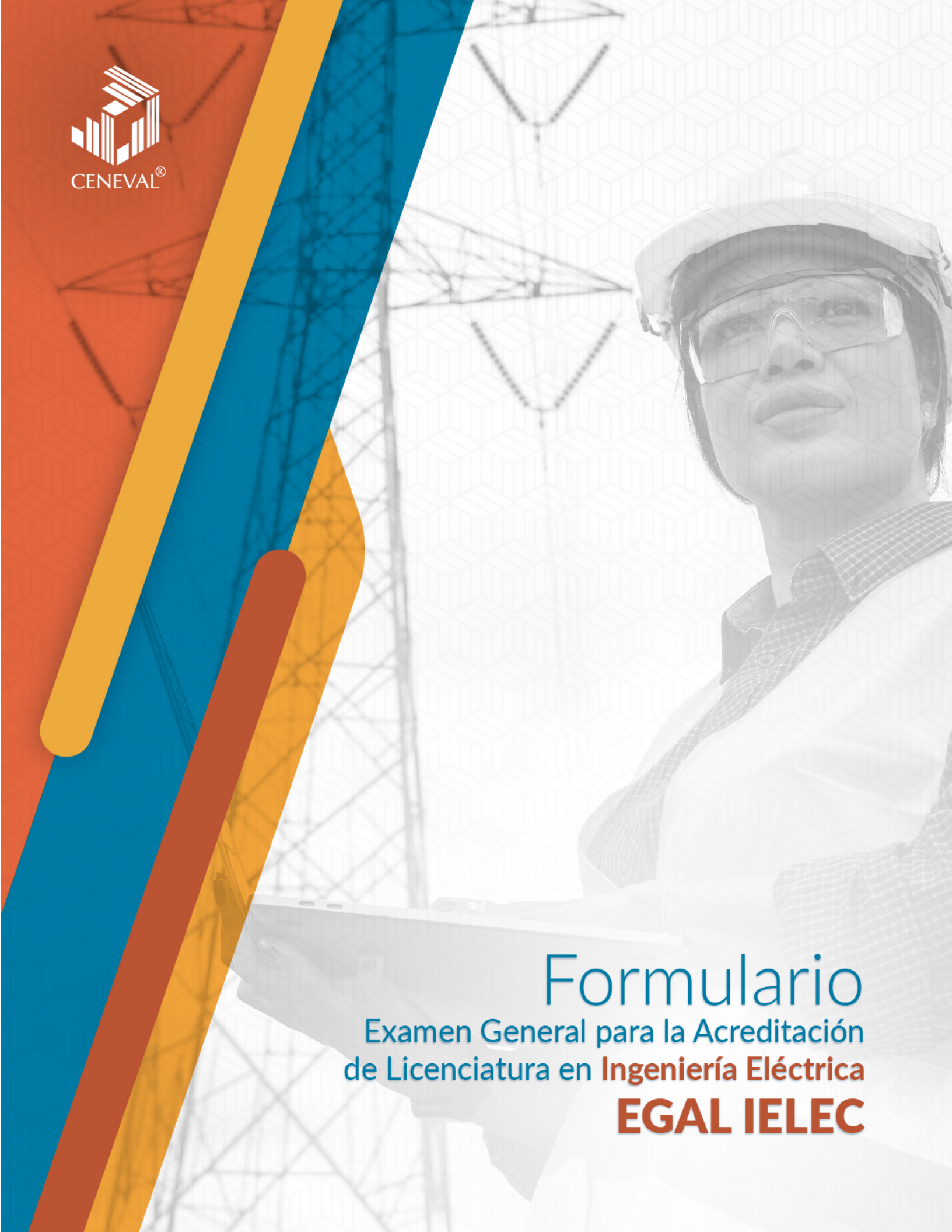
CENEVAL®



# Formulario

## Examen General para la Acreditación de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica

## EGAL IELEC

# Formulario

## Examen General para la Acreditación de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica

## EGAL IELEC

**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 EGEL Plus Sección
Disciplinar en Ingeniería Eléctrica

*Formulario*

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

Primera edición

# Contenido


**Ingeniería económica** ..... **6**

- Interés simple ..... 6
- Interés compuesto ..... 6
- Valor futuro pago único ..... 6
- Valor presente pago único ..... 6
- Cantidad compuesta serie uniforme ..... 6
- Fondo de amortización ..... 6
- Recuperación del capital de una serie uniforme ..... 6
- Valor presente de una serie uniforme ..... 7
- Series de gradiente ..... 7
- Tasa efectiva de interés anual ..... 7
- Capitalización continua ..... 7
- Definición de “e” ..... 7
- Pagos continuos ..... 8
- Tasa mixta ..... 8
- Inversión inicial ..... 8
- Tasa mínima aceptable de rendimiento ..... 8
- Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta ..... 8
- Valor presente neto (con TMAR) ..... 9
- Valor presente neto (con anualidad e interés) ..... 9
- Tasa interna de retorno ..... 9
- Periodo de recuperación de la inversión ..... 9
- Punto de equilibrio en ventas ..... 10
- Costo beneficio ..... 10
- Costo anual uniforme equivalente (CAUE) ..... 10
- Serie uniforme equivalente ..... 10
- Recuperación de capital ..... 10
- Retiro y reemplazo ..... 10

**Mantenimiento** ..... **11**

**Costos de mantenimiento** ..... **11**

- Costo total ..... 11
- Costo del consumo total anual ..... 11
- Costos mantenimiento preventivo ..... 12

**Indicadores control de trabajo** ..... **13**

**Efectividad del sistema** ..... **15**

**Confiabilidad** ..... **17**

**Métodos de mantenimiento vs. costo** ..... **18**

**Sistemas en serie** ..... **18**

**Sistemas en paralelo** ..... **18**

**Restablecimiento de la confiabilidad** ..... **19**

**Probabilidad de falla** ..... **19**

**Mantenimiento productivo total** ..... **19**

**Disponibilidad intrínseca o de explotación** ..... **20**

**Tiempo medio de parada por averías** ..... **20**

**Tiempo medio entre averías MTBF (tiempo de buen funcionamiento)** ..... **20**

**Tiempo de funcionamiento medio** ..... **20**

**Tasa de fallo** ..... **20**

**Trabajo en mantenimiento correctivo** ..... **21**

**Consumo de los aparatos electrodomésticos** ..... **21**

## Matemáticas ..... 22

**Álgebra** ..... **22**
Álgebra lineal ..... 27

**Cálculo diferencial** ..... **29**

**Cálculo integral** ..... **34**

**Geometría** ..... **43**
Geometría analítica plana ..... 45
Geometría analítica del espacio ..... 47

**Trigonometría** ..... **51**

**Números complejos** ..... **55**

**Análisis vectorial** ..... **57**

**Fracciones racionales** ..... **63**

**Series de Fourier** ..... **64**

**Transformada de Fourier** ..... **68**

**Transformada de Laplace** ..... **72**

**Probabilidad y estadística** ..... **77**

## Física ..... 83

**Mecánica** ..... **83**

**Electricidad y magnetismo** ..... **92**

## Química ..... 96

**Constantes** ..... **96**
Tabla periódica de los elementos ..... 97

## Teoría de control ..... 98
Fórmulas de modelado y sistemas de control ..... 98

## Teoría de circuitos eléctricos ..... 99
Impedancia ..... 99
Admitancia ..... 100
Reactancia ..... 101
Resonancia ..... 102
Cargas reactivas y factor de potencia ..... 103
Potencia compleja ..... 105
Potencia trifásica ..... 106

## Sistemas eléctricos de potencia ..... 108
Sistema por unidad ..... 108
Transformadores ..... 108
Componentes simétricas ..... 109
Corrientes de falla de secuencia cero, positiva y negativa (In-0, In-1, In-2) para una falla en bus n ..... 112
Corriente de cortocircuito eficaz (rms) de máquina síncrona ..... 113
Cálculo de fallas ..... 115
Transformadores ..... 117
Transformadores de instrumento (transformadores de medida) ..... 118
Corrección del factor de potencia ..... 120
Reactores ..... 122
Resonancia armónica ..... 124
Resistencia ..... 125
Inductancia ..... 125
Capacitancia ..... 128
Líneas trifásicas de circuitos paralelos ..... 129
Cálculo de líneas ..... 129

Líneas aéreas ... 131
Líneas de tensión ... 132
Cálculo de conductores ... 133
Cálculo de conductores para cargas específicas ... 134
Transformadores ... 136

**Óptica e iluminación ... 146**

**Cálculo de instalaciones de alumbrado ... 150**

**Cálculo de la separación entre luminarias ... 153**

**Descripción de los números ANSI/IEEE ... 163**

**Anexos ... 169**

Extracto de la CFE J1000-50 Torres para líneas de transmisión y subtransmisión ... 169
Extracto de la CFE V5100-15 Interruptores de potencia para media tensión de 15 kV a 38 kV ... 170
Extracto del IEEE Std C37 230 2007 Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines ... 173
Extracto del IEEE Std. C57 152 2013 Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors ... 175
Extracto del IEEE-1159 2019 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality ... 176
Extracto del IEEE-1531 2003 Guide for Application and Specification of Harmonic Filters ... 178
Extracto de la NEMA MG1 Motors and Generators 2009. National Electrical Manufactures Association ... 182
Extracto de la NMX-J-098-ANCE-2014 ... 184
Extracto de la NMX-J-136-ANCE-2019 ... 186
Extracto de la norma de Construcción de instalaciones aéreas en media y baja tensión ... 188
Extracto de la NMX-J-199-ANCE-2002 ... 205
Extracto de la NMX-J-549-ANCE-2005 ... 207
Extracto de la Resolución por la que la Comisión Reguladora de Energía expide las disposiciones administrativas de carácter general que contienen los criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del sistema eléctrico nacional: CÓDIGO DE RED ... 212
Extracto de la IEC 60214-2 ... 217
Extracto de la EN-60617 o IEC 60617 ... 219
Símbolos de acuerdo a la ANSI ... 222
Extracto de la ANSI/NETA MTS 2019 ... 224
Extracto del SOM-3531 2003 Procedimiento de pruebas de campo para equipo primario de subestaciones de distribución ... 225
Extracto de la NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización) ... 231
Extracto de la NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución ... 336
Extracto de la NOM-022-STPS-2015, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad ... 337
Extracto de la NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. ... 341
Extracto de la NOM-016-ENER-2016, Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 kW a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado ... 343
Extracto de la NOM-081-SEMARNAT-2013, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición ... 358

**Norma Oficiales Mexicanas más empleadas en Instalaciones Eléctricas. ... 359**

**Tablas adicionales de datos prácticos ... 361**

**Consejo Técnico ... 367**

# Ingeniería económica

Glosario de términos para ingeniería económica

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

*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*

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

*Tasa efectiva de interés anual*

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

*Capitalización continua*

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

*Definición de "e"*

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

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

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

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

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

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

### *Pagos continuos*

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

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

### *Tasa mixta*

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

### *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*

$$TMAR=\left(\mu * i\right)^{n}$$

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*

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

donde:

$TMAR_{mixta}$ = Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta
$I_n$ = Inflación
$PR_n$= Premio al riesgo
$\%I_n$ = Inflación ÷ 100
$\%PR_n$ = Premio al riesgo ÷ 100

### *Valor presente neto (con TMAR)*

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

donde:

VPN =Valor presente neto
$S_O$ = 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

### *Costo anual uniforme equivalente (CAUE)*

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

### *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*

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

# Mantenimiento

## 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

## *Costos mantenimiento preventivo*

| Definición | Fórmula de cálculo | Objetivos | Significado |
|---|---|---|---|
| IGTR<br>Índice general de trabajos realizados | $IGTR=\frac{OTE}{OTR}$<br><br>OTE=Órdenes de Trabajo Ejecutadas<br>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<br>Índice de órdenes de trabajo pendientes o en proceso | $ITP=\frac{OTPP}{OTR}$<br><br>OTPP=Órdenes de Trabajo Pendientes o en procesos<br>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<br>Índice de mantenimiento preventivo | $IMP=\frac{HHMP}{THHM}$<br><br>HHMP=Horas de mantenimiento Preventivo<br>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<br>Índice de órdenes abiertas | $IOA=\frac{EHH}{HHD}$<br><br>EHH=Horas Hombre Estimadas<br>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<br>Índice de horas extraordinarias o de sobretiempo | $IHE=\frac{CHE}{THHM}$<br><br>CHE=Cantidad de Horas Estimadas<br>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<br>Índice de tiempo perdido (tiempo muerto) | $ITM=\frac{THR}{THHM}$<br><br>THR=Total de Horas de Retraso<br>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 |

## 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 |

| | |
|---|---|
| $SL10=RMO>\frac{12}{TR}$ | Renglones con último movimiento mayor a 12 meses/total de renglones |
| $SL11=VIMO>\frac{12}{VTI}$ | 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 |

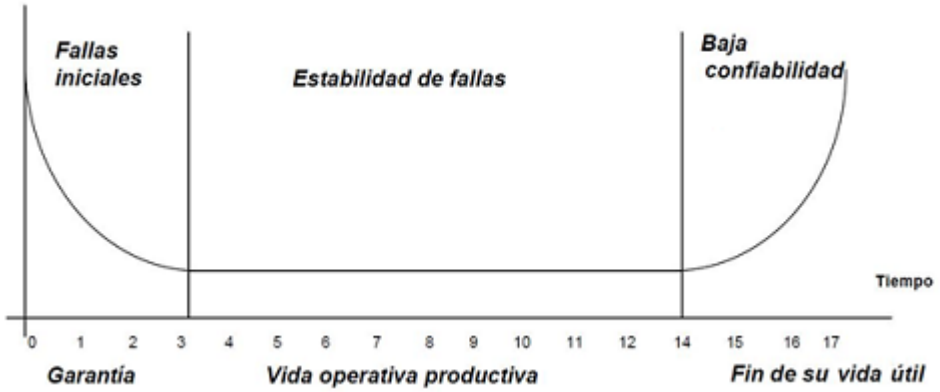
donde:
CT = Control de trabajo
ODT = Órdenes de desarrollo de trabajo
HH = Horas hombre

## 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 |
| $CO7=\frac{CMTP}{CMT}$ | Costos por mantenimiento preventivo/costos de mantenimiento |
| $CO8=\frac{CMC}{CMT}$ | Costos por reparaciones correctivas/costos de mantenimiento |
| $CO9=\frac{CIN}{CMT}$ | Costos por inspecciones/costos de mantenimiento |
| $CO10=\frac{CRE}{CMT}$ | Costos por reacondicionamiento/costos de mantenimiento |
| $CO11=\frac{CMTP}{TMTP}$ | 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




$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} x100$$

donde:

*R*: Confiabilidad
*MTBF*: Tiempo medio entre fallas
*MTTR*: Tiempo medio para reparación

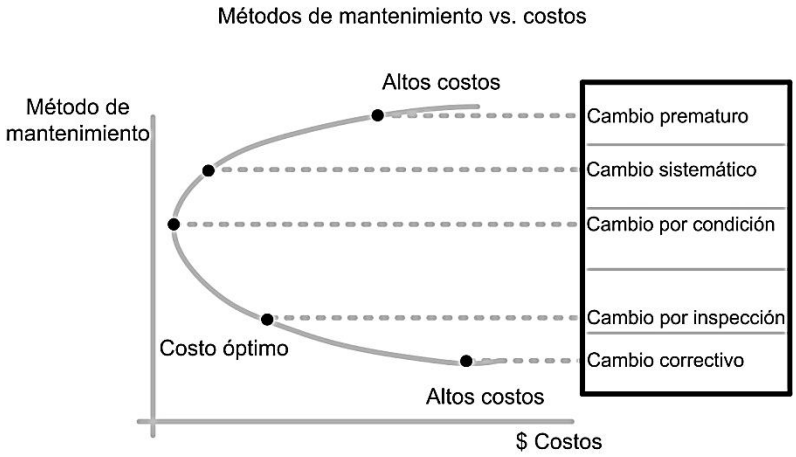
$$MTBF = \left[\frac{h_T}{p}\right] x100$$

$$MTTR = \left[\frac{h_p}{p}\right] x100$$

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

$$Rs = Cf_1 x Cf_2 x Cf_3 x Cf_4$$

donde:

*Rs* = Confiabilidad en serie
$Cf_1, Cf_2, ....., Cf_n$ son las confiabilidades de cada equipo

## Sistemas en paralelo

$$Rp = \frac{Cf_1 x \Pr_1 + Cf_2 x \Pr_2 + Cf_3 x \Pr_3}{\Pr_1 + \Pr_2 + \Pr_3}$$

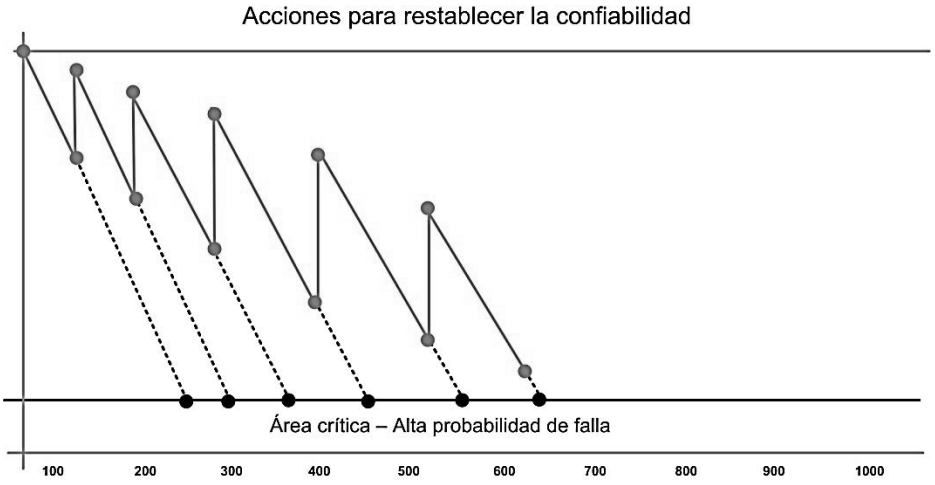
donde:

*Rp* = Confiabilidad en paralelo
$Cf_1, Cf_2, ...., Cf_n$ son las confiabilidades de cada uno de los equipos
$Pr_1, Pr_2, ..., Pr_n$ son las participaciones de cada uno de los equipos en la producción del sistema evaluado

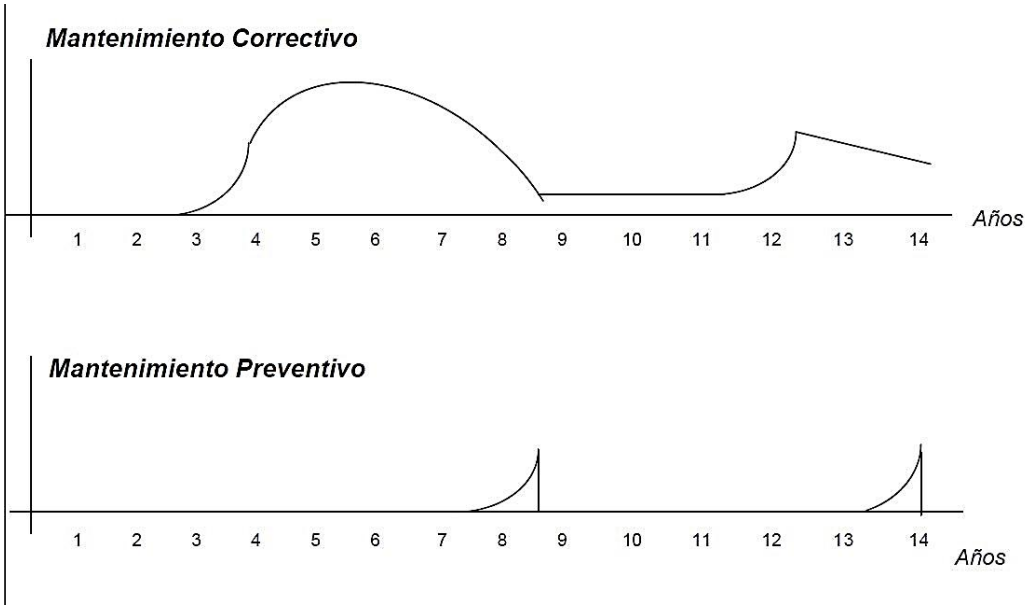
Generalizando para *n* equipos en paralelo:

$$Rp = \left[ \frac{\sum_{j=1}^{n} CF_j x \Pr_j}{\sum_{j=1}^{n} \Pr_j} \right]$$

## Restablecimiento de la confiabilidad




## Probabilidad de falla




## Mantenimiento productivo total

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

donde:

*Dp* = 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 |

# Matemáticas

## Álgebra

**Propiedades de desigualdades**

$$\left.\begin{array}{llll} Si\ x<y & \Rightarrow & x+z< & y+z \\ Si\ x<y;\ z>0 & \Rightarrow & xz< & yz \\ Si\ x<y;\ z<0 & \Rightarrow & xz> & yz \\ Si\ x<y;\ y<z & \Rightarrow & x< & z \end{array}\right\} \forall x,y,z\in\Re$$

**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**

$$f(x)=a_nx^n+a_{n-1}x^{n-1}+\ldots+a_1x+a_0$$
$$a_n\neq 0$$
$$a_0\neq 0$$

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**

$$(AB)^{-1}=B^{-1}A^{-1} \qquad A \text{ y } B \text{ no singulares}$$
$$tr(A+B) = tr\,A + tr\,B$$
$$tr\,(aA)=a\,(tr\,A)$$
$$(AB)^T=B^T\ A^T$$
$$\det(A)=\det\left(A^T\right)$$
$$\det(AB)=\det(A)\det(B)$$
$$A(Adj\ A)=(Adj\ A)A$$
$$det\ (A^{-1})=\frac{1}{det\ (A)} \qquad A \text{ no singular}$$

donde:

tr *A*= traza de A
$A^T$= transpuesta de A

**Fórmulas para potencia y raíces**

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

Nota: Los exponentes para potencias y raíces deben ser escalares

**Transformación de expresiones algebraicas usuales**

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

**Logaritmos**

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

**Binomio de Newton**

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

Donde *n* tiene que ser un número entero

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

**Teorema del binomio (de Newton)**

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

**Teorema binomial**

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

**Permutaciones**

Número de permutaciones de *n* elementos

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

**Combinaciones y ordenaciones**

| Número de combinaciones sin repetición | Número de combinaciones con repetición |
|---|---|
| $C_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \binom{n}{k}$ | ${}^rC_k^n = \frac{(n+k-1)!}{k!(n-1)!} = \binom{n+k-1}{k}$ *r* con repetición |

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

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**

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

$\alpha$ es un número cualquiera, positivo o negativo, entero o fraccionario

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

**Serie de Taylor (serie de McLaurin)**

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

**Forma de McLaurin, cuando** $a = 0$

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

**Expansión de Taylor**

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

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

Determinantes de segundo orden

Para el sistema de dos ecuaciones:

$$A_1x + B_1y = C_1$$
$$A_2x + B_2y = C_2$$

Se resuelve mediante:

$$\Delta = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = (A_1)(B_2) - (B_1)(A_2)$$

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

$$y = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & C_2 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(A_1)(C_2) - (C_1)(B_2)}{\Delta}$$

Para el sistema de tres ecuaciones:

$$A_1x + B_1y + C_1z = D_1$$
$$A_2x + B_2y + C_2z = D_2$$
$$A_3x + B_3y + C_3z = D_3$$

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

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

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

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) $(\bar{u}\ |\bar{v})=\overline{(\bar{v}\ |\bar{u})}$

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) $(\bar{u}\ |\ \bar{u})>0\quad si\ \ \bar{u}\neq\bar{0}$

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

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

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

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

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

Si $\{\bar{e}_1,\ \bar{e}_2,\ \ldots,\ \bar{e}_m\}$ 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→W

$$\begin{cases} T(V) = \left\{ T(\bar{v}) \mid \bar{v} \in V \right\} & \textit{recorrido de } V \\ N(T) = \left\{ \bar{v} \in V \,/\, T(\bar{v}) = \bar{O} \right\} & \textit{núcleo de } T \\ \dim V = \dim T(V) + \dim N(T) \end{cases}$$

Para T:V→W

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

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

para T:V→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 $\Delta x$ 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:

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

**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 $\rho$ en un punto dado *x*.

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

Coordenadas del centro de curvatura $C$ correspondiente a un radio $\rho$
$y''$

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

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

**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 $y''$

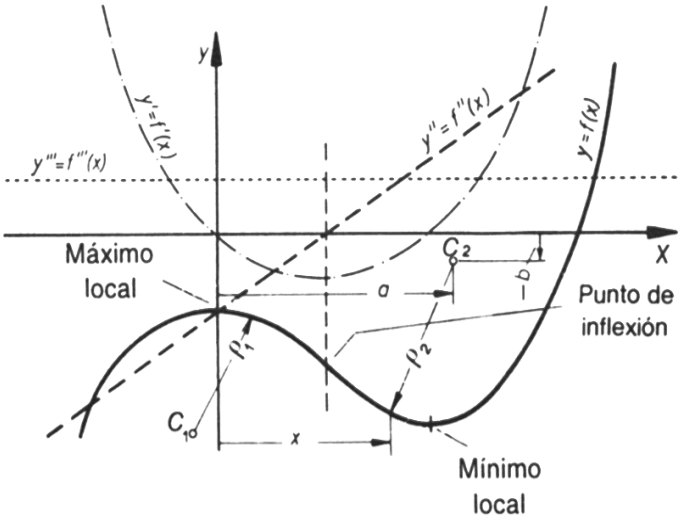
Si $y''(a) > 0$ habrá un mínimo en $x = a$
Si $y''(a) < 0$ habrá un máximo en $x = a$

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 $x$

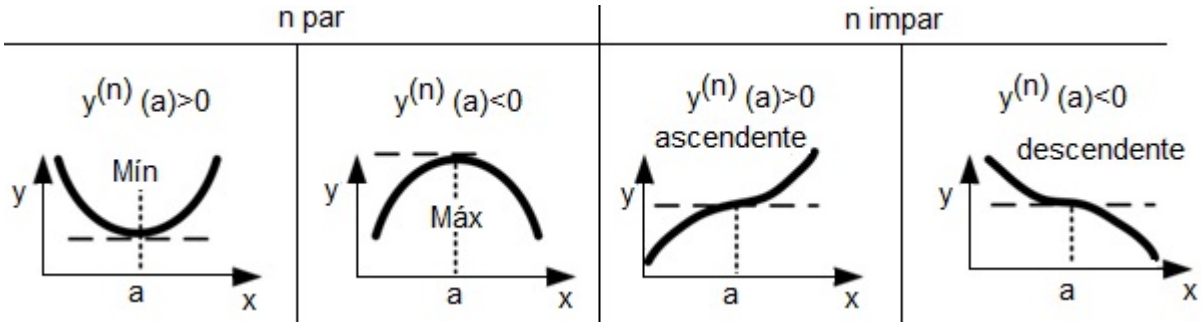
**Curvatura**

$y''(x)>0$ $y(x)$ 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 $x=a$

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



**Tablas de derivadas**

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

**Derivadas de las funciones exponenciales y logarítmicas**

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

**Derivadas de las funciones trigonométricas y de las trigonométricas inversas**

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

| | |
|---|---|
| $\frac{d}{dx}\sec^{-1}u=\frac{1}{\lvert u\rvert\sqrt{u^2-1}}\frac{du}{dx}=\frac{\pm1}{u\sqrt{u^2-1}}\frac{du}{dx},$ $\begin{bmatrix}+si & 0<\sec^{-1}u<\frac{\pi}{2}\\ -si & \frac{\pi}{2}<\sec^{-1}u<\pi\end{bmatrix}$ | $\frac{d}{dx}\csc^{-1}u=\frac{-1}{\lvert u\rvert\sqrt{u^2-1}}\frac{du}{dx}=\frac{\mp1}{u\sqrt{u^2-1}}\frac{du}{dx},$ $\begin{bmatrix}-si & 0<\csc^{-1}u<\frac{\pi}{2}\\ +si & -\frac{\pi}{2}<\csc^{-1}u<0\end{bmatrix}$ |

**Derivadas de las funciones hiperbólicas y de las hiperbólicas recíprocas**

| | |
|---|---|
| $\frac{d}{dx}\operatorname{senh}u=\cosh u\frac{du}{dx}$ | $\frac{d}{dx}\coth u=-\operatorname{csc}h^2u\frac{du}{dx}$ |
| $\frac{d}{dx}\cosh u=\operatorname{senh}u\frac{du}{dx}$ | $\frac{d}{dx}\operatorname{sec}hu=-\operatorname{sec}hu\tanh u\frac{du}{dx}$ |
| $\frac{d}{dx}\tanh u=\operatorname{sec}h^2u\frac{du}{dx}$ | $\frac{d}{dx}\operatorname{csc}hu=-\operatorname{csc}hu\coth u\frac{du}{dx}$ |
| $\frac{d}{dx}\operatorname{sen}h^{-1}u=\frac{1}{\sqrt{u^2+1}}\frac{du}{dx}$ | $\frac{d}{dx}\tanh^{-1}u=\frac{1}{1-u^2}\frac{du}{dx},\quad[-1<u<1]$ |
| $\frac{d}{dx}\operatorname{csc}h^{-1}u=\frac{-1}{\lvert u\rvert\sqrt{1+u^2}}\frac{du}{dx},$ $[-\ si\ \ u>0,+\ si\ \ u<0]$ | $\frac{d}{dx}\cos h^{-1}u=\frac{\pm1}{\sqrt{u^2-1}}\frac{du}{dx},$ $\begin{bmatrix}+\ si\ \cosh^{-1}u>0, & u>1\\ -\ si\ \cosh^{-1}u<0, & u<1\end{bmatrix}$ |
| $\frac{d}{dx}\operatorname{sec}h^{-1}u=\frac{\pm1}{u\sqrt{u^2-1}}\frac{du}{dx},$ $\begin{bmatrix}-\ si\ \operatorname{sec}h^{-1}u>0, & 0<u<1\\ +\ si\ \operatorname{sec}h^{-1}u<0, & 0<u<1\end{bmatrix}$ | $\frac{d}{dx}\coth^{-1}u=\frac{1}{1-u^2}\frac{du}{dx},$ $[u>1\ \ \acute{o}\ \ u<-1]$ |

## 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**

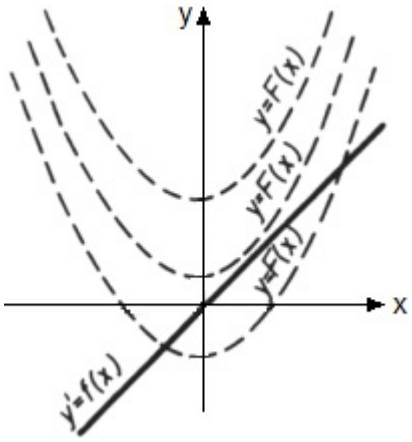
$$\int f(x)dx = F(x) + C$$

*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

$$\int u\,dv = uv - \int v\,du$$

$$\int e^u\,du = e^u + C$$

$$\int u^n du = \frac{1}{n+1}u^{n+1} + C \qquad n \neq -1$$

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

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

### 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\int u^2\sqrt{a^2-u^2}\,du = \frac{u}{8}\left(2u^2-a^2\right)\sqrt{a^2-u^2}+\frac{a^4}{8}\operatorname{sen}^{-1}\frac{u}{a}+$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\int \sqrt{a^2-u^2}\,du = \frac{u}{2}\sqrt{a^2-u^2}+\frac{a^2}{2}\text{se}$$

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

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

$$\int \frac{\sqrt{a^2-u^2}}{u^2}du = -\frac{1}{u}\sqrt{a^2-u^2}-\text{ser}$$

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

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

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

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

$$\int \frac{udu}{a+bu} = \frac{1}{b^2}\left(a+bu-a\ln|a+bu|\right.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Otras formas trigonométricas**

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

$$\int \operatorname{sen}^n u\,du = -\tfrac{1}{n}\operatorname{sen}^{n-1}u\cos u + \frac{n-1}{n}\int \operatorname{sen}^{n-2}u\,du$$

$$\int \cos^n u\,du = \tfrac{1}{n}\cos^{n-1}u\operatorname{sen}u + \frac{n-1}{n}\int \cos^{n-2}u\,du$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\int \operatorname{sen}^2 u\,du = \tfrac{1}{2}u - \tfrac{1}{4}\operatorname{sen}2u + C$$

$$\int \cos^2 u\,du = \tfrac{1}{2}u + \tfrac{1}{4}\operatorname{sen}2u + C$$

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

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

$$\int \operatorname{sen}^3 u\,du = -\tfrac{1}{3}(2+\operatorname{sen}^2 u)\cos u + C$$

$$\int \cos^3 u\,du = \tfrac{1}{3}(2+\cos^2 u)\operatorname{sen}u + C$$

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

$$\int \cot^3 u\,du = -\tfrac{1}{2}\cot^2 u - \ln|\operatorname{sen}u| + C$$

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

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

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

$$\int \text{sen}^n u\cos^m u\,du$$
$$= -\frac{\text{sen}^{n-1} u\cos^{m+1} u}{n+m} + \frac{n-1}{n+m}\int \text{sen}^{n-2} u\cos^m u\,du$$
$$= -\frac{\text{sen}^{n+1} u\cos^{m-1} u}{n+m} + \frac{m-1}{n+m}\int \text{sen}^n u\cos^{m-2} u\,du$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Formas exponenciales y logarítmicas**

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

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

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

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

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

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

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

**Formas hiperbólicas**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Otras formas cuadráticas**

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

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

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

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

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

**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

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

**Integrales múltiples**

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

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:

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

donde $x = g_1(y)$, $x = g_2(y)$ son las ecuaciones de las curvas HPG yPGQ, 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 | $\vec{t}(t) = \frac{\vec{r}'(t)}{\|\vec{r}'(t)\|}$ | $\vec{t}(s) = \dot{\vec{r}}(s)$ |
| Vector normal principal | $\vec{n}(t) = \vec{b}(t) \times \vec{t}(t)$ | $\vec{n}(s) = \frac{\ddot{\vec{r}}(s)}{\|\ddot{\vec{r}}(s)\|}$ |
| Vector binormal | $\vec{b}(t) = \frac{\vec{r}' \times \vec{r}''(t)}{\|\vec{r}' \times \vec{r}''(t)\|}$ | $\vec{b}(s) = \frac{\dot{\vec{r}}(s) \times \ddot{\vec{r}}(s)}{\|\ddot{\vec{r}}(s)\|}$ |

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

**Recta tangente en $t_0$**

Ecuación vectorial

$$\vec{r}(\lambda)=\vec{r}(t_0)+\lambda\vec{r}'(t_0)$$

Ecuación paramétrica

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

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

Ecuación vectorial

$$\left(\vec{r}-\vec{r}(t_0)\right)\bullet\left(\vec{r}'(t_0)x\vec{r}''(t_0)\right)=0$$

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**

$$\kappa=\frac{y''}{\left[1+(y')^2\right]^{\frac{3}{2}}} \qquad \kappa(t)=\frac{\left\|\vec{r}'(t)x\vec{r}''(t)\right\|}{\left\|\vec{r}'(t)\right\|^3} \qquad \tau(t)=\frac{\vec{r}'(t)\cdot\left(\vec{r}''(t)x\vec{r}'''(t)\right)}{\left\|\vec{r}'(t)x\vec{r}''(t)\right\|^2}$$

$$\kappa(s)=\left\|\ddot{\vec{r}}(s)\right\| \qquad \frac{d}{ds}\vec{T}=k\vec{N} \qquad \frac{d}{ds}\vec{N}=\tau\vec{B}-k\vec{T}$$

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

**Plano normal**

Ecuación vectorial

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

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

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

Ecuación paramétrica

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

**Componentes tangencial y normal de la aceleración**

$$a_T = \vec{a} \bullet \vec{T} = \frac{\vec{v} \cdot \vec{a}}{\left\| \vec{v} \right\|}$$

$$a_N = \vec{a} \bullet \vec{N} = \frac{\left\| \vec{v} \times \vec{a} \right\|}{\left\| \vec{v} \right\|}$$

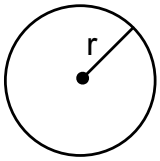
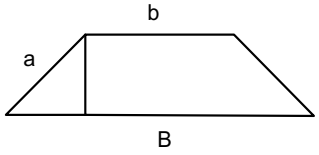
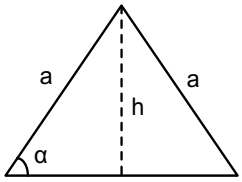
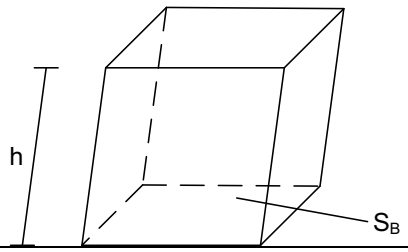
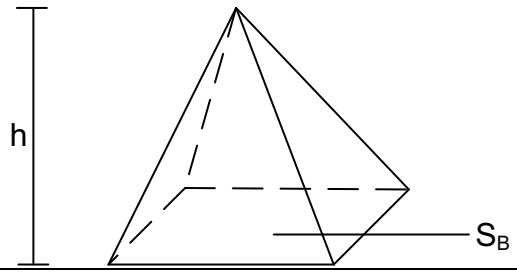
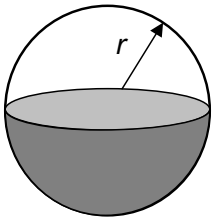
**Propiedades de la divergencia**

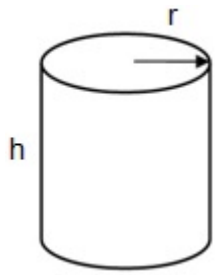
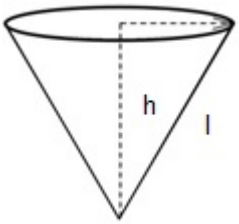
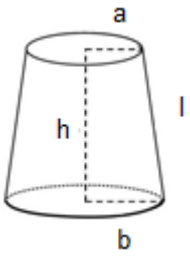
$i)\ div(\vec{F} + \vec{G}) = div(\vec{F}) + div(\vec{G})$

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

$iii)\ div(\vec{F} + \vec{G}) = \vec{G} \bullet \left[ rot\left(\vec{F}\right) \right] - \vec{F} \bullet \left[ rot\left(\vec{G}\right) \right]$

## Geometría

| Áreas | |
|---|---|
| Círculo $A = \pi r^2$ |   |
| Trapecio $A = \frac{B+b}{2}h$ |   |
| Triángulo $A = \frac{ab\,\text{sen}\,\alpha}{2} = \frac{bh}{2}$ |   |
| **Volúmenes** | |
| Prismas oblicuo $V = S_B h$<br>donde $S_B$ = área de la base |   |
| Pirámide rectangular (recta) $V = \frac{S_B h}{3}$<br>donde $S_B$ = área de la base |   |
| Esfera $V = \frac{4}{3}\pi r^3$<br>$A = 4\pi r^2$ |   |

| | |
|---|---|
| Cilindro $V = \pi r^2 h$<br>$A = 2\pi rh$ |  |
| Cono $V = \frac{1}{3}\pi r^2 h$<br>$A = \pi r\sqrt{r^2 + h^2} = \pi r l$ |  |
| Cono truncado $V = \frac{1}{3}\pi h\left(a^2 + ab + b^2\right)$<br>$A = \begin{cases} \pi(a+b)\sqrt{h^2 + (b-a)^2} \\ \pi(a+b)l \end{cases}$ |  |

## *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**

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

**Ángulo entre rectas**

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

**Circunferencia**

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

**Parábola**

| | | |
|---|---|---|
| Eje vertical | $(x-h)^2 = 4p(y-k);$ | $Ax^2 + Dx + Ey + F = 0$ |
| Eje horizontal | $(y-k)^2 = 4p(x-h);$<br>$LR = 4p \quad e = 1$ | $By^2 + Dx + Ey + F = 0$ |

**Elipse**

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

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

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

**Hipérbola**

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

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

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

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

## *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 $P_2$**

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

**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

$$x = x_1 + l\,t \qquad y = y_1 + m\,t \qquad z = z_1 + n\,t$$

Forma simétrica

$$t = \frac{x - x_1}{l} \qquad t = \frac{y - y_1}{m} \qquad t = \frac{z - z_1}{n}$$

Cosenos directores

$$\cos\alpha = \frac{x_2 - x_1}{d} = \frac{l}{d} \qquad \cos\beta = \frac{y_2 - y_1}{d} = \frac{m}{d} \qquad \cos\gamma = \frac{z_2 - z_1}{d} = \frac{n}{d}$$

donde $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ 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

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

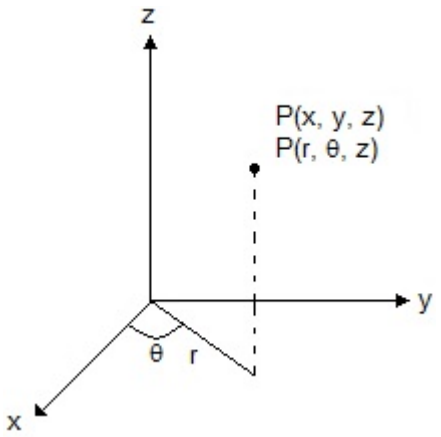
**Distancia del punto** $P_0 = (x_0, y_0, z_0)$ **al plano** $Ax + By + Cz + D = 0$

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

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

**Coordenadas cilíndricas**

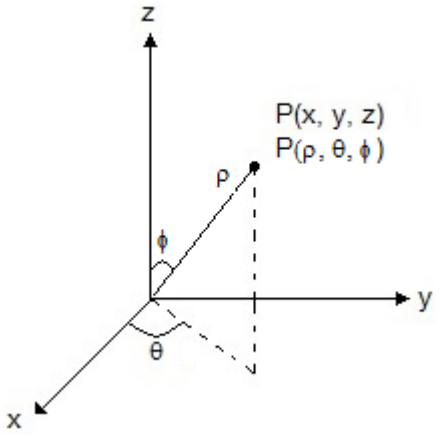
$$\begin{cases} x = r\cos\theta \\ y = r\,\text{sen}\,\theta \\ z = z \end{cases} \quad \begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \\ z = z \end{cases}$$




**Coordenadas esféricas**

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

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



**Definiciones geométricas importantes**

| | |
|---|---|
| Ángulo entre dos rectas en el plano | $\tan\alpha = \dfrac{m_1 - m_2}{1 + m_1 m_2}$ |
| Producto escalar para $\bar{a}$ y $\bar{b}$ que pertenecen a $\Re^3$ | $\bar{a} \bullet \bar{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$ |
| Producto vectorial | $\bar{a}\ x\ \bar{b} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix}$ |
| Producto mixto | $\left[\bar{a}\ \ \bar{b}\ \ \bar{c}\right] = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$ |
| Ángulo entre dos vectores | $\cos\theta = \dfrac{\bar{a} \bullet \bar{b}}{\lvert\bar{a}\rvert\,\lvert\bar{b}\rvert}$; $sen\theta = \dfrac{\lvert\bar{a}\ x\ \bar{b}\rvert}{\lvert\bar{a}\rvert\,\lvert\bar{b}\rvert}$ |
| Ecuación vectorial de la recta | $\bar{p} = \bar{p}_o + t\bar{u}$ |
| Ecuaciones paramétricas de la recta | $\begin{cases} x = x_o + at \\ y = y_o + bt \\ z = z_o + ct \end{cases}$ $\bar{u} = (a,b,c)$ |
| Ecuaciones cartesianas de la recta, en forma simétrica | $\dfrac{x - x_o}{a} = \dfrac{y - y_o}{b} = \dfrac{z - z_o}{c}$ $\bar{u} = (a,\ b,\ c)$ |
| Distancia de un punto Q a una recta | $d = \dfrac{\lvert\overline{P_oQ}\ x\ \bar{u}\rvert}{\lvert\bar{u}\rvert}$ |
| Distancia entre dos rectas | $d = \dfrac{\lvert\overline{P_1P_2} \bullet (\bar{u}_1 x\ \bar{u}_2)\rvert}{\lvert\bar{u}_1\ x\ \bar{u}_2\rvert}$ |
| Ecuación vectorial de un plano | $\bar{p} = \bar{p}_o + r\bar{u} + s\bar{v}$ |
| 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 | $Ax + By + Cz + D = 0$ $\bar{N} = (A,\ B,\ C)$ |
| Ecuación normal de un plano | $\overline{PoP} \bullet \bar{N} = 0$ ; $\bar{N} = (A,B,C)$ |

| | |
|---|---|
| Distancia de un punto Q a un plano | $d = \dfrac{\left\lvert \overline{PoQ} \bullet \overline{N} \right\rvert}{\left\lvert \overline{N} \right\rvert}$ |
| Ángulo entre una recta y un plano | $sen\alpha = \dfrac{\overline{u} \bullet \overline{N}}{\left\lvert \overline{u} \right\rvert \left\lvert \overline{N} \right\rvert}$ |

# Trigonometría

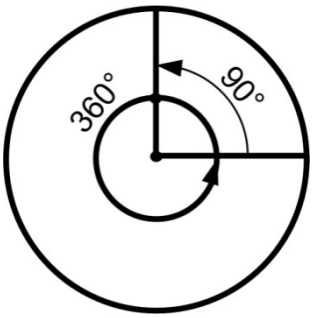
## Medida de ángulos planos

### Representación

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

Unidades comunes (sexagesimales): grado (°), minuto ('), segundo (").

