μ_r	H	μ_r	H	μ_r
Tesla ($T=Vs/m^2$)	Gauss(Gs)	A/m		A/m		A/m	
0.1	1 000	440	181	30	2 650	8.5	9 390
0.2	2 000	740	215	60	2 650	25	6 350
0.3	3 000	980	243	80	2 980	40	5 970
0.4	4 000	1 250	254	100	4 180	65	4 900
0.5	5 000	1 650	241	120	3 310	90	4 420
0.6	6 000	2 100	227	140	3 410	125	3 810
0.7	7 000	3 600	154	170	3 280	170	3 280
0.8	8 000	5 300	120	190	3 350	220	2 900
0.9	9 000	7 400	97	230	3 110	280	2 550
1.0	10 000	10 300	77	295	2 690	355	2 240
1.1	11 000	14 000	63	370	2 360	460	1 900
1.2	12 000	19 500	49	520	1 830	660	1 445
1.3	13 000	29 000	36	750	1 380	820	1260
1.4	14 000	42 000	26	1 250	890	2 250	495
1.6	16 000			3 500	363	8 500	150
1.7	17 000			7 900	171	13 100	103
1.8	18 000			12 000	119	21 500	67
1.9	19 000			19 100	79	39 000	39
2.0	20 000			30 500	52	115 000	14
2.1	21 000			50 700	33		
2.2	22 000			130 000	13		
2.3	23 000			218 000	4		

**Formulario para el sustentante del
Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)
Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura**

Valores para lámina tipo “dynamo” (de la norma din 46 400)

Clase		Lámina normal	Lámina de aleación			
			Baja	Mediana	Alta	
Tipo		I 3.6	II 3.0	III 2.3	IV 1.5	IV 1.3
Tamaño mm x mm		1 000 x 2 000				750 x 1 500
Espesor, mm		0.5				0.35
Densidad, kg/dm ³		7.8	7.75	7.65	7.6	
Valor máximo de las pérdidas, W/kg	ρ_{Fe10}	3.6	3.0	2.3	1.5	1.3
	ρ_{Fe10}	8.6	7.2	5.6	3.7	3.3
Valor mínimo de la inducción	B_{25}	Tesla Gauss	1.53 15 300	1.50 15 300	1.47 14 700	1.43 14 300
	B_{50}	Tesla Gauss	1.63 16 300	1.60 16 000	1.57 15 700	1.55 15 500
	B_{100}	Tesla Gauss	1.73 17 300	1.71 17 100	1.69 16 900	1.65 16 500
	B_{300}	Tesla Gauss	1.98 19 800	1.95 19 500	1.93 19 300	1.85 18 500

Explicaciones: B_{25} = 1.53 tesla significa que una inducción o densidad de flujo mínima de 1.53 T se alcanzará con una intensidad de campo de 25 A/cm. Para una línea de flujo de, p. ej., 5 cm, se necesitarán: 5 x 25 = 125 A.

ρ_{Fe10}	Pérdidas magnéticas por unidad de masa con las inducciones de:	10 000 Gs = 1.0 tesla
ρ_{Fe15}		15 000 Gs = 1.5 tesla

Los valores corresponden a las siguientes condiciones:

Densidad a $t=15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperaturas (o puntos) de fusión y de ebullición para $\rho = 1.0132\text{ bar} = 760\text{ Torr}$

Los valores entre paréntesis indican sublimación, o sea, cambio directo del estado sólido al gaseoso.