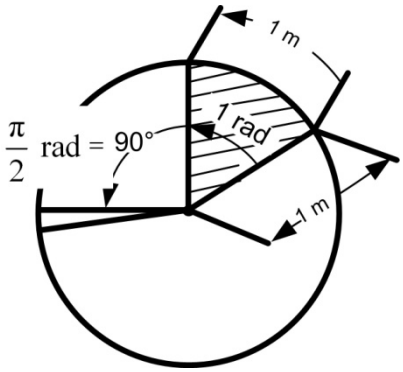
1° = 60'; 1' = 60"




### 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:

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




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

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

### Equivalencias

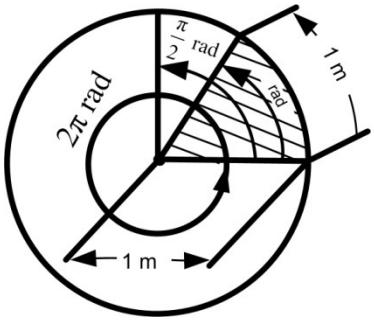
Por definición:

$$360° = 2\pi \ rad, \ \ 1 \ rad = \frac{180°}{\pi} = \ 57.2967°$$

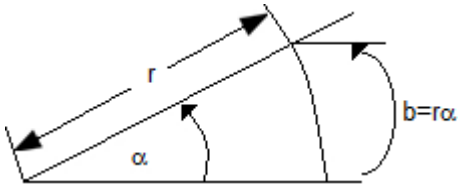
$$1° = \frac{\pi}{180} \ rad \ = 0.017453 \ rad$$

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

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




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



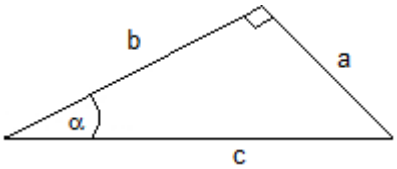

**Funciones trigonométricas**

En un triángulo rectángulo:

$$\text{sen}\,\alpha = \frac{cateto \ opuesto}{hipotenusa} = \frac{a}{c}$$

$$\cos\alpha = \frac{cateto \ adyacente}{hipotenusa} = \frac{b}{c}$$

$$\tan\alpha = \frac{cateto \ opuesto}{cateto \ adyacente} = \frac{a}{b}$$



**Operaciones con funciones trigonométricas**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

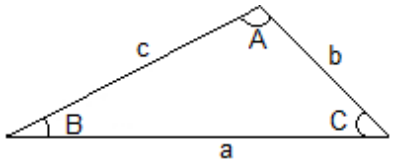
$$\cos \frac{A}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos A}{2}}$$

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

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

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

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**

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

**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 | sen θ | cos θ | tan θ | cot θ | sec θ | csc θ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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**

| $\operatorname{sen}\alpha$ | $\cos\alpha$ | $\tan\alpha$ | $\cot\alpha$ |
|---|---|---|---|
| $\cos(90°-\alpha)$<br>$=\sqrt{1-\cos^2\alpha}$<br>$=2\operatorname{sen}\frac{\alpha}{2}\cdot\cos\frac{\alpha}{2}$<br>$=\frac{\tan\alpha}{\sqrt{1+\tan^2\alpha}}$<br>$=\sqrt{\cos^2\alpha-\cos 2\alpha}$<br>$=\frac{1}{\sqrt{1+\cot^2\alpha}}$<br>$=\frac{2\tan\frac{\alpha}{2}}{1+\tan^2\frac{\alpha}{2}}$ | $=\operatorname{sen}(90°-\alpha)$<br>$=\sqrt{1-\operatorname{sen}^2\alpha}$<br>$=\cos^2\frac{\alpha}{2}-\operatorname{sen}^2\frac{\alpha}{2}$<br>$=\frac{\cot\alpha}{\sqrt{1+\cot^2\alpha}}$<br>$=1-2\operatorname{sen}^2\frac{\alpha}{2}$<br>$=\frac{1}{\sqrt{1+\tan^2\alpha}}$<br>$=\frac{1-\tan^2\frac{\alpha}{2}}{1+\tan^2\frac{\alpha}{2}}$ | $=\cot(90°-\alpha)$<br>$=\frac{1}{\cot\alpha}$<br>$=\frac{\operatorname{sen}\alpha}{\cos\alpha}$<br>$=\frac{\operatorname{sen}\alpha}{\sqrt{1-\operatorname{sen}^2\alpha}}$<br>$=\sqrt{\frac{1}{\cos^2\alpha}-1}$<br>$=\frac{2\tan\frac{\alpha}{2}}{1-\tan^2\frac{\alpha}{2}}$ | $=\tan(90°-\alpha)$<br>$=\frac{1}{\tan\alpha}$<br>$=\frac{\cos\alpha}{\operatorname{sen}\alpha}$<br>$=\frac{\cos\alpha}{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}$<br>$=\sqrt{\frac{1}{\operatorname{sen}^2\alpha}-1}$<br>$=\frac{\cot^2\frac{\alpha}{2}-1}{2\cot\frac{\alpha}{2}}$ |

| $\operatorname{sen}2\alpha$ | $\cos 2\alpha$ | $\tan 2\alpha$ | $\cot 2\alpha$ |
|---|---|---|---|
| $=2\operatorname{sen}\alpha\bullet\cos\alpha$ | $=\cos^2\alpha-\operatorname{sen}^2\alpha$<br>$=2\cos^2\alpha-1$<br>$=1-2sen^2\alpha$ | $=\frac{2\tan\alpha}{1-\tan^2\alpha}$<br>$=\frac{2}{\cot\alpha-\tan\alpha}$ | $=\frac{\cot^2\alpha-1}{2\cot\alpha}$<br>$=\frac{1}{2}\cot\alpha-\frac{1}{2}\tan\alpha$ |
| $\operatorname{sen}\frac{\alpha}{2}$ | $\cos\frac{\alpha}{2}$ | $\tan\frac{\alpha}{2}$ | $\cot\frac{\alpha}{2}$ |
| $=\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}}$ | $=\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}}$ | $=\frac{\operatorname{sen}\alpha}{1+\cos\alpha}$<br>$=\frac{1-\cos\alpha}{\operatorname{sen}\alpha}$<br>$=\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{1+\cos\alpha}}$ | $=\frac{\operatorname{sen}\alpha}{1-\cos\alpha}$<br>$=\frac{1+\cos\alpha}{\operatorname{sen}\alpha}$<br>$=\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{1-\cos\alpha}}$ |

## Números complejos

**Forma trigonométrica o polar de un número complejo**

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

Luego:

$$\begin{cases} sen\,\theta = \dfrac{y}{r} \Rightarrow y = r\,sen\,\theta \\ \cos\theta = \dfrac{x}{r} \Rightarrow x = r\cos\theta \end{cases}$$

Por lo tanto:

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

**Forma exponencial de un número complejo**

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

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

**Operaciones de números complejos en forma polar**

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

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

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

**Teorema de De Moivre**

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

$$\left[r(\cos\theta + isen\theta)\right]^p = r^p(\cos p\theta + isenp\theta)$$

Sea *n* cualquier entero positivo y $p = 1/n$, entonces:

$$\left[r(\cos\theta + isen\theta)\right]^{1/n} = r^{1/n}\left[\cos\tfrac{\theta+2k\pi}{n} + isen\tfrac{\theta+2k\pi}{n}\right]$$

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

## Análisis vectorial

### Magnitud, dirección y componentes de vectores

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

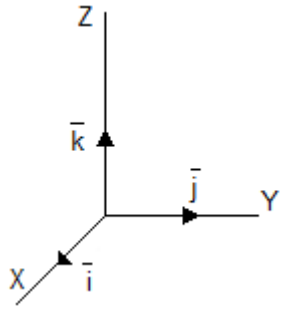
Coordenadas del punto inicial $A$ del vector $\vec{a}: x_1, y_1, z_1$
Coordenadas del punto final $B$ del vector $\vec{a}: x_2, y_2, z_2$

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

### Componentes escalares

$$a_x,\ a_y,\ a_z \gtreqless 0$$

$$a_x = x_2 - x_1$$
$$a_y = y_2 - y_1$$
$$a_z = z_2 - z_1$$




### 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, $a$)

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

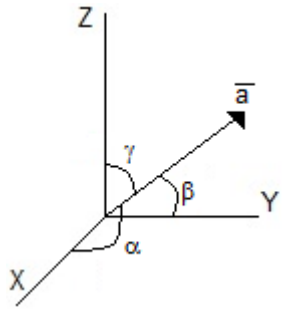
**Cosenos directores de un vector:** $\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma$

$\alpha, \beta, \gamma$ son los ángulos entre el vector $\vec{a}$ y los ejes $OX, OY, OZ$ $(\alpha, \beta, \gamma = 0° \ldots 180°)$

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

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

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

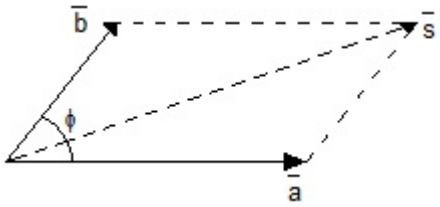



**Observación:** Operaciones vectoriales como la determinación de magnitudes, cosenos directores, sumas y productos se llevan a cabo con las componentes de los vectores a lo largo de los ejes $OX, OY, OZ$

**Adición y sustracción de vectores**

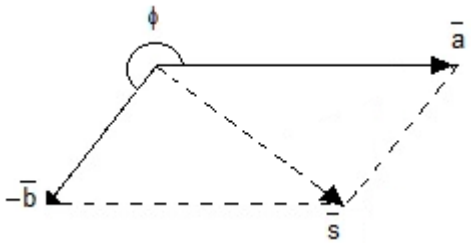
Suma vectorial $\vec{s}$ de dos vectores libres $\vec{a}$ y $\vec{b}$

$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} = s_x\vec{i} + s_y\vec{j} + s_z\vec{k}$$
$$s_x = a_x + b_x, s_y = a_y + b_y, s_z = a_z + b_z$$
$$|\vec{s}| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$



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

$$\vec{s} = \vec{a} + \left(-\vec{b}\right)$$
$$s_x = a_x - b_x, s_y = a_y - b_y, s_z = a_z - b_z$$
$$\left|\vec{s}\right| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$




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

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

$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} - \vec{c} + \cdots = s_x\vec{i} + s_y\vec{j} + s_z\vec{k}$$
$$s_x = a_x + b_x - c_x + \cdots, s_y = a_y + b_y - c_y + \cdots, s_z = a_z + b_z - c_z + \cdots$$
$$\left|\vec{s}\right| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$

**Producto de un escalar por un vector**

**Escalar:** Magnitud física sin dirección.

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

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

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




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



**Productos de dos vectores libres**

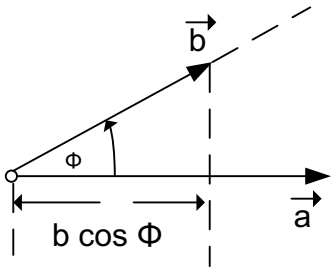
El producto escalar de dos vectores libres $\vec{a}$ y $\vec{b}$ da el escalar $k$

Símbolo del producto escalar: punto "•"

$$k = \vec{a} \bullet \vec{b} = \vec{b} \bullet \vec{a} = a \bullet b \bullet \cos\varphi = |\vec{a}| \bullet |\vec{b}| \cos\varphi$$

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

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{a_x \bullet b_x + a_y \bullet b_y + a_z \bullet b_z}{|\vec{a}| \bullet |\vec{b}|}$$

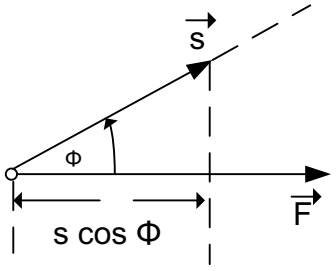



| Valores importantes | φ | 0°; 360° | 90° | 180° | 270° |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\|\vec{a}\| \bullet \|\vec{b}\| \cos\varphi$ | $+\|\vec{a}\|\,\|\vec{b}\|$ | 0 | $-\|\vec{a}\|\,\|\vec{b}\|$ | 0 |

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

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

$W = F\ s\ \cos\varphi$




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

Símbolo del producto vectorial: cruz "x"

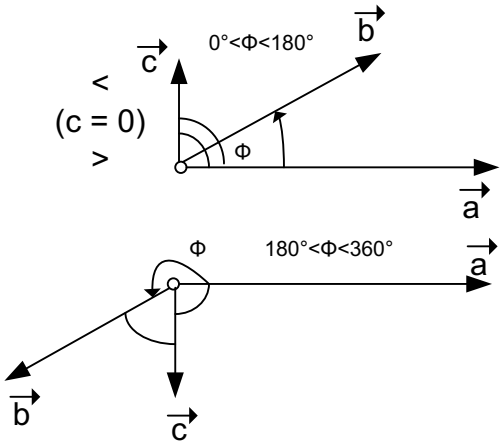
$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = -\left(\vec{b} \times \vec{a}\right)$$

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

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

$\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ 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°; 360° | 90° | 180° | 270° |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\lvert\vec{a}\rvert \cdot \lvert\vec{b}\rvert \sin\varphi$ | 0 | $+\lvert\vec{a}\rvert\,\lvert\vec{b}\rvert$ | 0 | $-\lvert\vec{a}\rvert\,\lvert\vec{b}\rvert$ |

$$A \bullet B = \|A\|\|B\|\cos\theta \qquad 0 \le \theta \le \pi$$

donde $\theta$ 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:

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 $\|A \times B\| = \|A\|\|B\| \operatorname{sen}\theta$

El operador *nabla* se define así:

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

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

**Gradiente de *U***

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

**Divergencia de A**

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

**Rotacional de A**

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

**Laplaciano de *U***

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

## Fracciones racionales

**Descomposición**

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

donde n y m son enteros y n>m.

Los coeficientes $a_\gamma, b_\mu$ pueden ser reales o complejos. Si $n_\delta$ son las raíces de $Q(x)$, se obtiene la forma factorizada:

$$y(x)=\frac{P(x)}{Q(x)}=\frac{P(x)}{\alpha(x-n_1)^{k1}(x-n_2)^{k2}\ldots(x-n_q)^{kq}}$$

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

**Descomposición de fracciones parciales**

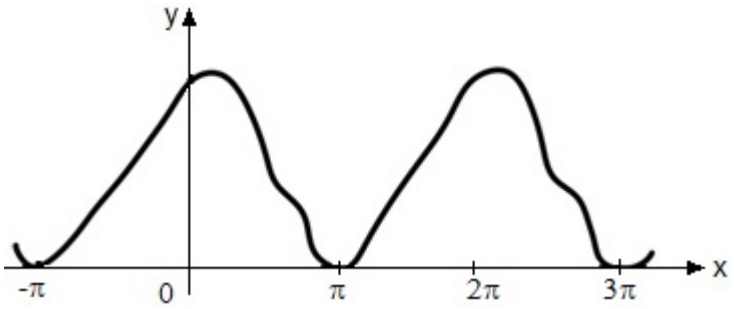
Para lograr un manejo más sencillo de $y(x)$ es conveniente descomponerla en fracciones parciales:

$$y(x)=\frac{P(x)}{Q(x)}=\frac{A_{11}}{x-n_1}+\frac{A_{12}}{(x-n_1)^2}+\cdots+\frac{A_{1k1}}{(x-n_1)^{k1}}+\frac{A_{21}}{x-n_2}+\frac{A_{22}}{(x-n_2)^2}+\cdots+\frac{A_{2k2}}{(x-n_2)^{k2}}+\ldots+\frac{A_{q1}}{x-n_q}+\frac{A_{q2}}{(x-n_q)^2}+\cdots+\frac{A_{qkq}}{(x-n_q)^{kq}}$$

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 $A_{11},\ldots,A_{2k2}$ pueden agruparse en las fracciones parciales:

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

## Series de Fourier



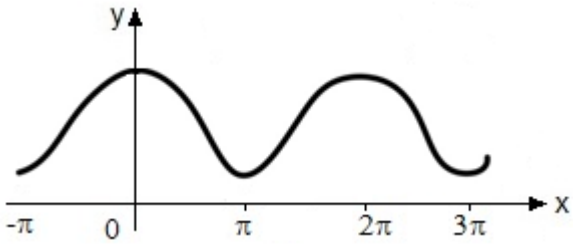

Toda función periódica *f*(*x*), que puede descomponerse en el intervalo de periodicidad $-\pi \le x \le \pi$ en un número finito de intervalos continuos, podrá descomponerse en ese intervalo en una serie convergente de la forma:

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

Los coeficientes de cada término se forman como sigue:

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

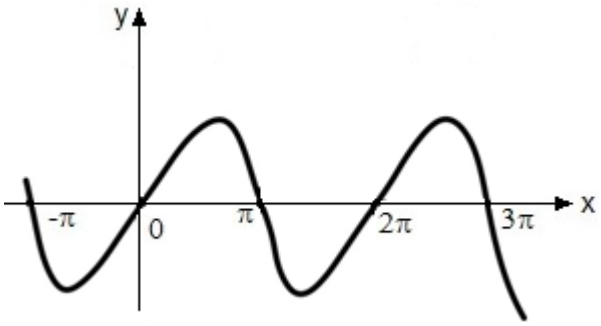
Funciones pares: $f(x) = f(-x)$




$$a_k = \frac{2}{\pi}\int_{0}^{\pi} f(x)\cos(kx)\,dx \qquad \text{para } k = 0,1,2,\ldots,$$

$$b_k = 0$$

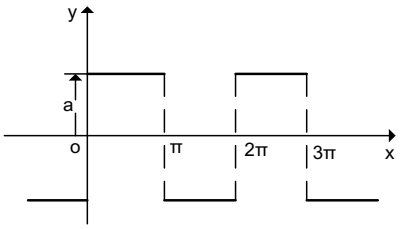
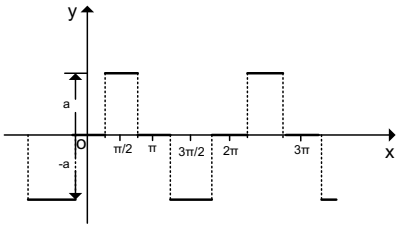
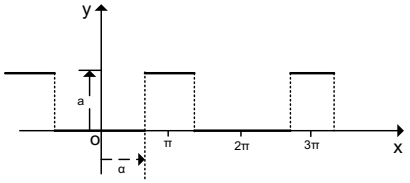
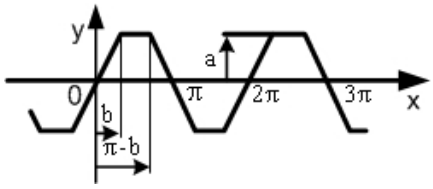
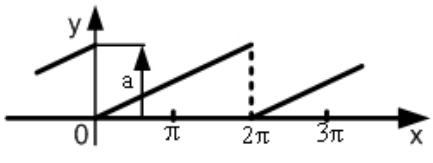
Funciones impares: $f(x) = -f(-x)$

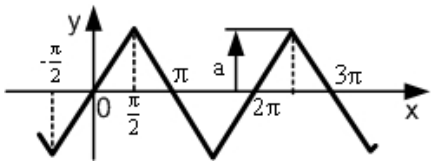
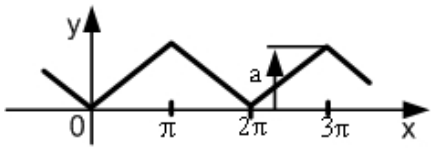
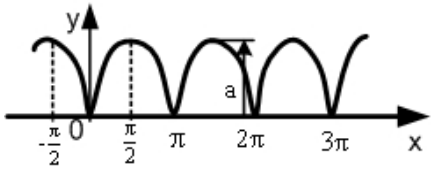
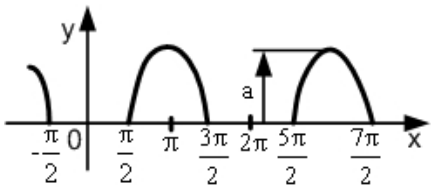
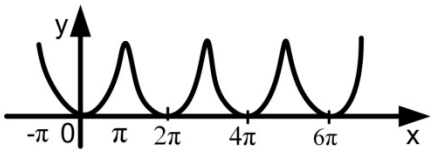
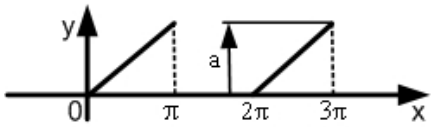



$a_k = 0$

$b_k = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f(x)\,\mathrm{sen}(kx)\,dx$ para $k = 0,1,2,\ldots,$

**Tablas de desarrollo en series de Fourier**

| | |
|---|---|
| $y = a$ para $0 < x < \pi$<br>$y = -a$ para $\pi < x < 2\pi$<br>$y = \frac{4a}{\pi}\left[\operatorname{sen} x + \frac{sen(3x)}{3} + \frac{sen(5x)}{5} + \ldots\right]$ |  |
| $y = a$ para $\alpha < x < \pi - \alpha$<br>$y = -a$ para $\pi + \alpha < x < 2\pi - \alpha$<br>$y = \frac{4a}{\pi}\left[\cos\alpha \operatorname{sen} x + \frac{1}{3}\cos(3\alpha)sen(3x) + \frac{1}{5}\cos(5\alpha)sen(5x) + \ldots\right]$ |  |
| $y = a$ para $\alpha < x < 2\pi - \alpha$<br>$y = f(2\pi + x)$<br>$y = \frac{2a}{\pi}\left[\frac{\pi - \alpha}{2} - \frac{sen(\pi - \alpha)}{1}\cos x + \frac{sen2(\pi - \alpha)}{3}\cos 2x - \frac{sen3(\pi - \alpha)}{3}\cos 3x + \ldots\right]$ |  |
| $y = \frac{ax}{b}$ para $0 \le x \le b$<br>$y = a$ para $b \le x \le \pi - b$<br>$y = \frac{a(\pi - x)}{b}$ para $\pi - b \le x \le \pi$<br>$y = \frac{4a}{\pi b}\left[\frac{1}{1^2}\operatorname{sen} b \operatorname{sen} x + \frac{1}{3^2}sen(3b)sen(3x) + \frac{1}{5^2}sen(5b)sen(5x) + \ldots\right]$ |  |
| $y = \frac{ax}{2\pi}$ para $0 < x < 2\pi$<br>$y = f(2\pi + x)$<br>$y = \frac{a}{2} - \frac{a}{\pi}\left[\frac{\operatorname{sen} x}{1} + \frac{sen2x}{2} + \frac{sen3x}{3} + \ldots\right]$ |  |

| | |
|---|---|
| $y=\frac{2ax}{\pi}$ para $0\le x\le \pi/2$<br>$y=\frac{2a(\pi-x)}{\pi}$ para $\frac{\pi}{2}\le x\le \pi$<br>$y=-f(\pi+x)$<br>$y=\frac{8}{\pi^2}a\left[\operatorname{sen}x-\frac{\operatorname{sen}3x}{3^2}+\frac{\operatorname{sen}5x}{5^2}-\ldots\right]$ |  |
| $y=\frac{ax}{\pi}$ para $0\le x\le \pi$<br>$y=\frac{a(2\pi-x)}{\pi}$ para $\pi<x<2\pi$<br>$y=f(2\pi+x)$<br>$y=\frac{a}{2}-\frac{4a}{\pi^2}\left[\frac{\cos x}{1^2}+\frac{\cos 3x}{3^2}+\frac{\cos 5x}{5^2}+\ldots\right]$ |  |
| $y=a\operatorname{sen}x$ para $0\le x\le \pi$<br>$y=-a\operatorname{sen}x$ para $\pi\le x\le 2\pi$<br>$y=f(\pi+x)$<br>$y=\frac{2a}{\pi}-\frac{4a}{\pi}\left[\frac{\cos 2x}{1\cdot 3}+\frac{\cos 4x}{3\cdot 5}+\frac{\cos 6x}{5\cdot 7}+\ldots\right]$ |  |
| $y=0$ para $0\le x\le \frac{\pi}{2}$<br>$y=a\operatorname{sen}(x-\frac{\pi}{2})$ para $\frac{\pi}{2}\le x\le \frac{3\pi}{2}$<br>$y=f(2\pi+x)$<br>$y=\frac{2a}{\pi}\left[\frac{1}{2}-\frac{\pi}{4}\cos x+\frac{\cos 2x}{2^2-1}-\frac{\cos 4x}{4^2-17}+.\frac{\cos 6x}{6^2-1}-\ldots\right]$ |  |
| $y=x^2$ para $\pi\le x\le -\pi$<br>$y=f(-x)=f(2\pi+x)$<br>$y=\frac{\pi^2}{3}-4\left[\frac{\cos x}{1^2}-\frac{\cos 2x}{2^2}+\frac{\cos 3x}{3^2}-\ldots\right]$ |  |
| $y=\frac{ax}{\pi}$ para $0<x<\pi$<br>$y=f(2\pi+x)$<br>$y=\frac{a}{4}-\frac{2a}{\pi^2}\left[\frac{\cos x}{1^2}+\frac{\cos 2x}{2^2}+\frac{\cos 3x}{3^2}+\ldots\right]$<br>$+\frac{a}{\pi}\left[\frac{\operatorname{sen}x}{1}-\frac{\operatorname{sen}2x}{2}+\frac{\operatorname{sen}3x}{3}-\ldots\right]$ |  |

## Transformada de Fourier

Definiciones:

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

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

**Reglas de operación**

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

Convolución

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

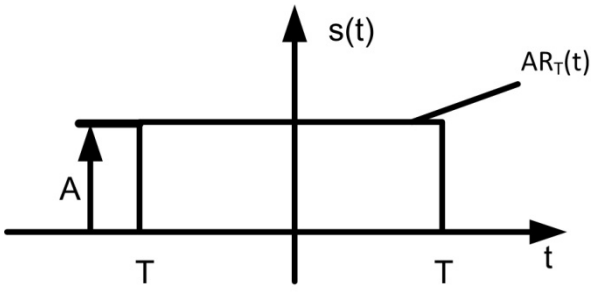
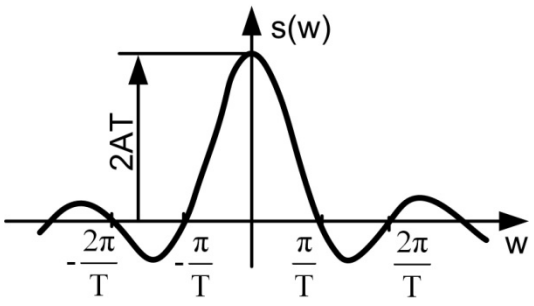
$$F\{s_1(t)\cdot s_2(t)\} = S_1(w) * S_2(w)$$

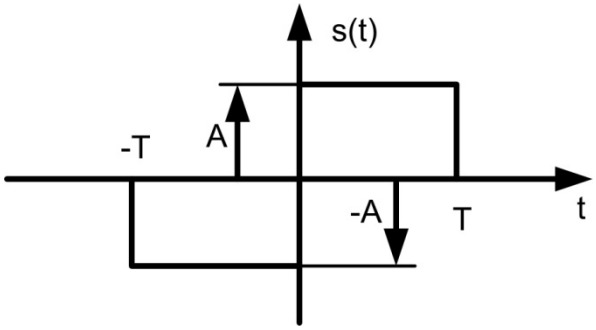
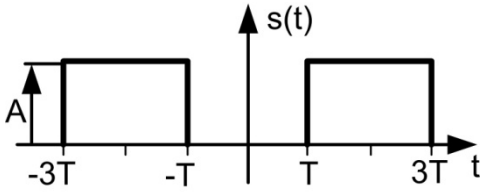
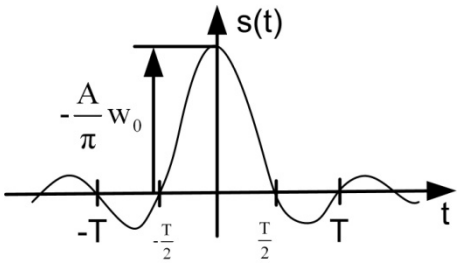
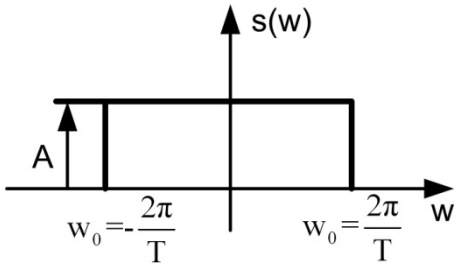
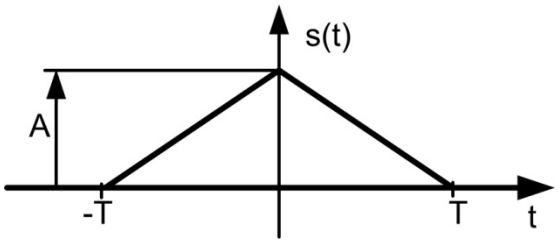
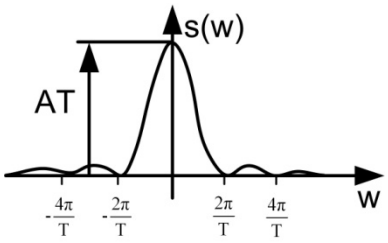
$$F\{s(t)\} = S(w)$$

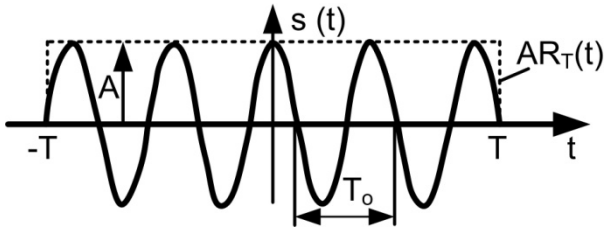
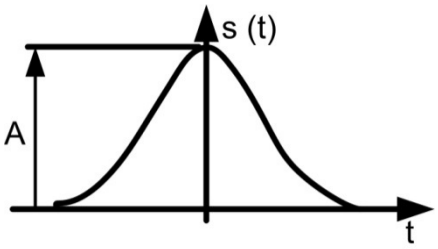
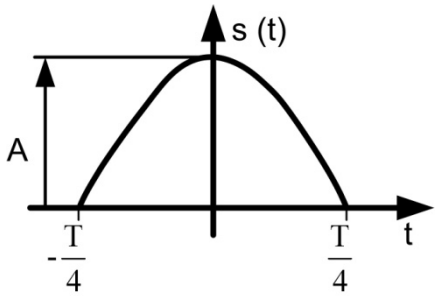
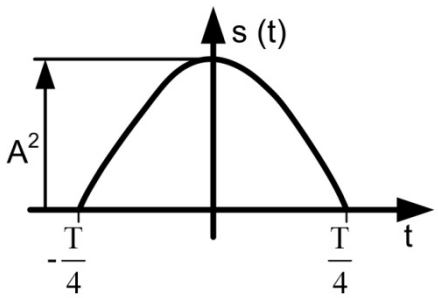
$$F\{s(at)\} = \frac{1}{|a|}S\left(\frac{w}{a}\right), \qquad a > 0$$

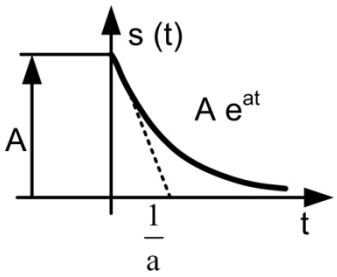
$$F\{s_1(t) + s_2(t)\} = S_1(w) + S_2(w)$$

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

| **Función tiempo** $s(t)$ | **Densidad espectral** $S(w)$ |
|---|---|
| Función rectángulo $A \bullet R_T(t)$   | $S(w) = \frac{2ATsen(wt)}{wT}$   |

| Función tiempo $s(t)$ | Densidad espectral $S(w)$ |
|---|---|
| Función rectángulo con cambio de signo<br> | $S(w) = -j2AT \dfrac{sen^2 \dfrac{wt}{2}}{\dfrac{wt}{2}}$ |
|  | $S(w) = 4AT\cos(2wt)\dfrac{senwt}{wt}$ |
| $s(t) = \dfrac{A}{\pi} w_0 \dfrac{sen(w_0 t)}{w_0 t}$ $\quad w_0 = \dfrac{2\pi}{T}$<br> | $S(w) = AR_{w0}(w)$ (Función rectángulo)<br> |
| Función triángulo $AD_T(t)$<br> | $S(w) = \left( \dfrac{sen\left(\dfrac{Tw}{2}\right)}{\dfrac{Tw}{2}} \right)^2 AT$<br> |

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

| Función tiempo $s(t)$ | Densidad espectral $S(w)$ |
|---|---|
| Impulso exponencial   | $S(w)=\frac{A}{jw+a}$ |

## Transformada de Laplace

Definiciones:

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

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

**Reglas de operación**

| | |
|---|---|
| Linealidad | $L\{f_1(t) + f_2(t)\} = F_1(s) + F_2(s)$<br>$L\{c \bullet f_1(t)\} = cF_1(s)$ |
| Teorema de traslación | $L\{f(t-a)\} = e^{-as}F(s)$ |
| Teorema de convolución | $f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau) \bullet f_2(t-\tau)d\tau = \int_0^t f_2(\tau) \bullet f_1(t-\tau)d\tau$<br>$L\{f_1(t) * f_2(t)\} = F_1(s) \bullet F_2(s)$ |
| Cambio de variable | $L\left\{\frac{1}{a}\ f\left(\frac{t}{a}\right)\right\} = F(a \bullet s)$ |
| Diferenciación | $L\{f'(t)\} = sF(s) - f(0)$<br>$L\{f''(t)\} = s^2F(s) - sf(0) - f'(0)$<br>$L\{f^{(n)}(t)\} = s^nF(s) - \sum_{k=0}^{n-1} f^{(k)}(0)s^{n-k-1}$ |
| Integración | $L\{\int f(t) \bullet dt\} = \frac{1}{s}F(s)$ |

**Tabla de transformadas de Laplace:**

| f(t) | F(s) = L {f(t)} |
|---|---|
| 1. 1 | $\frac{1}{s}$ |
| 2. $t^n, \quad n = 1, 2, 3, \ldots$ | $\frac{n!}{s^{n+1}}$ |
| 3. $t^{-1/2}$ | $\sqrt{\frac{\pi}{s}}$ |
| 4. $e^{\pm at}$ | $\frac{1}{s \mp a}$ |
| 5. $senkt$ | $\frac{k}{s^2 + k^2}$ |
| 6. $\cos kt$ | $\frac{s}{s^2 + k^2}$ |
| 7. $senhkt$ | $\frac{k}{s^2 - k^2}$ |
| 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. $t^n f(t), \quad n = 1, 2, 3\ldots$ | $(-1)^n \frac{d^n}{ds^n} F(s)$ |
| 13. $f^n(t), \quad n = 1, 2, 3\ldots$ | $s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - \ldots - f^{(n-1)}(0)$ |
| 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. $t^n e^{at}, \quad n = 1, 2, 3\ldots$ | $\frac{n!}{(s-a)^{n+1}}$ |
| 17. $e^{at} senkt$ | $\frac{k}{(s-a)^2 + k^2}$ |

| | | |
|---|---|---|
| 18. | $e^{at}\cos kt$ | $\frac{s-a}{(s-a)^2+k^2}$ |
| 19. | $tsenkt$ | $\frac{2ks}{(s^2+k^2)^2}$ |
| 20. | $t\cos kt$ | $\frac{s^2-k^2}{(s^2+k^2)^2}$ |
| 21. | $senkt - kt\cos kt$ | $\frac{2k^3}{(s^2+k^2)^2}$ |
| 22. | $senkt + kt\cos kt$ | $\frac{2ks^2}{\left(s^2+k^2\right)^2}$ |
| 23. | $senhkt - senkt$ | $\frac{2k^3}{s^4-k^4}$ |
| 24. | $\cosh kt - \cos kt$ | $\frac{2k^2s}{s^4-k^4}$ |
| 25. | $1-\cos kt$ | $\frac{k^2}{s\left(s^2+k^2\right)}$ |
| 26. | $kt - senkt$ | $\frac{k^3}{s\left(s^2+k^2\right)}$ |
| 27. | $\frac{asenbt-bsenat}{ab\left(a^2-b^2\right)}$ | $\frac{1}{\left(s^2+a^2\right)\left(s^2+b^2\right)}$ |
| 28. | $\frac{\cos bt-\cos at}{a^2-b^2}$ | $\frac{s}{\left(s^2+a^2\right)\left(s^2+b^2\right)}$ |
| 29. | $\delta(t)$ | 1 |
| 30. | $\frac{t^{n-1}}{(n-1)}$ | $\frac{1}{s^n}$ |
| 31. | $\exp(at)-1$ | $\frac{a}{s(s-a)}$ |
| 32. | $\frac{1}{T}\exp(-t/T)$ | $\frac{1}{1+Ts}$ |
| 33. | $\frac{1}{2k}\sin(kt)$ | $\frac{s}{\left(s^2+k^2\right)^2}$ |

| | | |
|---|---|---|
| 34. | $\frac{1}{2k}\sin(kt)+$ $+\frac{t}{2}\cos(kt)$ | $\frac{s^2}{\left(s^2+k^2\right)^2}$ |
| 35. | $\cos(kt)-$ $-\frac{k}{2}t\sin(kt)$ | $\frac{s^3}{\left(s^2+k^2\right)^2}$ |
| 36. | $\frac{e^{bt}-e^{at}}{b-a}, b\neq a$ | $\frac{1}{(s-a)(s-b)}$ |
| 37. | $\frac{1}{k}e^{-at}\bullet\sin(kt)$ | $\frac{1}{(s+a)^2+k^2}$ |
| 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. | $\frac{1}{t}\left(e^{-at}-e^{-bt}\right)$ | $In\frac{s+b}{s+a}$ |
| 43. | $\frac{1}{t}\sin(a\cdot t)$ | $\tan^{-1}(a/s)$ |
| 44. | $\frac{a}{2t\sqrt{\pi t^e}}e^{\frac{-a^2}{4t}}$ | $e^{-a\sqrt{s}};\quad a>0$ |
| 45. | $erfc\frac{a}{2\sqrt{t}}$ | $\frac{1}{s}e^{-a\sqrt{s}};\quad a\geq 0$ |
| 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:

$$P(s)=s^n+a_{n-1}s^{n-1}+\cdots+a_1s+a_0$$

Si *G(s)* tiene polos simples

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

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

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

$$G(s)=\frac{Q(s)}{P(s)}=\frac{Q(s)}{\left(s+s_1\right)\left(s+s_2\right)\cdots\left(s+s_{n-r}\right)\left(s+s_i\right)^r}$$

Siendo: $i\neq 1,2,\ldots,n-r$

$$G(s)=\underbrace{\frac{K_1}{s+s_1}+\frac{K_2}{s+s_2}+\cdots+\frac{K_{(n-r)}}{s+s_{(n-r)}}}_{n\text{ - }r\text{ términos de polos simples}}+\underbrace{\frac{A_1}{s+s_i}+\frac{A_2}{\left(s+s_i\right)^2}+\cdots+\frac{A_r}{\left(s+s_i\right)^r}}_{r\text{ términos de polos repetidos}}$$

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

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

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

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

## Probabilidad y estadística

| Parámetro | Estimador puntual | Intervalo de confianza (1-α) 100% |
|---|---|---|
| Media μ | | |
| (varianza $\sigma^2$ conocida) | $\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$ | $\overline{X} - z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \le \mu \le \overline{X} + z_{\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ |
| Varianza $\sigma^2$ (de una distribución normal) | $S^2_{n-1} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)^2$ | $\frac{(n-1)s^2_{n-1}}{x^2_{\frac{\alpha}{2},n-1}} \le \sigma^2 \le \frac{(n-1)s^2_{n-1}}{x^2_{1-\frac{\alpha}{2},n-1}}$ |

**Desviación estándar de distribución de medias**

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

**Valor promedio (media)**

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

**Media de medias**

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

**Intervalo o rango de valores**

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

**Media de rangos**

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

| Hipótesis nula | Estadístico de prueba |
|---|---|
| $H_0 : \mu = \mu_0,\quad \sigma^2$ conocida | $Z_0 = \dfrac{\overline{X} - \mu_0}{\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}}}$ |
| $H_0 : \mu = \mu_0,\quad \sigma^2$ desconocida | $t_0 = \dfrac{\overline{X} - \mu_0}{\dfrac{S_{n-1}}{\sqrt{n}}}$ |
| $\dfrac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\dfrac{a}{b}} = \left(\dfrac{a}{b}\right)^{\frac{1}{n}}$ | $x_0^2 = \dfrac{(n-1)S_{n-1}^2}{\sigma_0^2}$ |

**Regresión lineal**

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \hat{x}$$

$$\hat{\beta}_0 = \hat{y} - \hat{\beta}_1 \hat{x}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \dfrac{\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)}{n}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \dfrac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}{n}}$$

**Coeficiente de correlación de la muestra**

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

**Permutaciones**

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

**Combinaciones**

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

**Permutaciones con objetos similares**

$$P^{n}_{n_1,n_2,\ldots,n_k} = \frac{n!}{n_1!\,n_2!\ldots n_k!}$$

**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**

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

donde:

$a_{prom}$ = valor promedio
$a_n$ = valor de cada lectura
$n$ = número de lecturas

**Desviación estándar y varianza**

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

donde:

$\sigma$ = desviación estándar
$d_i$ = desviación de la lectura *i-ésima* con respecto al valor promedio
L a varianza V es el valor de la desviación estándar $\sigma$ elevado al cuadro

**Distribución gaussiana**

$$V = \sigma^2$$

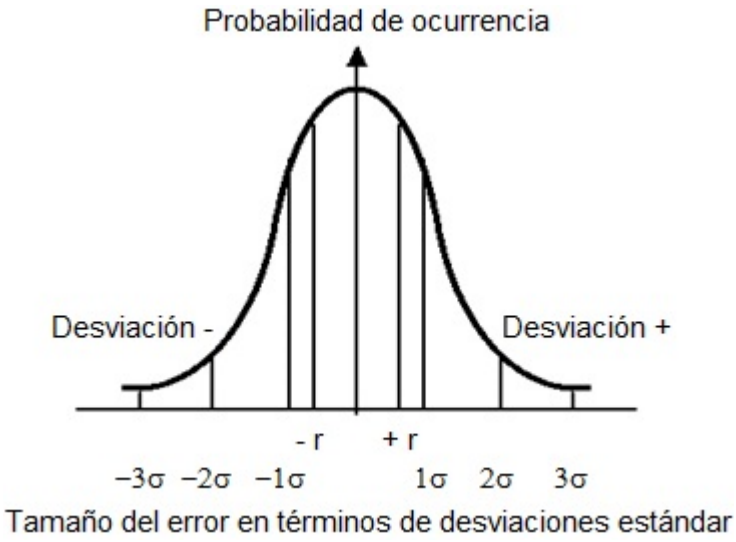
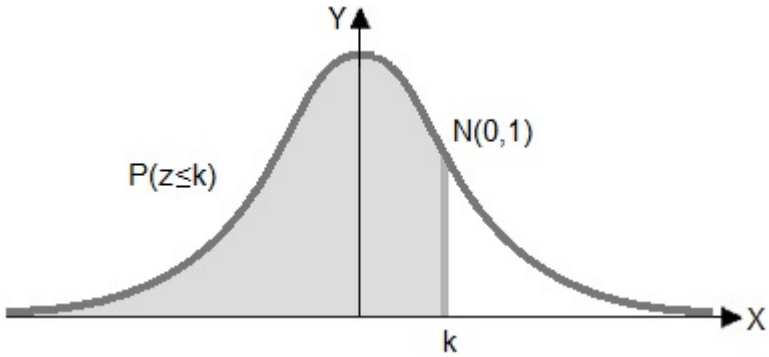


**Tabla de distribución de probabilidad normal estándar**




| 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 | $\binom{n}{x}p^x q^{n-x}$ | $x = 0,1,..n$ | $np$ | $npq$ | $(q + pe^{\theta})^n$ |
| Geométrica | $pq^{x-1}$ | $x = 1, 2,...$ | $\frac{1}{p}$ | $\frac{q}{p^2}$ | $\frac{pe^{\theta}}{1 - qe^{\theta}}$ |
| De Pascal (Binomial negativa) | $\binom{x-1}{r-1}p^r q^{x-r}$ | $x = r, r+1,...$ | $\frac{r}{p}$ | $\frac{rq}{p^2}$ | $\left(\frac{pe^{\theta}}{1-qe^{\theta}}\right)^r$ |
| De Poisson | $\frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$ | $x = 0,1,2,...$ | $\lambda t$ | $\lambda t$ | $e^{\lambda t(e^{\theta}-1)}$ |
| Uniforme | $\frac{1}{b - a}$ | $a \le x \le b$ | $\frac{a+b}{2}$ | $\frac{(b-a)^2}{12}$ | $\frac{e^{b\theta} - e^{a\theta}}{(b-a)\theta}$ |
| Exponencial | $\lambda e^{-\lambda x}$ | $x \ge 0$ | $\frac{1}{\lambda}$ | $\frac{1}{\lambda^2}$ | $\frac{\lambda}{\lambda - \theta}$ |
| Normal | $\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$ | $-\infty < x < \infty$ | $\mu$ | $\sigma^2$ | $e^{\mu\theta+\frac{1}{2}\sigma^2\theta^2}$ |
| Ji-cuadrada | | $x > 0$ | $\nu$ | $2\nu$ | $(1-2\theta)^{-\frac{\nu}{2}}$ |
| t de Student | | $-\infty < x < \infty$ | $0$ | $\frac{\nu}{\nu - 2}, \nu > 2$ | |
| F (de Fisher) | | $0 < x < \infty$ | $\frac{\nu_2}{\nu_2 - 2}$, $\nu_2 > 2$ | $\frac{2\nu_2^2(\nu_1 + \nu_2 - 2)}{\nu_1(\nu_2 - 2)^2(\nu_2 - 4)}$, $\nu_2 > 4$ | |
| 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

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

Triángulo

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

Sector de círculo

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

Trapecio

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

Segmento de corona circular

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

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

Segmento de círculo

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

**Estática**

**Fuerza aplicada paralelamente al plano de deslizamiento**

**Fricción estática**

$$F_{f1} = -F_1 = G\tan\phi_1$$
$$N = -G$$
$$C < \phi_1\left(variable\right) < \phi_0$$

Valor límite

$$F_{f0} = -F_0 = G\tan\phi_0$$
$$N = -G$$
$$\mu_0 = \tan\phi_0 > \mu$$
$$\phi_0 = constante > \phi$$

**Fricción dinámica**

$$F_f = -F = G\tan\phi$$
$$N = -G$$
$$\mu = \tan\phi > \mu_0$$
$$\phi = constante > \phi_0$$

**Fuerza aplicada oblicuamente respecto al plano de deslizamiento**

$$F = G\frac{\mu_0}{sen\alpha - \mu_0\cos\alpha} = G\frac{sen\phi_0}{sen\left(\alpha - \phi_0\right)}$$

**Rozamiento en un plano inclinado**

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

**Fricción de chumaceras**

De carga radial

$$M_1 = \mu_r rF$$

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

$$F = \frac{(f_1 + f_2) G1 + n f_2 G_2}{2r}$$

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

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

Fuerza de tracción para bajar la carga G

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

Transmisión de banda o correa

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

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

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

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

**Cinemática**

$$F = xi + yj + zk$$

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

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

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

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

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

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

**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**

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

$$F = G\frac{m\,M}{r^2}$$

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

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

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

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

**Características cinemáticas de puntos y segmentos rectilíneos**

**Conceptos lineales y angulares**[1]

Se tiene que son conceptos lineales:

r = posición, v= velocidad, a = aceleración, t = tiempo

Se tiene que son conceptos angulares:

$\theta$ = posición, w= velocidad, $\alpha$ = aceleración, t = 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) | $v, \dot{r}$ | $v = \frac{dr}{dt}$ |
| Aceleración (lineal) | $a, \ddot{r}$ | $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}$ |

[1] Por simplicidad se omite la dependencia del tiempo en las funciones. Por ejemplo: v(t) ≡ V.

**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) | $\theta$ | |
| Velocidad (angular) | $w, \dot{\theta}$ | $w = \frac{d\theta}{dt}$ |
| Aceleración (angular) | $\alpha, \ddot{\theta}$ | $\alpha = \frac{dw}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ |

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

$$r = r(t) = xi + yj + zk$$

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

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

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

$$r = r(t) = xi + yj$$

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

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

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

$$r = r(t) = xi$$

$$v = \dot{r} = \dot{x}i$$
$$a = \ddot{r} = \ddot{x}i$$

Relaciones entre conceptos lineales y angulares.

$$a = w(wr) + \alpha r$$

**Cinemática del cuerpo rígido**

$$v = \dot{R} + w x \rho$$

$$a = \ddot{R} + a x \rho + w x (w x \rho)$$

Ecuaciones aplicables a cualquier tipo de movimiento del cuerpo rígido.

Centro y eje instantáneo de rotación.

$$v = w\Gamma$$

donde $\Gamma$ 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.

$$I_{xx} = MM_{xz} + MM_{xy}$$
$$I_{yy} = MM_{yz} + MM_{xy}$$
$$I_{zz} = MM_{yz} + MM_{xz}$$

**Dinámica de la partícula**

Ecuaciones de movimiento

$$F = ma$$

Trabajo y energía

$$dT = p \cdot dr$$

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

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

Impulso y cantidad de movimiento lineales

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

Ecuación del impulso y la cantidad de movimiento lineales

Ecuación diferencial de movimiento para sistemas de partículas

$$F = \sum_{i=1}^{n} m_i a_1$$

$$F = Ma_c$$

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

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.

$$\int_{2}^{1} \mathrm{F} \bullet dr_c + \sum_{i=1}^{n} \int_{1}^{2} \mathrm{F}_i \bullet dp_i + \sum_{j=1}^{n} \int_{1}^{2} Q_j d\theta_j = \frac{1}{2} M \mathrm{V}_c^2 + \frac{1}{2} \mathrm{I}_{cc}\, \omega^2$$

Ecuación del impulso y la cantidad de movimiento angulares.

$$\int_{1}^{2} \mathrm{M}_{cc}\, dt = I_{cc} \left(\omega_2 - \omega_1\right)$$

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 $\omega_n^2$ = cte.

**Trabajo, energía y conservación de la energía**

$$U = \vec{F} \bullet \vec{r}\,|$$

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

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

$P$: potencia

$$\eta = \frac{Psal}{Pent}$$

$\eta$: eficiencia

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

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

$K$: 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**

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

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

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

$p$ : ímpetu

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

$\Delta \vec{p}$ : impulso

## Electricidad y magnetismo

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

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

$$\Phi_E = \int \vec{E} \bullet d\vec{A} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

$\Phi_E$ : *flujo* eléctrico

$V = k\frac{q}{r}$ $V$ : potencial electróstatico

$$V_b - V_a = \frac{U_b - U_a}{q} = -\frac{W_{ab}}{q} = -\int_a^b \vec{E} \bullet d\vec{l}$$

$$U = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{i-1}\frac{q_i q_j}{4\pi\varepsilon_0 r_{ij}}$$ $U$ : energía potencial electróstatica

**Capacitancia**

$q = CV$ $C$ : capacitancia

$C = K\varepsilon_0\frac{A}{d}$ Capacitor de placas paralelas

$C = \varepsilon\frac{A}{d}$ $\varepsilon = k\varepsilon_0$ $k$ : Constante dieléctrica

$C = k\varepsilon_0\frac{2\pi l}{\ln(b/a)}$ Capacitor cilíndrico

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

$u = \frac{1}{2}k\varepsilon_0 E^2$ $u$ : densidad de energía

**Corriente, resistencia y fuerza electromagnética**

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

$i = nqvA$

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

$\rho = \frac{E}{j}$ $\rho$*: resistividad*

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

$R = R_0(1+\alpha\Delta t)$ *Variación de R con la temperatura*

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

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

$\sum$ *Elevaciones de potencial* $= \sum$ *Caídas de potencial* $\qquad \sum v_i = 0$

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

**Magnetismo**

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

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

$\tau = NiABsen\theta$

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_{0i}$

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

$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$ *r : distancia*

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

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

$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} sen\theta d\theta$ *r : radio*

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

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

$\varepsilon = -\nu Bl$

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

**Equivalencias**

Longitud

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

Masa

| | Kg | uma | lb |
|---|---|---|---|
| 1 kg | 1 | $6.022 \times 10^{26}$ | 2.205 |
| 1 uma | $1.661 \times 10^{-27}$ | 1 | $3.662 \times 10^{-27}$ |
| 1 lb | 0.4536 | $2.732 \times 10^{26}$ | 1 |

Fuerza

| | dina | N | $lb_f$ | $kg_f$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 dina | 1 | $10^{-5}$ | $2.248 \times 10^{-6}$ | $1.020 \times 10^{-6}$ |
| 1 N | $10^{5}$ | 1 | 0.2248 | 0.1020 |
| 1 $lb_f$ | $4.448 \times 10^{5}$ | 4.448 | 1 | 0.4536 |
| 1 $kg_f$ | $9.807 \times 10^{5}$ | 9.807 | 2.205 | 1 |

Presión

| | atm | mm Hg | Pa | bar |
|---|---|---|---|---|
| 1 atm | 1 | 760 | $1.013 \times 10^{5}$ | 1.013 |
| 1 mm Hg | $1.316 \times 10^{-3}$ | 1 | 133.3 | $1.333 \times 10^{-3}$ |
| 1 Pa | $9.869 \times 10^{-6}$ | $7.501 \times 10^{-3}$ | 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 | $3.929 \times 10^{-4}$ | 1055 | 252 | $2.930 \times 10^{-4}$ | $6.585 \times 10^{21}$ |
| 1 HP·h | 2545 | 1 | $2.385 \times 10^{6}$ | $6.413 \times 10^{5}$ | 0.7457 | $1.676 \times 10^{25}$ |
| 1 J | $9.481 \times 10^{-4}$ | $3.725 \times 10^{-7}$ | 1 | 0.2389 | $2.778 \times 10^{-7}$ | $6.242 \times 10^{18}$ |
| 1 cal | $3.969 \times 10^{-3}$ | $1.560 \times 10^{-6}$ | 4.186 | 1 | $1.163 \times 10^{-6}$ | $2.613 \times 10^{19}$ |
| 1 kWh | 3413 | 1.341 | $3.600 \times 10^{6}$ | $8.600 \times 10^{5}$ | 1 | $2.247 \times 10^{25}$ |
| 1 eV | $1.519 \times 10^{-22}$ | $5.967 \times 10^{-26}$ | $1.602 \times 10^{-19}$ | $3.827 \times 10^{-20}$ | $4.450 \times 10^{-26}$ | 1 |

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 |

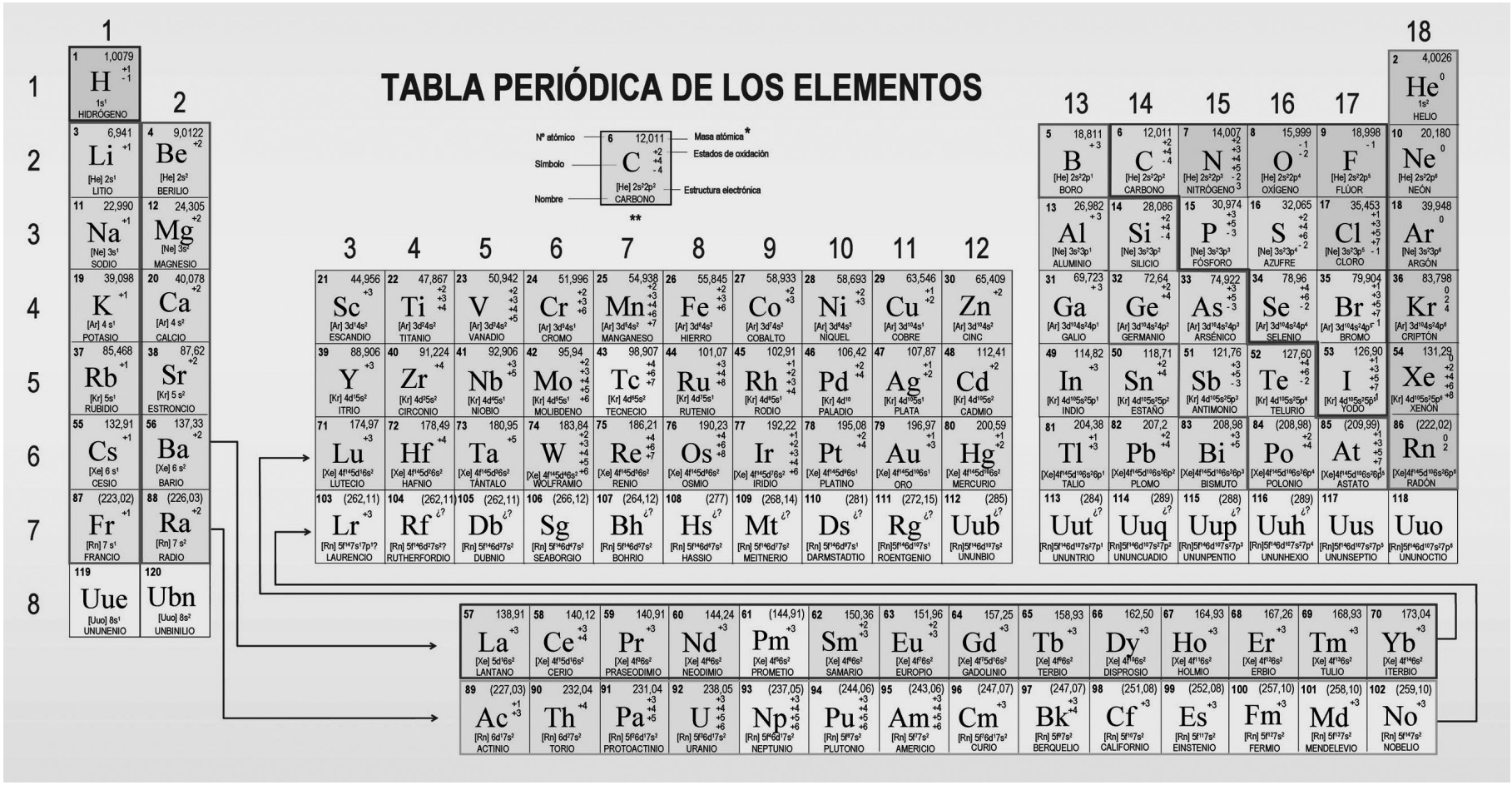
1 rpm = 6.283 rad/min

# Química

## Constantes

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

*Tabla periódica de los elementos*



# Teoría de control

## *Fórmulas de modelado y sistemas de control*

Modelo matemático del sistema de primer orden:

$$\dot{y} + ay = bu$$

Función de transferencia:

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{b}{s+a} = \frac{1}{Ts+1}$$

No hay sobrepaso

Tiempo de asentamiento: $t = \frac{4}{T}$

Modelo matemático del sistema de segundo orden:

$$\ddot{y} + 2xiw_n\dot{y} + w_n^2 y = w_n^2 u$$

Función de transferencia:

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{w_n^2}{s^2 + 2xiw_n s + w_n^2}$$

Donde:

xi : coeficiente de amortiguamiento
$w_n$: Frecuencia natural no amortiguada

Porcentaje de sobrepaso:

$$\%S = \frac{e^{-\pi x_i}}{\sqrt{1\text{-}x_i^2}} x100$$

Tiempo de asentamiento:

$$t_s = \frac{4}{xiw_n}$$

Tiempo de pico máximo:

$$t_p = \frac{\pi}{w_n\sqrt{1-x_i^2}}$$

# Teoría de circuitos eléctricos

**Notación**

| Símbolo | Descripción | Unidad |
|---|---|---|
| B | Susceptancia | [Siemen, S] |
| C | capacitancia | [Farad, F] |
| E | fuente 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] |
| $\phi$ | ángulo de fase | [grado, °] |
| $\omega$ | 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*:

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

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

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 $Z$:

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

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

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*:

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

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

$$Z_S = Z_1 + Z_2 + Z_3 + ...$$

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

$$Y_P = Y_1 + Y_2 + Y_3 + ...$$

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 $\omega$ y una frecuencia *f* es:

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

Para una corriente sinusoidal *i* de una amplitud *I* y una frecuencia angular $\omega$:

$$i = I\ sen\omega t$$

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 $\omega$ y a una frecuencia *f* es:

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

Para una tensión sinusoidal *v* de amplitud *V* y frecuencia angular $\omega$:

$$v = V sen\omega t$$

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

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

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

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

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:

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

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

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 sen $\phi$ son:

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

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

**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:

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

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

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

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

*o*

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

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

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

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

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

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

### *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

$$Z = R - jX_c$$

$$I = I_P + jI_Q$$

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

$$I^* = I_P - jI_Q$$

$$S = P - jQ$$

## *Potencia trifásica*

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

$$V_{fase} = \frac{V_{línea}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{fase} = I_{línea}$$

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

$$S_{3\phi} = 3V_{fase}I_{fase} = \sqrt{3}V_{línea}I_{línea} = \frac{V_{línea}^2}{Z_{fase}} = 3I_{línea}^2 Z_{fase}$$

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

$$V_{fase} = V_{línea}$$

$$I_{fase} = \frac{I_{línea}}{\sqrt{3}}$$

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

$$S_{3\phi} = 3V_{fase}I_{fase} = \sqrt{3}V_{línea}I_{línea} = 3\frac{V_{línea}^2}{Z_{fase}} = I_{línea}^2 Z_{fase}$$

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:

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

**Señales con componentes armónicas**

Coeficiente de distorsión armónico total

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

Factor de potencia

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

Potencia de distorsión

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

# 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:

$$S_{base} = S_{nominal} = \sqrt{3} V_{línea} I_{línea}$$
$$V_{base} = V_{fase} = \frac{V_{línea}}{\sqrt{3}}$$

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

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

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

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:

$$\sqrt{3} V_{línea1} I_{línea1} = S = \sqrt{3} V_{línea2} I_{línea2}$$

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:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}$$

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” ($1\angle 120°$) es la raíz cúbica compleja de unidad:

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1\angle 120° = 1\angle -240°$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = 1\angle 240° = 1\angle -120°$$

Algunas propiedades útiles de “a” son:

$$1 + a + a^2 = 0$$

$$a + a^2 = -1 = 1\angle 180°$$

$$a - a^2 = j\sqrt{3} = \sqrt{3}\angle 90°$$

$$a^2 - a = -j\sqrt{3} = \sqrt{3}\angle -90°$$

En forma matricial

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \text{ donde } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \text{ con } a = e^{j\frac{2\pi}{3}};\ A^{-1} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Desbalance o desequilibrio en un sistema trifásico:

$$\text{Desbalance} = \frac{V_2}{V_1} X100\%$$

Definiciones base por unidad trifásico:

$$S_{base3\phi} = 3S_{base1\phi}$$

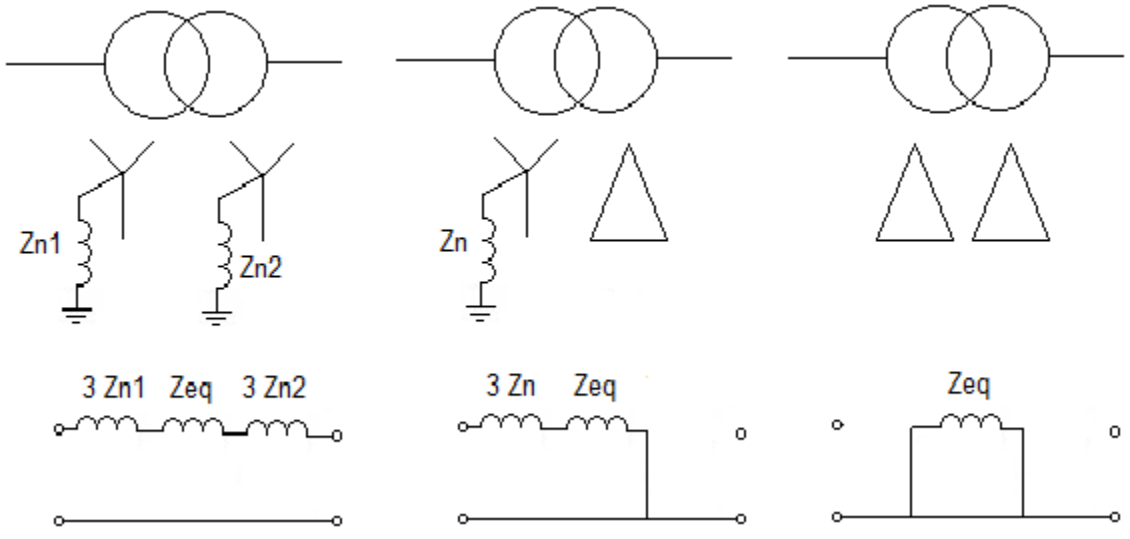
$$V_{baseLN} = V_{baseLL} \Big/ \sqrt{3}$$

$$I_{base} = \frac{S_{base1\phi}}{V_{baseLN}} = \frac{S_{base3\phi}}{\sqrt{3}V_{baseLL}}$$

$$Z_{base} = \frac{V_{baseLN}}{I_{base}} = \frac{V^2_{baseLN}}{S_{base1\phi}} = \frac{V^2_{baseLL}}{S_{base3\phi}}$$

$$Y_{base} = \frac{1}{Z_{base}}$$

Redes de secuencia cero, despreciando la admitancia en derivación y cambiadores de fase (*phase shift*).



*Corrientes de falla de secuencia cero, positiva y negativa (In-0, In-1, In-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

$$I_{n-1} = \frac{V_F}{Z_{nn-1} + \frac{Z_{nn-2}\left(Z_{nn-0} + 3Z_F\right)}{Z_{nn-2} + Z_{nn-0} + 3Z_F}}$$

$$I_{n-2} = -I_{n-1}\frac{Z_{nn-0} + 3Z_F}{Z_{nn-2} + Z_{nn-0} + 3Z_F}$$

$$I_{n-0} = -I_{n-1}\frac{Z_{nn-2}}{Z_{nn-2} + Z_{nn-0} + 3Z_F}$$

$Z_{nn-0}$, $Z_{nn-1}$ 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

$$P_e(\delta) = \frac{E_q V}{X_d}\operatorname{sen}\delta + \frac{V^2}{2}\left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}\right)\operatorname{sen} 2\delta$$

$$Q_e(\delta) = \frac{E_q V}{X_d}\cos\delta - V^2\left(\frac{\cos^2\delta}{X_q} + \frac{\operatorname{sen}^2\delta}{X_d}\right)$$

Solución Newton-Raphson de y=f(x), iteración de i:

$$x(i+1) = x(i) + J^{-1}(i)\left\{y - f\left[x(i)\right]\right\}$$

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:

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^{\,*} \Rightarrow \begin{cases} P_k = V_k \sum_{n=1}^{N} Y_{kn} V_n \cos\left(\delta_k - \delta_n - \theta_k\right) \\ Q_k = V_k \sum_{n=1}^{N} Y_{kn} V_n \operatorname{sen}\left(\delta_k - \delta_n - \theta_k\right) \end{cases}$$

donde:

$$Y_{kn}e^{j\theta_{kn}} = Y_{bus}(k,n)$$

$$V_k e^{j\delta_k} = V_{bus}(k)$$

Delta-estrella ($\Delta$-Y) transformación

$$Z_{AB} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_C} \qquad Z_A = \frac{Z_{AB} Z_{AC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}$$

$$Z_{BC} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_A} \qquad Z_B = \frac{Z_{AB} Z_{BC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}$$

$$Z_{AC} = \frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_A Z_C}{Z_B} \qquad Z_C = \frac{Z_{AC} Z_{BC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}$$

## *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:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V_a = 0$<br>$I_b = I_c = 0$<br>$I_f = I_a = I_e$ | $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{I_a}{3}$<br>$V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 0$ | $I_{a1} = \frac{Va}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$<br>$I_{a2} = I_{a1}$<br>$I_{a0} = I_{a1}$ | $I_f = 3I_{a0} = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = I_e$<br>$I_a = I_f = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$ |

**Bifásica** – falla de la fase "b" a la fase "c":

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V_b = V_c$<br>$I_a = 0$<br>$I_f = I_b = -I_c$ | $I_{a1} = I_{a2} = 0$<br>$I_{a0} = 0$<br>$V_{a1} = V_{a2}$ | $I_{a1} = \frac{Va}{Z_1 + Z_2}$<br>$I_{a2} = -I_{a1}$<br>$I_{a0} = 0$ | $I_f = -j\sqrt{3} I_{a1} = -j\sqrt{3} \frac{V_a}{Z_1 + Z_2}$<br>$I_b = I_f = -j\sqrt{3} \frac{V_a}{Z_1 + Z_2}$<br>$I_b = -I_f = j\sqrt{3} \frac{V_a}{Z_1 + Z_2}$ |

**Bifásica a tierra** – falla de la fase "b" y la fase "c" a tierra:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V_b = V_c = 0$<br>$I_a = 0$<br>$I_f = I_b + I_c = I_e$ | $I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0$<br>$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0}$ | $I_{a1} = \frac{Va}{Z_{net}}$<br>$Z_{net} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}$<br>$I_{a2} = -I_{a1} \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0}$<br>$I_{a0} = -I_{a1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0}$ | $I_f = 3I_{a0} = -3\frac{V_a Z_2}{\sum Z}$<br>$\sum Z = Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1$<br>$= Z_{net}(Z_2 + Z_0)$<br>$I_b = \frac{I_f}{2} - j\sqrt{3}V_a \frac{\left(\frac{Z_2}{2} + Z_0\right)}{\sum Z}$<br>$I_c = \frac{I_f}{2} + j\sqrt{3}V_a \frac{\left(\frac{Z_2}{2} + Z_0\right)}{\sum Z}$ |

**Trifásica (y trifásica a tierra)** – falla de la fase "a" a la fase "b" a la fase "c" (a tierra):

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V_a = V_b = V_c (= 0)$<br>$I_a + I_b + I_c = 0 (= I_e)$<br>$I_f = I_a = hI_b = h^2 I_c$ | $V_{a0} = V_a = (0)$<br>$V_{a1} = V_{a2} = 0$ | $I_{a1} = \frac{Va}{Z_1}$<br>$I_{a2} = 0$<br>$I_{a0} = 0$ | $I_f = I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1} = I_a$<br>$I_b = \frac{V_b}{Z_1}$<br>$I_c = \frac{V_c}{Z_1}$ |

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:

$$I_{2\,pu} = \frac{V_{2\,pu}}{Z_{T\,pu}} = \frac{1}{Z_{T\,pu}}$$

$$S_{2\,pu} = I_{2\,pu} = \frac{1}{Z_{T\,pu}}$$

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:

$$I_{2\,pu} = \frac{V_{2\,pu}}{Z_{T\,pu} + Z_{S\,pu}} = \frac{1}{Z_{T\,pu} + Z_{S\,pu}}$$

$$S_{2\,pu} = I_{2\,pu} = \frac{1}{Z_{T\,pu} + Z_{S\,pu}}$$

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:

$$(I_{\text{lim}} - I_{load})^2 t_{\text{lim}} = (I_{fault} - I_{load})^2 t_{fault}$$

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 $I_{Smax}$, la conductancia máxima de carga del secundario $G_{Bmax}$ y la corriente máxima del primario $I_{Pmax}$ son:

$$I_{S_{máx}} = \frac{S}{V_S}$$

$$G_{B_{máx}} = \frac{I_{S_{max}}}{V_S} = \frac{S}{V_S^2}$$

$$I_{P_{máx}} = \frac{S}{V_P} = I_{S_{max}} \frac{V_S}{V_P}$$

**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 $V_{Smax}$, la resistencia máxima de carga del secundario $R_{Bmax}$ y la tensión máxima del primario $V_{Pmax}$ son:

$$V_{S_{máx}} = \frac{S}{I_S}$$

$$R_{B_{máx}} = \frac{V_{S_{max}}}{I_S} = \frac{S}{I_S^2}$$

$$V_{P_{máx}} = \frac{S}{I_P} = V_{S_{max}} \frac{I_S}{I_P}$$

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 $R_{Bmax}$ y la tensión de referencia equivalente del primario $V_{PF}$ son:

$$V_{SF} = \frac{SF}{I_S}$$

$$R_{B_{máx}} = \frac{V_{SF}}{I_S F} = \frac{S}{I_S^2}$$

$$V_{PF} = \frac{SF}{I_P} = V_{SF} \frac{I_S}{I_P}$$

**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:

$$Z_{Tprim} = \frac{E_{prim} - V_{prim}}{I_{prim}} = \frac{E_{sec} - V_{sec}}{I_{sec}} \frac{N_V}{N_I} = Z_{T\,sec} \frac{N_V}{N_I} = Z_{T\,sec} N_Z$$

## *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:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P\left(\tan \phi_1 - \tan \phi_2\right)$$

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:

$$Q_{C_{estrella}} = \frac{V_{línea}^2}{X_{C_{estrella}}} = 2\pi f C_{estella} V_{línea}^2$$

$$I_{línea} = \frac{Q_{C_{estrella}}}{\sqrt{3}\, V_{línea}} = \frac{V_{línea}}{\sqrt{3}\, X_{C_{estrella}}}$$

$$C_{estrella} = \frac{Q_{C_{estrella}}}{2\pi f\, V_{línea}^2}$$

Para los capacitores en derivación conectados en delta $C_{delta}$ en un sistema trifásico de tensión de línea $V_{línea}$ y una frecuencia f, la demanda de potencia reactiva en adelanto $Q_{Cdelta}$ y la corriente de línea reactiva en adelanto $I_{línea}$ son:

$$Q_{C_{delta}} = \frac{3V_{línea}^2}{X_{C_{delta}}} = 6\pi f\, C_{delta} V_{línea}^2$$

$$I_{línea} = \frac{Q_{C_{delta}}}{\sqrt{3}\, V_{línea}} = \frac{\sqrt{3}\, V_{línea}}{X_{C_{delta}}}$$

$$C_{delta} = \frac{Q_{C_{delta}}}{6\pi f\, V_{línea}^2}$$

Note que para la misma potencia reactiva en adelanto $Q_C$:

$$X_{C_{delta}} = 3X_{C_{estrella}}$$

$$C_{delta} = \frac{C_{estrella}}{3}$$

**Capacitor serie**

Para capacitores de línea en serie cada uno de capacitancia $C_{serie}$ conduciendo una corriente de línea $I_{línea}$ en un sistema trifásico de frecuencia f, la caída de tensión $V_{drop}$ a través de cada capacitor de línea y la demanda total de potencia reactiva en adelanto $Q_{Cserie}$ del grupo de los 3 capacitores de línea son:

$$V_{drop} = I_{línea} X_{C_{serie}} = \frac{I_{línea}}{2\pi f C_{serie}}$$

$$Q_{C_{serie}} = \frac{3V_{drop}^2}{X_{C_{serie}}} = 3V_{drop} I_{línea} = 3I_{línea}^2 X_{C_{serie}} = \frac{3I_{línea}^2}{2\pi f C_{serie}}$$

$$C_{serie} = \frac{3I_{línea}^2}{2\pi f Q_{C_{serie}}}$$

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 $V_{línea}$ y no en la caída de tensión $V_{drop}$:

$$S_{rating} = \sqrt{3} V_{línea} I_{línea}$$

## *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 $Q_{Lestrella}$ y la corriente reactiva de línea en atraso $I_{línea}$ son:

$$Q_{L_{estrella}} = \frac{V_{línea}^2}{X_{L_{estrella}}} = \frac{V_{línea}^2}{2\pi f L_{estella}}$$

$$I_{línea} = \frac{Q_{L_{estrella}}}{\sqrt{3} V_{línea}} = \frac{V_{línea}}{\sqrt{3} X_{L_{estrella}}}$$

$$L_{estrella} = \frac{V_{línea}^2}{2\pi f Q_{L_{estrella}}}$$

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 $Q_{Ldelta}$ 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:

$$V_{drop} = I_{línea} X_{L_{serie}} = 2\pi f L_{serie}\, I_{línea}$$

$$Q_{L_{serie}} = \frac{3V_{drop}^2}{X_{L_{serie}}} = 3V_{drop} I_{línea} = 3I_{línea}^2 X_{L_{serie}} = 6\pi f L_{serie}\, I_{línea}^2$$

$$L_{serie} = \frac{Q_{L_{serie}}}{6\pi f\, I_{línea}^2}$$

Note que el valor nominal de la potencia aparente $S_{rating}$ del grupo de 3 reactores de línea en serie se basado 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 $\omega_r$ 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 harmónico $f_r/f$ 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 harmónico $f_r/f$ 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]
$\rho$ = resistividad del conductor $(\Omega m)$
$L$ = longitud [m]
$A$ = área [m²]

**Variación de la resistencia con la temperatura**

$$R_2 = R\left[1 + \alpha\left(t_2 - t_1\right)\right]$$

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**

$$\Psi = LI$$

$\Psi$ = enlaces de flujo [wb-vueltas]
$L$ = inductancia [H]
$I$ = corriente [A]

$$V = j\omega\Psi \qquad M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_2}$$

$V$ = voltaje [V]
$\omega$ = velocidad angular [rad/s]
$M_{12}$ = inductancia mutua [H]

**Inductancia de un conductor debida al flujo interno**

$$\Psi_{int} = \frac{I}{2} \times 10^{-7} \text{ [wb-vueltas/m]}$$

$$L_{int} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

**Inductancia entre dos puntos externos a un conductor aislado**

$$L_{12} = 2x10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} (H/m)$$

$D$ = Distancia $(m)$

**Inductancia de una línea monofásica de dos conductores**

$$L_1 = 2x10^{-7} \ln \frac{D}{r_1'} \text{ [H/m]}$$

$$L_2 = 2x10^{-7} \ln \frac{D}{r_2'} \text{[H/m]}$$

$$L = L_1 + L_2$$

Sí $r_1' = r_2' = r'$

$$L = 4x10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \cdot (H/m)$$

$L$ = inductancia $(Henry)$

$D$ = Distancia $(m)$

$$r_1' = r_1 \varepsilon^{-1/4}$$

$$r_2' = r_2 \varepsilon^{-1/4}$$

r = radio conductor $(m)$

**Inductancia de una línea monofásica con conductores compuestos**

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \times \ln \frac{\sqrt{(D_{aa'} D_{ab'} D_{ac'} \ldots D_{am})(D_{ba'} D_{bb'} D_{bc'} \ldots D_{bm}) \ldots (D_{na'} D_{nb'} D_{nc'} \ldots D_{nm})}}{\sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} D_{ac} \ldots D_{an})(D_{ba} D_{bb} D_{bc} \ldots D_{bm}) \ldots (D_{na} D_{nb} D_{nc} \ldots D_{nn})}}$$

$$L_x = 2x10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_S}$$

La inductancia del conductor Y se determina de manera similar, y la inductancia de la línea es:

$$L = L_x + L_y$$

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**

$X_L = 2\pi fL$

$X_L = 4\pi f \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s} \cdot (\Omega / m)$

Por tablas

$X_L = X_a + X_d \cdot (\Omega / mi)$
$X_a$ =Reactancia inductiva a 1 pie espaciamiento $(\Omega / mi)$
$X_d$ =factor de espaciamiento de la reactancia inductiva $(\Omega / mi)$

**Inductancia de líneas trifásicas con disposición equilátera**

$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{D_s} \cdot (H / m)$ por fase

**Inductancia de líneas con conductores agrupados**

$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^b} \ (H / m)$

**Inductancia de líneas trifásicas con disposición asimétrica**

$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \ (H / m)$por fase

$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$

$D_{eq}$ =distancia equivalente $(m)$
$D_s$ =es el RMG del conductor $(m)$

$X_L = 0.0754 \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \ (\Omega / km)$por fase

$X_L = 0.1213 \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \ (\Omega / milla)$por fase

$D_s^b$ =es el RMG de los conductores agrupados

Para dos conductores

$D_s^b = \sqrt{(D_s \times d)}$

Para tres conductores

$D_s^b = \sqrt[3]{D_s \times d^2}$

Para cuatro conductores

$D_s^b = 1.09 \sqrt[4]{D_s \times d^3}$

**Inductancia de líneas trifásicas de circuitos paralelos**

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^p} \cdot (H / m)$$

**Distancia media geométrica**

**Radio medio geométrico**

Distancia $D_{a-a'} = \sqrt{D_{a-a'} D_s}$

$$D_{ab}^{P} = \sqrt[4]{D_{ab}D_{ab'}D_{ba}D_{ba'}}$$
$$D_{bc}^{P} = \sqrt[4]{D_{bc}D_{bc'}D_{cb}D_{cb'}}$$
$$D_{ca}^{P} = \sqrt[4]{D_{ac}D_{ac'}D_{ca}D_{ca'}}$$
$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}^{P}D_{bc}^{P}D_{ca}^{P}}$$

$$D_{b-b'} = \sqrt{D_{b-b'}D_{s}}$$
$$D_{c-c'} = \sqrt{D_{c-c'}D_{s}}$$
$$D_{s}^{P} = \sqrt{D_{a-a'}D_{b-b'}D_{c-c'}}$$

## *Capacitancia*

**Capacitancia entre dos conductores**

$$C = \frac{q}{v} \cdot (F/m)$$

$$C_{ab} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln(D/r)} \; (F/m)$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \; (F/m)$$

$C$ = 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**

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln(D/r)} \cdot (F/m)$$ al neutro

**Reactancia capacitiva**

$$X_c = \frac{1}{2\pi fc} = \frac{2.862}{f} \times 10^{9} \ln\frac{D}{r} \cdot (\Omega \cdot m)$$ al neutro

$$X_c = \frac{1.779}{f} \times 10^{6} \ln\frac{D}{r} \cdot (\Omega \cdot milla)$$ 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**

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln(D/r)} \; (F/m)$$ 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
$\omega$ = velocidad angular $(rad/seg)$

**Capacitancia en líneas trifásicas con disposición asimétrica**

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln(D_{eq}/r)} \; (F/m)$$ 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 $(m)$

$V_{an}$ =voltaje respecto al neutro $(v)$

*Líneas trifásicas de circuitos paralelos*

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\left(D_{eq}/D_{sc}^{p}\right)} \ldots\ldots\ldots (F/m) \text{ respecto al neutro}$$

**Distancia media geométrica**

$$D_{ab}^{P} = \sqrt[4]{D_{ab}D_{ab'}D_{ba}D_{ba'}}$$
$$D_{bc}^{P} = \sqrt[4]{D_{bc}D_{bc'}D_{cb}D_{cb'}}$$
$$D_{ca}^{P} = \sqrt[4]{D_{ac}D_{ac'}D_{ca}D_{ca'}}$$
$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}^{P}D_{bc}^{P}D_{ca}^{P}}$$

**Radio medio geométrico**

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

$$d = \frac{1}{S} \text{ en } A/mm^2$$

donde:

I = Intensidad en ampers
S = Sector en $mm^2$

**Cálculo de secciones en conductores cilíndricos (s)**

$$S = \pi^2;\ S = \frac{\pi d^2}{4};\ \frac{\pi}{4} = 0.7585;\ S = 0.785 d^2$$

**Volumen de un conductor (v)**

$$V = SL;\ V = \frac{SL}{1000}\ en\ dm^3$$

donde:

S = Sección en $mm^2$
L = Longitud en m

**Peso de un conductor (p)**

$$P = Vd;\ P\frac{SLD}{1000}\ en\ kg$$

donde:

S = sección en $mm^2$
L = Longitud en m
d = Densidad en $kg/dm^3$

## *Líneas aéreas*

**Longitud corta**

$$\overline{V_S} = \overline{V_R} + \overline{I_L}\,\overline{Z}$$

Para el f.p. =1

$$V_S = \sqrt{\left(V_R + I_L R\right)^2 + \left(I_L X_L\right)^2}$$

Para el f.p. en atraso

$$V_S = \sqrt{\left(V_R \cos\theta + I_L R\right)^2 + \left(V_R sen\theta + I_L X_L\right)^2}$$

Para el f.p. en adelanto

$$V_S = \sqrt{\left(V_R \cos\theta + I_L R\right)^2 + \left(V_R sen\theta - I_L X_L\right)^2}$$

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]
$\theta$ = ángulo entre voltaje y corriente

Porcentaje de regulación

$$\%\,\mathrm{Re}\,g = \frac{V_S - V_R}{V_R} x100\%$$

donde:

$V_S$ = voltaje de envío [V]
$V_R$ = voltaje de recepción [V]

**Longitud media**

$$V_S = AV_R + BI_R$$
$$I_S = CV_R + DI_R$$

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 $(\Omega)$
$Y$ = admitancia $(\mho)$

Porcentaje de regulación

$$\%\mathrm{Re}g = \frac{|V_S| / A - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

## *Líneas de tensión*

**Pérdida de tensión en líneas trifásicas**

$$V_C = \sqrt{3} \cdot I\left(R\cos\varphi + \omega \cdot L \cdot \sin\varphi\right)$$

donde:

Vc: caída de tensión en volts
I: intensidad que circula por el conductor
R: resistencia del conductor
S: ángulo de desfase entre tensión e intensidad
$w = 2\pi f$
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 de transmisión de potencia**

$$S_{thermal} = 3V_{\phi rated} I_{thermal}$$

$$P_{3\phi} = \left(\frac{|V_{s(L-L)}|}{V_{rated}}\right)\left(\frac{|V_{R(L-L)}|}{V_{rated}}\right)\left(\frac{|V_{rated}^2|}{Z_c}\right)\frac{sen\ \delta}{sen\ \beta\ell}$$

**Capacidad aparente entre un conductor de una línea de corriente alterna y el neutro**

$$C = \frac{0.0241}{\log\left(\frac{s}{d} + \frac{\sqrt{s^2 - d^2}}{d}\right)}\ [\mu F/km]$$

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 (mm²) |
|---|---|---|---|
| 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 | $I = \frac{S}{\sqrt{3} \times E_f}$ | $I = \frac{P}{\sqrt{3} \times E_f \times F.P}$ | $s = \frac{2 \times \sqrt{3} \times L \times I}{E_f \times e\%}$<br>$E_f = \sqrt{3} \times E_n$<br>$s = \frac{2 \times L \times I}{E_n \times e\%}$ |
| Donde: | | | |

| | |
|---|---|
| I = corriente eléctrica en A | En = voltaje de fase a neutro en Volts |
| S = potencia aparente de la carga en VA | P = Potencia eléctrica de la carga en W |
| Ef = voltaje entre fases en V | s = sección transversal del conductor en $mm^2$ |
| | 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 $mm^2$ (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

$$Ic = 1.25\ (In\ tablero)$$

Cálculo de conductores que alimentan un tablero de alumbrado con cargas continuas y cargas no continuas.

$$Ic = 1.25\ (In\ cargas\ continuas\ del\ tablero) + (In\ cargas\ no\ continuas\ del\ tablero)$$

Cálculo de conductores que alimentan un solo motor

$$Ic = 1.25\ In\ motor$$

Cálculo de conductores que alimentan un grupo de motores

$$Ic = 1.25\ (In\ motor\ mayor) + \Sigma\ (In\ otros\ motores)$$

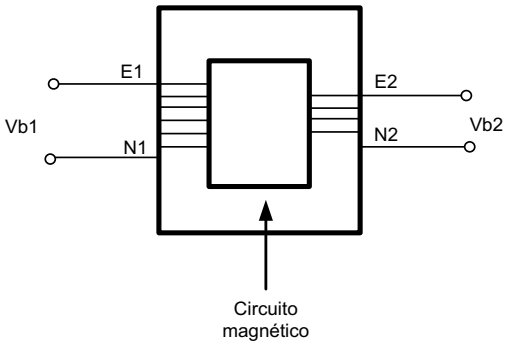


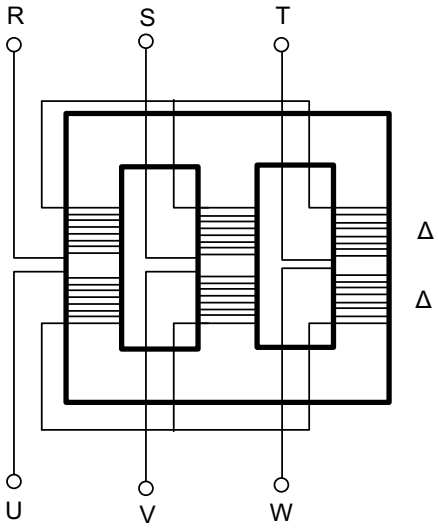


| Diámetro en CMIL o AWG para aluminio | Aluminio Hilos | Capas | Diámetro de los hilos | Acero Hilos | Diámetro de los hilos | Diámetro exterior IN | Equivalente en cobre CMIL o AWG | Esfuerzo de rotura lb | Peso lb/milla | Radio medio geométrico A 60 Hz FT | Capacidad aproximada de corriente | Resistencia Ω / Milla conductor 25 º C. (77ºF.) Pequeñas corrientes CD | 25 º C. (77ºF.) Pequeñas corrientes 50 Hz | 25 º C. (77ºF.) Pequeñas corrientes 60 Hz | 50ºC. (122ºF.) Corriente aprox. 75% de la capacidad CD | 50ºC. (122ºF.) Corriente aprox. 75% de la capacidad 50 Hz | 50ºC. (122ºF.) Corriente aprox. 75% de la capacidad 60 Hz | X Reactancia inductiva milla conductor 50 Hz | X Reactancia inductiva milla conductor 60 Hz | X Reactancia capacitiva Ω/Milla conductor 50 Hz | X Reactancia capacitiva Ω/Milla conductor 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 | 0.058 | 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 | 7 | 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 | 0.061 | 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 | 8 | 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 | 0.065 | 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 | 2 | 0.0786 | 0.0788 | 0.0862 | 0.0894 | 0.0906 | 0.314 | 0.376 | 0.1028 | 0.0857 |
| | | | | | | | | | | | | 0.069 | | | | | | | | | |
| 1 113 000 | 54 | 3 | 0.1436 | 19 | 0.0862 | 1.293 | 700 000 | 40 200 | 7 544 | 0.0435 | 1 110 | 1 | 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 | 0.073 | 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 | 4 | 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 | 0.078 | 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 | 3 | 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 | | 0.118 | 0.119 | 0.1288 | 0.1358 | 0.1378 | 0.334 | 0.401 | 0.1100 | 0.0917 |
| | | | | | | | | | | | | 0.083 | | | | | | | | | |
| 795 000 | 26 | 2 | 0.1749 | 7 | 0.1360 | 1.108 | 500 000 | 31 200 | 5 770 | 0.0375 | 900 | 9 | 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 | 0.090 | 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 | 3 | 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 | 0.097 | 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 | 9 | 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 | 0.104 | 0.141 | 0.141 | 0.1541 | 0.1591 | 0.1601 | 0.343 | 0.412 | 0.1132 | 0.0943 |
| | | | | | | | | | | | | 0.107 | | | | | | | | | |
| 636 000 | 54 | 3 | 0.1085 | 7 | 0.1085 | 0.977 | 400 000 | 23 600 | 4 319 | 0.0329 | 770 | 0.117 | 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 | 0.1618 | 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 | 0.117 | 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 | 0.117 | 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 | 0.131 | 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 | 0.131 | 0.168 | 0.168 | 0.1849 | 0.1859 | 0.1859 | 0.350 | 0.420 | 0.1159 | 0.0965 |
| | | | | | | | | | | | | 0.131 | | | | | | | | | |
| 556 500 | 30 | 2 | 0.1362 | 7 | 0.1362 | 0.953 | 350 000 | 27 200 | 4 588 | 0.0328 | 730 | 0.140 | 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 | 0.206 | | | 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 | 0.147 | 0.196 | 0.196 | 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 | 0.147 | 0.196 | 0.196 | 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 | 0.147 | | | 0.259 | Igual | Igual | 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 | 0.154 | Igual | Igual | 0.259 | que en | que en | 0.362 | 0.435 | 0.1208 | 0.1006 |
| | | | | | | | | | | | | 0.154 | que en | que en | | CD | CD | | | | |
| 336 400 | 26 | 2 | 0.0385 | 7 | 0.0385 | 0.721 | 4/0 | 14 050 | 2 442 | 0.0244 | 530 | 0.168 | CD | CD | 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 | | | | 0.306 | | | 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 | 0.168 | | | 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 | 0.187 | | | 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 | 0.196 | | | 0.385 | | | 0.387 | 0.465 | 0.1289 | 0.1074 |
| | | | | | | | | | | | | 0.196 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0.235 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0.235 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0.278 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0.278 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0.311 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0.311 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 0.350 | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | Para corriente aproximada del 75% de capacidad | | | | | | | Conductores de una sola capa: Corrientes pequeñas 50 Hz | Conductores de una sola capa: Corrientes pequeñas 60 Hz | Conductores de una sola capa: Corriente aprox. de 75% de capacidad 50 Hz | Conductores de una sola capa: Corriente aprox. de 75% de capacidad 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 | 0.630 | 0.665 | 0.665 | 0.1666 | 0.1388 |
| 6 | 6 | 1 | 0.0661 | 1 | 0.0661 | 0.498 | 8 | 1 170 | 191 | 0.00394 | 100 | 3.56 | 2.56 | 3.56 | 3.92 | 3.97 | 3.98 | 0.536 | 0.643 | 0.673 | 0.673 | 0.1708 | 0.1423 |

## *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)

$$m = \frac{Vb_1}{Vb_2}$$

**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]
$\phi_0$ - 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]
$\phi_0$ - 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 [cm$^2$]
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

$$V_{b1} = V_{b2} = \cdots$$

2. Igualdad de caída de tensión (no superior al 10%)

$$V_{c1} = V_{c2} = \cdots$$

3. Igualdad de factores de potencia

$$\phi_1 = \phi_2 = \cdots$$

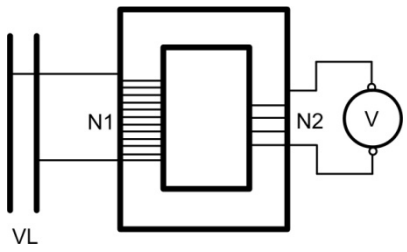
4. Orden de polaridad en las conexiones

$$U_1 - V_1 - W_1$$
$$U_2 - V_2 - W_2$$

**Transformadores de medida**

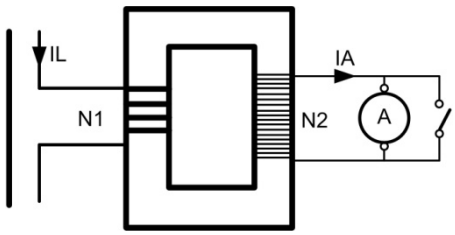
Transformador de tensión

$$m = \frac{N_1}{N_2}$$
$$V_L = mV$$

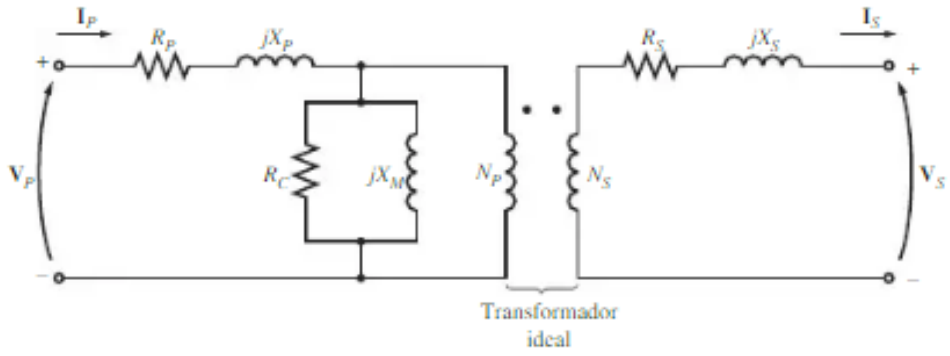



Transformador de corriente

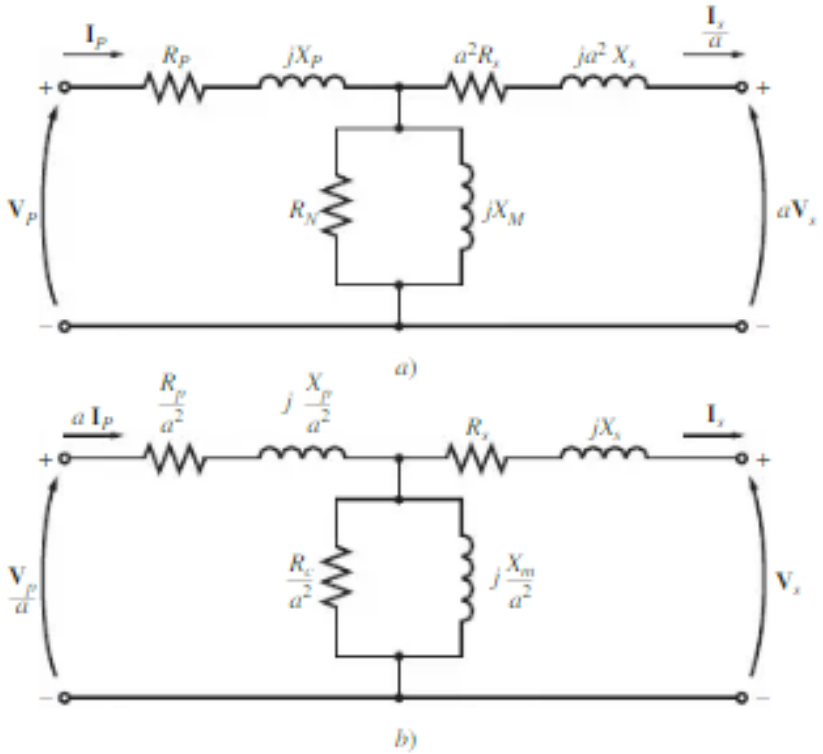
$$m = \frac{N_1}{N_2}$$
$$I_L = \frac{A}{m}$$



**Circuito equivalente exacto de un transformador real**

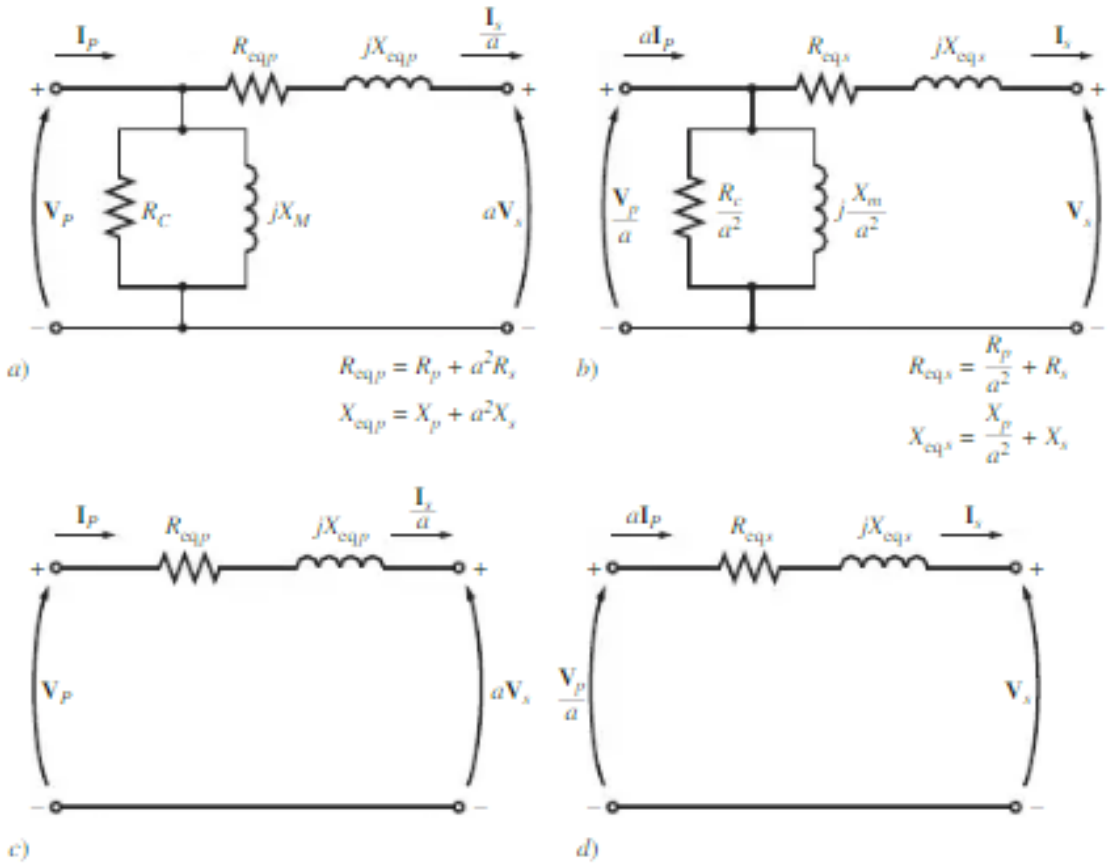



Modelo de un transformador ideal




a) Modelo de transformador referido a su nivel de voltaje primario. b) Modelo de transformador referido a su nivel de voltaje secundario

**Circuitos equivalentes aproximados de un transformador**




Modelos aproximados de transformador: a) Referidos al lado primario; b) Referidos al lado secundario; c) Sin rama de excitación, referida al lado primario; d) Sin rama de excitación, referida al lado secundario.