Conductividad térmica a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Capacidad térmica específica (o calor específico) para el intervalo de temperaturas $0 < t < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Puntos de					
Sustancia	Densidad ρ	Fusión (soldf.)	Ebullición	Conductividad térmica k	Calor específico c
	kg/dm ³	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	W/(mK) ⁽¹⁾	kJ/(kgK) ⁽²⁾
Aceite de colza	0.91 ⁽³⁾	-3.5	300	0.17	1.97
Aceite de linaza	0.94 ⁽³⁾	-20	316	0.15	
Aceite para calefacción	0.92 ⁽³⁾	-5	175-350	0.12	

Formulario para el sustentante del

Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC)

Subdirección de Evaluación de Egreso en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

Aceite para máquinas	0.91	-5	380-400	0.126	1.67
Aceite para transformadores	0.87	-5	170	0.15	1.84
Acero	7.85	~1 350	2 500	47-58	0.46
Acero colado	7.8	~1 350		52.3	0.502
Acero dulce	7.85	~1 400	2 500	46.5	0.461
Acero de alta velocidad	8.4-9.0	~1 650	2 600	25.6	0.498
Acetona	0.79 ⁽³⁾		56.1		
Ácido acético	1.08	16.8	118		
Ácido cianhídrico	0.7	-15	27		
Ácido clorhídrico 10%	1.05	-14	102	0.50	3.14
Ácido clorhídrico 40%	1.20				
Ácido fluorhídrico	0.99	-92.5	19.5		
Ácido nítrico	1.56 ⁽⁴⁾	-1.3	86	0.53	2.72
Ácido sulfúrico	1.49 ⁽⁵⁾	-73	-10		1.34
Ácido sulfúrico 50%	1.40				
Ácido sulfúrico concentrado	1.84	10-0	338	0.5	1.38
Ágata	~2.6	~1 600	~2 600	11.20	0.80
Agua	1.0 ⁽⁶⁾	0	100	0.58	4.183
Alcohol	0.79	-130	78.4	0.17-0.23	2.42
Alcohol etílico 95%	0.82 ⁽³⁾	-90	78	0.16	
Alcohol metílico	0.8	-98	66		2.51

Potencia de salida

$$P_{sal} = \frac{T\omega}{9549}$$

donde:

P = Potencia de salida [kW]

T = Par [Nm]

ω = velocidad angular [rpm]

$$P_{sal} = \frac{T\omega}{5252}$$

donde:

P = Potencia de salida [HP]

T = Par [lb-ft]

ω = velocidad angular [rpm]

Consejo Técnico

Representantes de Instituciones de Educación Superior

Ing. José Francisco Efraín Benjamín
Núñez Fernández
**Colegio de Ingenieros Mecánicos y
Electricistas**

Ing. Beatriz Aurora García Cristiano
Instituto Tecnológico de Mérida

I.E. Alejandro Cristóbal Galicia Ponce
**Tecnológico de Estudios Superiores de
Valle de Bravo**

Dr. Pedro Francisco Rosales Escobedo
**Universidad Autónoma de Baja
California**

Mtro. Abel Eduardo Quezada Carreón
**Universidad Autónoma de Ciudad
Juárez**

Dr. Juan Segundo Ramírez
**Universidad Autónoma de San Luis
Potosí**

Dr. Adrián González Parada
Universidad de Guanajuato

Dr. Antonio Ramos Paz
**Universidad Michoacana de San Nicolás
de Hidalgo**

Dr. Jesús Antonio Camarillo Montero
Universidad Veracruzana

Este Formulario es un instrumento de apoyo para quienes sustentarán el Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL-IELEC) y está vigente a partir de enero de 2020.

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-IELEC agradecerán todos los comentarios que puedan enriquecer este material. Sírvese 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. 5103

www.ceneval.edu.mx

eloin.alarcon@ceneval.edu.mx

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

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

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

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

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

Autoridades educativas gubernamentales: Secretaría de Educación Pública.

El Centro está inscrito desde el 10 de marzo de 1995 en el Registro Nacional de Instituciones Científicas y Tecnológicas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, con el número 506.

También es miembro en:

- el International Association for Educational Assessment
- la European Association of Institutional Research
- el Consortium for North American Higher Education Collaboration
- el Institucional Management for Higher Education de la OCDE



CENTRO NACIONAL
DE EVALUACIÓN PARA
LA EDUCACIÓN SUPERIOR, A.C.

CENEVAL®

Dirección de los EGEL

ENERO • 2021