Los parámetros de la rama en paralelo del circuito equivalente que representan las perdidas en el hierro del transformador se obtienen con la formula:

$$\cos\theta = \frac{P_{oc}}{V_{oc} * I_{oc}}$$

$$R_{oc} = \frac{V_{oc}}{I_{oc}\cos\theta}$$

$$X_{oc} = \frac{V_{oc}}{I_{oc} sen\theta}$$

Los parámetros de la rama en serie del circuito equivalente que representan las perdidas en el cobre se obtienen con la formula:

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2}$$

$$Z_{CC} = \sqrt{R_{CC}^2 + X_{CC}^2}$$

Recordando que $Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}}$

## Tabla de dimensiones del transformador tipo subestación trifásico

Pesos y dimensiones (mm) aproximados

| | | | | | | | | | Garganta baja tensión | | | Garganta alta tensión | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Capacidad (kVA) | Clase | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | H | I | J | K | L | Peso (kg) | Aceite (L) |
| 225 | 15 | 1455 | 1455 | 1515 | 1080 | 1515 | 530 | 880 | 650 | 500 | 450 | 1150 | 600 | 550 | 250 | 144 | 1562 | 398 |
| 500 | 15 | 1595 | 1685 | 1800 | 1100 | 1800 | 750 | 1000 | 650 | 600 | 700 | 900 | 500 | 500 | 250 | 144 | 2441 | 652 |
| 750 | 15 | 1630 | 1925 | 1800 | 1305 | 855 | 855 | 1105 | 650 | 600 | 950 | 900 | 500 | 500 | 250 | 144 | 3143 | 745 |
| 1000 | 15 | 1735 | 2315 | 2050 | 1390 | 940 | 1010 | 1260 | 900 | 600 | 900 | 900 | 500 | 900 | 250 | 200 | 3797 | 984 |
| 1500 | 15 | 1865 | 2355 | 2050 | 1540 | 1140 | 1090 | 1340 | 900 | 600 | 900 | 900 | 500 | 900 | 250 | 200 | 4631 | 1264 |
| 2000 | 15 | 1780 | 2915 | 2050 | 1450 | 1050 | 1120 | 1370 | 900 | 600 | 1200 | 900 | 500 | 1200 | 250 | 200 | 5549 | 1102 |

| | | | | | | | | | Garganta baja tensión | | | Garganta alta tensión | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Capacidad (kVA) | Clase | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | H | I | J | K | L | Peso (kg) | Aceite (L) |
| 150 | 25 | 1400 | 1590 | 1505 | 900 | 500 | 550 | 850 | 650 | 600 | 500 | 1200 | 600 | 700 | 310 | 144 | 1557 | 367 |
| 225 | 25 | 1450 | 1655 | 1545 | 1070 | 770 | 600 | 900 | 900 | 500 | 500 | 1150 | 600 | 600 | 310 | 200 | 1970 | 479 |
| 300 | 25 | 1500 | 1770 | 1800 | 1030 | 580 | 630 | 930 | 650 | 600 | 500 | 1200 | 600 | 700 | 330 | 144 | 1935 | 513 |
| 500 | 25 | 1600 | 1885 | 1800 | 1100 | 650 | 700 | 1000 | 650 | 600 | 700 | 1150 | 600 | 700 | 310 | 144 | 2500 | 660 |
| 750 | 25 | 1630 | 2135 | 1800 | 1305 | 855 | 805 | 1105 | 650 | 600 | 950 | 1150 | 600 | 900 | 310 | 144 | 3199 | 744 |
| 1000 | 25 | 1735 | 2315 | 2300 | 1390 | 940 | 960 | 1260 | 900 | 600 | 900 | 1150 | 600 | 900 | 310 | 200 | 3833 | 982 |
| 1500 | 25 | 1865 | 2355 | 2300 | 1540 | 1140 | 1040 | 1340 | 900 | 600 | 900 | 1150 | 600 | 900 | 310 | 200 | 4711 | 1232 |
| 2000 | 25 | 1885 | 2955 | 2290 | 1510 | 1110 | 1090 | 1390 | 900 | 600 | 1200 | 1150 | 600 | 1200 | 310 | 200 | 5772 | 130 |

| | | | | | | | | | Garganta baja tensión | | | Garganta alta tensión | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Capacidad (kVA) | I | J | H | I | J | H | I | J | H | I | J | H | I | J | K | L | Peso (kg) | Aceite (L) |
| 500 | 34.5 | 1650 | 2270 | 2050 | 1210 | 830 | 710 | 1015 | 900 | 600 | 700 | 1600 | 750 | 950 | 430 | 200 | 2853 | 805 |
| 750 | 34.5 | 1680 | 2415 | 1800 | 1320 | 870 | 745 | 1120 | 650 | 600 | 950 | 1600 | 750 | 950 | 430 | 144 | 3468 | 882 |
| 1000 | 34.5 | 1785 | 2385 | 2750 | 1420 | 970 | 895 | 1270 | 650 | 600 | 900 | 1600 | 750 | 950 | 430 | 144 | 4226 | 1028 |
| 1500 | 34.5 | 1885 | 2425 | 2750 | 1550 | 1150 | 975 | 1350 | 900 | 600 | 900 | 1600 | 750 | 950 | 430 | 200 | 5140 | 1293 |
| 2.00 | 34.5 | 1980 | 3165 | 2750 | 1560 | 1160 | 1035 | 1410 | 900 | 600 | 1300 | 1600 | 750 | 1300 | 430 | 200 | 6040 | 1442 |

Nota: Estas dimensiones son Delta-Estrella y con fluido aceite mineral, para equipos con fluido FR3 y silicón consultar consu asesor de ventas.

**Tabla de circuitos de secuencia cero para transformadores**

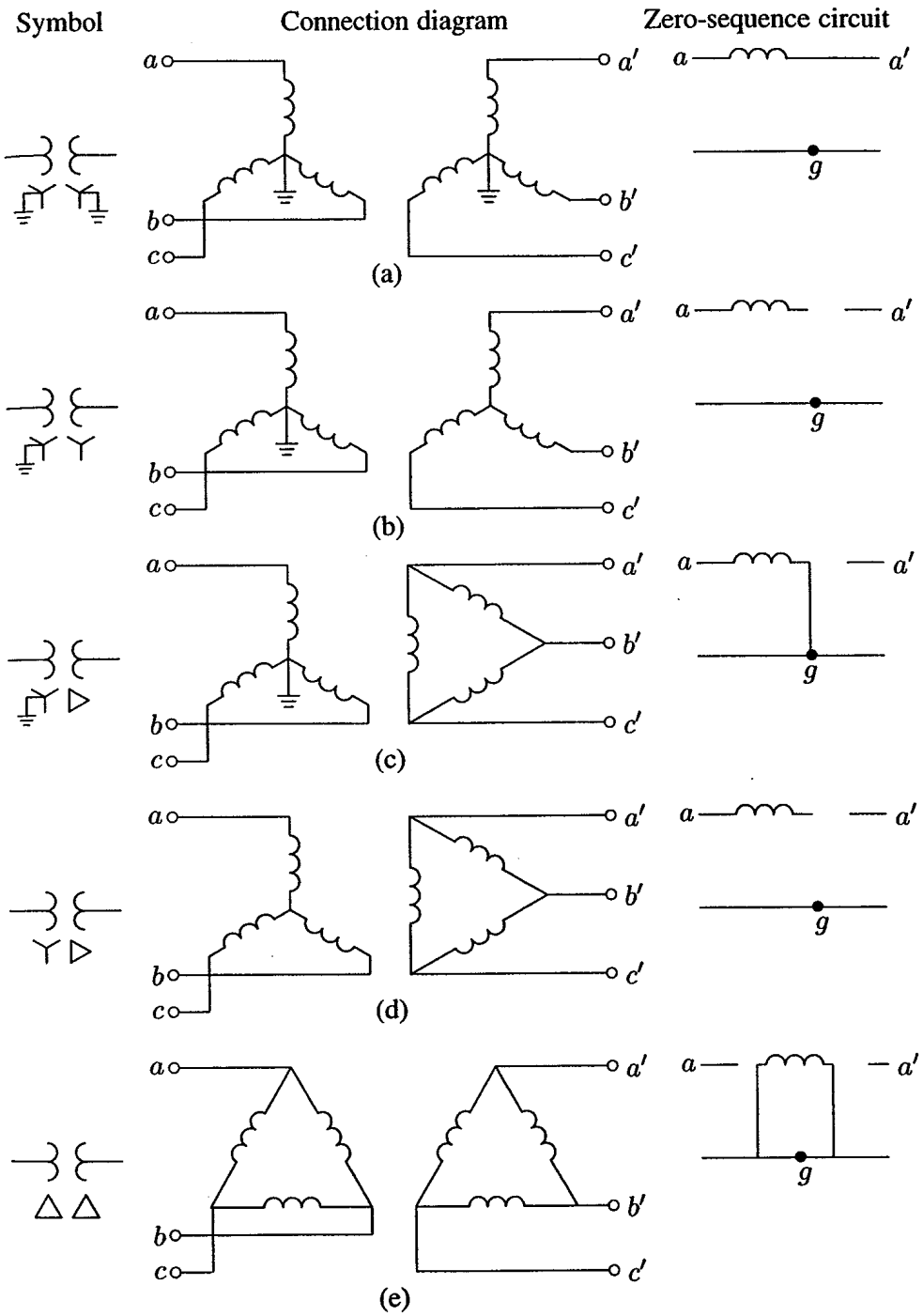
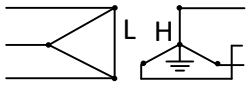
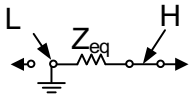
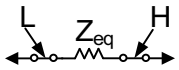
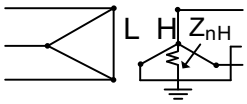
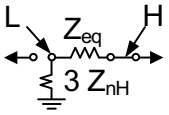
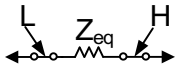
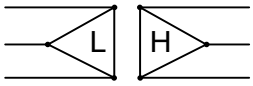
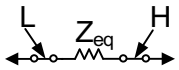
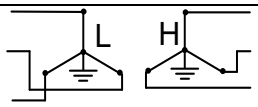
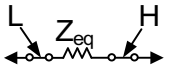
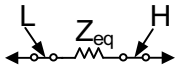
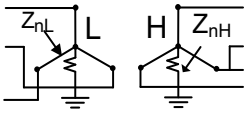
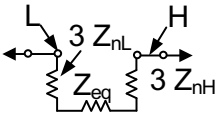
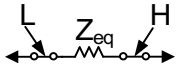
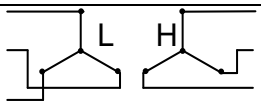
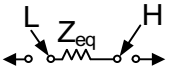
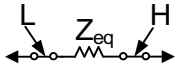
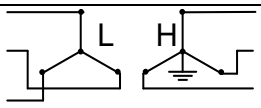
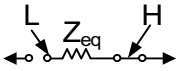
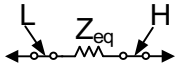
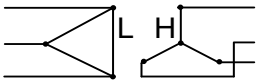
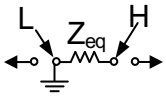
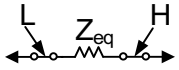
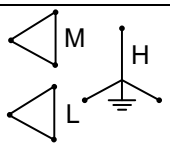
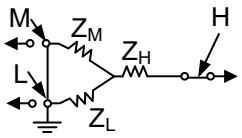
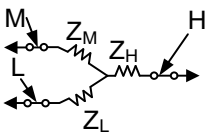
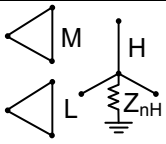
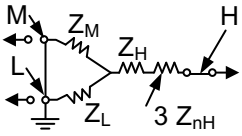
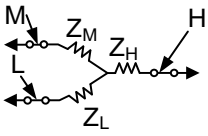
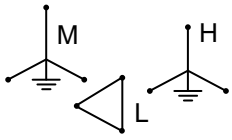
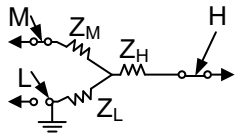
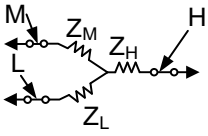


**Tabla de circuitos de secuencia positiva, negativa y cero para transformadores**

| Transformadores de dos devanados | | | |
|---|---|---|---|
| | Conexión trifásica | Circuito de secuencia cero | Secuencia positiva o negativa |
| a |  |  |  |
| b |  |  |  |
| c |  |  |  |
| d |  |  |  |
| e |  |  |  |
| f |  |  |  |
| g |  |  |  |
| h |  |  |  |
| | | | |
| **Transformadores de tres devanados** | | | |
| | Conexión trifásica | Circuito de secuencia cero | Secuencia positiva o negativa |
| a |  |  |  |
| b |  |  |  |
| c |  |  |  |

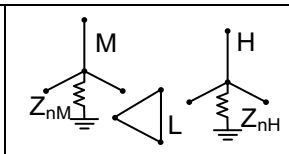
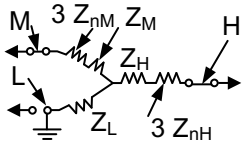
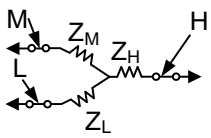
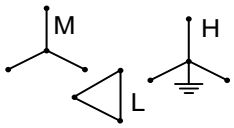
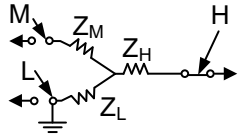
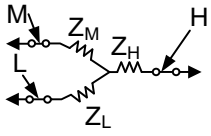
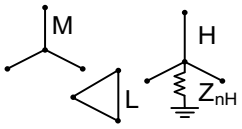
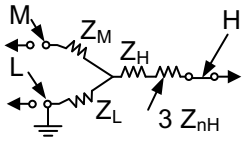
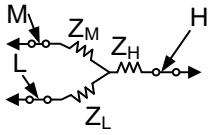
| | | | |
|---|---|---|---|
| d |  |  |  |
| e |  |  |  |
| f |  |  |  |

**Tabla de circuitos de secuencia positiva, negativa y cero para generadores**

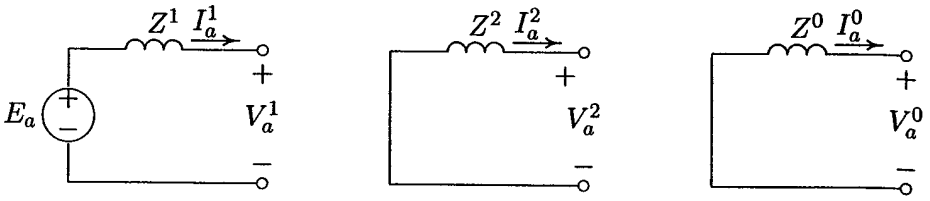
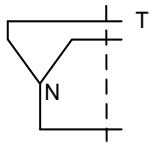
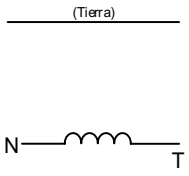
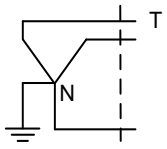
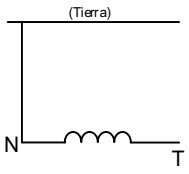
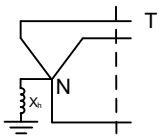
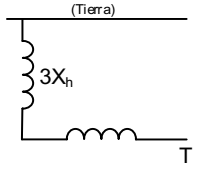



**Tabla de circuitos de secuencia cero para generadores**

| Circuitos de secuencia cero para generadores | |
|---|---|
| Conexión a tierra del neutro | Diagrama de secuencia cero |
|  Neutro aislado |  |
|  Neutro solamente conectado a tierra |  |
|  Neutro conectado a tierra a través de reactancia o resistencia |  |

# Óptica e iluminación

**Cantidades básicas en luminotecnia**

| Magnitud | Símbolos y relaciones | Unidad | Explicación |
|---|---|---|---|
| Intensidad luminosa | $I_\upsilon$ | Candela<br>cd | $I_\upsilon$ es una magnitud fundamental. |
| Ángulo sólido | $\Omega = \frac{A_s}{r_s^2}$ | estereorradián<br>$sr = \frac{1m^2}{1m^2}$ | $\Omega$ 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) | $\Phi_\upsilon = \Omega I_\upsilon$ | lumen<br>$lm = cd \cdot sr$ | $\Phi_\upsilon$ es el producto del ángulo sólido $\Omega$ y la intensidad luminosa. |
| Cantidad de luz (energía lumínica) | $Q_\upsilon = \Phi_\upsilon t$ | lumen-segundo<br>$lm \cdot s$ | $Q_\upsilon$ es el producto del flujo lumínico y el intervalo de tiempo. |
| Iluminación | $E_\upsilon = \frac{I_\upsilon \cos\alpha}{r^2}$ | lux<br>$l\chi = \frac{lm}{m^2}$ | $E_\upsilon$ es el coeficiente de flujo lumínico incidente y la superficie iluminada $A = A_k / \cos\alpha$ |
| Luminosidad (brillo) | $L_\upsilon = \frac{I_\upsilon}{A_1 \cos\varepsilon}$ | $\frac{cd}{m^2}$ | $L_\upsilon$ es la relación de la intensidad luminosa $I_\upsilon$ 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

$$\Phi_\upsilon = \frac{AE_\upsilon}{\eta}$$

Equivalente fotométrico de la radiación

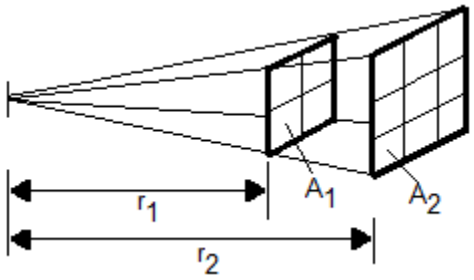
1 W = 680 lm a una longitud de onda de 0.555 μm

Definición de la unidad fundamental candela

Un radiador perfecto (cuerpo negro) con una superficie de $1/\left(6x10^5\right)m^2$ tiene a una temperatura de 2 043 K una intensidad luminosa de 1 candela.

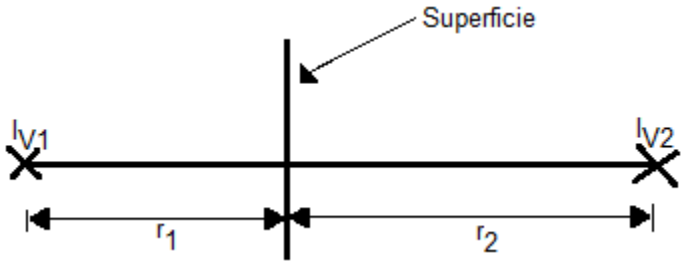
**Ley de la iluminación**

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:

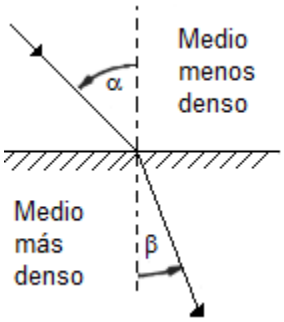



$$\frac{I_{\upsilon 1}}{I_{\upsilon 2}} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

Refracción de la luz

$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \text{constante para todo ángulo}$$

Cuando $sen\beta \geq \frac{n_b}{n_a}$, 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 |

| | | |
|---|---|---|
| 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 |
| Piscina | 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 preenfoque |
| 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 ($\phi$) 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

## Cálculo de instalaciones de alumbrado

Debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la iluminaciónde vías públicas (deslumbramiento, características de los pavimentos, condiciones meteorológicas, etc.) y en la percepción de estas, el cálculo del alumbrado público ha sido siempre una tarea muy compleja.

Por ello, en un principio los cálculos se enfocaron a determinar unas condiciones de iluminancia sobre la calzada que proporcionaran una buena visibilidad dentro de los márgenes establecidos por los organismos competentes.

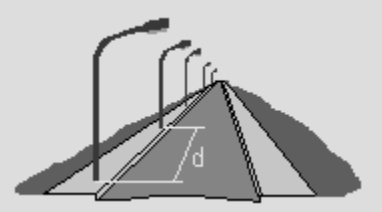
A medida que se fue desarrollando la informática y aumentaron las capacidades de procesamiento de datos, los cálculos se fueron orientando hacia la determinación de luminancias. Esto no hubiera sido posible sin la existencia de ordenadores que permiten ejecutar y aplicar los métodos de cálculo numérico en un tiempo razonable.

Así pues, podemos agrupar los métodos en:

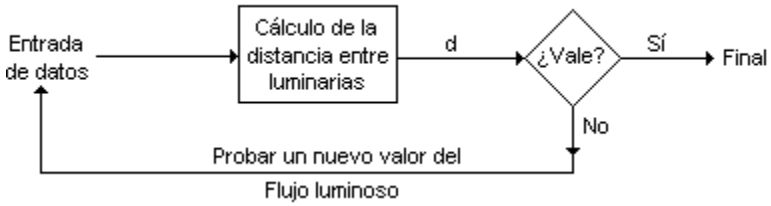
- Cálculo de iluminancias
  - Método de los lúmenes o del factor de utilización
  - Métodos numéricos. El método de los nueve puntos
- Cálculo de luminancias
  - Método de los lúmenes o del factor de utilización

Método de los lúmenes o del factor de utilización

La finalidad de este método es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias que garantice un nivel de iluminancia medio determinado. Mediante un proceso iterativo, sencillo y práctico, se consiguen unos valores que aunque no son muy precisos, sí sirven de referencia para empezar a aplicar otros métodos.




El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:




**Datos de entrada**

- Determinar el nivel de iluminancia media (Em). Este valor depende de las características y clase de pavimento, clase de vía, intensidad del tráfico, etc. Como valores orientativos podemos usar:

| Tipo de vía | Iluminancia media (lx) | Luminancia media (cd/m2) |
|---|---|---|
| A | 35 | 2 |
| B | 35 | 2 |
| C | 30 | 1.9 |
| D | 28 | 1.7 |
| E | 25 | 1.4 |

- Escoger el tipo de lámpara (vapor de mercurio, sodio...) y la altura de montaje necesarias sin exceder el flujo máximo recomendado en cada intervalo.

| Flujo de la lámpara (lm) | Altura (m) |
|---|---|
| $3\,000 \leq \Phi_L < 10\,000$ | $6 \leq H < 8$ |
| $10\,000 \leq \Phi_L < 20\,000$ | $8 \leq H < 10$ |
| $20\,000 \leq \Phi_L < 40\,000$ | $10 \leq H < 12$ |
| $\geq 40\,000$ | $\geq 12$ |

- Elegir la disposición de luminarias más adecuada según la relación entre la anchura de la calzada y la altura de las luminarias

| Disposición | Relación anchura/altura |
|---|---|
| Unilateral | ≤ 1 |

| | |
|---|---|
| Tresbolillo | 1 < A/H ≤1.5 |
| Pareada | > 1.5 |

- Determinar el factor de matenimiento ($f_m$) dependiendo de las características de la zona (contaminación, tráfico, mantenimiento...). Normalmente esto es difícil de evaluar y se recomienda tomar un valor no superior a 0.8 (habitualmente 0.7).

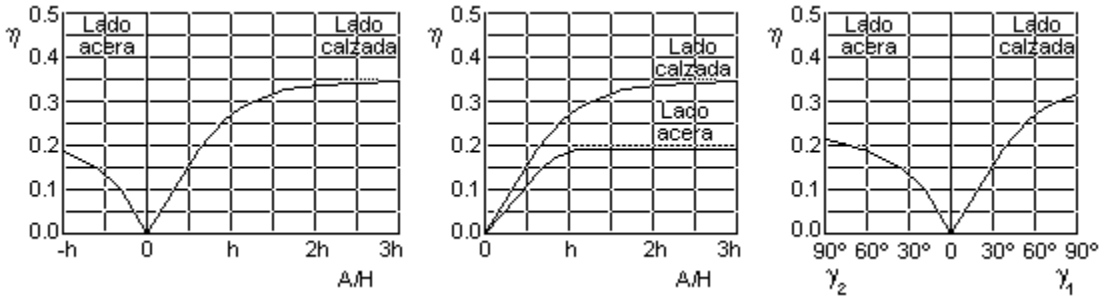
| Características de la vía | Luminaria abierta | Luminaria cerrada |
|---|---|---|
| Limpia | 0.75 | 0.80 |
| Media | 0.68 | 0.70 |
| Sucia | 0.65 | 0.68 |

- Calcular el factor de utilización ($\eta$)

El **factor de utilización** es una medida del rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y se define como el cociente entre el flujo útil, el que llega a la calzada, y el emitido por la lámpara.

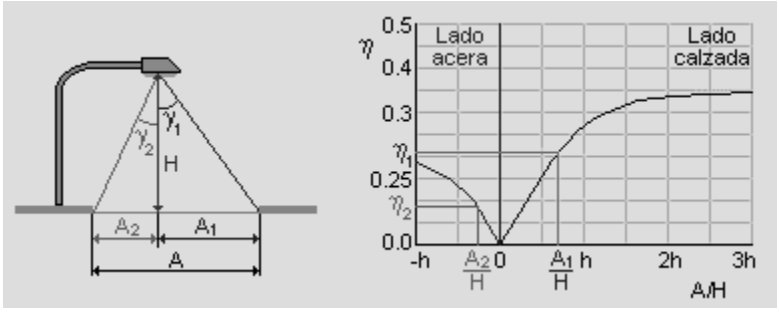
$$\eta = \frac{\Phi_{útil}}{\Phi_L}$$

Normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas podemos encontrarlas en función del cociente anchura de la calle/altura (A/H), la más habitual, o de los ángulos $\gamma_1$, $\gamma_2$en el lado calzada y acera respectivamente.




Curvas del factor de utilización

De los gráficos se puede observar que hay dos valores posibles, uno para el lado acera y otro para el lado calzada, que se obtienen de las curvas.




$A = A_1 + A_2$

$\eta = \eta_1 + \eta_2$

Por tanto, para obtener el factor de utilización total de la sección transversal de la calle habrá que sumar los coeficientes del lado acera y del lado calzada, aunque en otros casos la cosa puede ser diferente.

## Cálculo de la separación entre luminarias

Una vez fijados los datos de entrada, podemos proceder al cálculo de la separación (d) entre las luminarias utilizando la expresión de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

donde:

- Em es la iluminancia media sobre la calzada que queremos conseguir.
- es el factor de utilización de la instalación.
- $f_m$ es el factor de mantenimiento.
- es el flujo luminoso de la lámpara.
- A es la anchura a iluminar de la calzada que en disposición bilateral pareada es la mitad (A/2)y toda (A) en disposiciones unilateral y tresbolillo.

| | |
|---|---|
| **Unilateral o tresbolillo** | A |
| **Bilateral** | A/2 |

son datos conocidos y

- d es la separación entre las luminarias y la incógnita a resolver.

**Métodos numéricos**

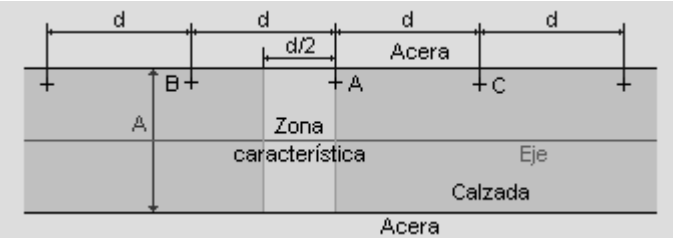
Los métodos numéricos se basan en la idea de que no es preciso calcular la iluminancia en todos los puntos de la calzada para tener una idea exacta de la distribución luminosa, sino que basta con hacerlo en unos cuantos puntos representativos llamados nodos. Para ello, dividiremos la zona a estudiar en pequeñas parcelas llamadas dominios, cada una con su correspondiente nodo, en las cuales supondremos la iluminancia uniforme. La iluminancia total de la calzada se calculará como una media ponderada de las iluminancias de cada dominio

El número de particiones que hagamos dependerá de la precisión que queramos obtener. En nuestro caso trabajaremos con el criterio de los nueve puntos que es el más sencillo, aunque la mecánica de trabajo es la misma siempre independientemente del número de dominios que tengamos.

Los métodos numéricos son herramientas de cálculo muy potentes pero que requieren mucho tiempo para su ejecución. Por ello es imprescindible el concurso de ordenadores para aplicarlos.

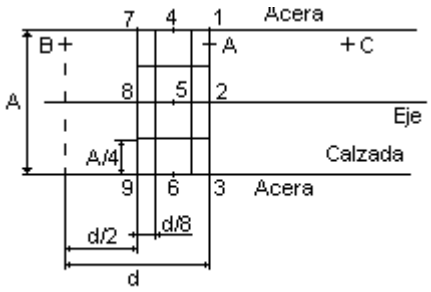
Método de los nueve puntos

Supongamos un tramo de vía recta con disposición unilateral de las luminarias y separadas una distancia d.



Debido a las simetrías existentes en la figura, bastará con calcular las iluminancias en la zona señalada. En el resto de la calzada estos valores se irán repitiendo periódicamente.

Para hacer los cálculos, la zona se divide en nueve dominios con otros tantos puntos.




Distribución de puntos en una disposición unilateral

El valor medio de las iluminancias será para este caso:

$$E_m = \frac{E_1 \cdot S_1 + E_2 \cdot S_2 + \ldots + E_9 \cdot S_9}{S_1 + S_2 + \ldots + S_9} = \frac{\sum_{i=1}^{9} E_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^{9} S_i}$$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

con:

$$S_1 = S_3 = S_7 = S_9 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{32} = S_1$$

$$S_2 = S_8 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

$$S_5 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{8} = 4S_1$$

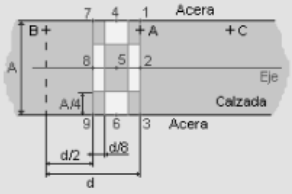
Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de Em es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

Para calcular las iluminancias sobre cada nodo sólo consideraremos la contribución de las luminarias más próximas despreciándose el resto por tener una influencia pequeña.

La iluminancia en cada punto vale entonces:

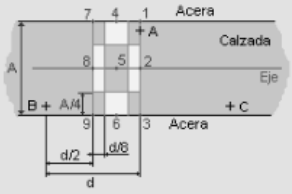
$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$



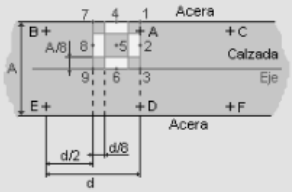
Distribución de puntos en una disposición unilateral

$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$



Distribución de puntos en una disposición tresbolillo

$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$



Distribución de puntos en una disposición bilateral

$E_i = E_{iA} + E_{iB} + EiC + E_{iD} + E_{iE} + E_{iF}$

Además de $E_m$ podemos calcular los coeficientes de uniformidad media y extrema de las iluminancias

Uniformidad media = $E_{min} / E_m$
Uniformidad extrema = $E_{min} / E_{max}$

Para calcular las iluminancias podemos proceder de dos maneras:

En primer lugar, podemos calcularlas usando la fórmula:

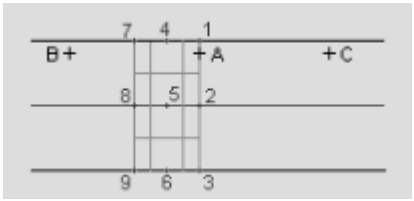
$$E_i = \frac{I(C,\gamma)}{H^2} \cdot cos^3\gamma_i$$

donde I se puede obtener de los gráficos polares o de la matriz de intensidades.

La otra posibilidad es recurrir a un método gráfico. En él, los valores de las iluminancias se obtienen por lectura directa de las curvas isolux. Para ello necesitaremos:

1. Las curvas isolux de la luminaria (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias)
2. La planta de la calle dibujada en la misma escala que la curva isolux.
3. Una tabla para apuntar los valores leídos.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada.



A continuación, se superpone sucesivamente la curva isolux sobre el plano de manera que su orígen quede situado sobre la luminaria y los ejes estén correctamente orientados (0-180º paralelo al eje de la calzada y 90º-270º perpendicular al mismo). Se leen los valores de la luminancia en cada punto y se apuntan en la tabla. a continuación, se suman los valores relativos para cada punto y se calculan los valores reales. Finalmente calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad media y extrema.

**La temperatura de color de la luz**

Los grados Kelvin (K) determinan si una luz es cálida o fría.



**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<br>Normal<br>preciso<br>Muy preciso | 80<br>160<br>300<br>600 | 100<br>400<br>1 000<br>4 000 | 20<br>40<br>80<br>300 |
| Habitaciones en que el alumbrado es | Débil<br>Moderado<br>Brillante | 40<br>80<br>150 | | |
| Alumbrado público, en sitios con tránsito | Escaso<br>Mediano<br>Intenso<br>Muy intenso | 5<br>10<br>20<br>40 | | |
| Patios de fábricas, con tránsito | Ligero<br>pesado | 5<br>20 | | |

**Eficacia de iluminación** $\eta$

| 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 $\phi_v$ (kilolúmenes, klm)

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lámparas incandescentes de tipo normal (al voltaje de 220 V) | $P_{el}$ | W | 15 | 25 | 40 | 60 | 75 | 100 |
| | $\phi_v$ | klm | 0.12 | 0.23 | 0.43 | 0.73 | 0.96 | 1.38 |
| | $P_{el}$ | W | 150 | 200 | 300 | 500 | 1 000 | 2 000 |
| | $\phi_v$ | 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 | |
| | $\phi_v$ | 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 |
| | $\phi_v$ | klm | 5.6 | 12 | 21 | 37 | 52 | 125 |

$P_{el}$. Potencia eléctrica [W]

1 W/(m K) = 0.8598 kcal/(h m °C)
1 kJ/(kg K) = 0.2388 kcal/(kg °C) = 102 kgf m/(kg °C)

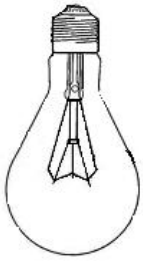
Para t = 20 °C
Para t = 0 °C
Para t = -20 °C
Para t = 4 °C

**Magnitudes luminosas**

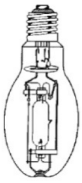
| Magnitud | Símbolo | Definición | Unidad | Fórmula |
|---|---|---|---|---|
| Flujo luminoso | $\phi$ | Potencia o caudal de energía luminosa emitida por una fuente de luz (visible) | Lumen (Lm) | $\phi = \frac{Q}{t}$ |
| Cantidad de luz | Q | Producto del flujo luminoso por su duración Flujo luminoso por una fuente de luz | Lumen·segundo (lm·s) | $Q = \phi t$ |
| Intensidad luminosa | I | Coeficiente 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 | $\omega$ | 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 | $\varepsilon$ | 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 |

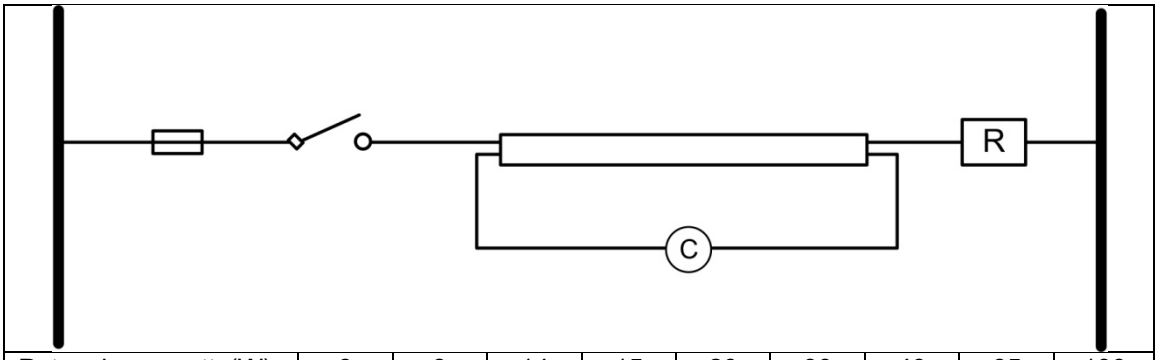
| Lámparas con filamento de tungsteno | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Forma | Potencia W | a 125 V | | a 220 V | | Dimensiones | | Tipo de casquillo |
| | | ø(lm) | lm/W | ø(lm) | lm/W | L | ø | |
| Estándar  | 10 | 80 | 8 | 70 | 7 | 105 | 60 | E-27 |
| | 15 | 140 | 9 | 125 | 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 |

**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<br>80<br>125<br>250<br>400<br>700<br>1 000<br>2 000 | 1 800<br>3 500<br>5 600<br>12 000<br>21 000<br>37 000<br>52 000<br>125 000 | 36<br>43.5<br>45<br>48<br>52.5<br>53<br>52<br>62.5 | 130<br>157<br>186<br>227<br>290<br>330<br>410<br>445 | 55<br>70<br>75<br>90<br>120<br>140<br>165<br>185 | E-27<br>E-27<br>E-27 o E-40<br>E-40<br>E-40<br>E-40<br>E-40<br>E-40 |
| | Color corregido con vanadio de itrio | 50<br>80<br>125<br>250<br>400<br>700<br>100 | 2 000<br>3 800<br>6 300<br>13 500<br>23 000<br>42 500<br>60 000 | 40<br>47.5<br>50.5<br>54<br>57.5<br>60.5<br>60 | 130<br>157<br>177<br>227<br>290<br>330<br>400 | 55<br>70<br>75<br>90<br>120<br>140<br>165 | E-27<br>E-27<br>E-27<br>E-40<br>E-40<br>E-40<br>E-40 |
| | Sin corrección de color | 250<br>400<br>1 000<br>2 000 | 11 500<br>21 000<br>52 000<br>11 800 | 46<br>52.5<br>52<br>59 | 256<br>313<br>282<br>172 | 49<br>49<br>68<br>85 | E-40<br>E-40<br>E-40<br>E-40 |
| Lámparas de vapor de sodio | | | | | | | |
| | Baja presión | 35<br>55<br>90<br>135<br>80 | 4 650<br>7 700<br>12 700<br>21 500<br>33 000 | 133<br>425<br>528<br>775<br>1120 | 310<br>425<br>528<br>775<br>1120 | 54<br>54<br>68<br>68<br>68 | B-22<br>B-22<br>B-22<br>B-22<br>B-22 |
| | Alta presión | 250<br>400<br>1 000 | 23 000<br>43 000<br>120 000 | 92<br>107.5<br>120 | 227<br>290<br>400 | 90<br>120<br>165 | E-40<br>E-40<br>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 |

Capacidad de condensadores en μf para un cos φ = 0.9±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 | | | | |

# Descripción de los números ANSI/IEEE

| Núm. 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 Nº 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.<br>**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. |
| 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.<br>**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.<br>**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. |
| 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 | **Contactor 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. |
| 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. |
| 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.<br>**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. |
| 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 | **Contactor 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 telemedida 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. |
| 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. |

# Anexos

## *Extracto de la CFE J1000-50 Torres para líneas de transmisión y subtransmisión*

5. Características y condiciones generales

Las unidades de medida utilizadas en esta especificación deben cumplir con la norma NOM-008-SCFI-2008.

5.1 Nomenclatura

Los diferentes tipos de torres de transmisión y subtransmisión, se clasifican e identifican por su nomenclatura, la cual está constituida por caracteres alfa numéricos conforme a lo siguiente:

5.1.1 Primer dígito Indica la tensión de operación:

a) Para 400 kV
b) Para (230, 161 y 138) kV
c) Para 115 kV
d) 8 Para 85 kV
e) Para 69 kV

5.1.2 Segundo dígito Indica el uso de la estructura:

a) A = Suspensión claros cortos
b) B = Suspensión claros medios
c) C = Suspensión claros largos
d) X = Deflexión hasta 30 °
e) Y = Deflexión hasta 90 °
f) R = Remate hasta 45 º
g) T = Transposición
h) S = Transición
i) G = CT (Suspensión claros largos y transposición)
j) W = YR (Deflexión y remate)
k) Z = XYR (Deflexiones y remate)

5.1.3 Tercer dígito Indica el número de circuitos de la estructura.

5.1.4 Cuarto dígito Indica el número de conductores por fase.

5.1.5 Quinto dígito Corresponde a la velocidad de viento regional para un periodo de retorno de 50 años:

a) E = Velocidad de viento regional de 120 km/h.
b) F = Velocidad de viento regional de 140 km/h.
c) G = Velocidad de viento regional de 160 km/h.
d) H = Velocidad de viento regional de 180 km/h.
e) I = Velocidad de viento regional de 200 km/h.

5.1.6 Sexto Dígito Colocar la letra “R” al final de su nomenclatura, únicamente cuando se trate de torres con retenidas.

5.1.7 Por tensión eléctrica múltiple

Cuando se trate de torres con tensión eléctrica múltiple. En su clasificación, se deben utilizar los caracteres numéricos de 5.1.1 a 5.1.4 agrupándolos de mayor a menor tensión eléctrica, separados por un guión.

*Extracto de la CFE V5100-15 Interruptores de potencia para media tensión de 15 kV a 38 kV*

5. Características y condiciones generales

**5.1 Especificaciones**

Los interruptores cubiertos por esta especificación, deben cumplir con una vida útil esperada de al menos 30 años y con las características y condiciones generales de fabricación, pruebas, acabado, empaque y embarque de cada uno de los interruptores solicitados que a continuación se describen:

Interruptor(es) con sus cámaras o unidades de interrupción, aisladores soporte, mecanismo de operación, boquillas, barras y conectador, transformadores de corriente, gabinete (es) accesorios y dispositivos auxiliares de acuerdo con esta especificación, incluyendo los bastidores o bases soporte metálicas.

Control de calidad, incluyendo pruebas prototipo, de rutina y de aceptación.

Empaque y embarque.

Planos aprobados por el área solicitante.

Libro de instrucciones que incluya como mínimo almacenamiento, traslado, montaje, puesta a punto y puesta en servicio, operación y mantenimiento, en idioma español.

Partes de repuesto (adquisición opcional).

Herramientas especiales (si se requiere).

Servicios de supervisión de montaje y puesta en servicio (opcional).

Capacitación (opcional).

**NOTA: Se recomienda que los interruptores cumplan con lo indicado en el Apéndice A y la norma descrita en el Apéndice D, inciso D.1.**

Tipo de servicio

Los interruptores son para servicio intemperie, para ser conectados a sistemas eléctricos de distribución, tomando en consideración las condiciones de servicio normales.

Número de polos

Los interruptores deben ser tripulares, contenidos en un solo gabinete.

Medio de extinción

El medio de extinción del arco eléctrico, debe ser vacío.

Medio de aislamiento

El medio de aislamiento es en aire.

Frecuencia

Los interruptores se deben diseñar para operar a 60 Hz.

Tensiones nominales y valores de pruebas dieléctricas

La tensión nominal de los interruptores y los valores de pruebas dieléctricas se indican en la tabla 1.

Tabla 1 - Niveles de aislamiento

| Tensión nominal del interruptor kV (eficaz) | Tensión de aguante al impulso por rayo, 1.2 / 50 µs kV (cresta) | Tensión de aguante a 60 Hz kV (eficaz)* | |
|---|---|---|---|
| | | Seco 1 min | Húmedo10 s |
| 15 | 110 | 50 | 45 |
| 25.8 | 150 | 70 | 60 |
| 38 | 200 | 95 | 80 |

**NOTA: Valores indicados bajo condiciones atmosféricas normalizadas (0.101 3 MPa, 20 °C, 11 g /m ). Para el aislamiento interno de las cámaras de interrupción, las características dieléctricas son idénticas a cualquier altitud y no se debehacer ninguna consideración especial.**

Corrientes nominales y corrientes de interrupción

**Corriente nominal**

Es la corriente en valor eficaz que el interruptor es capaz de conducir continuamente a la frecuencia nominal, sin sufrir deterioro y sin exceder los valores de elevación de temperatura que soportan las diferentes partes y componentes, de acuerdo a la norma descrita en el Apéndice D, inciso D.1.

La corriente nominal de los interruptores se debe seleccionar de los valores indicados en la tabla 2 de esta especificación.

Corriente nominal de interrupción de cortocircuito

Es la corriente de cortocircuito dada por el valor eficaz simétrico de su componente de corriente alterna, asociada con una componente de corriente directa, como lo establece la norma descrita en el Apéndice D, inciso D.1.

Los valores nominales de la corriente simétrica de cortocircuito, para los interruptores se deben seleccionar de los indicados en la tabla 2 de esta especificación.

Corriente nominal de aguante de corta duración

Esta corriente es la que el interruptor es capaz de conducir en posición de cerrado durante 3 s, con un valor igual al de la corriente de interrupción de cortocircuito.

Valor cresta de la corriente nominal de aguante de corta duración

Todos los interruptores deben cerrar sin sufrir daños ni deformaciones permanentes, con una corriente (valor cresta) de cortocircuito a tensión nominal, cuyo valor cresta debe ser como mínimo 2.6 veces el valor eficaz de la corriente de interrupción de cortocircuito.

Maniobra de corrientes en oposición de fases

En oposición de fases, los interruptores deben ser capaces de interrumpir el 25 % de los valores de la corriente de interrupción de corto circuito, bajo las condiciones de uso y comportamiento descritas en la norma del Apéndice D,inciso D.1.

Maniobra de corrientes capacitivas

Los interruptores para propósito general deben ser clase C1 y los interruptores que deben ser utilizados para maniobra de bancos de capacitores deben ser clase C2 de acuerdo con el capítulo de definiciones. Los valores de prueba para corrientes de líneas en vacío, corrientes de cables en vacío y corrientes de bancos de capacitores deben ser los indicados en la tabla 2 de esta especificación.

**NOTA: Para mayor información referente a la maniobra de corriente capacitvas, se recomienda consultar el documentoindicado en el Apéndice D, inciso D.1.**

Tabla 2 - Corrientes nominales, de interrupción de corto circuito y corrientes capacitivas

| Tensión nominal del interruptor kV | Corriente nominal A | Corriente interruptiva de cortocircuito nominal kA | Corriente de maniobra de líneasen vacío A | Corriente de maniobra de cablesen vacío A | Corriente de maniobrade banco de capacitores A |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 1 250<br>2 000 | 25, 31.5 y 40 | 10 | 25 | 400 |
| 25.8 | 1 250<br>2 000 | 25, 31.5 y 40 | 10 | 31.5 | 400 |
| 38 | 1 250<br>2 000 | 25 , 31.5 y 40 | 10 | 50 | 400 |

**Tiempo de interrupción**

El tiempo de interrupción no debe ser mayor a 60 ms.

Tiempo de cierre

El tiempo de cierre no debe ser mayor a 100 ms.

Nivel de contaminación

Las boquillas deben pasar las pruebas de contaminación indicadas en NMX-J-561-ANCE, con valores de salinidad de 14 kg/m$^3$ para áreas normales y 40 kg/m$^3$ para áreas contaminadas. Si el usuario adicionalmente requiere la distancia de fuga superior, debe indicarlo en el Apéndice A **Características Particulares**, de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3 - Distancia de fuga y nivel de contaminación

| Nivel de contaminación | Distancia de fuga especifica mínima mm / kV f-f (véase norma NMX-J-561-ANCE) | Concentración de contaminación, método de niebla salina 3 kg/m mínimo |
|---|---|---|
| Media | 20 | 14 |
| Alto | 25 | 40 |
| Extra Alto | 31 | |

*Extracto del IEEE Std C37 230 2007 Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines*

7.4 Reconexión (función 79)

Los relés de reconexión vuelven a cerrar automáticamente los disyuntores después de dispararse mediante relés de detección de fallas. Se aplica el reenganche automático porque la mayoría de las fallas en los sistemas de distribución aérea son de naturaleza temporal.

Estas fallas pueden ser causadas por factores tales como descargas disruptivas del aislador inducidas por rayos, contacto de animales o árboles con la línea energizada, o por el viento que hace que los conductores se muevan juntos y produzcan descargas disruptivas. Estos alimentadores pueden restaurarse eficazmente después de desenergizar las fallas el tiempo suficiente para permitir que el arco de falla se desionice. Los elementos de reconexión reconectan automáticamente los interruptores del alimentador para intentar restaurar el alimentador después de estas fallas temporales.

El reenganche se aplica casi universalmente en interruptores de alimentación de distribución aérea y, a menudo, se aplica en circuitos con algunas secciones subterráneas. El reenganche generalmente no se aplica en alimentadores sin exposición aérea, porque las fallas en alimentadores subterráneos son generalmente permanentes. La función de reconexión puede implementarse como parte de un sistema de relés numéricos o como un relé separado con entradas de los relés de detección / disparo de fallas.

Los relés de reenganche (o elementos de relé) iniciarán una secuencia de entre cero y tres intentos de cierre con demoras de tiempo configurables entre operaciones. Si la falla permanece a lo largo de la secuencia de reenganche, el relé de reenganche pasará al bloqueo y bloqueará los intentos de cierre posteriores. Sin embargo, si cualquier intento de reenganche tiene éxito (se borra la falla temporal), el relé de reenganche volverá a su estado inicial, después de un tiempo de reposición.

Las cuestiones relacionadas con el reenganche automático se discuten en las subcláusulas restantes. Se puede encontrar una discusión más detallada sobre problemas de reenganche automático en IEEE Std C37.104 ™ - 2002 [B46].

7.4.1 Inicio de reenganche

Un intento de reenganche solo debe iniciarse cuando el interruptor se ha abierto debido a una falla en el alimentador protegido. Esto generalmente se logra mediante el uso de un estado de interruptor abierto o una señal de inicio de recierre del relé o elemento de disparo por falla. Cuando se usa el estado del interruptor, el interruptor se volverá a cerrar si el interruptor de control está en automático. Si utiliza una señal de inicio de reconexión, el relé o elemento de reconexión buscará un estado de interruptor abierto (a menudo detectado con un contacto de estado de interruptor, como 52b) junto con la señal de inicio de reconexión. Los disparos manuales o de supervisión no deben iniciar intentos de reenganche. Los esquemas de protección más complejos pueden evitar el reenganche para ciertas condiciones de disparo, como un disparo por sobrecorriente instantáneo de ajuste alto, un disparo por falla multifásica o un disparo en un circuito de cable subterráneo.

7.4.2 Tiempo de eliminación de fallas

Un esquema de reconexión debe permitir suficiente tiempo para que el arco se desionice antes de iniciar el cierre del interruptor. Para las aplicaciones de distribución, la experiencia muestra que el tiempo de desionización será inferior a 11,5 ciclos (t =kV / 34,5 + 10,5). El tiempo de desionización será mayor si se aplica un disparo monopolar.

7.4.3 Intervalo de apertura y número de intentos

Los esquemas de reenganche generalmente incorporarán varios intentos de reenganche, con demoras de tiempo entre intentos. La velocidad y el número de reenganches están determinados por los servicios públicos individuales. Algunas utilidades pueden usar uno rápido y uno o dos intentos retardados. El primer intento de reenganche puede no tener un retraso de tiempo intencional) o tener un retraso de tiempo pequeño (<5 s). Los intentos posteriores de reenganche tendrán retrasos más prolongados, quizás de 15 sa 30 s.

7.4.4 Reconexión con faltas de baja magnitud

Las fallas de baja magnitud pueden tener tiempos de eliminación de fallas más largos que el tiempo de restablecimiento del relé de reconexión. Esto puede llevar a intentos de reenganche ilimitados por una falla permanente, ya que el relé de reenganche nunca llega al bloqueo. Esta situación se puede solucionar aplicando una función de espera de reinicio. La función de espera de reinicio detendrá el temporizador de reinicio cuando se recoja un elemento protector y el tiempo para el disparo. Esto evitará el reinicio no deseado durante una secuencia de falla, sin forzar tiempos de reinicio excesivamente largos. Otro método es habilitar las funciones de disparo rápido de sobrecorriente, en un esquema de ahorro de fusibles, justo antes de restablecer la función de reconexión.

*Extracto del IEEE Std. C57 152 2013 Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors*

**7.2.14.8 Mineral-oil-filled transformer power factor limits**

The most common insulating liquid for power transformers is mineral oil. As such, the primary insulating dielectrics within a transformer are mineral oil and mineral-oil-impregnated paper. This type of insulation system has a well documented PF history. Given that higher voltage transformers are subjected to higher electrical stresses, it is reasonable that they should have even lower PFs. As shown in Table 18, the normal in-service and new PF limit for mineral-oil-filled power transformers < 230 kV is 0.5% PF at 20 °C, and the normal and new limit for transformers ≥ 230 kV is 0.4%. To help reduce the risk of catastrophic failure,the limit for serviceability of all mineral-oil-filled transformers is 1.0% PF at 20 °C. PFs between 0.5% and 1.0% at 20 °C require additional testing and investigation to confirm that a problem is not worsening. In some rare cases, selection of lower quality materials used in transformer manufacturing can lead to PF measurements greater than those previously mentioned. In these cases, end users need to discuss with manufacturers acceptable PFs. Arbitrarily raising PF limits because materials are unknown is not recommended because this may mask a degrading transformer without cause.

Table 18 Nominal and serviceability service-aged limit: power transformer insulation power factor

| Insulating liquid | kV rating | Nominal/new powerfactor limit | Serviceabil ityaged limit |
|---|---|---|---|
| Mineral oil | < 230 kV | 0.5 | 1.0% |
| Mineral oil | ≥ 230 kV | 0.4 | 1.0% |
| Natural ester | All | 1.0 | 1.0% |
| NOTE—All PFs are corrected to 20 °C except for natural esters, which at this time of writing the guide had no published temperature correction curves. Future work is needed to address thisissue. | | | |

*Extracto del IEEE-1159 2019 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*

Tabla 2.2 Categorías y características típicas de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia

| Categories | Typical spectral content | Typical duration | Typical voltage magnitude |
|---|---|---|---|
| 1.0 Transients | | | |
| 1.1 Impulsive | | | |
| 1.1.1 Nanosecond | 5 ns rise | < 50 ns | |
| 1.1.2 Microsecond | 1 µs rise | 50 ns-1 ms | |
| 1.1.3 Millisecond | 0.1 ms rise | > 1 ms | |
| 1.2 Oscillatory | | | |
| 1.2.1 Low frequency | < 5 kHz | 0.3-50 ms | 0-4 p.u. |
| 1.2.2 Medium frequency | 5-500 kHz | 20 µs | 0-8 p.u. |
| 1.2.3 High frequency | 0.5-5 MHz | 5 µs | 0-4 p.u. |
| 2.0 Short duration variations | | | |
| 2.1 Instantaneous | | | |
| 2.1.1 Sag | | 0.5-30 cycles | 0.1-.9 p.u. |
| 2.1.2 Swell | | 0.5-30 cycles | 1.1-1.8 p.u. |
| 2.2 Momentary | | | |
| 2.2.1 Interruption | | 0.5 cycles-3 s | < 0.1 p.u. |
| 2.2.2 Sag | | 30 cycles-3 s | 0.1-0.9 p.u. |
| 2.2.3 Swell | | 30 cycles-3 s | 1.1–1.4 pu |
| 2.2.4 Voltage imbalance | | 30 cycles-3 s | 2%-15% |
| 2.3 Temporary | | | |
| 2.3.1 Interruption | | 3 s-1 min | < 0.1 p.u. |
| 2.3.2 Sag | | 3 s-1 min | 0.1–0.9 p.u. |
| 2.3.3 Swell | | 3 s-1 min | 1.1–1.2 p.u. |
| 2.3.4 Voltage imbalance | | 3 s-1 min | 2%-15% |
| 3.0 Long duration variations | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3.1 Interruption, sustained | | > 1 min | 0.0 p.u. |
| 3.2 Undervoltages | | > 1 min | 0.8–0.9 p.u. |
| 3.3 Overvoltages | | > 1 min | 1.1–1.2 p.u. |
| 3.4 Current overload | | > 1 min | |
| 4.0 Voltage imbalance | | | |
| 4.1 Voltage | | steady state | 0.5-5% |
| 4.2 Current | | steady state | 1.0-3% |
| 5.0 Waveform distortion | | | |
| 5.1 DC offset | | steady state | 0-0.1% |
| 5.2 Harmonics | 0–100th H | steady state | 0-20% |
| 5.3 Interharmonics | 0–6 kHz | steady state | 0-2% |
| 5.4 Notching | | steady state | |
| 5.5 Noise | broad-band | steady state | 0-1% |
| 6.0 Voltage fluctuations | < 25 Hz | intermittent | 0.1-7% 0.2-2 Pst b |
| 7.0 Power frequency variations | | < 10 s | ±0.10 Hz |

*Extracto del IEEE-1531 2003 Guide for Application and Specification of Harmonic Filters*

6.6 Harmonic filter design procedure

The purpose of this subclause is to illustrate the design process for harmonic filters in a systematic manner showing how the information from the previous subclauses is used. It is not intended that the method for harmonic simulations and modeling be detailed. Other references [e.g., IEEE Std 399-1997 (*IEEE Brown Book*)] provide adequate detail for modeling a power system and performing power frequency and harmonicanalysis. Instead, the subclause will focus on the conditions to consider when performing the studies and how the data are used to specify harmonic filtering equipment.

The design of a harmonic filter requires information about the power system and the environment in which the harmonic filter will be installed. This information includes system characteristics such as nominal sys- tem line-to-line voltage, typical equipment BIL for the system voltage level, and fundamental frequency. Environmental data such as ambient temperature, wind loading, etc., should be available. The owner shouldmake decisions, such as equipment location (indoor versus outdoor) and operating constraints, before the design begins, as these decisions will affect certain aspects of the design. A clear understanding of the equip-ment's current duty cycle and switching repetition rates is also important for the design.

Harmonic filter design requires basic information on the power system and the local harmonic generation. This information includes system configurations, impedance of system components (e.g., transformers, lines, sources, capacitors, harmonic filters, shunt reactors), nominal and maximum voltage, load power rat- ings and power factors, and harmonic generation. Harmonic measurements at the site are the most accurate means of getting harmonic information if the loads are already installed. If not, then the equipment manufac-turer should supply the harmonic characteristics.

6.6.1 Step 1: Determine harmonic filter bank kvar size

In addition to harmonic filtering, the filter equipment will provide the system with capacitive reactive power that will improve the power factor and help maintain voltage during heavy loads. The capacitive reactive power requirements for power factor and voltage control generally determine the “effective kvar” size of theharmonic filter. The effective kvar of the harmonic filter is always less than the nameplate kvar of the har- monic filter capacitor because of the subtractive effect of the filter reactor. The rated kvar is calculated in Step 4 of the design process (see 6.6.4).

Power flow programs are often used to determine the capacitive reactive power requirements. The factors that should be considered when performing these studies are explained in 4.1, 4.3, and 4.5. These factors aresummarized as

- Number of harmonic filter capacitor steps to be switched
- Range of system voltage variation
- Range of load variation
- Power system configurations—normal and contingency, existing and planned

6.6.2 Step 2: Select initial harmonic filter tuning

Based on the harmonic generation, an initial estimate of the harmonic filter tuning is made. The tuning is usually designed to reduce harmonic voltage and current distortion to meet specified harmonic performancecriteria. To meet this objective, the harmonic filter will typically be tuned to the lowest frequency of the most significant harmonics. For example, if the highest harmonic current levels were for the $5^{th}$ and $7^{th}$ harmonics, a single filter tuned near the $5^{th}$ harmonic may be sufficient for control of the distortion. Later evaluations with a harmonic analysis program may determine that other harmonic filters are required also.

Harmonic filters are not usually tuned to exact harmonic frequencies. Tuning directly to the harmonic fre- quency may have two undesirable consequences:

a) The low impedance at resonance can result in nearly all harmonic current at that frequency being absorbed by the harmonic filter. The harmonic filter is required to be larger and more expensive thanis needed to achieve the required harmonic performance.

b) The harmonic filter interaction with the system impedances results in a parallel resonance at a fre- quency just lower than the tuned frequency. If a harmonic filter is designed exactly at the harmonic frequency, a variation in the impedance values of the actual equipment from the design values couldretune the harmonic filter and place the parallel resonant frequency very close to the harmonic. Instead of low impedance, the combined harmonic filter-system impedance becomes resonant at the harmonic frequency, distortion levels become unacceptable, and damaging voltage amplification may result in severe cases. Changes in the system supply can shift the parallel resonance also. The most common mechanisms that cause a shift in the resonance are as follows:

   1) *Harmonic filter capacitor unit/element failure.* Externally and internally fused banks have fuses that operate when a unit or element shorts. The fuse operation, which reduces the total capacitance, increases the resonant frequency of the harmonic filter. On the other hand, shorted elements in a fuseless harmonic filter capacitor bank (or in an externally fused harmonic filter capacitor bank prior to fuse operation) are not removed from the circuit. The capacitance rises and the resonant frequency decreases.

   2) *Tolerances.* Manufacturing tolerances in both the harmonic filter reactors and the harmonic fil-ter capacitors, and capacitance change due to temperature variations in the capacitors.

   3) *System variations.* Power system configurations are not static.

      — The loss of one of two parallel transformers or of one of two supply feeders can weakenthe source and shift the parallel resonance to a lower frequency.

      — Routine maintenance can often result in a “weakening” of the source supplying theharmonic-producing load.

      — Portions of overhead circuits may be replaced with underground lines, and lines may berelocated.

      These changes will impact the impedance between the source and the load.

It is often advantageous to tune the harmonic filter to approximately 3% to 15% below the desired fre-quency. This tuning will provide for sufficient harmonic filtering, yet will also provide allowance for the detuning of the harmonic filter.

For some installations with multiple harmonic filters tuned at different frequencies, tuning individual har-monic filters below the harmonic frequency may not be advantageous. Harmonic filter performance across the entire harmonic frequency spectrum at the harmonic filter location under both normal and contingency conditions should be considered.

The reactance of the harmonic filter capacitor is determined by the var size of the harmonic filter. The induc-tive reactance is selected to create a series resonance with the harmonic filter capacitor at the tuned fre- quency. The series resonance provides a low impedance path to neutral for the harmonics of the system.

If the harmonic filter tuning is chosen to be slightly less than the harmonic frequency as suggested, the $h$ of Equation (22) will be noninteger. For example, $h$ will equal 4.7 for a $5^{th}$ harmonic filter tuned to 282 Hz on a 60 Hz system.

An alternative objective in harmonic filter tuning may be to avoid harmonics rather than reduce them. This alternative is sometimes used where the harmonic distortion levels are not critical, but the user

wants to avoid overloading the harmonic filter capacitor with harmonic currents and avoid creating a harmonic reso-nance in the power system. In this case, the harmonic filter is ungrounded (to avoid 3rd harmonic resonance with the system) and tuned below the 5th harmonic (i.e., 4.3rd or 4.7th) to avoid resonance at a characteristicharmonic (e.g., 5th, 7th).

6.6.3 Step 3: Optimize the harmonic filter configuration to meet harmonic guidelines

IEEE Std 519-1992 provides guidelines for harmonic distortion limits. The harmonic filter must limit both voltage and current distortion over a range of normal system configurations as well as abnormal conditions. The analysis can be done by hand calculations for simple systems. Usually, however, a harmonic simulationprogram is required to adequately assess each of the possible operating conditions over the frequency spec- trum of the harmonic loads. IEEE Std 519-1992 and IEEE Std 399-1997 provide guidance on performing therequired studies.

The harmonic studies will finalize the number of harmonic filters, harmonic filter tuning, and the location ofthe harmonic filters based on compliance with the harmonic guidelines. The factors that should be consid- ered when performing these studies are summarized as follows (see 4.3 through 4.7 for more information):

a) Number of harmonic filter steps to be switched
b) Outage of a harmonic filter, if more than one harmonic filter is used
c) Range of system voltage variation
d) Range of load variation
e) Power system configurations—normal and contingency
f) Detuning of the harmonic filter by changes in system frequency, range of component manufacturingtolerances, capacitance variation with severe temperatures, and harmonic filter capacitor unit outages
g) Characteristic and uncharacteristic harmonics
h) System background harmonics

If distortion levels are still too high, it may be because the addition of a harmonic filter has caused a new parallel resonance with the system near one of the lower frequency harmonics. In this case, a retuning of theharmonic filter to the lower harmonic frequency can sometimes be adequate. If it is not, then multiple-tunedharmonic filters may be needed.

The broadness of the tuning can be increased to account for capacitance and inductance deviations by increasing the filter kvar size.

Harmonic analysis can finalize the tuned frequency or frequencies and values of the capacitance(s), induc- tance(s), and resistance(s) (if needed). Allowable tolerances for capacitance, inductance, and resistance maybe established. The $Q$ ($X/R$ ratio) of the harmonic filter reactor at the tuned frequency and the steady-state energy dissipation requirements for the harmonic filter resistors can be determined by the analysis.

An outcome of the analysis will be harmonic spectra for voltage across and the current through each filter component (e.g., capacitor, inductor). A typical harmonic spectrum includes the fundamental and all signifi- cant harmonic frequencies. Spectra for normal and contingency conditions are usually included in the results.

6.6.4 Step 4: Determine the component ratings

Once the harmonic filter performance is optimized, the component ratings are determined. The process is sometimes an iterative one requiring adjustments to the harmonic filter design if component standards can- not be met.

Harmonic filter capacitor ratings are usually the first to be determined followed by harmonic filter reactor, harmonic filter resistor, and switch ratings. The harmonic duties used in the rating process should be the highest values determined from Step 3 (see 6.6.3).

Transient simulations may also be desirable to determine component ratings for some harmonic filter designs, particularly where harmonic filters tuned to different frequencies will be connected to the same bus.The effect of transformer energizing is also evaluated in transient simulations.

*Extracto de la NEMA MG1 Motors and Generators 2009. National Electrical Manufactures Association*

Tests and performance

20.8 Temperatura rise

The observable temperature rise under rated-load conditions of each of the various parts of the induction machine, above the temperature of the cooling air, shall not exceed the values given in the following tables. The temperature of the cooling air (see exception in 20.8.3) is the temparature of the external air as it enters the ventilating openings of the machine, and the temperature rises given in the tables are based on a maximum temperature of 40 °C for this external air. Tempearures shall be determined in accordance with IEEE Std. 112.

20.8.1 Machines with a 1.0 service factor at rated load

| | | | **Temperature rise, degrees C** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Class of insulation system** | | | |
| **Item** | **Machine part** | **Method od temperature determination** | **A** | **B** | **F** | **H** |
| a | Insulated windings | | | | | |
| | 1. All horsepower (kW) ratings | Resistance | 60 | 80 | 105 | 125 |
| | 2. 1 500 horsepower and less | Embedded detector* | 70 | 90 | 115 | 140 |
| | 3. Over 1 500 horsepower (1 120 kW)<br>a) 7 000 volts and less<br>b) Over 7 000 volts | <br>Embedded detector*<br>Embedded detector* | <br>65<br>60 | <br>85<br>80 | <br>110<br>105 | <br>135<br>125 |
| b | The temperatures attained by cores, squirrel-cage windings, collector rings, and miscellaneous parts (such as brushholders and brushes, etc.) shall not injure the insulation of the machine in any respect. | | | | | |

La temperatura de los devanados es un factor de selección del tipo de aislamiento en función de la temperatura máxima y el Incremento máximo de esta especificando las siguientes Clases.

Clase A 105 °C., con un incremento máximo 65 ºC.
Clase B 130 °C., con un incremento máximo 90 ºC.
Clase E 120 °C, con un incremento máximo 80 ºC.
Clase F 155 °C., con un incremento máximo 115 ºC.
Clase H 180 °C., con un incremento máximo 140 ºC.
Clase N 200 °C., con un incremento máximo 160 ºC.

AEMT Members supply Insulation for the Electrical Industries

The AEMT is a trades association for the electrical and mechanical industries. We have many members who supply the trade with electrical insulation tapes, varnishes, and resins.

Class A

Class A insulation consists of materials such as cotton, silk and paper when suitably impregnated or coated or when immersed in a dielectric liquid such as oil. Other materials or combinations of materials may be included in this class if by experience or tests they can be shown to be capable of operation at the Class A temperature.

*Maximum allowed temperature: (IEC60034-1 & NEMA MG1-12.43): 105 °C, 221 °F.*

Class B

Class B insulation consists of materials or combinations of materials such as mica, glass fibre, asbestos, etc., with suitable bonding, impregnating or coating substances (beware a few older applications used asbestos). Other materials or combination of materials, not necessarily inorganic, may be included in this class, if by experience or tests they can be shown to be capable of operation at the class B temperature.

*Maximum allowed temperature: (IEC60034-1 & NEMA MG1-12.43): 130 °C, 266 °F.*

Class C

Class C insulation consists of materials or combinations of materials such as mica, porcelain, glass, quartz with or without an inorganic binder (beware a few older applications used asbestos). Other materials or combinations of materials may be included in this class, if by experience or tests they can be shown to be capable of operation at temperatures above the Class H limit. Specific materials or combinations of materials in this class will have a temperature limit, which is dependent upon their physical, chemical and electrical properties.

*Maximum allowed temperature: (IEC60034-1 only): >180 °C, 356 °F.*

Class E

Class E insulation consists of materials or combinations of materials, which by experience or tests can be shown to be capable of operation at Class E temperature (materials possessing a degree of thermal stability allowing them to be operated at a temperature 15 Centigrade degrees higher than Class A materials).

*Maximum allowed temperature: (IEC60034-1 only): 120 °C, 248 °F.*

Class F

Class F insulation consists of materials or combinations of materials such as mica, glass fibre, asbestos, etc., with suitable bonding, impregnating or coating substances, as well as other materials or combinations of materials, not necessarily inorganic, which by experience or tests can be shown to be capable of operation at the Class F temperature (materials possessing a degree of thermal stability allowing them to be operated at a temperature 25 Centigrade degrees higher than Class B materials).

Maximum allowed temperature: (IEC60034-1 & NEMA MG1-12.43): 155 °C, 311 °F.

Class H

Class H insulation consists of materials such as silicone elastomer and combinations of materials such as mica, glass fibre, asbestos etc., with suitable bonding, impregnating or coating substances such as appropriate silicone resins. Other materials or combinations of materials may be included in this class if by experience or tests they can be shown to be capable of operation at the Class H temperature.

*Maximum allowed temperature: (IEC60034-1 & NEMA MG1-12.43): 180 °C, 356 °F.*

*Extracto de la NMX-J-098-ANCE-2014*

**Tensiones eléctricas normalizadas**

4. Clasificación

Por nivel de tensión eléctrica del sistema, las tensiones eléctricas normalizadas se clasifican:

**Baja tensión**: desde 100 V hasta 1 000 V;
**Media tensión**: mayor de 1 000 V hasta 35 kV;
**Alta tensión**: mayor de 35 kV hasta 230 kV; y
**Extra alta tensión**: mayor de 230 kV hasta 400 kV

Por su uso las tensiones eléctricas se clasifican en:

- Tensiones eléctricas **preferentes**;
- Tensiones eléctricas **restringidas**; y
- Tensiones eléctricas **congeladas**.

5. Especificaciones

5.1 Tensiones eléctricas normalizadas

Las tensiones eléctricas normalizadas del sistema son las que se indican en la tabla 1.

Tabla 1.- Tensiones eléctricas normalizadas [1)]

| **Clasificación** | **Tensión eléctrica nominal del sistema (*) V** | | | **Tensión eléctrica de suministro V** | | **Tensión eléctrica nominal de utilización V (**)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1 fase 3 hilos** | **3 fases 3 hilos** | **3 fases 4 hilos** | **Máximo** | **Mínimo** | |
| Baja tensión | 120/240<br>--<br>--<br>-- | --<br>--<br>--<br>--<br>480 | --<br>208 Y/ 127<br>(1)<br>220 Y/ 127<br>(2)<br>480 Y/ 277<br>-- | 126/252<br><br>231/133.3<br>504/291<br>504 | 108/216<br><br>198/114.3<br>432/249.4<br>432 | 115/230<br><br>208 Y/120<br>460 Y/265<br>460 |
| Media tensión | | 4 160<br>--<br>13 800<br>--<br>23 000<br>--<br>34 500<br>-- | --<br>--<br>--<br>13 800 Y/7 970<br>--<br>23 000 Y/13 280<br>--<br>34 500 Y/19 920 | 4 368<br>--<br>14 490<br>14 490/8 366<br>24 150<br>24 150/13 943<br>36 225<br>36 225/20 915 | 3 744<br>--<br>12 420<br>12 420/7 171<br>20 700<br>20 700/11 951<br>31 050<br>31 050/17 927 | 4 000<br>--<br>13 200 |
| Alta tensión | | 69 000<br>85 000<br>115 000 | | 72 500<br>123 000<br>123 000 | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 138 000<br>161 000<br>230 000 | | 145 000<br>170 000<br>245 000 | | |
| Extra alta tensión | | 400 000 | | 420 000 | | |

Notas
a) En esta tabla no se muestran las tensiones congeladas que están en uso actualmente, por que la tendencia es su desaparición (véase Apéndice A);
b) El valor máximo y mínimo de la tensión eléctrica de suministro se obtiene al aplicar la tolerancia de +5 % y – 10 % al valor de la tensión eléctrica nominal del sistema;
c) Para disminuir la diferencia entre las bandas de tensión eléctrica (por ejemplo 120 V vs 127 V), se recomienda quela tolerancia para obtener la tensión eléctrica de suministro se reduzca a + 5 % y – 5 %, de acuerdo con los recursos disponibles y la interconexión de los diferentes tipos de cargas y fuentes.
d)Los niveles aquí establecidos y sus tolerancias sólo aplican para niveles de tensión eléctrica sostenidos a la frecuencia del sistema y no para fallas momentáneas que puedan resultar de causas tales como operación por maniobra, corrientes de arranque de motores o cualquier otra condición como puede ser distorsión armónica, fluctuaciones de tensión, parpadeo y otros, razón por la cual se definen las responsabilidades siguientes:

1) El usuario es responsable de mantener su sistema eléctrico por debajo de los límites que especifique la compañía suministradora.
2) La compañía suministradora es responsable de la coordinación de los niveles de distorsión bajo condiciones normales de operación.
3) Las instalaciones eléctricas de los usuarios deben cumplir con las Nomas Mexicanas NMX-J-610/3-3-ANCE, NMX-J-610/3-6-ANCE, NMX-J-610/3-7-ANCE y NMX-J-610/4-30-ANCE.

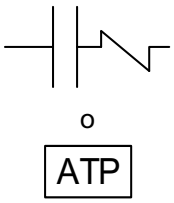
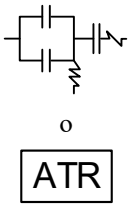
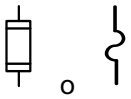
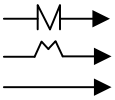
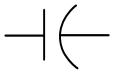
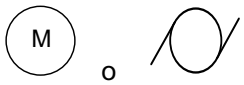
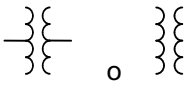
e) Para efectos de la variación en la tensión de utilización, es importante tener en cuenta que la NOM-001-SEDE recomienda que la caída máxima de tensión eléctrica de los circuitos alimentadores y derivados, hasta la salida eléctrica más alejada, no supere 5%, para una razonable eficacia de funcionamiento de los sistemas y de los elementos que lo componen.

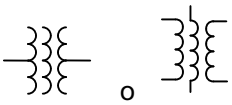
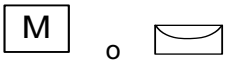
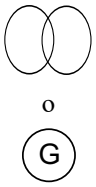
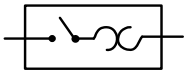
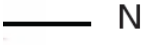
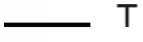
(1) La tensión 208Y/120 no es una tensión que se encuentre dentro del sistema eléctrico del suministrador; sin embargo, se utiliza para el diseño de instalaciones eléctricas.
(2) La tensión 220Y/127, se suministrará en las cargas que así lo requieran por el tamaño y tipo de carga, siendo la tensión y sistema preferente de 120/240 y 1 fase 3 hilos.

(*) Las tensiones nominales preferentes son las que se presentan subrayadas, el resto son tensiones restringidas.
(**) La tolerancia de la tensión eléctrica nominal de utilización está en función de la tensión eléctrica máxima de suministro y de la caída máxima permisible en la instalación del usuario.

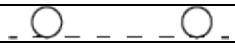
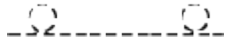
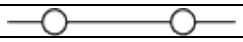
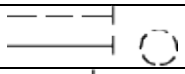
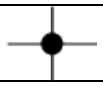
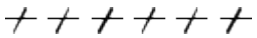
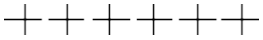
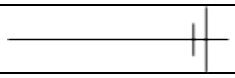
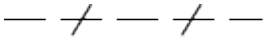
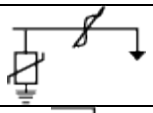
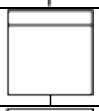
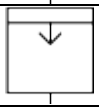
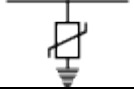
[1)] Las tensiones nominales del sistema que contiene la tabla 1 se aplican a todas las partes del sistema eléctrico, tanto para el suministrador como para el usuario. Es importante notar que la tensión eléctrica de utilización existe en diferentes puntos de la instalación. Se entiende que la tensión eléctrica en los puntos de utilización es igual o menor que la tensión eléctrica de suministro que se entrega en el punto de interconexión. Atendiendo al hecho de que los motores de potencia integral, los equipos de aire acondicionado y refrigeración o ambos, pueden constituir alta concentración de carga en algunos circuitos, las tensiones de utilización de tales equipos y de los motores y su sistema de control, son generalmente más bajos que la tensión eléctrica del sistema. Esto corresponde con las bandas de tensión eléctrica de utilización de la tabla 1. Otros equipos de utilización generalmente se designan con la tensión eléctrica nominal del sistema.

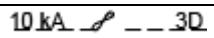
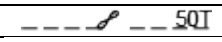
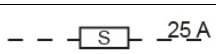
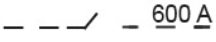
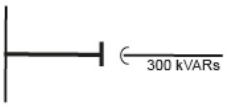
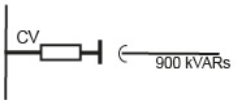
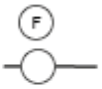
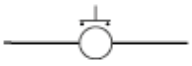
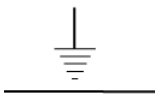
*Extracto de la NMX-J-136-ANCE-2019*

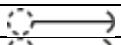
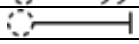
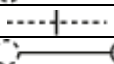
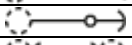
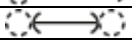
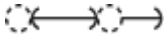
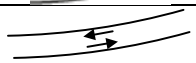
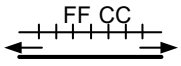
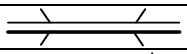
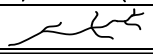
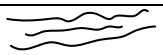
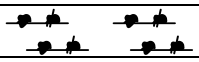
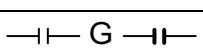
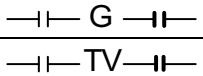
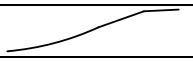
| Descripción | Símbolo | Descripción | Símbolo |
|---|---|---|---|
| Circuito, símbolo general (diagrama unifilar) |  | Circuitos (conductor o tubo)Nota: La letra N indica el número de conductores |  |
| Conexión en cruz (conexión cuatro vías) |  | Ensamble de conductores que no se conectan |  |
| Tierra,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

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

*Extracto de la norma de Construcción de instalaciones aéreas en media y baja tensión*

| Elemento a representar | Símbolo | Ver notas |
|---|---|---|
| Línea aérea de media tensión |  | 2, 5, 6, 7 y 20 |
| Línea aérea de media tensión particular |  | 2, 5, 6, 7 y 20 |
| Línea aérea de baja tensión |  | 3, 4, 5, 7 y 20 |
| Líneas aéreas de baja tensión y baja tensión abiertas en un punto definido |  | 2, 3, 4, 7 y 20 |
| Cambio del número de fases o calibres en líneas aéreas de media tensión y baja tensión |  | 2, 3, 4, 7 y 20 |
| Remate de líneas aéreas de media tensión y baja tensión |  | 2, 3, 4, 7 y 20 |
| Cruce de conductores aéreos conectados |  | 7 |
| Línea telegráfica o telefónica |  | 2, 3, 6 y 20 |
| Línea aérea de baja tensión con cable múltiple |  | 3, 4, 5, 6 y 20 |
| Línea subterránea de media tensión |  | 2, 4 y 20 |
| Línea subterránea de baja tensión |  | 2, 4 y 20 |
| Circuito subterráneo de alumbrado en baja tensión |  | 2, 4 y 20 |
| Acometida subterránea en baja tensión |  | 3 |
| Acometida subterránea de media tensión |  | 2 |
| Transición de línea de media tensión aérea a subterránea |  | 28,29 |
| Transición de línea de baja tensión aérea a subterránea |  | |
| **Bancos de transformación** | | |
| Transformador de distribución tipo poste |  | 12 |
| Transformador de distribución particular |  | 12 y 35 |
| Transformador de distribución tipo pedestal |  | 13 |
| Transformador de distribución tipo sumergible |  | 13 |
| **Equipo de protección y desconexión** | | |
| Apartarrayos |  | |

| | | |
|---|---|---|
| Cortacircuito fusible de tres disparos |  | 29 |
| Cortacircuito fusible |  | 29 |
| Seccionalizador |  | 27 |
| Restaurador |  | 24 Y 27 |
| Desconectador |  | 25 |
| Cuchilla desconectadora de operación en grupo, con carga |  | 25 |
| Cuchilla desconectadora monopolar de operación con pértiga |  | 25 |
| **Equipo de regulación y capacitores** | | |
| Regulador de tensión |  | 30 |
| Autoelevador tipo de distribución |  | 30 |
| Banco de capacitores poste, fijo |  | 37 |
| Banco de capacitores automático |  | 20 |
| **Alumbrado público** | | |
| Lámpara incandescente |  | |
| Lámpara de vapor de sodio |  | |
| Fotocelda |  | |
| Relevador para el control de alumbrado público |  | |
| Conexión a tierra |  | |
| **Postes** | | |
| Poste de concreto reforzado |  | |
| Poste de madera |  | |

| | | |
|---|---|---|
| Poste de acero troncocónico |  | |
| Poste existente |  | |
| **Retenidas** | | |
| Retenida de ancla |  | 8 |
| Dos retenidas con una ancla |  | 8 |
| Dos retenidas con dos anclas |  | 8 |
| Retenida de banqueta |  | 8 |
| Retenida de tempestad |  | 8 |
| Retenida de puntal |  | 8 |
| Retenida de estaca y ancla |  | 8 |
| Retenida de poste a poste |  | 8 |
| Retenida de poste a poste y ancla |  | 8 |
| **Vías de comunicación** | | |
| Carretera pavimentada |  | 32 |
| Carretera de terracería |  | 32 |
| Brecha |  | 32 |
| Vía de ferrocarril |  | 33 |
| Puente |  | |
| Arroyo |  | |
| Canal de riego principal |  | |
| Río |  | |
| Pantano |  | |
| Tubos para agua |  | 34 |
| Drenaje |  | 34 |
| Tubos para gas |  | 34 |
| Cable de televisión |  | 34 |
| Línea aérea telefónica |  | 34 |
| Canal de riego secundario |  | 34 |

**Cepas para postes de concreto**

La profundidad de la cepa para empotrar postes está en función del tipo de terreno, de la altura, resistencia del poste y de su diámetro en el empotramiento. El diámetro de la cepa es de 50 cm como mínimo en todos los casos.

| Empotramiento por tipo de suelo (cm) | | | |
|---|---|---|---|
| **Altura (m) y resistencia (kg) del poste** | **Blando** | **Normal** | **Duro** |
| | **Arena, arcilla suelta y arcilla con arena** | **Tierra común** | **Tepetate, grava y roca** |
| 7 – 600 | 140 | 120 | 100 |
| 9 – 450 | 160 | 140 | 120 |
| 12 – 750 | 190 | 170 | 150 |
| 13 – 600 | 200 | 180 | 160 |
| 14 – 700 | 210 | 190 | 170 |
| 15 – 800 | 220 | 200 | 180 |

Notas:

1. Un terreno normal que se anega como tierra de cultivo se debe considerar como un terrenoblando.
2. Un terreno blando es posible considerarlo como terreno normal si se compacta con piedras 30 cmen la base y 60 cm en la parte superior del empotramiento.
3. En áreas urbanas en las que el poste está en banqueta terminada se considera como terrenonormal.
4. Un terreno normal es posible considerarlo como terreno duro si se compacta con piedras de 30cm en la base y 60 cm en la parte superior del empotramiento.
5. En zonas con actividad sísmica adicione 10 cm al empotramiento de la tabla anterior y si elterreno es blando proceda como se indica en el punto 2.
6. En líneas rurales con terreno blando o normal se debe agregar una capa de 30 cm de piedra enla parte superior de la cepa.
7. En caso de que no se tenga la tabla, se puede utilizar la fórmula siguiente para terreno normal:

Profundidad del empotramiento = Altura del poste en dm + 50 cm

**Selección de apartarrayos**

1. Los apartarrayos utilizados en instalaciones aéreas de distribución son de óxidos metálicos.
2. La selección del apartarrayo está en función de la tensión de la línea y del apartarrayo de acuerdo al tipo de sistema.

| **Tensión entre fases (kV)** | **Tensión nominal (kV)** | |
|---|---|---|
| | **Tipos de sistema** | |
| | **3F-4H (A)** | **3F-3H Sistema existente** |
| **13** | 10 | 12 |
| **23** | 18 | 21 |

| | | |
|---|---|---|
| **33** | 27 | 30 |

3. Para la selección, se debe consultar al responsable técnico de la zona que corresponda.

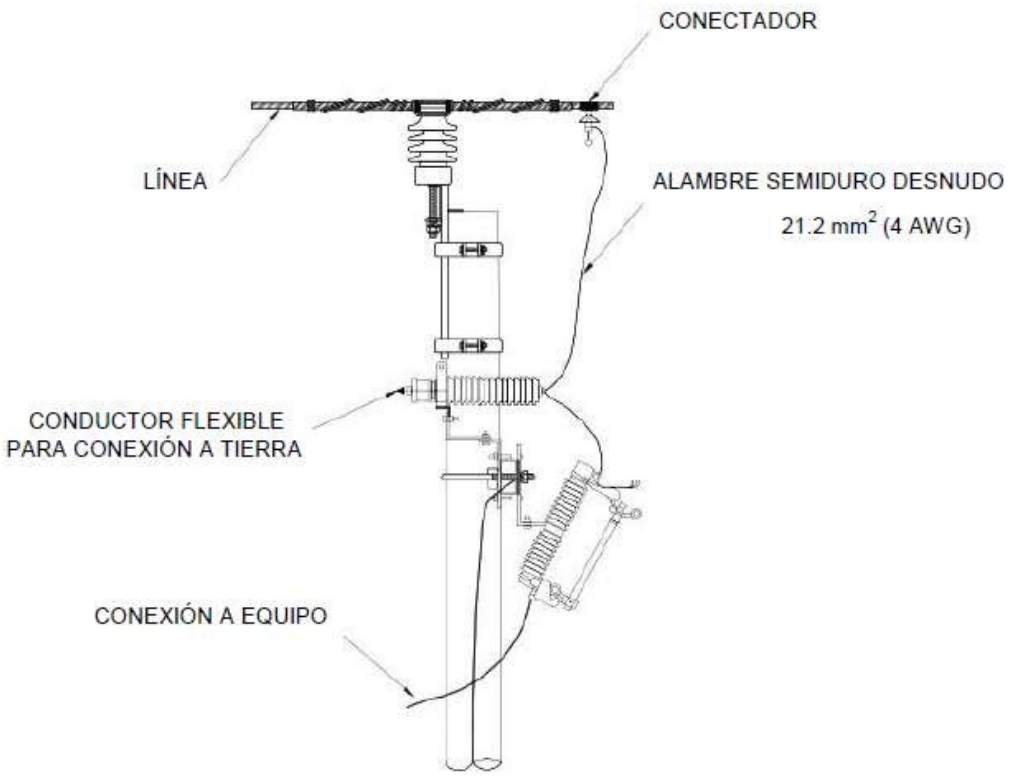
**Conexión de apartarrayos**

1. Los apartarrayos se deben instalar en posición horizontal, el conductor flexible de la terminal para conexión a tierra del apartarrayo se debe conectar a una de las tuercas de sujeción del herraje de soporte, este mismo punto se debe usar para interconectar los apartarrayos con alambre de cobre de 21.2 $mm^2$ (4 AWG). Ver sección 04 E0 02.

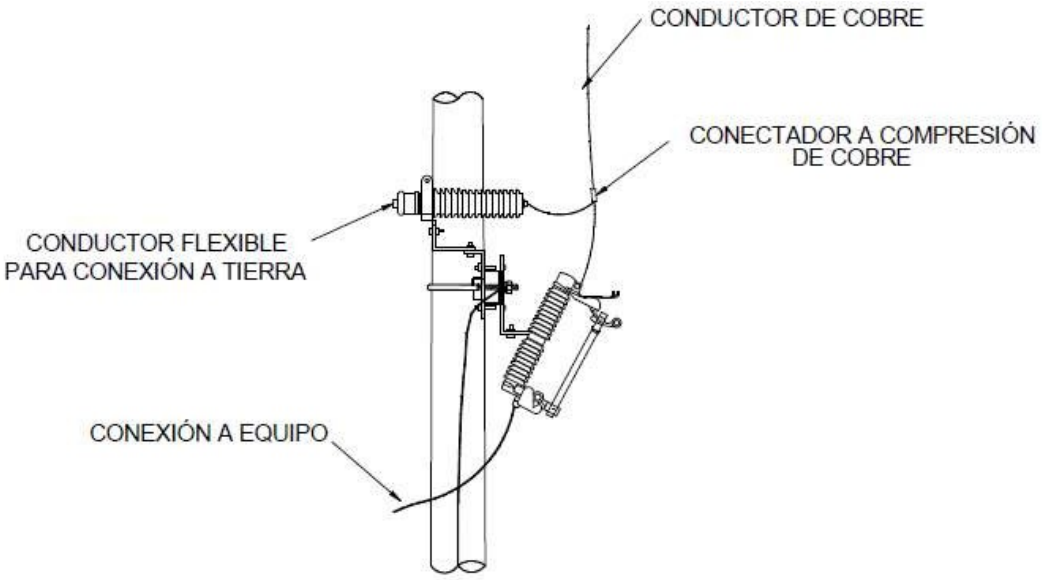
2. Todas las conexiones mecánicas deben estar firmemente apretadas para asegurar la rigidez de la instalación.

3. La bajante a tierra conectarla en el extremo superior a la abrazadera U entre la cruceta y laarandela de presión, y el extremo inferior conectarlo en derivación al sistema de tierra principal (de una sola pieza entre el neutro del equipo, cable de guarda o equipo, al electrodo para tierra).

4. La conexión de la línea al equipo o cortacircuito fusible hacerla normalmente con alambre de cobre desnudo 21.2 $mm^2$ (4 AWG). Este puente debe quedar de paso y con conexión firme en el apartarrayos.




En caso de que el equipo por alimentar requiera de conductor mayor al 21.2 mm2 (4 AWG), el puente de la línea al equipo hacerlo de una sola pieza y la conexión al apartarrayo hacerla con una derivación del puente. Tal derivación hacerla con alambre de cobre 21.2 mm2 (4 AWG) y conectador a compresión.


CONDUCTOR DE COBRE
CONECTADOR A COMPRESIÓN DE COBRE
CONDUCTOR FLEXIBLE PARA CONEXIÓN A TIERRA
CONEXIÓN A EQUIPO

Limitantes de la estructura TS

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA ESTRUCTURA**
**TS3N**
**(VR = 120 km/h)**

| tamaño | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR: | | | | | | | DEFLEXIÓN MÁXIMA | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RESISTENCIA DE: | | | | | SEPARACIÓN | | HORIZONTAL | | | |
| $mm^2$ (AWG ó kcmil) | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA | | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| | | | | | SIN HIELO | CON HIELO | | | | | | |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 1898 | 238 | 155 | 90 | 114 | 3.94 | 2.68 | 6.80 | 4.00 |
| | 23 | 78 | 78 | 1898 | 238 | 155 | 78 | 106 | 3.94 | 2.68 | 6.80 | 4.00 |
| | 33 | 78 | 78 | 1898 | 150 | 98 | 78 | 113 | 3.94 | 2.68 | 3.00 | 1.00 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 1506 | 150 | 108 | 90 | 125 | 2.21 | 1.50 | 3.00 | 1.40 |
| | 23 | 78 | 78 | 1506 | 150 | 108 | 78 | 117 | 2.21 | 1.50 | 3.00 | 1.40 |
| | 33 | 78 | 78 | 1506 | 94 | 68 | 78 | 124 | 2.21 | 1.31 | 0.60 | 0.00 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 70 | 79 | 1216 | 101 | 77 | 81 | 121 | 1.09 | 0.67 | 1.50 | 0.30 |
| | 23 | 70 | 79 | 1216 | 101 | 77 | 70 | 113 | 1.09 | 0.67 | 1.50 | 0.30 |
| | 33 | 70 | 79 | 1216 | 63 | 49 | 70 | 120 | 1.09 | 0.47 | 0.00 | 0.00 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 84 | 84 | 1900 | 784 | 284 | 97 | 90 | 5.02 | 3.68 | 13.30 | 9.00 |
| | 23 | 84 | 84 | 1900 | 784 | 284 | 84 | 84 | 5.02 | 3.68 | 13.30 | 9.00 |
| | 33 | 84 | 84 | 1900 | 494 | 179 | 84 | 89 | 5.02 | 3.68 | 8.80 | 4.20 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 82 | 82 | 1507 | 493 | 216 | 95 | 91 | 3.09 | 2.21 | 9.10 | 5.40 |
| | 23 | 82 | 82 | 1507 | 493 | 216 | 82 | 86 | 3.09 | 2.21 | 9.10 | 5.40 |
| | 33 | 82 | 82 | 1507 | 311 | 136 | 82 | 91 | 3.09 | 2.21 | 5.00 | 2.10 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 83 | 83 | 1180 | 310 | 159 | 96 | 97 | 1.35 | 0.98 | 5.00 | 2.70 |
| | 23 | 83 | 83 | 1180 | 310 | 159 | 83 | 91 | 1.35 | 0.98 | 5.00 | 2.70 |
| | 33 | 83 | 83 | 1180 | 195 | 100 | 83 | 96 | 1.35 | 0.98 | 2.50 | 0.50 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 80 | 83 | 1050 | 246 | 135 | 92 | 96 | 1.00 | 0.70 | 3.90 | 2.00 |
| | 23 | 80 | 83 | 1050 | 246 | 135 | 80 | 90 | 1.00 | 0.70 | 3.90 | 2.00 |
| | 33 | 80 | 83 | 1050 | 155 | 85 | 80 | 95 | 1.00 | 0.70 | 1.70 | 0.15 |
| AAC 242 (477) | 13 | 69 | 81 | 882 | 173 | 104 | 80 | 86 | 1.00 | 0.60 | 3.30 | 1.40 |
| | 23 | 69 | 81 | 882 | 173 | 104 | 69 | 81 | 1.00 | 0.60 | 3.30 | 1.40 |
| | 33 | 69 | 81 | 882 | 109 | 66 | 69 | 85 | 1.00 | 0.58 | 1.30 | 0.00 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 109 | 109 | 1757 | 564 | 242 | 126 | 123 | 1.85 | 1.76 | 9.10 | 5.20 |
| | 23 | 109 | 109 | 1757 | 564 | 242 | 109 | 115 | 1.85 | 1.76 | 9.10 | 5.20 |
| | 33 | 109 | 109 | 1757 | 355 | 152 | 109 | 122 | 1.85 | 1.76 | 4.90 | 1.60 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 103 | 106 | 1394 | 355 | 180 | 118 | 121 | 1.00 | 0.90 | 5.30 | 2.80 |
| | 23 | 103 | 106 | 1394 | 355 | 180 | 103 | 113 | 1.00 | 0.90 | 5.30 | 2.80 |
| | 33 | 103 | 106 | 1394 | 223 | 113 | 103 | 120 | 1.00 | 0.90 | 2.55 | 0.35 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 82 | 112 | 1089 | 222 | 129 | 95 | 102 | 1.00 | 0.72 | 4.00 | 1.80 |
| | 23 | 82 | 112 | 1089 | 222 | 129 | 82 | 96 | 1.00 | 0.72 | 4.00 | 1.80 |
| | 33 | 82 | 112 | 1089 | 140 | 81 | 82 | 101 | 1.00 | 0.71 | 1.60 | 0.00 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 75 | 112 | 970 | 177 | 109 | 86 | 96 | 1.00 | 0.65 | 3.50 | 1.40 |
| | 23 | 75 | 112 | 970 | 177 | 109 | 75 | 90 | 1.00 | 0.65 | 3.50 | 1.40 |
| | 33 | 75 | 112 | 970 | 111 | 68 | 75 | 95 | 1.00 | 0.59 | 1.25 | 0.00 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 65 | 111 | 815 | 125 | 83 | 75 | 87 | 1.00 | 0.57 | 2.90 | 0.90 |
| | 23 | 65 | 111 | 815 | 125 | 83 | 65 | 82 | 1.00 | 0.57 | 2.90 | 0.90 |
| | 33 | 65 | 111 | 815 | 78 | 52 | 65 | 87 | 1.00 | 0.45 | 0.60 | 0.00 |

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA ESTRUCTURA**
**TS3G**
**(VR = 120 km/h)**

| tamaño mm² (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR: | | | | | | | DEFLEXIÓN MÁXIMA HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RESISTENCIA DE: | | | | | SEPARACIÓN | | | | | |
| | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA | | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| | | | | | SIN HIELO | CON HIELO | | | | | | |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 1898 | 238 | 155 | 83 | 114 | 4.45 | 3.03 | 6.80 | 4.00 |
| | 23 | 78 | 78 | 1898 | 238 | 155 | 78 | 106 | 4.45 | 3.03 | 6.80 | 4.00 |
| | 33 | 78 | 78 | 1898 | 150 | 98 | 78 | 113 | 4.45 | 3.03 | 3.00 | 1.00 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 1506 | 150 | 108 | 83 | 125 | 2.62 | 1.78 | 3.00 | 1.40 |
| | 23 | 78 | 78 | 1506 | 150 | 108 | 78 | 117 | 2.62 | 1.78 | 3.00 | 1.40 |
| | 33 | 78 | 78 | 1506 | 94 | 68 | 78 | 124 | 2.62 | 1.55 | 0.60 | 0.00 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 72 | 79 | 1216 | 101 | 77 | 76 | 125 | 2.03 | 1.28 | 1.50 | 0.30 |
| | 23 | 72 | 79 | 1216 | 101 | 77 | 72 | 117 | 2.03 | 1.28 | 1.50 | 0.30 |
| | 33 | 72 | 79 | 1216 | 63 | 49 | 72 | 124 | 2.03 | 0.87 | 0.00 | 0.00 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 84 | 84 | 1900 | 784 | 284 | 89 | 90 | 5.71 | 4.18 | 13.30 | 9.00 |
| | 23 | 84 | 84 | 1900 | 784 | 284 | 84 | 84 | 5.71 | 4.18 | 13.30 | 9.00 |
| | 33 | 84 | 84 | 1900 | 494 | 179 | 84 | 89 | 5.71 | 4.18 | 8.80 | 4.20 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 82 | 82 | 1507 | 493 | 216 | 87 | 91 | 3.70 | 2.65 | 9.10 | 5.40 |
| | 23 | 82 | 82 | 1507 | 493 | 216 | 82 | 86 | 3.70 | 2.65 | 9.10 | 5.40 |
| | 33 | 82 | 82 | 1507 | 311 | 136 | 82 | 91 | 3.70 | 2.65 | 5.00 | 2.10 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 83 | 83 | 1180 | 310 | 159 | 88 | 97 | 1.83 | 1.33 | 5.00 | 2.70 |
| | 23 | 83 | 83 | 1180 | 310 | 159 | 83 | 91 | 1.83 | 1.33 | 5.00 | 2.70 |
| | 33 | 83 | 83 | 1180 | 195 | 100 | 83 | 96 | 1.83 | 1.33 | 2.50 | 0.50 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 81 | 83 | 1050 | 246 | 135 | 86 | 97 | 1.35 | 0.95 | 3.90 | 2.00 |
| | 23 | 81 | 83 | 1050 | 246 | 135 | 81 | 91 | 1.35 | 0.95 | 3.90 | 2.00 |
| | 33 | 81 | 83 | 1050 | 155 | 85 | 81 | 96 | 1.35 | 0.95 | 1.70 | 0.15 |
| AAC 242 (477) | 13 | 70 | 81 | 882 | 173 | 104 | 74 | 87 | 1.42 | 0.87 | 3.30 | 1.40 |
| | 23 | 70 | 81 | 882 | 173 | 104 | 70 | 82 | 1.42 | 0.87 | 3.30 | 1.40 |
| | 33 | 70 | 81 | 882 | 109 | 66 | 70 | 87 | 1.42 | 0.82 | 1.30 | 0.00 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 109 | 109 | 1757 | 564 | 242 | 116 | 123 | 2.28 | 2.17 | 9.10 | 5.20 |
| | 23 | 109 | 109 | 1757 | 564 | 242 | 109 | 115 | 2.28 | 2.17 | 9.10 | 5.20 |
| | 33 | 109 | 109 | 1757 | 355 | 152 | 109 | 122 | 2.28 | 2.17 | 4.90 | 1.60 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 105 | 106 | 1394 | 355 | 180 | 111 | 124 | 1.23 | 1.13 | 5.30 | 2.80 |
| | 23 | 105 | 106 | 1394 | 355 | 180 | 105 | 116 | 1.23 | 1.13 | 5.30 | 2.80 |
| | 33 | 105 | 106 | 1394 | 223 | 113 | 105 | 123 | 1.23 | 1.13 | 2.55 | 0.35 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 85 | 112 | 1089 | 222 | 129 | 90 | 105 | 1.26 | 0.93 | 4.00 | 1.80 |
| | 23 | 85 | 112 | 1089 | 222 | 129 | 85 | 99 | 1.26 | 0.93 | 4.00 | 1.80 |
| | 33 | 85 | 112 | 1089 | 140 | 81 | 85 | 105 | 1.26 | 0.89 | 1.60 | 0.00 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 77 | 112 | 970 | 177 | 109 | 82 | 99 | 1.28 | 0.86 | 3.50 | 1.40 |
| | 23 | 77 | 112 | 970 | 177 | 109 | 77 | 92 | 1.28 | 0.86 | 3.50 | 1.40 |
| | 33 | 77 | 112 | 970 | 111 | 68 | 77 | 98 | 1.28 | 0.76 | 1.25 | 0.00 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 65 | 111 | 815 | 125 | 83 | 69 | 88 | 1.60 | 0.91 | 2.90 | 0.90 |
| | 23 | 65 | 111 | 815 | 125 | 83 | 65 | 82 | 1.60 | 0.91 | 2.90 | 0.90 |
| | 33 | 65 | 111 | 815 | 78 | 52 | 65 | 87 | 1.60 | 0.73 | 0.60 | 0.00 |

Contaminación

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA ESTRUCTURA**
**TS3N**
**(VR=120 km/h)**

| Tamaño $mm^2$ (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR | | | | | | | DEFLEXIÓN MÁX. HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RESISTENCIA DE | | | | | SEPARACIÓN | | | | | |
| | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA | | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| | | | | | SIN HIELO | CON HIELO | | | | | | |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 1395 | 529 | 344 | 90 | 102 | 1.00 | 0.68 | 17.25 | 13.70 |
| | 23 | 78 | 78 | 1395 | 529 | 344 | 78 | 95 | 1.00 | 0.68 | 17.25 | 13.70 |
| | 33 | 78 | 78 | 1395 | 529 | 344 | 78 | 87 | 1.00 | 0.68 | 17.25 | 13.70 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 63 | 78 | 1106 | 332 | 239 | 73 | 88 | 1.00 | 0.55 | 14.60 | 11.60 |
| | 23 | 63 | 78 | 1106 | 332 | 239 | 63 | 83 | 1.00 | 0.55 | 14.60 | 11.60 |
| | 33 | 63 | 78 | 1106 | 332 | 239 | 63 | 75 | 1.00 | 0.55 | 14.60 | 11.60 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 53 | 79 | 894 | 223 | 171 | 61 | 80 | 1.00 | 0.46 | 12.00 | 9.70 |
| | 23 | 53 | 79 | 894 | 223 | 171 | 53 | 75 | 1.00 | 0.46 | 12.00 | 9.70 |
| | 33 | 53 | 79 | 894 | 223 | 171 | 53 | 68 | 1.00 | 0.46 | 12.00 | 9.70 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 82 | 84 | 1396 | 1739 | 629 | 94 | 84 | 1.00 | 0.72 | 25.00 | 23.70 |
| | 23 | 82 | 84 | 1396 | 1739 | 629 | 82 | 79 | 1.00 | 0.69 | 25.00 | 23.70 |
| | 33 | 82 | 84 | 1396 | 1739 | 629 | 82 | 72 | 1.00 | 0.63 | 25.00 | 23.70 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 66 | 82 | 1107 | 1094 | 478 | 77 | 70 | 1.00 | 0.58 | 21.45 | 19.40 |
| | 23 | 66 | 82 | 1107 | 1094 | 478 | 66 | 66 | 1.00 | 0.58 | 21.45 | 19.40 |
| | 33 | 66 | 82 | 1107 | 1094 | 478 | 66 | 60 | 1.00 | 0.52 | 21.45 | 19.40 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 55 | 83 | 867 | 688 | 352 | 63 | 60 | 1.00 | 0.48 | 18.85 | 18.40 |
| | 23 | 55 | 83 | 867 | 688 | 352 | 55 | 56 | 1.00 | 0.48 | 18.85 | 18.40 |
| | 33 | 55 | 83 | 867 | 688 | 352 | 55 | 51 | 1.00 | 0.45 | 18.85 | 18.40 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 50 | 83 | 772 | 545 | 299 | 57 | 55 | 1.00 | 0.44 | 18.50 | 18.50 |
| | 23 | 50 | 83 | 772 | 545 | 299 | 50 | 52 | 1.00 | 0.44 | 18.50 | 18.50 |
| | 33 | 50 | 83 | 772 | 545 | 299 | 50 | 47 | 1.00 | 0.41 | 18.50 | 18.50 |
| AAC 242 (477) | 13 | 43 | 81 | 648 | 385 | 231 | 50 | 49 | 1.00 | 0.38 | 17.30 | 17.40 |
| | 23 | 43 | 81 | 648 | 385 | 231 | 43 | 46 | 1.00 | 0.38 | 17.30 | 17.40 |
| | 33 | 43 | 81 | 648 | 385 | 231 | 43 | 42 | 1.00 | 0.37 | 17.30 | 17.40 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 75 | 109 | 1291 | 1250 | 537 | 87 | 80 | 1.00 | 0.65 | 24.00 | 21.30 |
| | 23 | 75 | 109 | 1291 | 1250 | 537 | 75 | 75 | 1.00 | 0.65 | 24.00 | 21.30 |
| | 33 | 75 | 109 | 1291 | 1250 | 537 | 75 | 68 | 1.00 | 0.59 | 24.00 | 21.30 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 62 | 106 | 1024 | 786 | 399 | 72 | 68 | 1.00 | 0.54 | 20.60 | 19.00 |
| | 23 | 62 | 106 | 1024 | 786 | 399 | 62 | 64 | 1.00 | 0.54 | 20.60 | 19.00 |
| | 33 | 62 | 106 | 1024 | 786 | 399 | 62 | 58 | 1.00 | 0.51 | 20.60 | 19.00 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 51 | 112 | 800 | 493 | 286 | 59 | 59 | 1.00 | 0.45 | 18.20 | 17.75 |
| | 23 | 51 | 112 | 800 | 493 | 286 | 51 | 55 | 1.00 | 0.45 | 18.20 | 17.75 |
| | 33 | 51 | 112 | 800 | 493 | 286 | 51 | 50 | 1.00 | 0.44 | 18.20 | 17.75 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 47 | 112 | 713 | 392 | 241 | 54 | 54 | 1.00 | 0.41 | 18.00 | 17.70 |
| | 23 | 47 | 112 | 713 | 392 | 241 | 47 | 51 | 1.00 | 0.41 | 18.00 | 17.70 |
| | 33 | 47 | 112 | 713 | 392 | 241 | 47 | 47 | 1.00 | 0.41 | 18.00 | 17.70 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 40 | 111 | 599 | 276 | 183 | 46 | 49 | 1.00 | 0.35 | 16.00 | 15.90 |
| | 23 | 40 | 111 | 599 | 276 | 183 | 40 | 46 | 1.00 | 0.35 | 16.00 | 15.90 |
| | 33 | 40 | 111 | 599 | 276 | 183 | 40 | 42 | 1.00 | 0.35 | 16.00 | 15.90 |

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA ESTRUCTURATS3G (VR=120 km/h)**

| Tamaño $mm^2$ (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR RESISTENCIA DE | | | | | SEPARACIÓN | | DEFLEXIÓN MÁX. HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA SIN HIELO | CRUCETA CON HIELO | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 1395 | 529 | 344 | 83 | 102 | 1.31 | 0.89 | 17.25 | 13.70 |
| | 23 | 78 | 78 | 1395 | 529 | 344 | 78 | 95 | 1.31 | 0.89 | 17.25 | 13.70 |
| | 33 | 78 | 78 | 1395 | 529 | 344 | 78 | 87 | 1.31 | 0.89 | 17.25 | 13.70 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 70 | 78 | 1106 | 332 | 239 | 74 | 98 | 1.00 | 0.61 | 14.60 | 11.60 |
| | 23 | 70 | 78 | 1106 | 332 | 239 | 70 | 92 | 1.00 | 0.61 | 14.60 | 11.60 |
| | 33 | 70 | 78 | 1106 | 332 | 239 | 70 | 84 | 1.00 | 0.61 | 14.60 | 11.60 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 59 | 79 | 894 | 223 | 171 | 63 | 89 | 1.00 | 0.51 | 12.00 | 9.70 |
| | 23 | 59 | 79 | 894 | 223 | 171 | 59 | 83 | 1.00 | 0.51 | 12.00 | 9.70 |
| | 33 | 59 | 79 | 894 | 223 | 171 | 59 | 76 | 1.00 | 0.51 | 12.00 | 9.70 |
| AAC53.4 9(1/0) | 13 | 84 | 84 | 1396 | 1739 | 629 | 89 | 87 | 1.27 | 0.93 | 25.00 | 23.70 |
| | 23 | 84 | 84 | 1396 | 1739 | 629 | 84 | 81 | 1.27 | 0.90 | 25.00 | 23.70 |
| | 33 | 84 | 84 | 1396 | 1739 | 629 | 84 | 74 | 1.27 | 0.82 | 25.00 | 23.70 |
| AAC 85( 3/0) | 13 | 73 | 82 | 1107 | 1094 | 478 | 77 | 77 | 1.00 | 0.64 | 21.45 | 19.40 |
| | 23 | 73 | 82 | 1107 | 1094 | 478 | 72 | 72 | 1.00 | 0.63 | 21.45 | 19.40 |
| | 33 | 73 | 82 | 1107 | 1094 | 478 | 72 | 66 | 1.00 | 0.58 | 21.45 | 19.40 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 60 | 83 | 867 | 688 | 352 | 63 | 65 | 1.00 | 0.52 | 18.85 | 18.40 |
| | 23 | 60 | 83 | 867 | 688 | 352 | 60 | 61 | 1.00 | 0.52 | 18.85 | 18.40 |
| | 33 | 60 | 83 | 867 | 688 | 352 | 60 | 56 | 1.00 | 0.49 | 18.85 | 18.40 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 54 | 83 | 772 | 545 | 299 | 58 | 60 | 1.00 | 0.47 | 18.50 | 18.50 |
| | 23 | 54 | 83 | 772 | 545 | 299 | 54 | 56 | 1.00 | 0.47 | 18.50 | 18.50 |
| | 33 | 54 | 83 | 772 | 545 | 299 | 54 | 51 | 1.00 | 0.45 | 18.50 | 18.50 |
| AAC 242 (477) | 13 | 47 | 81 | 648 | 385 | 231 | 50 | 54 | 1.00 | 0.41 | 17.30 | 17.40 |
| | 23 | 47 | 81 | 648 | 385 | 231 | 47 | 51 | 1.00 | 0.41 | 17.30 | 17.40 |
| | 33 | 47 | 81 | 648 | 385 | 231 | 47 | 46 | 1.00 | 0.40 | 17.30 | 17.40 |
| ACSR53.49 (1/0 RAVEN | 13 | 81 | 109 | 1291 | 1250 | 537 | 86 | 87 | 1.00 | 0.71 | 24.00 | 21.30 |
| | 23 | 81 | 109 | 1291 | 1250 | 537 | 81 | 81 | 1.00 | 0.71 | 24.00 | 21.30 |
| | 33 | 81 | 109 | 1291 | 1250 | 537 | 81 | 74 | 1.00 | 0.65 | 24.00 | 21.30 |
| ACSR 85( 3/0) PIGEON | 13 | 68 | 106 | 1024 | 786 | 399 | 72 | 74 | 1.00 | 0.59 | 20.60 | 19.00 |
| | 23 | 68 | 106 | 1024 | 786 | 399 | 68 | 70 | 1.00 | 0.59 | 20.60 | 19.00 |
| | 33 | 68 | 106 | 1024 | 786 | 399 | 68 | 64 | 1.00 | 0.56 | 20.60 | 19.00 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 56 | 112 | 800 | 493 | 286 | 60 | 64 | 1.00 | 0.49 | 18.20 | 17.75 |
| | 23 | 56 | 112 | 800 | 493 | 286 | 56 | 60 | 1.00 | 0.49 | 18.20 | 17.75 |
| | 33 | 56 | 112 | 800 | 493 | 286 | 56 | 55 | 1.00 | 0.48 | 18.20 | 17.75 |
| ACSR 171 (336.4) LINNE T | 13 | 51 | 112 | 713 | 392 | 241 | 54 | 60 | 1.00 | 0.45 | 18.00 | 17.70 |
| | 23 | 51 | 112 | 713 | 392 | 241 | 51 | 56 | 1.00 | 0.45 | 18.00 | 17.70 |
| | 33 | 51 | 112 | 713 | 392 | 241 | 51 | 51 | 1.00 | 0.45 | 18.00 | 17.70 |
| ACSR 242 ( 477) HAW K | 13 | 44 | 111 | 599 | 276 | 183 | 47 | 54 | 1.00 | 0.38 | 16.00 | 15.90 |
| | 23 | 44 | 111 | 599 | 276 | 183 | 44 | 50 | 1.00 | 0.38 | 16.00 | 15.90 |
| | 33 | 44 | 111 | 599 | 276 | 183 | 44 | 46 | 1.00 | 0.38 | 16.00 | 15.90 |

Limitantes de la estructura TD

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LAS ESTRUCTURAS**
**TD3N**
**(VR = 120 km/h)**

| Tamaño mm2 (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR: | | | | | | | DEFLEXIÓN MÁXIMA HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RESISTENCIA DE: | | | | | SEPARACIÓN | | | | | |
| | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA | | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| | | | | | SIN HIELO | CON HIELO | | | | | | |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 2847 | 634 | 413 | 90 | 112 | 25 | 16.88 | 19.30 | 17.60 |
| | 23 | 78 | 78 | 2847 | 634 | 413 | 78 | 105 | 25 | 16.88 | 19.30 | 17.60 |
| | 33 | 78 | 78 | 2847 | 455 | 296 | 78 | 111 | 25 | 16.88 | 15.70 | 11.40 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 2259 | 399 | 287 | 90 | 123 | 25 | 16.88 | 13.60 | 10.50 |
| | 23 | 78 | 78 | 2259 | 399 | 287 | 78 | 115 | 25 | 16.88 | 13.60 | 10.50 |
| | 33 | 78 | 78 | 2259 | 286 | 206 | 78 | 122 | 25 | 16.88 | 8.80 | 6.30 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 70 | 79 | 1824 | 268 | 206 | 81 | 119 | 25 | 15.15 | 10.10 | 7.60 |
| | 23 | 70 | 79 | 1824 | 268 | 206 | 70 | 112 | 25 | 15.15 | 10.10 | 7.60 |
| | 33 | 70 | 79 | 1824 | 192 | 147 | 70 | 118 | 25 | 15.15 | 6.20 | 4.30 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 84 | 84 | 2850 | 2087 | 755 | 97 | 89 | 25 | 18.18 | 13.30 | 13.30 |
| | 23 | 84 | 84 | 2850 | 2087 | 755 | 84 | 83 | 25 | 17.96 | 13.30 | 13.30 |
| | 33 | 84 | 84 | 2850 | 1497 | 542 | 84 | 88 | 25 | 18.18 | 13.30 | 13.30 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 82 | 82 | 2261 | 1313 | 574 | 95 | 90 | 25 | 17.75 | 15.60 | 15.60 |
| | 23 | 82 | 82 | 2261 | 1313 | 574 | 82 | 84 | 25 | 17.75 | 15.60 | 15.60 |
| | 33 | 82 | 82 | 2261 | 942 | 412 | 82 | 89 | 25 | 17.75 | 15.60 | 13.30 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 83 | 83 | 1770 | 825 | 422 | 96 | 95 | 25 | 17.96 | 16.30 | 12.50 |
| | 23 | 83 | 83 | 1770 | 825 | 422 | 83 | 89 | 25 | 17.96 | 16.30 | 12.50 |
| | 33 | 83 | 83 | 1770 | 592 | 303 | 83 | 94 | 25 | 17.96 | 11.30 | 8.10 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 80 | 83 | 1575 | 654 | 359 | 92 | 94 | 25 | 17.32 | 13.50 | 10.20 |
| | 23 | 80 | 83 | 1575 | 654 | 359 | 80 | 88 | 25 | 17.32 | 13.50 | 10.20 |
| | 33 | 80 | 83 | 1575 | 469 | 257 | 80 | 93 | 25 | 17.32 | 9.20 | 6.50 |
| AAC 242 (477) | 13 | 69 | 81 | 1323 | 462 | 278 | 80 | 85 | 25 | 14.93 | 12.50 | 8.90 |
| | 23 | 69 | 81 | 1323 | 462 | 278 | 69 | 79 | 25 | 14.93 | 12.50 | 8.90 |
| | 33 | 69 | 81 | 1323 | 331 | 199 | 69 | 84 | 25 | 14.93 | 8.50 | 5.50 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 109 | 109 | 2636 | 1501 | 644 | 126 | 121 | 25 | 23.59 | 27.80 | 21.30 |
| | 23 | 109 | 109 | 2636 | 1501 | 644 | 109 | 113 | 25 | 23.59 | 27.80 | 21.30 |
| | 33 | 109 | 109 | 2636 | 1077 | 462 | 109 | 119 | 25 | 23.59 | 19.40 | 13.90 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 103 | 106 | 2091 | 944 | 479 | 118 | 119 | 25 | 22.29 | 17.80 | 13.70 |
| | 23 | 103 | 106 | 2091 | 944 | 479 | 103 | 111 | 25 | 22.29 | 17.80 | 13.70 |
| | 33 | 103 | 106 | 2091 | 677 | 343 | 103 | 118 | 25 | 22.29 | 12.10 | 8.70 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 82 | 112 | 1634 | 592 | 343 | 95 | 101 | 25 | 17.75 | 14.30 | 10.40 |
| | 23 | 82 | 112 | 1634 | 592 | 343 | 82 | 94 | 25 | 17.75 | 14.30 | 10.40 |
| | 33 | 82 | 112 | 1634 | 424 | 246 | 82 | 100 | 25 | 17.75 | 9.60 | 6.50 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 75 | 112 | 1455 | 470 | 289 | 86 | 94 | 25 | 16.23 | 13.50 | 9.40 |
| | 23 | 75 | 112 | 1455 | 470 | 289 | 75 | 88 | 25 | 16.23 | 13.50 | 9.40 |
| | 33 | 75 | 112 | 1455 | 337 | 207 | 75 | 93 | 25 | 16.23 | 9.10 | 5.80 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 65 | 111 | 1223 | 332 | 220 | 75 | 86 | 25 | 14.07 | 13.00 | 8.50 |
| | 23 | 65 | 111 | 1223 | 332 | 220 | 65 | 81 | 25 | 14.07 | 13.00 | 8.50 |
| | 33 | 65 | 111 | 1223 | 238 | 158 | 65 | 85 | 25 | 14.07 | 8.50 | 5.10 |

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LAS ESTRUCTURAS**
**TD3G**
**(VR = 120 km/h)**

| Tamaño $mm^2$ (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR: | | | | | | | DEFLEXIÓN MÁXIMA HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RESISTENCIA DE: | | | | | SEPARACIÓN | | | | | |
| | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA | | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| | | | | | SIN HIELO | CON HIELO | | | | | | |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 2847 | 634 | 413 | 83 | 112 | 25 | 16.88 | 19.30 | 17.60 |
| | 23 | 78 | 78 | 2847 | 634 | 413 | 78 | 105 | 25 | 16.88 | 19.30 | 17.60 |
| | 33 | 78 | 78 | 2847 | 455 | 296 | 78 | 111 | 25 | 16.88 | 15.70 | 11.40 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 2259 | 399 | 287 | 83 | 123 | 25 | 16.88 | 13.60 | 10.50 |
| | 23 | 78 | 78 | 2259 | 399 | 287 | 78 | 115 | 25 | 16.88 | 13.60 | 10.50 |
| | 33 | 78 | 78 | 2259 | 286 | 206 | 78 | 122 | 25 | 16.88 | 8.80 | 6.30 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 72 | 79 | 1824 | 268 | 206 | 76 | 123 | 25 | 15.58 | 10.10 | 7.60 |
| | 23 | 72 | 79 | 1824 | 268 | 206 | 72 | 115 | 25 | 15.58 | 10.10 | 7.60 |
| | 33 | 72 | 79 | 1824 | 192 | 147 | 72 | 122 | 25 | 15.58 | 6.20 | 4.30 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 84 | 84 | 2850 | 2087 | 755 | 89 | 89 | 25 | 18.18 | 13.30 | 13.30 |
| | 23 | 84 | 84 | 2850 | 2087 | 755 | 84 | 83 | 25 | 17.96 | 13.30 | 13.30 |
| | 33 | 84 | 84 | 2850 | 1497 | 542 | 84 | 88 | 25 | 18.18 | 13.30 | 13.30 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 82 | 82 | 2261 | 1313 | 574 | 87 | 90 | 25 | 17.75 | 15.60 | 15.60 |
| | 23 | 82 | 82 | 2261 | 1313 | 574 | 82 | 84 | 25 | 17.75 | 15.60 | 15.60 |
| | 33 | 82 | 82 | 2261 | 942 | 412 | 82 | 89 | 25 | 17.75 | 15.60 | 13.30 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 83 | 83 | 1770 | 825 | 422 | 88 | 95 | 25 | 17.96 | 16.30 | 12.50 |
| | 23 | 83 | 83 | 1770 | 825 | 422 | 83 | 89 | 25 | 17.96 | 16.30 | 12.50 |
| | 33 | 83 | 83 | 1770 | 592 | 303 | 83 | 94 | 25 | 17.96 | 11.30 | 8.10 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 81 | 83 | 1575 | 654 | 359 | 86 | 95 | 25 | 17.53 | 13.50 | 10.20 |
| | 23 | 81 | 83 | 1575 | 654 | 359 | 81 | 89 | 25 | 17.53 | 13.50 | 10.20 |
| | 33 | 81 | 83 | 1575 | 469 | 257 | 81 | 94 | 25 | 17.53 | 9.20 | 6.50 |
| AAC 242 (477) | 13 | 70 | 81 | 1323 | 462 | 278 | 74 | 86 | 25 | 15.15 | 12.50 | 8.90 |
| | 23 | 70 | 81 | 1323 | 462 | 278 | 70 | 80 | 25 | 15.15 | 12.50 | 8.90 |
| | 33 | 70 | 81 | 1323 | 331 | 199 | 70 | 85 | 25 | 15.15 | 8.50 | 5.50 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 109 | 109 | 2636 | 1501 | 644 | 116 | 121 | 25 | 23.59 | 27.80 | 21.30 |
| | 23 | 109 | 109 | 2636 | 1501 | 644 | 109 | 113 | 25 | 23.59 | 27.80 | 21.30 |
| | 33 | 109 | 109 | 2636 | 1077 | 462 | 109 | 119 | 25 | 23.59 | 19.40 | 13.90 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 105 | 106 | 2091 | 944 | 479 | 111 | 122 | 25 | 22.73 | 17.80 | 13.70 |
| | 23 | 105 | 106 | 2091 | 944 | 479 | 105 | 114 | 25 | 22.73 | 17.80 | 13.70 |
| | 33 | 105 | 106 | 2091 | 677 | 343 | 105 | 121 | 25 | 22.73 | 12.10 | 8.70 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 85 | 112 | 1634 | 592 | 343 | 90 | 104 | 25 | 18.40 | 14.30 | 10.40 |
| | 23 | 85 | 112 | 1634 | 592 | 343 | 85 | 97 | 25 | 18.40 | 14.30 | 10.40 |
| | 33 | 85 | 112 | 1634 | 424 | 246 | 85 | 103 | 25 | 18.40 | 9.60 | 6.50 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 77 | 112 | 1455 | 470 | 289 | 82 | 97 | 25 | 16.67 | 13.50 | 9.40 |
| | 23 | 77 | 112 | 1455 | 470 | 289 | 77 | 91 | 25 | 16.67 | 13.50 | 9.40 |
| | 33 | 77 | 112 | 1455 | 337 | 207 | 77 | 96 | 25 | 16.67 | 9.10 | 5.80 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 65 | 111 | 1223 | 332 | 220 | 69 | 86 | 25 | 14.07 | 13.00 | 8.50 |
| | 23 | 65 | 111 | 1223 | 332 | 220 | 65 | 81 | 25 | 14.07 | 13.00 | 8.50 |
| | 33 | 65 | 111 | 1223 | 238 | 158 | 65 | 85 | 25 | 14.07 | 8.50 | 5.10 |





Contaminación

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA ESTRUCTURA**
**TD3N**
**(VR=120 km/h)**

| Tamaño $mm^2$ (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR | | | | | | | DEFLEXIÓN MÁX. HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RESISTENCIA DE | | | | | SEPARACIÓN | | | | | |
| | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA | | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| | | | | | SIN HIELO | CON HIELO | | | | | | |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 2093 | 1210 | 788 | 90 | 100 | 25 | 16.88 | 19.00 | 19.00 |
| | 23 | 78 | 78 | 2093 | 1210 | 788 | 78 | 94 | 25 | 16.88 | 19.00 | 19.00 |
| | 33 | 78 | 78 | 2093 | 1210 | 788 | 78 | 85 | 25 | 16.88 | 19.00 | 19.00 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 63 | 78 | 1659 | 761 | 547 | 73 | 87 | 25 | 13.64 | 34.60 | 30.00 |
| | 23 | 63 | 78 | 1659 | 761 | 547 | 63 | 81 | 25 | 13.64 | 34.60 | 30.00 |
| | 33 | 63 | 78 | 1659 | 761 | 547 | 63 | 74 | 25 | 13.64 | 34.60 | 30.00 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 53 | 79 | 1341 | 511 | 392 | 61 | 78 | 25 | 11.47 | 29.40 | 26.00 |
| | 23 | 53 | 79 | 1341 | 511 | 392 | 53 | 73 | 25 | 11.47 | 29.40 | 26.00 |
| | 33 | 53 | 79 | 1341 | 511 | 392 | 53 | 67 | 25 | 11.47 | 29.40 | 26.00 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 82 | 84 | 2094 | 3981 | 1440 | 94 | 83 | 25 | 17.75 | 25.00 | 23.70 |
| | 23 | 82 | 84 | 2094 | 3981 | 1440 | 82 | 78 | 25 | 16.88 | 25.00 | 23.70 |
| | 33 | 82 | 84 | 2094 | 3981 | 1440 | 82 | 71 | 25 | 15.37 | 25.00 | 23.70 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 66 | 82 | 1661 | 2504 | 1095 | 77 | 69 | 25 | 14.29 | 46.00 | 44.00 |
| | 23 | 66 | 82 | 1661 | 2504 | 1095 | 66 | 65 | 25 | 14.07 | 46.00 | 44.00 |
| | 33 | 66 | 82 | 1661 | 2504 | 1095 | 66 | 59 | 25 | 12.77 | 46.00 | 44.00 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 55 | 83 | 1301 | 1574 | 805 | 63 | 59 | 25 | 11.90 | 38.40 | 38.60 |
| | 23 | 55 | 83 | 1301 | 1574 | 805 | 55 | 55 | 25 | 11.90 | 38.40 | 38.60 |
| | 33 | 55 | 83 | 1301 | 1574 | 805 | 55 | 50 | 25 | 10.82 | 38.40 | 38.60 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 50 | 83 | 1158 | 1248 | 684 | 57 | 54 | 25 | 10.82 | 36.60 | 38.00 |
| | 23 | 50 | 83 | 1158 | 1248 | 684 | 50 | 51 | 25 | 10.82 | 36.60 | 38.00 |
| | 33 | 50 | 83 | 1158 | 1248 | 684 | 50 | 46 | 25 | 9.96 | 36.60 | 38.00 |
| AAC 242 (477) | 13 | 43 | 81 | 972 | 881 | 529 | 50 | 48 | 25 | 9.31 | 33.80 | 36.00 |
| | 23 | 43 | 81 | 972 | 881 | 529 | 43 | 45 | 25 | 9.31 | 33.80 | 36.00 |
| | 33 | 43 | 81 | 972 | 881 | 529 | 43 | 41 | 25 | 8.87 | 33.80 | 36.00 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 75 | 109 | 1937 | 2863 | 1228 | 87 | 79 | 25 | 16.23 | 53.00 | 51.00 |
| | 23 | 75 | 109 | 1937 | 2863 | 1228 | 75 | 74 | 25 | 16.02 | 53.00 | 51.00 |
| | 33 | 75 | 109 | 1937 | 2863 | 1228 | 75 | 67 | 25 | 14.50 | 53.00 | 51.00 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 62 | 106 | 1536 | 1800 | 913 | 72 | 67 | 25 | 13.42 | 43.00 | 42.00 |
| | 23 | 62 | 106 | 1536 | 1800 | 913 | 62 | 63 | 25 | 13.42 | 43.00 | 42.00 |
| | 33 | 62 | 106 | 1536 | 1800 | 913 | 62 | 57 | 25 | 12.34 | 43.00 | 42.00 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 51 | 112 | 1200 | 1129 | 654 | 59 | 58 | 25 | 11.04 | 37.00 | 38.30 |
| | 23 | 51 | 112 | 1200 | 1129 | 654 | 51 | 54 | 25 | 11.04 | 37.00 | 38.30 |
| | 33 | 51 | 112 | 1200 | 1129 | 654 | 51 | 49 | 25 | 10.61 | 37.00 | 38.30 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 47 | 112 | 1070 | 897 | 551 | 54 | 54 | 25 | 10.17 | 36.30 | 38.50 |
| | 23 | 47 | 112 | 1070 | 897 | 551 | 47 | 50 | 25 | 10.17 | 36.30 | 38.50 |
| | 33 | 47 | 112 | 1070 | 897 | 551 | 47 | 46 | 25 | 9.96 | 36.30 | 38.50 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 40 | 111 | 899 | 632 | 420 | 46 | 48 | 25 | 8.66 | 32.60 | 35.50 |
| | 23 | 40 | 111 | 899 | 632 | 420 | 40 | 45 | 25 | 8.66 | 32.60 | 35.50 |
| | 33 | 40 | 111 | 899 | 632 | 420 | 40 | 41 | 25 | 8.66 | 32.60 | 35.50 |

**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA ESTRUCTURA**
**TD3G**
**(VR=120 km/h)**

| Tamaño $mm^2$ (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR RESISTENCIA DE | | | | | SEPARACIÓN | | DEFLEXIÓN MÁX. HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | POSTE | CABLE | PERNO | CRUCETA SIN HIELO | CRUCETA CON HIELO | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 2093 | 1210 | 788 | 83 | 100 | 25 | 16.88 | 19.00 | 19.00 |
| | 23 | 78 | 78 | 2093 | 1210 | 788 | 78 | 94 | 25 | 16.88 | 19.00 | 19.00 |
| | 33 | 78 | 78 | 2093 | 1210 | 788 | 78 | 85 | 25 | 16.88 | 19.00 | 19.00 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 70 | 78 | 1659 | 761 | 547 | 74 | 97 | 25 | 15.15 | 34.60 | 30.00 |
| | 23 | 70 | 78 | 1659 | 761 | 547 | 70 | 91 | 25 | 15.15 | 34.60 | 30.00 |
| | 33 | 70 | 78 | 1659 | 761 | 547 | 70 | 82 | 25 | 15.15 | 34.60 | 30.00 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 59 | 79 | 1341 | 511 | 392 | 63 | 87 | 25 | 12.77 | 29.40 | 26.00 |
| | 23 | 59 | 79 | 1341 | 511 | 392 | 59 | 82 | 25 | 12.77 | 29.40 | 26.00 |
| | 33 | 59 | 79 | 1341 | 511 | 392 | 59 | 74 | 25 | 12.77 | 29.40 | 26.00 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 84 | 84 | 2094 | 3981 | 1440 | 89 | 86 | 25 | 18.18 | 25.00 | 23.70 |
| | 23 | 84 | 84 | 2094 | 3981 | 1440 | 84 | 80 | 25 | 17.32 | 25.00 | 23.70 |
| | 33 | 84 | 84 | 2094 | 3981 | 1440 | 84 | 73 | 25 | 15.80 | 25.00 | 23.70 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 73 | 82 | 1661 | 2504 | 1095 | 77 | 76 | 25 | 15.80 | 46.00 | 44.00 |
| | 23 | 73 | 82 | 1661 | 2504 | 1095 | 72 | 71 | 25 | 15.37 | 46.00 | 44.00 |
| | 33 | 73 | 82 | 1661 | 2504 | 1095 | 72 | 64 | 25 | 13.85 | 46.00 | 44.00 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 60 | 83 | 1301 | 1574 | 805 | 63 | 64 | 25 | 12.99 | 38.40 | 38.60 |
| | 23 | 60 | 83 | 1301 | 1574 | 805 | 60 | 60 | 25 | 12.99 | 38.40 | 38.60 |
| | 33 | 60 | 83 | 1301 | 1574 | 805 | 60 | 55 | 25 | 11.90 | 38.40 | 38.60 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 54 | 83 | 1158 | 1248 | 684 | 58 | 59 | 25 | 11.69 | 36.60 | 38.00 |
| | 23 | 54 | 83 | 1158 | 1248 | 684 | 54 | 55 | 25 | 11.69 | 36.60 | 38.00 |
| | 33 | 54 | 83 | 1158 | 1248 | 684 | 54 | 50 | 25 | 10.82 | 36.60 | 38.00 |
| AAC 242 (477) | 13 | 47 | 81 | 972 | 881 | 529 | 50 | 53 | 25 | 10.17 | 33.80 | 36.00 |
| | 23 | 47 | 81 | 972 | 881 | 529 | 47 | 50 | 25 | 10.17 | 33.80 | 36.00 |
| | 33 | 47 | 81 | 972 | 881 | 529 | 47 | 45 | 25 | 9.74 | 33.80 | 36.00 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 81 | 109 | 1937 | 2863 | 1228 | 86 | 85 | 25 | 17.53 | 53.00 | 51.00 |
| | 23 | 81 | 109 | 1937 | 2863 | 1228 | 81 | 80 | 25 | 17.32 | 53.00 | 51.00 |
| | 33 | 81 | 109 | 1937 | 2863 | 1228 | 81 | 73 | 25 | 15.80 | 53.00 | 51.00 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 68 | 106 | 1536 | 1800 | 913 | 72 | 73 | 25 | 14.72 | 43.00 | 42.00 |
| | 23 | 68 | 106 | 1536 | 1800 | 913 | 68 | 68 | 25 | 14.72 | 43.00 | 42.00 |
| | 33 | 68 | 106 | 1536 | 1800 | 913 | 68 | 62 | 25 | 13.42 | 43.00 | 42.00 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 56 | 112 | 1200 | 1129 | 654 | 60 | 63 | 25 | 12.12 | 37.00 | 38.30 |
| | 23 | 56 | 112 | 1200 | 1129 | 654 | 56 | 59 | 25 | 12.12 | 37.00 | 38.30 |
| | 33 | 56 | 112 | 1200 | 1129 | 654 | 56 | 54 | 25 | 11.69 | 37.00 | 38.30 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 51 | 112 | 1070 | 897 | 551 | 54 | 59 | 25 | 11.04 | 36.30 | 38.50 |
| | 23 | 51 | 112 | 1070 | 897 | 551 | 51 | 55 | 25 | 11.04 | 36.30 | 38.50 |
| | 33 | 51 | 112 | 1070 | 897 | 551 | 51 | 50 | 25 | 10.82 | 36.30 | 38.50 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 44 | 111 | 899 | 632 | 420 | 47 | 53 | 25 | 9.52 | 32.60 | 35.50 |
| | 23 | 44 | 111 | 899 | 632 | 420 | 44 | 49 | 25 | 9.52 | 32.60 | 35.50 |
| | 33 | 44 | 111 | 899 | 632 | 420 | 44 | 45 | 25 | 9.52 | 32.60 | 35.50 |





**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LAS ESTRUCTURAS**
**PS3N**
**(VR = 120 km/h)**

| Tamaño mm² (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR | | | | | | | | DEFLEXIÓN MÁX. HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RESISTENCIA DE | | | | | | SEPARACIÓN | | | | | |
| | | POSTE | CABLE | PERNO | PUNTA POSTE | CRUCETA | | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| | | | | | | SIN HIELO | CON HIELO | | | | | | |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 95 | 95 | 1898 | 2549 | 318 | 207 | 101 | 225 | 3.52 | 2.92 | 11.4 | 7.2 |
| | 23 | 95 | 95 | 1898 | 2549 | 318 | 207 | 101 | 221 | 3.52 | 2.92 | 11.4 | 7.2 |
| | 33 | 95 | 95 | 1898 | 2549 | 318 | 207 | 101 | 216 | 3.52 | 2.92 | 11.4 | 7.2 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 95 | 95 | 1506 | 2022 | 200 | 144 | 101 | 247 | 1.81 | 1.50 | 5.7 | 3.0 |
| | 23 | 95 | 95 | 1506 | 2022 | 200 | 144 | 101 | 243 | 1.81 | 1.50 | 5.7 | 3.0 |
| | 33 | 95 | 95 | 1506 | 2022 | 200 | 144 | 101 | 237 | 1.81 | 1.50 | 5.7 | 3.0 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 85 | 85 | 1216 | 1633 | 134 | 103 | 91 | 241 | 1.40 | 1.04 | 3.1 | 1.2 |
| | 23 | 85 | 85 | 1216 | 1633 | 134 | 103 | 91 | 237 | 1.40 | 1.04 | 3.1 | 1.2 |
| | 33 | 85 | 85 | 1216 | 1633 | 134 | 103 | 91 | 231 | 1.40 | 1.04 | 3.1 | 1.2 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 105 | 105 | 1900 | 2551 | 1045 | 378 | 110 | 177 | 4.17 | 3.82 | 21.7 | 15.0 |
| | 23 | 105 | 105 | 1900 | 2551 | 1045 | 378 | 110 | 173 | 4.17 | 3.82 | 21.7 | 15.0 |
| | 33 | 105 | 105 | 1900 | 2551 | 1045 | 378 | 110 | 169 | 4.17 | 3.82 | 21.7 | 15.0 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 100 | 100 | 1507 | 2023 | 658 | 288 | 107 | 179 | 2.42 | 2.11 | 14.1 | 9.2 |
| | 23 | 100 | 100 | 1507 | 2023 | 658 | 288 | 107 | 176 | 2.42 | 2.11 | 14.1 | 9.2 |
| | 33 | 100 | 100 | 1507 | 2023 | 658 | 288 | 107 | 172 | 2.42 | 2.11 | 14.1 | 9.2 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 105 | 105 | 1180 | 1584 | 413 | 211 | 110 | 194 | 0.55 | 0.50 | 8.7 | 4.9 |
| | 23 | 105 | 105 | 1180 | 1584 | 413 | 211 | 110 | 190 | 0.55 | 0.50 | 8.7 | 4.9 |
| | 33 | 105 | 105 | 1180 | 1584 | 413 | 211 | 110 | 186 | 0.55 | 0.50 | 8.7 | 4.9 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 100 | 100 | 1050 | 1410 | 328 | 180 | 106 | 191 | 0.24 | 0.21 | 7.0 | 3.7 |
| | 23 | 100 | 100 | 1050 | 1410 | 328 | 180 | 106 | 187 | 0.24 | 0.21 | 7.0 | 3.7 |
| | 33 | 100 | 100 | 1050 | 1410 | 328 | 180 | 106 | 183 | 0.24 | 0.21 | 7.0 | 3.7 |
| AAC 242 (477) | 13 | 85 | 85 | 882 | 1184 | 231 | 139 | 92 | 173 | 0.22 | 0.16 | 5.6 | 2.8 |
| | 23 | 85 | 85 | 882 | 1184 | 231 | 139 | 92 | 170 | 0.22 | 0.16 | 5.6 | 2.8 |
| | 33 | 85 | 85 | 882 | 1184 | 231 | 139 | 92 | 166 | 0.22 | 0.16 | 5.6 | 2.8 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 135 | 135 | 1757 | 2360 | 752 | 323 | 140 | 236 | 1.18 | 1.39 | 15.0 | 9.1 |
| | 23 | 135 | 135 | 1757 | 2360 | 752 | 323 | 140 | 231 | 1.18 | 1.39 | 15.0 | 9.1 |
| | 33 | 135 | 135 | 1757 | 2360 | 752 | 323 | 140 | 226 | 1.18 | 1.39 | 15.0 | 9.1 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 125 | 125 | 1394 | 1871 | 473 | 240 | 131 | 234 | 0.41 | 0.45 | 9.3 | 5.0 |
| | 23 | 125 | 125 | 1394 | 1871 | 473 | 240 | 131 | 229 | 0.41 | 0.45 | 9.3 | 5.0 |
| | 33 | 125 | 125 | 1394 | 1871 | 473 | 240 | 131 | 224 | 0.41 | 0.45 | 9.3 | 5.0 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 100 | 100 | 1089 | 1463 | 296 | 172 | 108 | 202 | 0.39 | 0.34 | 6.6 | 3.5 |
| | 23 | 100 | 100 | 1089 | 1463 | 296 | 172 | 108 | 199 | 0.39 | 0.34 | 6.6 | 3.5 |
| | 33 | 100 | 100 | 1089 | 1463 | 296 | 172 | 108 | 194 | 0.39 | 0.34 | 6.6 | 3.5 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 95 | 95 | 970 | 1303 | 236 | 145 | 98 | 191 | 0.13 | 0.11 | 6.1 | 2.9 |
| | 23 | 95 | 95 | 970 | 1303 | 236 | 145 | 98 | 187 | 0.13 | 0.11 | 6.1 | 2.9 |
| | 33 | 95 | 95 | 970 | 1303 | 236 | 145 | 98 | 183 | 0.13 | 0.11 | 6.1 | 2.9 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 80 | 80 | 815 | 1095 | 166 | 110 | 85 | 174 | 0.15 | 0.10 | 4.7 | 2.1 |
| | 23 | 80 | 80 | 815 | 1095 | 166 | 110 | 85 | 171 | 0.15 | 0.10 | 4.7 | 2.1 |
| | 33 | 80 | 80 | 815 | 1095 | 166 | 110 | 85 | 167 | 0.15 | 0.10 | 4.7 | 2.1 |





**LIMITACIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LA ESTRUCTURA**
**PS3N**
**(VR=120 km/h)**

| Tamaño mm² (AWG ó kcmil) | kV | CLARO INTERPOSTAL MÁXIMO EN METROS POR RESISTENCIA DE | | | | | | SEPARACIÓN | | DEFLEXIÓN MÁX. HORIZONTAL | | DESNIVEL MÁXIMO EN METROS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | POSTE | CABLE | PERNO | PUNTA POSTE | CRUCETA SIN HIELO | CRUCETA CON HIELO | A PISO | EN FASES | GRADOS | METROS | SIN HIELO | CON HIELO |
| Cu 53.49 (1/0) C-A | 13 | 78 | 78 | 1395 | 1872 | 712 | 464 | 97 | 193 | 1.11 | 0.76 | 18.0 | 18.0 |
| | 23 | 78 | 78 | 1395 | 1872 | 712 | 464 | 97 | 190 | 1.11 | 0.76 | 18.0 | 18.0 |
| | 33 | 78 | 78 | 1395 | 1872 | 712 | 464 | 97 | 185 | 1.11 | 0.76 | 18.0 | 18.0 |
| Cu 85 (3/0) C-A | 13 | 68 | 78 | 1106 | 1485 | 448 | 322 | 85 | 182 | 1.00 | 0.59 | 18.0 | 14.5 |
| | 23 | 68 | 78 | 1106 | 1485 | 448 | 322 | 85 | 178 | 1.00 | 0.59 | 18.0 | 14.5 |
| | 33 | 68 | 78 | 1106 | 1485 | 448 | 322 | 85 | 174 | 1.00 | 0.59 | 18.0 | 14.5 |
| Cu 127 (250) C-A | 13 | 57 | 79 | 894 | 1200 | 301 | 231 | 71 | 162 | 1.00 | 0.50 | 15.4 | 12.9 |
| | 23 | 57 | 79 | 894 | 1200 | 301 | 231 | 71 | 159 | 1.00 | 0.50 | 15.4 | 12.9 |
| | 33 | 57 | 79 | 894 | 1200 | 301 | 231 | 71 | 156 | 1.00 | 0.50 | 15.4 | 12.9 |
| AAC53.49 (1/0) | 13 | 84 | 84 | 1396 | 1874 | 2344 | 848 | 105 | 162 | 1.01 | 0.74 | 10.0 | 10.0 |
| | 23 | 84 | 84 | 1396 | 1874 | 2344 | 848 | 105 | 159 | 1.01 | 0.74 | 10.0 | 10.0 |
| | 33 | 84 | 84 | 1396 | 1874 | 2344 | 848 | 105 | 155 | 1.01 | 0.74 | 10.0 | 10.0 |
| AAC 85 ( 3/0) | 13 | 71 | 82 | 1107 | 1487 | 1474 | 645 | 89 | 141 | 1.00 | 0.62 | 26.7 | 24.2 |
| | 23 | 71 | 82 | 1107 | 1487 | 1474 | 645 | 89 | 138 | 1.00 | 0.62 | 26.7 | 24.2 |
| | 33 | 71 | 82 | 1107 | 1487 | 1474 | 645 | 89 | 135 | 1.00 | 0.62 | 26.7 | 24.2 |
| AAC 135 (266.8) | 13 | 58 | 83 | 867 | 1164 | 927 | 474 | 72 | 117 | 1.00 | 0.51 | 23.3 | 22.7 |
| | 23 | 58 | 83 | 867 | 1164 | 927 | 474 | 72 | 115 | 1.00 | 0.51 | 23.3 | 22.7 |
| | 33 | 58 | 83 | 867 | 1164 | 927 | 474 | 72 | 113 | 1.00 | 0.51 | 23.3 | 22.7 |
| AAC 171 (336.4) | 13 | 52 | 83 | 772 | 1036 | 735 | 403 | 65 | 108 | 1.00 | 0.45 | 22.3 | 22.2 |
| | 23 | 52 | 83 | 772 | 1036 | 735 | 403 | 65 | 106 | 1.00 | 0.45 | 22.3 | 22.2 |
| | 33 | 52 | 83 | 772 | 1036 | 735 | 403 | 65 | 104 | 1.00 | 0.45 | 22.3 | 22.2 |
| AAC 242 (477) | 13 | 45 | 81 | 648 | 870 | 518 | 312 | 56 | 96 | 1.00 | 0.39 | 21.7 | 22.3 |
| | 23 | 45 | 81 | 648 | 870 | 518 | 312 | 56 | 94 | 1.00 | 0.39 | 21.7 | 22.3 |
| | 33 | 45 | 81 | 648 | 870 | 518 | 312 | 56 | 92 | 1.00 | 0.39 | 21.7 | 22.3 |
| ACSR 53.49 (1/0) RAVEN | 13 | 81 | 109 | 1291 | 1734 | 1685 | 723 | 102 | 162 | 1.00 | 0.71 | 30.7 | 27.0 |
| | 23 | 81 | 109 | 1291 | 1734 | 1685 | 723 | 102 | 159 | 1.00 | 0.71 | 30.7 | 27.0 |
| | 33 | 81 | 109 | 1291 | 1734 | 1685 | 723 | 102 | 155 | 1.00 | 0.71 | 30.7 | 27.0 |
| ACSR 85 ( 3/0) PIGEON | 13 | 67 | 106 | 1024 | 1375 | 1060 | 538 | 83 | 137 | 1.00 | 0.58 | 25.6 | 23.7 |
| | 23 | 67 | 106 | 1024 | 1375 | 1060 | 538 | 83 | 134 | 1.00 | 0.58 | 25.6 | 23.7 |
| | 33 | 67 | 106 | 1024 | 1375 | 1060 | 538 | 83 | 131 | 1.00 | 0.58 | 25.6 | 23.7 |
| ACSR 135 (266.8) PARTRIDGE | 13 | 54 | 112 | 800 | 1075 | 664 | 385 | 67 | 115 | 1.00 | 0.47 | 23.0 | 23.0 |
| | 23 | 54 | 112 | 800 | 1075 | 664 | 385 | 67 | 113 | 1.00 | 0.47 | 23.0 | 23.0 |
| | 33 | 54 | 112 | 800 | 1075 | 664 | 385 | 67 | 110 | 1.00 | 0.47 | 23.0 | 23.0 |
| ACSR 171 (336.4) LINNET | 13 | 49 | 112 | 713 | 957 | 528 | 324 | 61 | 106 | 1.00 | 0.43 | 22.5 | 22.5 |
| | 23 | 49 | 112 | 713 | 957 | 528 | 324 | 61 | 104 | 1.00 | 0.43 | 22.5 | 22.5 |
| | 33 | 49 | 112 | 713 | 957 | 528 | 324 | 61 | 102 | 1.00 | 0.43 | 22.5 | 22.5 |
| ACSR 242 ( 477) HAWK | 13 | 42 | 111 | 599 | 804 | 372 | 247 | 52 | 95 | 1.00 | 0.37 | 21.0 | 21.0 |
| | 23 | 42 | 111 | 599 | 804 | 372 | 247 | 52 | 93 | 1.00 | 0.37 | 21.0 | 21.0 |
| | 33 | 42 | 111 | 599 | 804 | 372 | 247 | 52 | 91 | 1.00 | 0.37 | 21.0 | 21.0 |

| RD3N RD3G AD3N Y AD3G ZONA: NORMAL, VIENTO 120 km/h, SIN HIELO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONDUCTOR | RETENIDA AG | | PERNO ANCLA mm | ANCLA A USAR EN SUELO…… | | |
| | CONDUCTOR mm | NEUTRO mm | | BLANDO | NORMAL | DURO |
| Cu 85 mm$^2$ (3/0 AWG) | 8 | 8 | 16 | A-2 | A-2 | A-2 |
| Cu 127 mm$^2$ (250 kcmil) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-1 |
| AAC 53.5 mm$^2$ (1/0 AWG) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-3 |
| AAC 53.5 mm$^2$ (1/0 AWG) | 8 | 8 | 16 | A-2 | A-2 | A-2 |
| AAC 85 mm$^2$ (3/0 AWG) | 8 | 8 | 16 | A-2 | A-2 | A-2 |
| AAC 135 mm$^2$ (266.8 kcmil) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-1 |
| AAC 171 mm$^2$ (336.4 kcmil) | 9 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| AAC 242 mm$^2$ (477 kcmil) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-1 |
| ACSR 53.5 mm$^2$ (1/0 AWG) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-1 |
| ACSR 85 mm$^2$ (3/0 AWG) | 9 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| ACSR 135 mm$^2$ (266.8 kcmil) | 9 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| ACSR 171 mm$^2$ (336.4 kcmil) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-1 |
| ACSR 242 mm$^2$ (477 kcmil) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-1 |

| TABLA 3-RDA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RD3N RD3G AD3N Y AD3G ZONA: NORMAL, VIENTO 120 km/h, SIN HIELO | | | | | | |
| CONDUCTOR | RETENIDA AG | | PERNO ANCLA mm | ANCLA A USAR EN SUELO…… | | |
| | CONDUCTOR mm | NEUTRO mm | | BLANDO | NORMAL | DURO |
| Cu 53.5 mm$^2$ (1/0 AWG) | 8 | 8 | 16 | A-1 | C-1 | C-1 |
| Cu 85 mm$^2$ (3/0 AWG) | 13 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| Cu 127 mm$^2$ (250 kcmil) | 13 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| AAC 53.5 mm$^2$ (1/0 AWG) | 8 | 8 | 16 | A-2 | A-2 | A-2 |
| AAC 85 mm$^2$ (3/0 AWG) | 8 | 8 | 16 | A-1 | C-1 | C-1 |
| AAC 135 mm$^2$ (266.8 kcmil) | 13 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| AAC 171 mm$^2$ (336.4 kcmil) | 13 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| AAC 242 mm$^2$ (477 kcmil) | 13 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| ACSR 53.5 mm$^2$ (1/0 AWG) | 9 | 8 | 16 | A-1 | C-3 | C-1 |
| ACSR 85 mm$^2$ (3/0 AWG) | 13 | 8 | 19 | A-1 | A-1 | C-3 |
| ACSR 135 mm$^2$ (266.8 kcmil) | 13 | 8 | 19 | A-1 | A-1 | C-3 |
| ACSR 171 mm$^2$ (336.4 kcmil) | 13 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |
| ACSR 242 mm$^2$ (477 kcmil) | 13 | 8 | 19 | A-1 | C-3 | C-3 |

*Extracto de la NMX-J-199-ANCE-2002*

4. Clasificación y aplicación

4.1. Clasificación

Las terminales que cubre esta norma se clasifican en la siguiente forma:

a) Terminal Clase 1
La terminal Clase 1 es aquella que proporciona el control de los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del cable al interrumpir y retirar la pantalla semiconductora, proporciona aislamiento externo completo contra corrientes de fuga entre el(los) conductor(es) y tierra; proporciona un sello al final del cable contra la entrada del ambiente externo y mantiene la presión de operación de diseño del sistema del cable, si existe. Esta clase está dividida en tres, que son las siguientes:

Clase 1A. Para usarse en cable con asilamiento extruido.
Clase 1B. Para usarse en cable con asilamiento laminado.
Clase 1C. Para usarse en sistemas de cable presurizado.

b) Terminal Clase 2
La terminal Clase 2 es aquella que proporciona el control de los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del cable al interrumpir y retirar la pantalla, proporciona aislamiento externo completo contra corrientes de fuga entre el(los) conductor(es) y tierra.

c) Terminal Clase 3
La terminal Clase 2 es aquella que proporciona únicamente el control de los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del cable al interrumpir y retirar la pantalla.

Nota: Algunos cables con tensiones menores de 15 kV no tienen pantalla electrostática, las terminales para dichos cables no necesitan proporcionar control de esfuerzos eléctricos, dicha terminales no corresponden a ninguna de las clases citadas.

4.2. Aplicación

Las terminales que cubre esta norma pueden usarse en las siguientes aplicaciones:

a) Terminales para uso interior con ambiente húmedo y/o contaminado
Son terminales para uso en lugares protegidos de la exposición directa de lluvia y radiación solar, pero están expuestos a condiciones ambientales que pueden causar condensación y/o depósito de contamienantes en su superficie.

b) Terminales para uso interior en ambiente seco
Son terminales para uso en lugares protegidos de la radiación solar y la lluvia y que no estén sometidas a condensación periódica, o humedad excesiva (90% de humedad relativa o mayor). Pueden ser instaladas en áreas con aire acondicionado.

c) Terminales para uso exterior
Son terminales para uso en lugares expuestos directamente a radiación solar y la lluvia.

d) Terminales para exteriores con ambiente contaminado
Son terminales para uso en lugares expuestos directamente a radiación solar o lluvia, y a condiciones de servicio tales como ambientes marinos, emisiones industriales, precipitaciones sólidas, etc. a menudo requieren de distancia de fuga adicional o mantenimiento extra tal como lavado.

e) Terminales de tipo presurizado
Son terminales para uso en sistemas de cable con presión positiva.

1) Terminales de zona de presión simple (terminal del tipo presurizado diseñada para operar en una zona presurizada).
2) Terminales para múltiples zonas de presurización (terminal del tipo presurizado diseñada para operar en dos o más zonas de presurización).

f) Terminales para uso dentro de equipos
Son terminales para uso dentro de equipos sellados o inmersos en líquidos o gases dieléctricosy donde la temperatura ambiente del medio que rodea la terminal puede alcanzar 55 °C.

*Extracto de la NMX-J-549-ANCE-2005*

4.3 Diseño del sistema externo de protección SEPTE

Los elementos que conforman a un SEPTE son los siguientes:

- **terminales aéreas,**
- conductores de bajada, y
- **sistema de puesta a tierra.**

El número y ubicación de las terminales **aéreas** de un SEPTE dependen del nivel de protección seleccionado y de la aplicación del método de la esfera rodante, indicado en 4.3.1.

El número y ubicación de los conductores de bajada dependen del tipo de sistema de protección seleccionado, que puede ser aislado o no aislado.

El número de los electrodos de puesta a tierra (ya sea individual o en arreglo) es el que determina el cumplimiento del valor de la resistencia a tierra indicado en 4.3.4.

Apéndice B
(Normativo)

Medición de resistividad del suelo

B1 Generalidades

La resistividad del suelo es importante para los sistemas de puesta a tierra, ya que tiene un efecto directo en la determinación de la resistencia de conexión a tierra y en los gradientes de potencial del suelo en la vecindad de las instalaciones al momento de circular la corriente de rayo. Para propósito de diseño, es necesario aplicar un método de medición y adoptar un modelo práctico de interpretación que permita evaluar la resistividad del suelo, la cual varía tanto en el sentido lateral como con la profundidad, por lo que los valores que se miden en campo se conocen como “resistividad aparente”, y son característicos de cada sitio en particular.

B1.1 Resistividad aparente del suelo

Debido a la complejidad en su composición, el suelo no puede definirse a través de clasificaciones genéricas por lo que la resistividad del suelo debe determinarse mediante mediciones realizadas en campo.

La resistividad del suelo depende de varios parámetros como son:

1) Contenido de agua (importante en las variaciones cíclicas entre estaciones del año).
2) El contenido de sales.
3) La temperatura.
4) El grado de compactación.
5) La heterogeneidad.

B2 Material y equipo

1) Equipo calibrado de medición de resistencia de tierra con las características siguientes:
- Intervalo de frecuencia de 100 Hz a 200 Hz o mayor.
- Posibilidad de proveer alta y baja corriente con valores de 9 mA a 250 mA.
2) accesorios provistos por el fabricante del equipo de medición.
3) en caso de no contar con accesorios para el equipo de medición, utilizar cable o cordón aislado de cobre tipo SCE o SCT con una designación de uso más común de 2,08 mm2 (14 AWG) o 1,307 mm2 (16 AWG), con

accesorios en sus extremos para la correcta conexión al equipo y electrodos auxiliares con una longitud mínima de 50 cm y un diámetro mínimo de 13 mm de alguno de los siguientes materiales:

- Acero inoxidable.
- Acero con recubrimiento de cobre.
- Acero galvanizado.

B3 Principio de medición

Esta norma recomienda el método de los cuatro electrodos (dos de corriente y dos de potencial) o método de Wenner, el cual ha demostrado ser simple y efectivo, ya que no necesita de electrodos auxiliares profundos.

El procedimiento de medición utiliza cuatro electrodos de prueba auxiliares enterrados en línea recta y a una distancia uniforme entre ellos. Véase figura B.1. Una fuente de corriente, conectada entre los electrodos auxiliares externos, suministra una corriente a tierra. El flujo de esta corriente en la tierra produce una variación del potencial en el suelo, generando una diferencia de potencial entre los electrodos auxiliares internos. La relación entre la diferencia de potencial (V) y la corriente de prueba (I) corresponde a la resistencia del suelo, la cual es utilizada para determinar la resistividad aparente. Cabe aclarar que existen equipos de medición que proporcionan la medición de la resistividad aparente de manera directa.

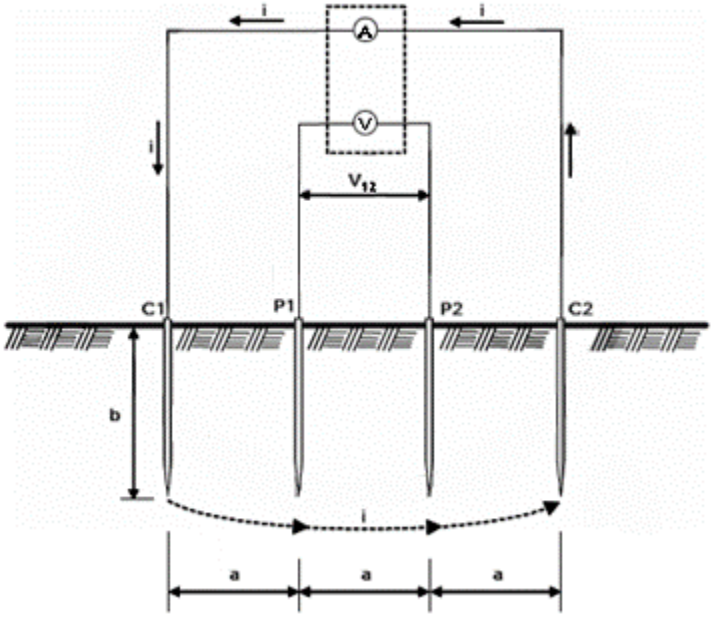



Figura B.1.- Método de los cuatro electrodos o método de wenner

NOTA - Puede utilizarse otro método de medición para la resistividad del terreno siempre y cuando los resultados sean equivalentes al método de Wenner

B4 Procedimiento de medición

a) Seleccionar un eje de referencia sobre el suelo para efectuar las mediciones
b) Colocar en línea recta los cuatro electrodos auxiliares como se indica en la figura B.1.
c) Suministrar una corriente de prueba a tierra a través de los dos electrodos externos, de acuerdo con lo indicado por el fabricante del equipo de medición.
d) Registrar el valor de resistencia R obtenido en el equipo de medición.
e) Repetir los puntos (b), (c) y (d) para diferentes distancias a entre los electrodos auxiliares.

Para este método de medición, la resistividad aparente del suelo está determinada por la siguiente expresión matemática:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} = \frac{4\pi aR}{n} \qquad \text{(B-1)}$$

En donde:

a es la distancia entre electrodos auxiliares, en m.
b es la profundidad de los electrodos auxiliares, en m. R es la resistencia resultante del cociente V/I, en Ω.
ρ es la resistividad aparente del suelo, en Ωm
n es el factor resultante de aplicar los valores en el denominador.
V es la diferencia de potencial entre electrodos auxiliares internos, en V. I es la corriente de prueba entre electrodos auxiliares externos, en A.

El valor máximo recomendado para la profundidad de los electrodos de prueba auxiliares es del 10% de la distancia a. Para condiciones prácticas en las que se mantiene la desigualdad b < a/20 (la distancia entre electrodos auxiliares es mucho mayor que la profundidad de enterramiento), la ecuación (1) puede simplificarse a:

$$\rho = 2\pi aR \qquad \text{(B-2)}$$

Algunos equipos de medición proporcionan directamente el valor de la resistividad aparente, por lo que no es necesario aplicar las ecuaciones anteriores B-1y B-2.

Las distancias entre electrodos pueden ser arbitrarias, pero iguales entre electrodos. Se recomienda que al inicio de las mediciones la distancia mínima de separación entre éstos sea de 1 m con un mínimo de 6 mediciones, graficando los valores obtenidos.

Debido a que en las mediciones de resistividad se involucra el volumen del suelo, es necesario que se realice el mayor número de direcciones de medición posibles en el lugar de medición, con el fin de obtener un perfil representativo del suelo.

La figura B2 ilustra un ejemplo de medición de resistividad del suelo en un área determinada mediante direcciones ortogonales o diagonales.

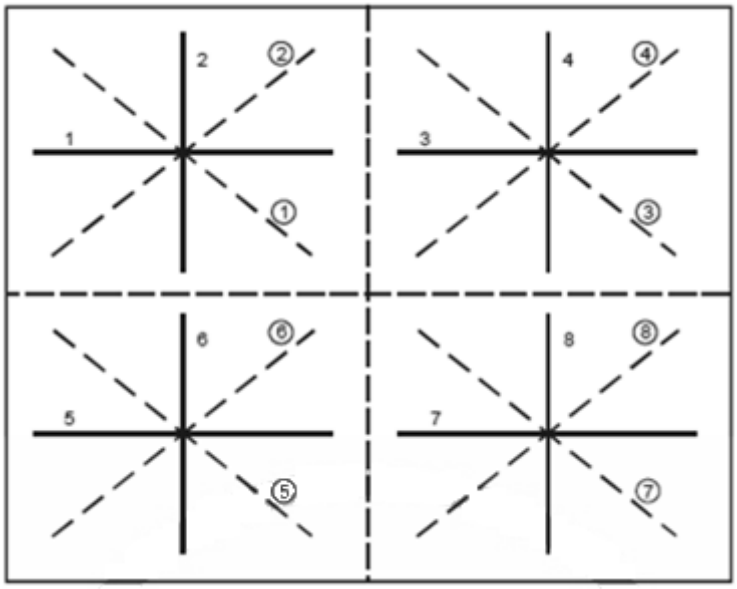


Figura B.2.- Ejemplo de trayectoria de direcciones recomendadas para la medición de resistividad del suelo

Los resultados de las mediciones se registran en una tabla B.1 como se indica a continuación.

Tabla B.1.- Registro típico de mediciones de resistividad

| Número de medición | Distancia de separación m | Dirección 1 Ωm | Dirección 2 Ωm | Dirección 3 Ωm | Dirección n Ωm | Promedio Ωm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | ρ11 | ρ21 | ρ31 | ρn1 | ρ1 |
| 2 | 2 | ρ12 | ρ22 | ρ32 | ρn2 | ρ2 |
| 3 | 3 | ρ13 | ρ23 | ρ33 | ρn3 | ρ3 |
| 4 | 4 | ρ14 | ρ24 | ρ34 | ρn4 | ρ4 |
| 5 | 6 | ρ15 | ρ25 | ρ35 | ρn5 | ρ5 |
| 6 | 8 | ρ16 | ρ26 | ρ36 | ρn6 | ρ6 |

B5 Interpretación de los resultados

El objetivo de medir la resistividad es poder representar al suelo mediante un modelo práctico, con el fin de estimar el comportamiento de la red de puesta a tierra del sistema de protección contra tormentas eléctricas. Los modelos más comunes utilizados en la representación del suelo son los siguientes:

a) Suelo uniforme.
b) Suelo heterogéneo o de dos capas.

El análisis para la correcta interpretación de resultados puede realizarse mediante dos mecanismos: manual y por medio de programas computacionales. Los programas computacionales representan el medio más eficaz y preciso para obtener una representación del suelo, siendo el mecanismo de análisis recomendado en primera instancia. El análisis manual es sencillo en su aplicación y representa una herramienta que todo diseñador puede utilizar debido a su simplicidad. Los resultados del análisis manual, principalmente para un suelo heterogéneo, deben tomarse sólo como un indicador del suelo, más no como un modelo preciso.

La tabla 1 muestra la forma de registrar los valores medidos en el campo. La primera columna indica el número de medición en cada dirección, la segunda columna indica la separación en metros entre los electrodos auxiliares en cada medición, la columna 3 indica los valores obtenidos en las mediciones para la dirección 1, la columna 4 indica los valores obtenidos en las mediciones para la dirección 2 y así sucesivamente hasta la dirección *n*. La última columna representa el valor de la resistividad del espaciamiento correspondiente entre electrodos calculada como el promedio de las *n* direcciones. Con el fin de determinar la tendencia de la resistividad del suelo, deben graficarse los valores promedio obtenidos en la tabla B.1. En la figura B.3 se ilustran curvas típicas de la resistividad aparente promedio del suelo.

B5.1 Suelo uniforme

Una curva de resistividad aparente del suelo se considera homogénea o uniforme, cuando las variaciones entre mediciones promedio se encuentran dentro de una banda del 10%, tal y como se ilustra en la curva A de la figura B.3. El modelo homogéneo se utiliza cuando es posible definir a través de un valor medio único las variaciones de resistividad con la separación entre electrodos.

El valor único de la resistividad aparente homogénea $\rho_{hm}$ se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{hm} = \frac{\rho_1+\rho_2+\rho_3+\rho_4+\rho_5+\rho_6+\ldots+\rho_n}{n} \qquad \text{(B-3)}$$

En donde:

n es el número de mediciones en cada dirección realizadas en campo; y

$\rho_1, \rho_2, \ldots \rho_n$ son las resistividades promedio calculadas en cada medición.

B5.2 Suelo heterogéneo de dos capas

El modelo heterogéneo de dos capas generalmente se obtiene mediante la aplicación de programas computacionales. Este modelo, indicado en la figura B.3, representa al suelo por medio de una capa de resistividad superior cuyos límites están indicados por el nivel de suelo y la profundidad, y una capa de resistividad inferior que se proyecta hasta el infinito a partir de la profundidad de la capa superior.

Una curva de resistividad aparente del suelo se considera heterogénea, cuando existe una tendencia ascendente o descendente, como se ilustra en las curvas B y C de la figura B.3. Si no es posible obtener un modelo de dos capas para el suelo, puede obtenerse un valor indicativo de la resistividad aparente □ del suelo, conocido como resistividad uniforme equivalente, mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{\rho_{max} + \rho_{min}}{2} \qquad \text{(B-4)}$$

En donde:

$\rho_{max}$ y $\rho_{min}$ representan el valor máximo y el valor mínimo, respectivamente, de la resistividad aparente promedio obtenidos en la última columna de la tabla B.1.

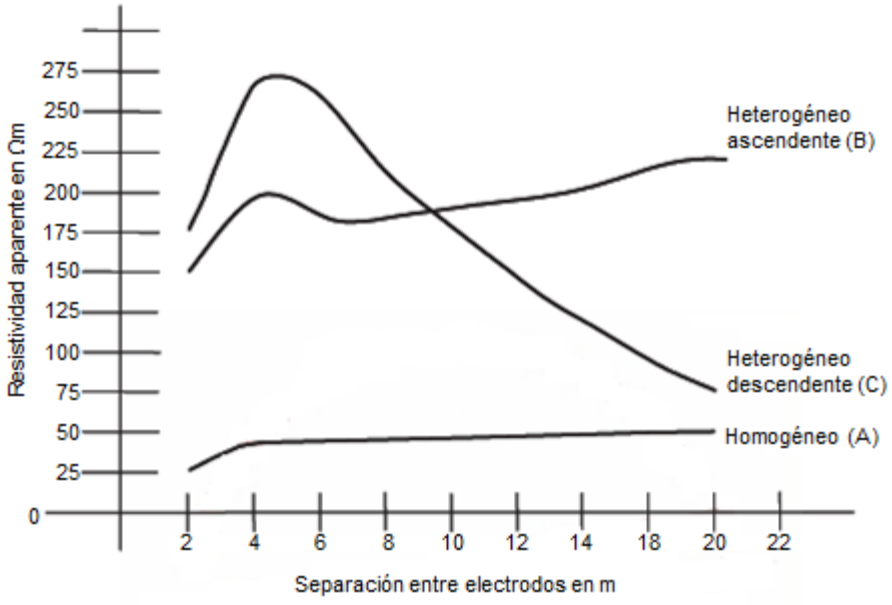



Figura B3.- Curvas típicas de la resistividad aparente del suelo

B6 Informe de resultados

Los resultados obtenidos en las mediciones deben presentarse en un informe que contenga lo siguiente y debe contener las unidades, conforme con NOM-008-SCFI:

1) Equipo utilizado.
2) Arreglo de medición.
3) Valores obtenidos de la medición contenidos en tabla.
4) Grafica de los valores de resistividad contra distancia de separación de electrodos.
5) Valor estimado de la resistividad representativa del suelo.
6) Observaciones.
7) Responsable de efectuar la medición.
8) Fecha de realización de la medición.

*Extracto de la Resolución por la que la Comisión Reguladora de Energía expide las disposiciones administrativas de carácter general que contienen los criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del sistema eléctrico nacional: CÓDIGO DE RED*

**Manual regulatorio de requerimientos técnicos para la conexión de centros de carga**

**Capítulo 3. Requerimientos**

**3.1 Tensión**

**a.** En Estado Operativo Normal, los Centros de Carga deberán soportar variaciones de tensión de manera permanente y seguir conectados de acuerdo a los valores de la Tabla 3.1.1.A.

Tabla 3.1.1.A. Valores máximos y mínimos de tensión que deben soportar los Centros de Carga de manera permanente.

| Tensión nominal [kV] | Tensión máxima [kV] | Tensión mínima [kV] |
|---|---|---|
| 400.0 | 420.0 | 380.0 |
| 230.0 | 245.0 | 218.5 |
| 161.0 | 170.0 | 152.9 |
| 138.0 | 145.0 | 131.1 |
| 115.0 | 123.0 | 109.2 |
| 85.0 | 92.0 | 80.7 |
| 69.0 | 72.5 | 65.5 |
| 34.5 | 38.0 | 32.7 |
| 23.0 | 25.0 | 21.8 |
| 13.8 | 15.0 | 13.1 |

**Nota 1.** Se toma como tensión máxima, el valor que soporta el aislamiento de los equipos del Centro de Carga.
**Nota 2.** Se toma como tensión mínima, el 95% de la tensión nominal.

**b.** En condiciones distintas al Estado Operativo Normal, los Centros de Carga deberán soportar variaciones de tensión de manera temporal hasta por 20 minutos y seguir conectados de acuerdo a los valores de la Tabla 3.1.1.B.

Tabla 3.1.1.B. Valores máximos y mínimos de tensión que deben soportar los Centros de Carga hasta por 20 minutos.

| Tensión nominal [kV] | Tensión máxima [kV] | Tensión mínima [kV] |
|---|---|---|
| 400.0 | 440.0 | 360.0 |
| 230.0 | 253.0 | 207.0 |
| 161.0 | 177.1 | 144.9 |
| 138.0 | 151.8 | 124.2 |
| 115.0 | 126.5 | 103.5 |
| 85.0 | 93.5 | 76.5 |
| 69.0 | 75.9 | 62.1 |
| 34.5 | 37.9 | 31.0 |
| 23.0 | 25.3 | 20.7 |
| 13.8 | 15.1 | 12.4 |

**Nota 1.** Se toma como tensión temporal máxima, el 110% del valor nominal de tensión.
**Nota 2**. Se toma como tensión temporal mínima, el 90% del valor nominal de tensión.

**c.** Los equipos de los Centros de Carga deberán permanecer conectados ante condiciones transitorias de variación de tensión, siempre que se encuentren dentro de la "Región de funcionamiento sin interrupción" de acuerdo a la Figura 3.1.1.A.

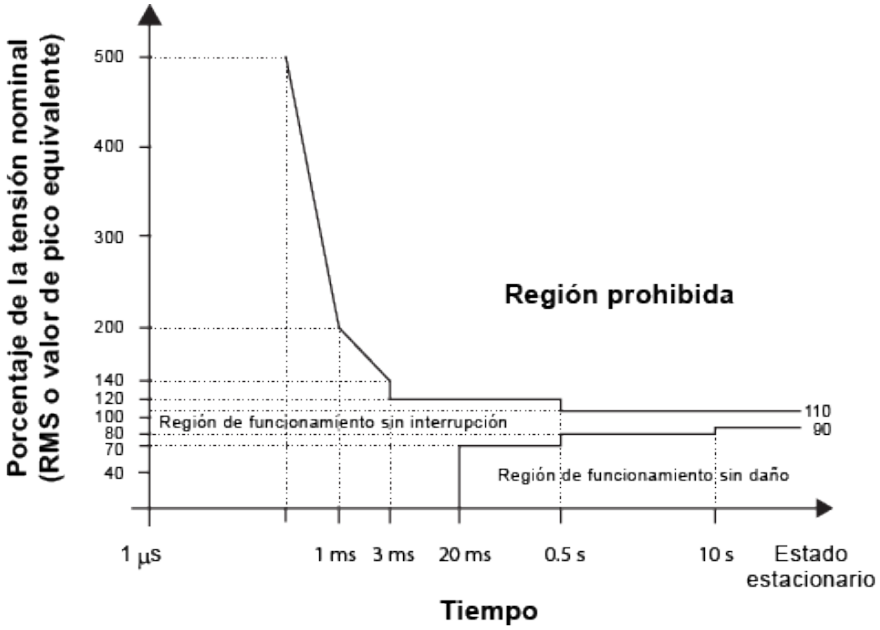



Figura 3.1.1.A. Curva ITIC o ITI (desarrollada por el Consejo Industrial de Tecnología de la Información, en inglés Information Technology Industry Council)

**d.** Si las variaciones transitorias de la tensión se encuentran fuera de la región de funcionamiento sin interrupción, los equipos de los Centros de Carga deberán estar compensados con equipamiento acondicionador para incrementar el nivel de inmunidad ante estas variaciones.

### 3.2 Frecuencia

Los Centros de Carga deberán ser capaces de soportar variaciones de frecuencia y permanecer conectados, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 3.2.1.A.

Tabla 3.2.1.A. Valores de frecuencia máxima y mínima que debe soportar el Centro de Carga.

| Tiempo | Frecuencia máxima [Hz] | Frecuencia mínima [Hz] |
|---|---|---|
| Permanente | 61.0 | 59.0 |
| 30 minutos | 62.5 | 58.0 |

### 3.8 Calidad de la energía

En tanto no se cuente con una Norma Oficial Mexicana sobre Calidad de la energía, se deberá cumplir con los siguientes criterios:

Todos los Centros de Carga deberán asegurarse de que en los puntos de conexión a la red no existan distorsiones ni fluctuaciones en la tensión de suministro causadas por sus instalaciones más allá de lo especificado en las tablas 3.8.A, 3.8.B y 3.8.C que se muestran en este apartado.

Los Centros de Carga especiales deberán cumplir con los límites especificados de distorsión armónica en corrientes, fluctuación de tensión (flicker) y desbalance de corriente. Las Centros de Carga convencionales deberán cumplir con los límites especificados de desbalance de corriente únicamente.

Tabla 3.8.A. Límites de distorsión armónica máxima permisible en corriente para tensiones menores o iguales a 69 kV.

| **Impedancia relativa o razón de corto circuito ($I_{CC}/I_L$)** | **Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$** | | | | | **Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Armónicas <11** | **Armónicas 11 a 16** | **Armónicas 17 a 22** | **Armónicas 23 a 34** | **Armónicas >34** | |
| $I_{CC}/I_L < 20$ | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 5.0 |
| $20 \leq I_{CC}/I_L < 50$ | 7.0 | 3.5 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | 8.0 |
| $50 \leq I_{CC}/I_L < 100$ | 10.0 | 4.5 | 4.0 | 1.5 | 0.7 | 12.0 |
| $100 \leq I_{CC}/I_L < 1000$ | 12.0 | 5.5 | 5.0 | 2.0 | 1.0 | 15.0 |
| $I_{CC}/I_L \geq 1000$ | 15.0 | 7.0 | 6.0 | 2.5 | 1.4 | 20.0 |

Tabla 3.8.B. Límites de distorsión armónica máxima permisible en corriente para tensiones mayores de 69 kV a 161 kV

| **Impedancia relativa o razón de corto circuito ($I_{CC}/I_L$)** | **Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$** | | | | | **Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Armónicas <11** | **Armónicas 11 a 16** | **Armónicas 17 a 22** | **Armónicas 23 a 34** | **Armónicas >34** | |
| $I_{CC}/I_L < 20$ | 2.0 | 1.0 | 0.75 | 0.3 | 0.15 | 2.5 |
| $20 \leq I_{CC}/I_L < 50$ | 3.5 | 1.75 | 1.25 | 0.5 | 0.25 | 4.0 |
| $50 \leq I_{CC}/I_L < 100$ | 5.0 | 2.25 | 2.0 | 0.75 | 0.35 | 6.0 |
| $100 \leq I_{CC}/I_L < 1000$ | 6.0 | 2.75 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | 7.5 |
| $I_{CC}/I_L \geq 1000$ | 7.5 | 3.5 | 3.0 | 1.25 | 0.7 | 10.0 |

Tabla 3.8.C. Límites de distorsión armónica máxima permisible en corriente para tensiones mayores a 161 kV.

| Impedancia relativa o razón de corto circuito (Icc/IL) | Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$ | | | | | Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Armónicas <11 | Armónicas 11 a 16 | Armónicas 17 a 22 | Armónicas 23 a 34 | Armónicas >34 | |
| Icc/IL < 50 | 2.0 | 1.0 | 0.75 | 0.3 | 0.15 | 2.5 |
| Icc/IL ≥ 50 | 3.0 | 1.5 | 1.15 | 0.45 | 0.22 | 3.75 |

donde:
**IL** = Corriente Máxima de Carga, correspondiente al promedio de las corrientes de demanda máxima de los últimos 12 meses. Si no se dispone de este valor, se asume la corriente nominal de los transformadores de corriente del equipo de medición del suministrador.
**Icc** = Corriente de Corto Circuito en el punto de acometida.
**%DATD** = Porcentaje de distorsión armónica total de demanda.
Notas para las tablas:
**Nota 1**. En el caso de armónicas pares, los límites se reducen al 25% de los correspondientes a armónicas impares.
**Nota 2**. Los límites mostrados en las tablas anteriores deben ser utilizados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites de la tabla en 50%.
**Nota 3**. En ningún caso se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.
**Referencia**: Especificación CFE L0000-45 “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica” (IEEE-519)

Variaciones periódicas de amplitud de la tensión (fluctuación de tensión o flicker). El número de variaciones por minuto, en acometidas de Media Tensión y Alta Tensión en estado estacionario, debe limitarse de acuerdo a Tabla 3.8.D:

Tabla 3.8.D Límites de fluctuaciones de tensión

| Indicador | Límite |
|---|---|
| $P_{st}$ | $\leq 1$ |
| $P_{lt}$ | $\leq 0.65$ |
| $d_t$ | $\leq 3.3\%$ Durante el cambio de tensión para más de 500 ms. |
| $d_c$ | $\leq 3.3\%$ |
| $d_{máx}$ | $\leq 4\%$ Sin condiciones adicionales.<br>$\leq 6\%$ Para equipo que es conmutado manualmente o con una frecuencia mayor a 2 veces por día y también con arranque retardado de más de 10 segundos, o arranque manual después de una interrupción en el suministro de energía.<br>$\leq 7\%$ Para equipo que es conmutado hasta dos veces al día. |

**Nota 1.** $P_{st}$ y $P_{lt}$ no aplica para cambios de tensión por conmutación manual que ocurre una vez cada día y los límites $d_t$, $d_c$ y $d_{máx}$ deben aplicarse con las tensiones previas multiplicadas por el factor 1.33.
**Nota 2.** Los límites no aplican a conmutaciones por interrupciones de emergencia.

**Referencia:** Especificación CFE L0000-45 “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica” (IEEE-519)
**Nota 3.** Descripción de indicadores:

**$P_{st}$** – Indicador de variación de tensión de corto plazo. Expresa la severidad de la fluctuación durante un período de 10 min, siendo Pst=1 el umbral de irritabilidad.
**$P_{lt}$** – Indicador de variaciones de tensión de largo plazo. Expresa la severidad de la fluctuación durante un periodo largo de 2 horas, empleando valores sucesivos de Pst.

**$d_t$** – Característica de cambio de tensión, $^{\Delta U(t)}$. Es el cambio de tensión rcm evaluado de fase a tierra como un valor simple para cada medio periodo sucesivo entre cruces por cero de la fuente de tensión entre intervalos de tiempo en los cuales la tensión está en condiciones de estado estacionario hasta 1 segundo.
**$d_c$** – Cambio de tensión en estado estacionario, $\Delta Uc$. Es la diferencia entre dos tensiones medidas de fase a tierra y en estado estacionario separados por una característica de cambio de tensión.
**$d_{máx}$** – Característica de cambio de tensión máxima $\Delta Umax$. Es la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la característica de cambio de tensión.

Tabla 3.8.E. Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida

| **Impedancia relativa o razón de corto circuito ($I_{CC}/I_L$)** | **Desbalance (%)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Menor a 1 kV** | **De 1 kV a 35 kV** | **Mayor a 35 kV** |
| $I_{CC}/I_L < 20$ | 5.0 | 2.5 | 2.5 |
| $20 \leq I_{CC}/I_L < 50$ | 8.0 | 4.0 | 3.0 |
| $50 \leq I_{CC}/I_L < 100$ | 12.0 | 6.0 | 3.75 |
| $100 \leq I_{CC}/I_L < 1000$ | 15.0 | 7.5 | 4.0 |
| $I_{CC}/I_L \geq 1000$ | 20.0 | 10.0 | 5.0 |

**Referencia**: Especificación CFE L0000-45 “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica” (IEEE-519)

*Extracto de la IEC 60214-2*

**10 Information to be provided by the transformer manufacturer**
**10.1 Information required at the enquiry or order stage for an on-load tap-changer**
a) Relevant specification (IEC 60214-1)
b) Number of tap-changers required
c) Single or polyphase units
d) Number of phases in the system
e) Frequency
f) Rated power of apparatus to which the tap-changer is to be connected
g) Rated voltage of the winding to which the tap-changer is to be connected
h) Winding connections
i) Tap range required, given in per cent above and below the rated voltage of the winding
j) Number of service tap positions required, the numbering of these positions and their identification with reference to the transformer tapings
k) Tap arrangement (for example, linear, reversing or coarse/fine)
l) Position of taps in winding (for example, line end, middle, neutral point)
m) Highest tap current of the winding to which the tap-changer is to be connected (see 3.5.10 of IEC 60076-1)
n) Maximum value and duration of short-circuit current passing through the tap-changer o) Phase voltage per step (if the step voltage varies over the range, give full details, together with associated currents)
p) On neutral point tap-changers, whether one neutral terminal or three separate neutral terminals are required (not available on all tap-changer designs)
q) The power-frequency voltage appearing between the opening and closing contacts of the change-over selector (see 6.2.6)
r) Insulation levels in accordance with 6.2.1:
i) highest voltage between the extreme taps and, where applicable, the highest voltaje between the ends of the coarse tap winding section and the fine tap section
ii) highest voltage between the most onerously stressed tap and earth
iii) highest voltage between taps of adjacent phases
iv) highest voltage between the diverter switch and earth
v) highest voltage between phases of the diverter switch
vi) highest voltage between open diverter switch contacts
s) Special design options (for example, fork mounting, tropical environment)
t) Specifications for painting
u) Driving assembly specifications including information for intermediate bearings and guard plates
v) Pressure, vacuum and temperature requirements:
i) maximum working pressure when liquid filled
ii) maximum pressure during liquid tests on the apparatus
iii) maximum vacuum to be applied
iv) type of processing, maximum temperature, vacuum and duration if the tap-changer is fitted before this operation
v) temperatures in special environments, for example, noise enclosures, etc.
vi) minimum operating temperatures and details of any special low temperatura requirements if below –25 °C
w) Special
i) details of periods of abnormal overload, value and duration (exceeding IEC 60354)
ii) details of excessive number of operations
iii) details of use if of a heavy duty application, such as arc furnaces, rolling mills, HVDC (see 6.2.10), generator transformers, phase-shifting transformers (see 6.2.2.4) and quadrature booster transformers
iv) details of the transformer transport arrangements
v) any other special requirements
x) Number, type and position of fittings
y) Position and specification of voltage-limiting elements (for example, protection spark gaps, ZnO surge arrestors)
z) Leakage inductance between coarse winding and fine tapped winding (for coarse/fine winding connection only) (see 6.2.7)
aa) Number, type and position of protective devices including number, type and position of local and remote indication.
bb) Drive mechanism

cc) To enable the correct control devices to be included in the drive mechanism, the fullest possible details of the control scheme should be given by the purchaser, including which, if any, of the following basic control functions are required, together with the type of device necessary for the function:
i) local electrical control and indication
ii) remote electrical control and indication
iii) local automatic control and indication, with or without line drop compensation
iv) remote automatic control and indication, with or without line drop compensation
v) parallel control of two or more transformers
vi) supervisory control and indication
vii) in the case of remote and supervisory control and indication, the load and the approximate distance between the tap-changer and the control point should be stated viii) auxiliary supply details for electrical motor and control equipment, that is, normal voltage, maximum and minimum voltage limits if not within the standard limits given in 11.2 of IEC 60214-1, a.c. or d.c. If a.c. frequency, number of phases and availability of neutral point
dd) Specifications of the housing of the drive mechanism including special requirements (for example, padlock facility, position of hinges)
ee) Kind and number of documentation and labels required
ff) Specification of accessories (for example, lifting device, liquid filter unit, spare parts)

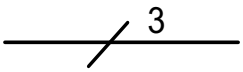
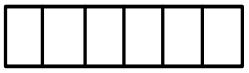
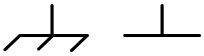
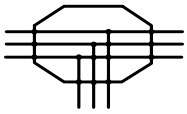
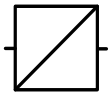
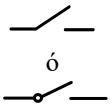
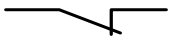
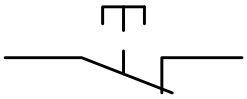
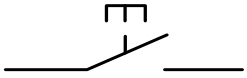
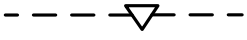
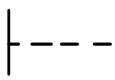
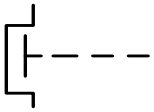
**10.2 Information required with enquiry or order for off-circuit tap-changers**

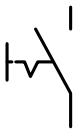
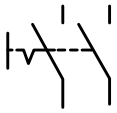
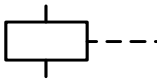
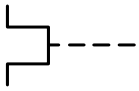
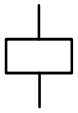
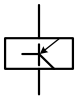
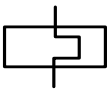
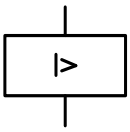
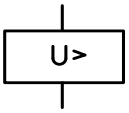
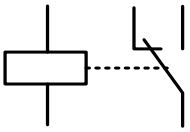
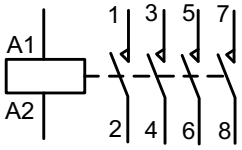
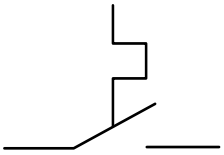
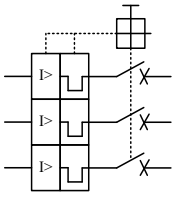
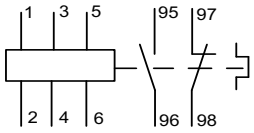
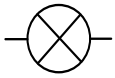
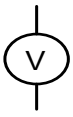
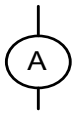
**10.2.1 General**

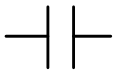
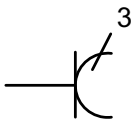
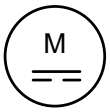
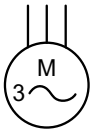
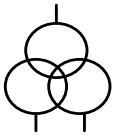
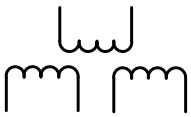
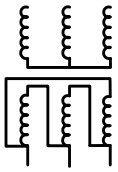
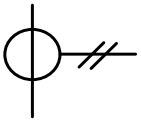
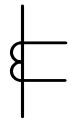
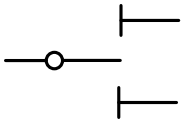
a) Number of tap-changers required
b) Rated voltage of the winding to which the tap-changer is to be connected
c) Winding connections and potential of that point of the winding where the tap-changer is connected
d) Rated current of the windings to which the tap-changer is to be connected
e) Number of positions (taps)
f) Adjustment: tap range required, given in per cent above and below the rated voltage of the winding. If nothing is said, it is intended a value of 2,5 % as a standard
g) Type of tap connections: single or double bridging (pawl adjustment), single or doublé linear (fixed point), star-delta, series-parallel or combinations of these h) For fixed point tap-changers, whether one neutral terminal or three separate neutral terminals are required
i) Structure: single-phase or three-phase
j) If the drive mechanism is not directly fitted on the lid of the transformer tank
i) length of horizontal shaft
ii) length of vertical shaft
k) Type of drive mechanism: handle (hand crank or hand wheel) or motor drive
l) Auxiliary supply details for electrical motor and control equipment, that is, normal voltage, maximum and minimum voltage limits if not within the standard limits given in 11.2 of IEC 60214-1, a.c. or d.c. If a.c. frequency, number of phases and availability of neutral point

**10.2.2 Only for rack or slide-type design off-circuit tap-changer**
a) Position: horizontal or vertical
b) Control shaft exit: on the cover, high on the wall or low on the wall
**10.2.3 Small off-circuit tap-changers**
For small off-circuit tap-changers intended for use on low-voltage distribution and similar systems, only 10.2.1 items a) to i) are required as a minimum.

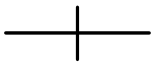
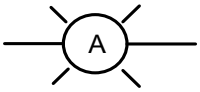
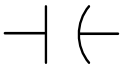
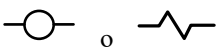
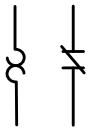
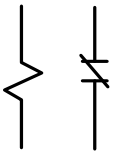
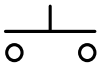
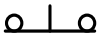
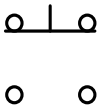
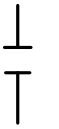
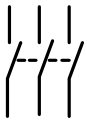
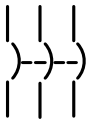
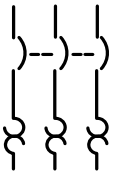
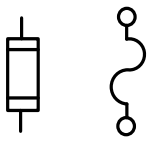
*Extracto de la EN-60617 o IEC 60617*

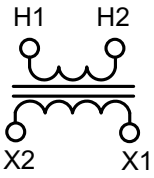
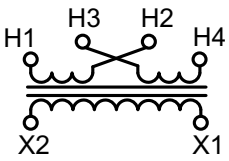
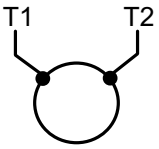
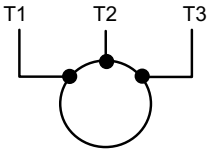
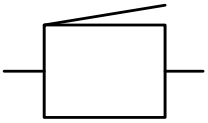
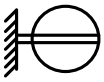
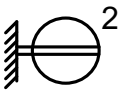
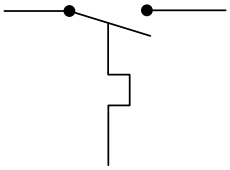
| Descripción | Símbolo | Descripción | Símbolo |
|---|---|---|---|
| Empalme de conductores en una misma línea |  | Unifilar 3 circuitos |  |
| Unifilar 3 conductores |  | Terminal en placa |  |
| Punto que indica conexión |  | El punto en blanco indica terminal del cable |  |
| Representación de la 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 |  |

| Descripción | Símbolo | Descripción | Símbolo |
|---|---|---|---|
| Pulsador con retención |  | Interruptor bipolar |  |
| 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 |  |

| 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 |  |
| Arrancador estrella-delta |  | Arrancado por autotransformador |  |

*Símbolos de acuerdo a la ANSI*

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

| Descripción | Símbolo | Descripción | Símbolo |
|---|---|---|---|
| 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 ANSI/NETA MTS 2019*

7. Inspection and test procedures
7.16.1.2 Motor Control, Motor Starters, Medium-Voltage (continued)

2. Electrical Tests

1. Perform resistance measurements through bolted connections with a low-resistance ohmmeter, if applicable, in accordance with Section 7.16.1.2.1.
2. Perform insulation-resistance tests on contactor(s) for one minute, phase-to-ground and phaseto-phase with the contactor closed, and across each open contact. Test voltage shall be in accordance with manufacturer's published data or Table 100.1.
*3. Perform insulation-resistance tests on all control wiring with respect to ground. The applied potential shall be 500 volts dc for 300-volt rated cable and 1000 volts dc for 600-volt rated cable. Test duration shall be one minute. For units with solid-state components, follow manufacturer's recommendation.
*4. Perform an overpotential test in accordance with manufacturer's published data. In the absence of manufacturer's published data, use Table 100.9.
5. Perform vacuum bottle integrity test (overpotential), if applicable, across each vacuum bottle with the contacts in the open position in strict accordance with manufacturer's published data. Do not exceed maximum voltage stipulated for this test.
6. Perform contact resistance tests.
7. Measure blowout coil circuit resistance, if applicable.
8. Measure resistance of power fuses.
9. Energize contactor using an auxiliary source. Adjust armature to minimize operating vibration where applicable.
10. Test control power transformers in accordance with Section 7.1.2.8.
11. Test starting transformers, if applicable, in accordance with Section 7.2.1.
12. Test starting reactors, if applicable, in accordance with Section 7.20.3.
13. Test motor protection devices in accordance with manufacturer's published data. In the absence of manufacturer's data, test in accordance with Section 7.9.
*14. Perform system function test in accordance with Section 8.
15. Verify operation of cubicle space heater.

* Optional

*Extracto del SOM-3531 2003 Procedimiento de pruebas de campo para equipo primario de subestaciones de distribución*

**Tabla de recomendación de periodicidad máxima de mantenimiento en equipo primario**

| Equipo | Actividad | Periodo | |
|---|---|---|---|
| | | Meses | Años |
| Transformadores de potencia en M.T. y A.T. | Pruebas eléctricas | | 2 |
| | Análisis de gases | 6 | |
| | Mantenimiento, secado y cambio de aceite en cambiador de derivaciones y devanados | | 10 |
| | Remplazo de aceite a cambiador de derivaciones | | 5 |
| | Mantenimiento a sistema de enfriamiento | | 1 |
| | Mantenimiento a equipos auxiliares | | 1 |
| Cuchillas desconectadoras en A.T. | Limpieza, lubricación y engrase de rodamientos y barras de accionamientos | | 2 |
| | Pruebas eléctricas | | 3 |
| Transformadores de corriente, potencial y dispositivos de potencial en A.T. | Pruebas eléctricas | | 3 |
| Red de tierras | Pruebas y mantenimiento | | 3 |
| Bancos de baterías y cargadores | Medición de densidades, reposición de niveles y voltajes | 1 | |
| | Limpieza de celdas | 1 | |
| | Reapriete de conexiones y lubricación | 1 | |
| | Revisión y limpieza de cargadores | 6 | |
| Interruptores de potencia $SF_6$ y PVA en A.T. | Pruebas eléctricas | | 3 |
| | Mantenimiento a cámaras y mecanismos | | 4 |
| | Cambio de aceite a cámaras | | 2 |
| | Medición de humedad residual SF6 | | 3 |
| Interruptores de potencia $SF_6$, PVA y vacío en M.T. | Pruebas eléctricas | | 3 |
| | Mantenimiento a cámaras y mecanismos | | 4 |
| | Cambio de aceite a cámaras | | 1 |
| | Medición de humedad residual SF6 | | 3 |
| Interruptores de gran volumen de aceite | Pruebas eléctricas | | 2 |
| | Mantenimiento a cámaras y mecanismos | | 4 |
| | Cambio de aceite | | 4 |
| | Mantenimiento a motocompesores y auxiliares | 6 | |
| | Mantenimiento a mecanismos neumáticos | | 2 |

Notas:

(1) Las tensiones para los equipos en subestaciones de distribución son en M.T. (Desde 13.8 Kv hasta 34.5 kV) y A.T. (desde 69 Kv hasta 138 kV).
(2) Dependiendo de las condiciones de limpieza y lubricación del mecanismo de accionamiento que se tenga o respetando la recomendación de los fabricantes, lo que suceda primero.
(3) El mantenimiento a cámaras dependerá de las operaciones y valores de corriente interrumpida.

**Tabla 2.2 Pruebas aplicables al equipo**

| Equipo primario | Nombre de la prueba | Prueba de prototipo | Prueba de rutina | Pruebas opcionales | Prueba de campo |
|---|---|---|---|---|---|
| Transformadores de potencia | Características físicas | X | X | | |
| | Impulso | X | | | |
| | Potencial aplicado | X | X | | |
| | Potencial inducido | X | X | | |
| | Resistencia óhmica de devanados | X | X | | X |
| | Perdidas en el cobre | X | X | | |
| | Perdidas en el núcleo | X | X | | |
| | Impedancia | X | X | | |
| | Corriente de excitación | X | X | | |
| | Corto circuito | X | | | |
| | Desplazamiento angular | X | X | | |
| | Resistencia de aislamiento de devanados | X | X | | X |
| | Factor de potencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Relación de transformación y polaridad | X | X | | X |
| | Descargas parciales | X | X | | |
| | Resistencia de aislamiento del núcleo | X | X | | X |
| | Humedad residual | | X | | |
| | Pruebas al aceite aislante | X | X | | X |
| | Pruebas a boquillas | X | X | | |
| | Alambrado de control y protección | X | X | | X |
| | Hermeticidad | X | X | | X |
| | Reactancia de dispersión | X | X | | X |
| | Respuesta a la frecuencia | | | X | |
| Transformadores de corriente | Características físicas | X | X | | |
| | Impulso | X | | | |
| | Potencial aplicado a devanado primario | X | X | | |
| | Potencial aplicado a devanado secundario | X | X | | |
| | Pruebas de relación | X | X | | X |
| | Pruebas de saturación | X | X | | |
| | Verificación de marcas de polaridad | X | X | | X |
| | Burden | X | X | | X |
| | Descargas parciales | X | X | | |
| | Resistencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Factor de potencia de aislamiento | X | X | | X |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Interruptores de potencia | Impulso | X | | | |
| | Potencial aplicado a 60 Hz en seco y húmedo | X | X | | |
| | Verificación de la capacidad interruptiva de corto circuito | X | | | |
| | Falla en línea corta y cierre en condiciones de falla | X | X | | |
| | Verificación de la corriente sostenida de corta duración | X | X | | |
| | Verificación de la corriente de interrupción de línea en vacío | X | X | | |
| | Verificación de la corriente de interrupción de cable en vacío | X | X | | |
| | Verificación de la corriente de switcheo de banco de capacitores | X | X | | |
| | Verificación de la “i” de interrupción de pequeñas corrientes inductivas | X | X | | |
| | Verificación de las corrientes interruptivas de defasamiento | X | X | | |
| | Potencias aplicado a circuitos auxiliares | X | X | | |
| | Medición de resistencia de contactos | X | X | | X |
| | Dieléctricas (factor de potencia y resistencia de aislamiento) | X | X | | X |
| | Verificación de tiempos de apertura y cierre | X | X | | X |
| | Elevación de temperatura | X | X | | |
| | Descargas parciales | | X | | |
| | Pruebas a boquillas | X | X | | X |
| | Operación mecánica | X | X | | X |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Transformadores de potencial | Impulso | X | | | |
| | Potencial inducido | X | X | | |
| | Potencial aplicado a 60 Hz a devanado primario | X | X | | |
| | Potencial aplicado a 60 Hz a devanado secundario | X | X | | |
| | Prueba de relación | X | X | | X |
| | Prueba de saturación | X | X | | X |
| | Verificación de las marcas de polaridad | X | X | | X |
| | Burden | X | X | | X |
| | Descargas parciales | X | X | | |
| | Resistencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Factor de potencia de aislamiento | X | X | | X |
| Apartarayos | Resistencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Perdidas dieléctricas | X | X | | X |
| | Corriente de descarga | X | X | | |
| | Tiempo de recuperación | X | X | | |
| Reguladores de voltaje | Resistencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Factor de potencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Relación de transformación | X | X | | X |
| | Pruebas al aceite | X | X | | X |
| | Resistencia de contactos | X | X | | X |
| | Resistencia óhmica de devanados | X | X | | X |
| | Impulso | X | | | |
| | Potencial aplicado | X | X | | |
| | Verificación de operación | X | X | | X |
| | Elevación de temperatura | X | X | | |
| Restauradores | Impulso | X | | | |
| | Potencial aplicado | X | X | | |
| | Elevación de temperatura | X | | | |
| | Verificación de operación | X | X | | X |
| | Resistencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Factor de potencia de aislamiento | X | X | | X |
| | Pruebas al aceite | X | X | | X |
| | Verificación de capacidad interruptiva | X | | | |
| | Pruebas a boquillas | X | X | | X |

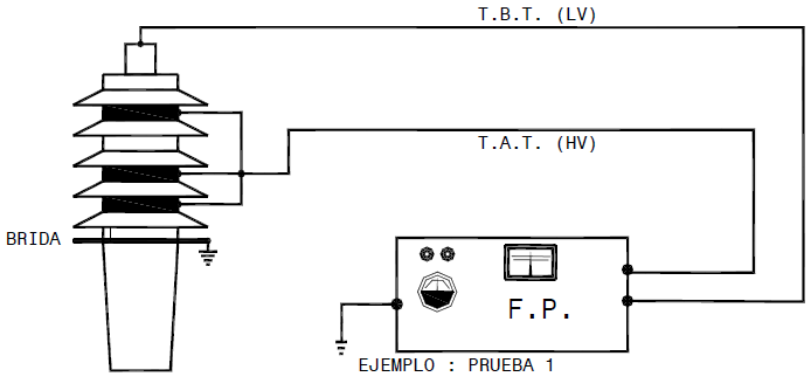
**6.3** Prueba de collar caliente a boquillas

Es una medición de la condición de una sección del aislamiento de la boquilla, entre la superficie de los faldones y el conductor. Se lleva a cabo energizando uno o mas collares situados alrededor de la porcelana de la boquilla y aterrizando el conductor central (terminal) de la misma. Esta prueba es de gran utilidad para detectar fisuras en la porcelana o bajo nivel del líquido o compound.

Prueba de collar sencillo. Refleja información relacionada con la condición del aislamiento de la parte superior de la boquilla. Si se obtienen valores elevados de pérdidas, se recomienda hacer la prueba en cada faldón para analizar la magnitud de la falla.

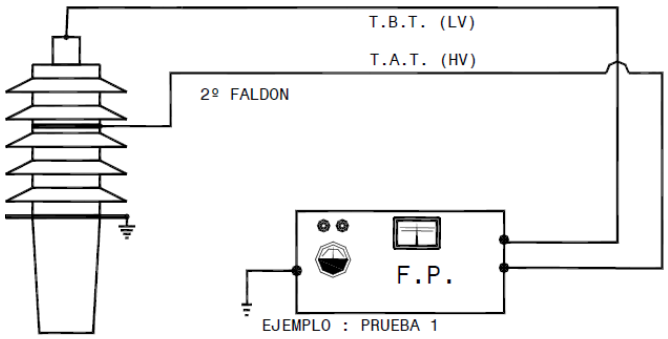
Prueba de collar múltiple. Proporciona información de la condición del aislamiento en general entre la brida y el conductor central.

En las figuras 6.6 se muestran las conexiones para las pruebas de collar caliente a boquillas solidas.




PRUEBA DE COLLAR CALIENTE MULTIPLE

| | CONEXIONES DE PRUEBA | | |
|---|---|---|---|
| PRUEBA | T.A.T. | T.B.T. | SELECTOR |
| 1 | COLLARES | TERM. BOQUILLA | GROUND |




PRUEBA DE COLLAR COLIENTE SENCILLO

| | CONEXIONES DE PRUEBA | | |
|---|---|---|---|
| PRUEBA | T.A.T. | T.B.T. | SELECTOR |
| 1 | COLLARES | TERM. BOQUILLA | GROUND |

**Fig. 6.6 PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE A BOQUILLAS SÓLIDAS**

### 6.3.1 Interpretación de resultados

Una guía general para pruebas de collar caliente, es la de considerar como máximo 6.0 mW de pérdidas a 2.5 kV y 0.1 W de pérdidas a 10 kV.

| | | |
|---|---|---|
| Valores de Watts (W) a 10KV: | menores a 0.1 W | Satisfactorio. |
| | De 0.11 W a 0.3 W | Investigar. |
| | De 0.31 W a 0.5 W | Cambiar boquilla. |

| | | |
|---|---|---|
| Valores de miliWatts (mW) a 2.5 KV: | menor o igual a 6 mW | Satisfactorio. |
| | De 6 a 19 mW | Investigar. |
| | De 19 a 31 mW | Cambiar boquilla. |

Los valores de referencia son para boquillas montadas o desmontadas.

## *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 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*.
**Tabla** 310-60(c)(74) [310-74].- 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*.
**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 n 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:

- las 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-2014, Sistemas eléctricos-Tensiones Eléctricas Normalizadas.

## Título 3
## Lineamientos para la aplicación de las especificaciones en las instalaciones (utilización)

### 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.

### 3.2 Características de las especificaciones de la norma oficial mexicana
Las especificaciones de esta NOM se dividen como se indica en el Título 5. Los Capítulos 1, 2, 3 y 4, son de aplicación general; los Capítulos 5, 6 y 7, se refieren a ambientes especiales, equipos especiales u otras condiciones especiales. Estos últimos Capítulos complementan o modifican las reglas generales. Los Capítulos 1 a 4 se aplican a todo, excepto en lo modificado por los Capítulos 5, 6 y 7 para las condiciones particulares o especiales.
El Capítulo 8 trata de las instalaciones para los sistemas de comunicación y es independiente de los demás, excepto en las referencias específicas que se haga de ellos.
El Capítulo 9, incluye disposiciones para instalaciones destinadas al servicio público; líneas aéreas, líneas subterráneas y subestaciones.
El Capítulo 10, consiste de Tablas de datos de conductores y de sus aislamientos, así como del tubo conduit y de los factores de ocupación por los conductores. Se incluye el apéndice D, que es de carácter normativo y los apéndices A, B, C y E, de carácter informativo.
Cada Capítulo, está dividido en Artículos seguido de un número asignado. Cada Artículo trata un tema específico, por ejemplo: alimentadores, puesta a tierra, circuitos derivados, circuitos de motores, etcétera.

**Ejemplo:**

**ARTICULO 210 CIRCUITOS DERIVADOS**

Cuando un Artículo es muy extenso, se subdivide en Partes, identificándolas con una letra en orden sistemático, las cuales desglosan el tema principal en grupos de información; así se tendrá parte A, parte B, parte C, etcétera.

Ejemplo:

**ARTICULO 210 CIRCUITOS DERIVADOS**
**A. Generalidades**
**B. Clasificación de los circuitos derivados**
**C. Salidas necesarias**

Los artículos se dividen en Secciones y se identifican con números y el tema principal. Una Sección se desglosa en ocasiones en Subsecciones (con letras entre paréntesis), y cada Subsección puede estar desglosada aún más en números entre paréntesis.

Ejemplo de Sección:

**210-4. Circuitos derivados multiconductores**
**Ejemplo de Subsección:**
220-14(g)(1)

Es importante que cuando se haga una referencia a esta NOM, sea proporcionada completa**.**
Las "Excepciones" proporcionan alternativas a una disposición específica. Se presentan dos tipos de excepciones: una Excepción indica obligatoriedad y la otra indica algo permisible. Cuando una disposición tiene varias Excepciones, primeramente se presentan las de carácter obligatorio y posteriormente las permisibles.
Una "Excepción" obligatoria generalmente incluye términos como "debe" o "no debe" en su texto. La Excepción de tipo permisible generalmente incluye la expresión "se permite" o "no se exige".

**3.3 Disposiciones obligatorias y notas aclaratorias**

Las disposiciones de carácter obligatorio indicadas en esta NOM, son aquellas que identifican acciones exigidas o prohibidas específicamente y se caracterizan por el uso del término "debe" o "no debe", o por el tiempo gramatical en futuro. Las notas no son disposiciones obligatorias a menos que se indique otra cosa en esta NOM, sólo intentan aclarar conceptos o proporcionar información adicional que permite comprender lo indicado en la disposición que le antecede o bien proporciona referencias a otras disposiciones en la NOM.

**3.4 Interpretación formal**

La autoridad competente para resolver controversias en la interpretación de esta NOM es la Secretaría de Energía a través de la Dirección General de Distribución y Abastecimiento de Energía Eléctrica, y Recursos Nucleares conforme a sus atribuciones.
**NOTA:** Véase el Artículo 100 del Capítulo 1 para la definición de Autoridad Competente.

**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:
- Previniendo 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 previsiones 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 previsiones 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;
- Sobretensiones;
- 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.

**Título 5**
**Especificaciones**
**Capituolo 1**
**Disposiciones generales**
**Artículo 110 Requisitos de las instalaciones eléctricas**

**B. 600 volts o menos**

**110-28. Tipos de envolvente.** Los envolventes (diferentes de cercas o muros circundantes) de tableros de distribución, tableros de alumbrado y control, tableros de control industrial, centros de control de motores, medidores enchufables, interruptores con envolvente, interruptores de transferencia, salidas de energía eléctrica, interruptores automáticos, sistema de accionamiento de velocidad ajustable, interruptores de arranque, equipo de distribución de energía eléctrica portátil, cajas de terminación, transformadores de uso general, controladores de la bomba contra incendios, motores de la bomba contra incendios y controladores de motores, con tensión no mayor que a 600 volts y previstos para tales lugares, deben estar marcados con un número del tipo de envolvente acorde con la Tabla 110-28.

**Tabla 110-28.- Tipos de envolvente**

| **Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales** | **Para uso exterior** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Número del tipo de envolvente** | | | | | | | | | |
| | **3** | **3R** | **3S** | **3X** | **3RX** | **3SX** | **4** | **4X** | **6** | **6P** |
| Contacto accidental con el envolvente del equipo | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Lluvia, nieve y granizo | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Granizo* | — | — | X | — | — | X | — | — | — | — |
| Polvo en el aire | X | — | X | X | — | X | X | X | X | X |
| Lavado con manguera | — | — | — | — | — | — | X | X | X | X |
| Agentes corrosivos | — | — | — | X | X | X | — | X | — | X |
| Sumersión temporal | — | — | — | — | — | — | — | — | X | X |
| Sumersión prolongada | — | — | — | — | — | — | — | — | — | X |

| **Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales** | **Para uso interior** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Número del tipo de envolvente** | | | | | | | | | |
| | **1** | **2** | **4** | **4X** | **5** | **6** | **6P** | **12** | **12K** | **13** |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Contacto accidental con el envolvente del equipo | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Polvo que cae | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Líquidos que caen y salpicaduras leves | — | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas circulantes | — | — | X | X | — | X | X | X | X | X |
| Asentamiento de polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas transportados por el aire | — | — | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Agua por lavado con manguera y salpicadura | — | — | X | X | — | X | X | — | — | — |
| Escape de aceite y refrigerante | — | — | — | — | — | — | — | X | X | X |
| Salpicadura y rociado de aceite o refrigerante | — | — | — | — | — | — | — | — | — | X |
| Agentes corrosivos | — | — | — | X | — | — | X | — | — | X |
| Sumersión temporal | — | — | — | — | — | X | X | — | — | — |
| Sumersión prolongada | — | — | — | — | — | — | X | — | — | — |

* El mecanismo debe ser operable cuando está cubierto con hielo.

El término hermético a la lluvia generalmente se usa junto con envolventes tipo 3, 3S, 3SX, 3X, 4, 4X, 6 y 6P. El término a prueba de lluvia generalmente se usa junto con envolventes tipo 3R y 3RX. El término hermético al agua generalmente se usa junto con envolventes tipo 4, 4X, 6, 6P. El término hermético al goteo generalmente se usa junto con envolventes tipo 2, 5, 12, 12K y 13. El término hermético al polvo generalmente se usa junto con envolventes tipo 3, 3S, 3SX, 3X, 5, 12, 12K y 13.

Los rangos de protección contra el acceso (IP) se pueden consultar en el Apéndice D.2 Clasificación IEC.

### C. Más de 600 volts

**110-30. General.** Los conductores y equipos usados en circuitos de más de 600 volts deben cumplir con la Parte A de este artículo y con 110-30 a 110-40, que complementan o modifican la Parte A. En ningún caso se deben aplicar las disposiciones de esta parte a equipos situados en el lado de alimentación del punto de servicio.

**110-31. Envolvente de las instalaciones eléctricas.** Las instalaciones eléctricas en bóvedas, en cuartos o en armarios o en una zona rodeada por una pared, mampara o cerca, cuyo acceso esté controlado por cerradura y llave u otro medio aprobado, deben ser consideradas accesibles únicamente para personas calificadas. El tipo de envolvente utilizada en un caso específico debe diseñarse y construirse según la naturaleza y grado del riesgo o riesgos asociados con la instalación.

Para instalaciones distintas de los equipos descritos en 110-31(d) se debe utilizar una pared, un enrejado o una cerca que rodee la instalación eléctrica exterior para desalentar el acceso a personas no calificadas. La cerca no debe tener menos de 2.10 metros de altura o una combinación de 1.80 metros o más de malla y 0.30 metros o más de extensión, usando tres o más hilos de alambre de púas o equivalente. La distancia desde la cerca hasta las partes vivas no debe ser menor a la que se indica en la Tabla 110-31.

**NOTA:** Para los requisitos de construcción de las bóvedas para transformadores, véase el Artículo 450.

**a) Bóvedas eléctricas.** Cuando se requiera o se especifique una bóveda para conductores y equipos, que operen arriba de 600 volts, aplicará lo siguiente:

**Tabla 110-31 Distancia mínima desde la cerca hasta las partes vivas**

| Niveles de tensión (kilovolts) | Distancia mínima hasta las partes vivas (metros) |
|---|---|
| Menos de 13.8 | 3.05 |
| De 13.8 hasta 230 | 4.60 |
| Más de 230 | 5.50 |

**1) Paredes y techo.** Se deben construir con materiales de resistencia estructural adecuada para las condiciones del lugar, con una clasificación de resistencia mínima al fuego de 3 horas.
Para el propósito de esta sección, no se permite la construcción con polines de madera y paneles prefabricados.
**2) Pisos.** Los pisos de las bóvedas en contacto con la tierra deben ser de concreto con un espesor no menor a 10 centímetros, pero cuando la bóveda se construya con un espacio vacío u otros pisos debajo de ella, el piso debe tener la resistencia estructural adecuada para la carga impuesta sobre él y una resistencia mínima al fuego de 3 horas.
**3) Puertas.** Cada puerta que conduzca a una bóveda desde el interior del edificio será provista con una puerta de ajuste hermético que tenga una clasificación de resistencia mínima al fuego de 3 horas.
**Excepción a (1), (2) y (3) anteriores:** Cuando la bóveda está protegida con rociadores automáticos de agua, de bióxido de carbono o de gas halón, se permite la construcción con clasificación de resistencia mínima al fuego de 1 hora.
**4) Cerraduras.** Las puertas deben estar equipadas con cerraduras y deben mantenerse cerradas, con acceso permitido sólo a personas calificadas. Las puertas para personal deben abrir hacia afuera y estar equipadas con barras de pánico, placas de presión o cualquier otro aditamento similar, que estén normalmente aseguradas pero que se abran con simple presión.
**5) Transformadores.** Si en una bóveda construida según el Artículo 450 se instala un transformador, la bóveda debe ser construida de acuerdo con los requisitos de la Parte C del Artículo 450.
**NOTA:** Una construcción típica de 3 horas es de concreto reforzado de 15 centímetros de espesor.
**b) Instalaciones interiores.**
**1) En lugares accesibles a personas no calificadas.** Las instalaciones eléctricas interiores que son accesibles a personas no calificadas deben estar hechas con equipos en envolventes metálicos. Los tableros en envolventes metálicos, subestaciones unitarias, transformadores, cajas de derivación, cajas de conexión y otros equipos asociados similares, se deben marcar con los símbolos de precaución adecuados. Las aberturas en transformadores ventilados de tipo seco o aberturas similares en otros equipos, deben estar diseñadas de tal modo que los objetos extraños introducidos a través de esas aberturas sean desviados de las partes energizadas.
**2) En lugares accesibles sólo a personas calificadas.** Las instalaciones eléctricas interiores consideradas accesibles sólo a personas calificadas en esta sección, deben cumplir lo establecido en 110-34, 110-36 y 490-24.
**c) Instalaciones a la intemperie**
**1) En lugares accesibles a personas no calificadas.** Las instalaciones eléctricas a la intemperie que estén abiertas a personas no calificadas deben cumplir con las Partes A, B y C del Artículo 225.
**2) En lugares accesibles sólo a personas calificadas.** Las instalaciones eléctricas a la intemperie, que tienen partes vivas expuestas, deben ser accesibles solamente para personas calificadas, según el primer párrafo de esta sección y deben cumplir lo establecido en 110-34, 110-36 y 490-24
**d) Equipo en envolventes metálicas accesibles a personal no calificado**
Las aberturas de ventilación o similares en los equipos, deben estar diseñadas de manera que los objetos extraños insertados a través de esas aberturas sean desviados de las partes energizadas. Donde estén expuestos a daño físico debido al tráfico vehicular, deben instalarse protectores adecuados. El equipo en envolventes metálicas o no metálicas localizado a la intemperie y accesible al público en general debe estar diseñado de modo que los tornillos o tuercas visibles no se puedan quitar fácilmente y así permitir el acceso a partes vivas. Cuando un equipo en envolvente metálica o no metálica sea accesible al público en general y la parte menor del envolvente está a menos de 2.50 metros por encima del suelo o del nivel de la calle, la puerta o la tapa abisagrada del envolvente se debe mantener cerrada y con seguro. Puertas y tapas de las envolventes usadas únicamente como cajas de derivación, de empalme o de unión, deben estar aseguradas atornilladas. Se debe considerar que las cubiertas de cajas subterráneas que pesen más de 45 kilogramos, cumplen con este requisito.
**110-32. Espacio de trabajo alrededor de los equipos.** Alrededor de todo equipo eléctrico debe existir y mantenerse un espacio de acceso y de trabajo suficiente que permita la operación y el mantenimiento fácil y seguro de dicho equipo. Donde haya expuestas partes energizadas, el espacio de trabajo mínimo no debe ser menor

a 2.00 metros de altura (medidos verticalmente desde el piso o plataforma) ni menor a 0.90 metros de ancho (medidos paralelamente al equipo). La distancia debe ser la que se requiera en la Sección 110-34(a). En todos los casos, el espacio de trabajo debe ser suficiente para permitir como mínimo una abertura de 90**¡Error! Marcador no definido.** de las puertas o los paneles abisagrados.

**110-33. Entrada a envolventes (gabinetes) y acceso al espacio de trabajo**

**a) Entrada.** Debe haber por lo menos una entrada a los envolventes para instalaciones eléctricas como se describe en 110-31, que tenga como mínimo de 60 centímetros de ancho y 2.00 metros de altura para dar acceso al espacio de trabajo alrededor del equipo eléctrico.

**1) Equipos grandes.** En los tableros de distribución y tableros de control de más de 1.80 metros de ancho, debe haber una entrada en cada extremo de dicho equipo. Se permite una sola entrada al espacio de trabajo cuando se cumple cualquiera de las condiciones indicadas a continuación:

a. Salida no obstruida. Si el lugar permite una vía continua y no obstruida de circulación hacia la salida, se permitirá una sola entrada al espacio de trabajo.

b. Espacio de trabajo adicional. Cuando la profundidad del espacio de trabajo es el doble del exigido en 110-34(a), se permite una sola entrada. Dicha entrada se debe localizar de forma tal que la distancia desde el equipo hasta el borde más próximo de la entrada no sea menor a la distancia libre mínima que se especifica en la Tabla 110-34(a) para equipos que funcionan a esa tensión y en esa condición.

**2) Protección.** Cuando haya partes energizadas desnudas de cualquier tensión o partes energizadas aisladas de más de 600 volts a tierra cerca de dichas entradas, deben estar adecuadamente protegidas.

**3) Puertas para personal.** Cuando hay puertas para el personal destinadas a la entrada y salida del espacio de trabajo a menos de 7.60 metros desde el borde más próximo de dicho espacio, las puertas deben abrir hacia afuera y estar equipadas con barras de pánico, placas de presión o cualquier otro aditamento similar que estén normalmente aseguradas, pero que se abran con simple presión.

**b) Acceso.** Debe haber escaleras o escalones permanentes que permitan acceder de modo seguro al espacio de trabajo alrededor de equipo eléctrico instalado en plataformas, balcones, o en entresuelos o en los áticos o en cuartos en las azoteas.

**110-34. Espacio de trabajo y protección**

**a) Espacio de trabajo.** A menos que se permita o se exija otra cosa en esta NOM, el equipo que pueda requerir de inspección, ajuste, reparación o mantenimiento mientras está energizado, debe tener un espacio de trabajo libre en dirección del acceso a las partes vivas del equipo eléctrico y no debe ser menor al especificado en la Tabla 110-34(a). Las distancias se deben medir desde las partes vivas, si están expuestas, o desde el frente o abertura del envolvente, si están encerradas.

**Excepción:** No se exigirá espacio de trabajo en la parte posterior de equipos tales como tableros de distribución de frente muerto o ensambles de control en los que no haya partes intercambiables o ajustables (como fusibles o interruptores) en su parte posterior y donde todas las conexiones son accesibles desde lugares que no sean la parte posterior. Cuando se requiera acceso por la parte posterior para trabajar en partes no energizadas de la parte posterior del envolvente del equipo, debe haber un espacio de trabajo mínimo de 80 centímetros medidos horizontalmente.

**Tabla 110-34(a).- Distancia mínima del espacio de trabajo en una instalación eléctrica**

| Tensión a tierra (volts) | Distancia mínima (metros) | | |
|---|---|---|---|
| | Condición 1 | Condición 2 | Condición 3 |
| 601-2 500 | 0.90 | 1.20 | 1.50 |
| 2 501-9 000 | 1.20 | 1.50 | 1.80 |
| 9 001-25 000 | 1.50 | 1.80 | 2.80 |
| 25 001-75 kV | 1.80 | 2.50 | 3.00 |
| más de 75 kV | 2.50 | 3.00 | 3.70 |

Donde las condiciones son las siguientes:
**1.** Partes vivas expuestas en un lado y no activas o conectadas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo, o partes vivas expuestas a ambos lados protegidas eficazmente por materiales aislantes.
**2.** Partes vivas expuestas en un lado del espacio de trabajo y partes conectadas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo. Las paredes de concreto, tabique o azulejo se consideran superficies conectadas a tierra.
**3.** Partes vivas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo.

**b) Separación de instalaciones de baja tensión.** Cuando haya instalados desconectadores, cortacircuitos u otro equipo que funcionen a 600 volts o menos, en una bóveda, cuarto o envolvente donde haya partes vivas expuestas o alambrado expuesto operando a más de 600 volts, la instalación de alta tensión debe separarse eficazmente del espacio ocupado por los equipos de baja tensión mediante una división, cerca o enrejado adecuados.
**Excepción:** Se permite instalar, sin división, cerca o enrejado, dentro del envolvente, cuarto o bóveda de alta tensión, interruptores u otros equipos que funcionen a 600 volts o menos y que pertenezcan sólo a equipos dentro del envolvente, cuarto o bóveda de alta tensión, sólo si es accesible por personas calificadas.
**c) Cuartos o envolventes cerrados.** Las entradas a todos los edificios, bóvedas, cuartos o envolventes que contengan partes vivas expuestas o conductores expuestos que operen a más de 600 volts, deben mantenerse cerradas con llave, a menos que dichas entradas estén en todo momento bajo la observación de una persona calificada.
Cuando la tensión supere 600 volts, debe haber señales preventivas permanentes y visibles en las que se indique lo siguiente:

**"PELIGRO - ALTA TENSION - PROHIBIDA LA ENTRADA"**

**d) Iluminación.** Debe haber iluminación apropiada en todos los espacios de trabajo alrededor del equipo eléctrico. Las salidas para iluminación deben estar dispuestas de manera que las personas que cambien las lámparas o hagan reparaciones en el sistema de alumbrado, no corran peligro por las partes vivas u otros equipos.
Los puntos de control deben estar situados de modo que no sea probable que las personas entren en contacto con ninguna parte viva o móvil del equipo mientras encienden el alumbrado.
**e) Altura de las partes vivas sin proteger.** Las partes vivas sin proteger que se encuentren por encima del espacio de trabajo deben guardar una altura no menor a la requerida en la Tabla 110-34(e).
**f) Protección del equipo de acometida, tableros metálicos de interruptores de potencia y ensambles para control industrial.** Los tubos o conductos ajenos a la instalación eléctrica, que requieren mantenimiento periódico o cuyo mal funcionamiento pondría en peligro la operación del sistema eléctrico, no se deben localizar en cercanías del equipo de acometida, tableros metálicos de interruptores de potencia o ensambles de control industrial. Se debe proporcionar protección donde sea necesaria para evitar daños debido a fugas, condensación y roturas en tales sistemas ajenos. No se deben considerar ajenas las tuberías y otras instalaciones si son para protección contra incendios de la instalación eléctrica.

**Tabla 110-34(e).- Altura de las partes vivas sin proteger sobre el espacio de trabajo**

| Tensión entre fases (volts) | Altura (metros) |
|---|---|
| 601-7500 | 2.80 |
| 7501-35 000 | 2.90 |
| Más de 35 000 | 2.90 + (0.01 por cada kV arriba de 35 000 V) |

**110-36. Conductores de los circuitos.**
Se permite instalar los conductores de circuitos en canalizaciones, en charola para cables, como cable con cubierta metálica, como alambre desnudo, cable y barras colectoras, o como cables o conductores Tipo MV, tal como se establece en 300-37, 300-39, 300-40 y 300-50. Los conductores desnudos vivos deben cumplir con 490-24.
Los aisladores, junto con sus accesorios de montaje y amarre, que se usen como soportes para alambres, cables monopolares o barras colectoras, deben tener la capacidad de soportar en forma segura las fuerzas magnéticas máximas que predominarían cuando dos o más conductores de un circuito estuvieran sometidos a una corriente de cortocircuito.
Las trayectorias expuestas de alambres y cables que posean una funda de plomo desnuda o una cubierta exterior trenzada, se deben apoyar de manera que se evite daño físico a la funda o a la cubierta. Los soportes para los cables con funda de plomo se deben diseñar para evitar la electrólisis de la funda.
**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.

**D. Instalaciones de más de 600 volts en túneles**

**110-51. Generalidades**
**a) Cobertura.** Las disposiciones de esta parte se deben aplicar a los equipos de distribución de potencia de alta tensión y de utilización que es portátil, móvil o ambos, tales como: subestaciones, remolques, autos, palas mecánicas, excavadoras, grúas, taladros, dragas, compresores, bombas, transportadores, retro-excavadoras y similares.
**b) Otros Artículos.** Los requisitos de esta parte deben ser adicionales a, o enmiendas a los establecidos en los Artículos 100 a 490 de esta NOM.
**c) Protección contra daño físico.** Los cables y conductores en los túneles deben estar situados por encima del piso del túnel y ubicados o resguardados para protegerlos de daños físicos.
**110-52. Protección contra sobrecorriente.** El equipo operado a motor se debe proteger de sobrecorrientes de acuerdo con las Partes C, D y E del Artículo 430. Los transformadores se deben proteger de sobrecorriente de acuerdo con 450-3.
**110-53. Conductores.** Los conductores de alta tensión en los túneles se deben instalar en conduit metálico u otras canalizaciones metálicas, cable tipo MC, u otro cable multiconductor aprobado. Para alimentar el equipo móvil se permite el cable multiconductor portátil.
**110-54. Unión y conductores de puesta a tierra de equipos**
**a) Puesta a tierra y unión.** Todas las partes metálicas no portadoras de corriente de los equipos eléctricos y todas las canalizaciones metálicas y envolturas de cable, deben ser unidos y puestos a tierra, sólidamente, a todos los tubos y rieles metálicos en el portal, y a intervalos que no superen los 300 metros a lo largo del túnel.
**b) Conductores de puesta a tierra de equipos.** Debe tenderse un conductor de puesta a tierra del equipo con los conductores del circuito dentro de la canalización metálica, o dentro de la cubierta del cable multiconductor. Se permite que el conductor de puesta a tierra del equipo esté aislado o desnudo.
**110-55. Transformadores, interruptores y equipos eléctricos.** Se deben proteger de daño físico todos los transformadores, interruptores, controladores de motor, motores, rectificadores y demás equipos instalados bajo el suelo mediante su ubicación o resguardo.
**110-56. Partes energizadas.** Los terminales de los transformadores, interruptores, controladores de motor y demás equipos, se deben encerrar para evitar el contacto accidental con las partes energizadas.
**110-57. Controles del sistema de ventilación.** Los controles eléctricos para el sistema de ventilación se deben disponer de manera que el flujo de aire se pueda invertir.
**110-58. Medios de desconexión.** Para la desconexión de cada transformador o motor se debe instalar un desconectador o un interruptor automático, a la vista desde cada ubicación de un transformador o motor, que abra simultáneamente todos los conductores de fase del circuito. El desconectador o el interruptor automático para un transformador, debe tener una corriente no menor a la ampacidad de los conductores que alimentan al transformador. El desconectador o el interruptor automático para un motor deben cumplir los requisitos aplicables del Artículo 430.
**110-59. Envolventes.** Los envolventes para uso en túneles deben ser a prueba de goteo, a prueba de intemperie o sumergibles, según se requiera por las condiciones ambientales. Los envolventes del interruptor o contactor no se deben usar como cajas de conexiones ni como canalizaciones para conductores que alimentan a o se deriven de otros interruptores, a menos que los envolventes cumplan con lo indicado en 312-8.
**E. Pozos de inspección y otros envolventes eléctricos proyectados para la entrada de personal, todas las tensiones**
**110-70. Generalidades.** Los envolventes eléctricos proyectados para la entrada de personal y fabricados específicamente para este propósito, deben ser del tamaño suficiente para brindar un espacio de trabajo seguro alrededor del equipo eléctrico que tenga partes vivas que puedan requerir de inspección, ajuste, reparación o mantenimiento mientras está energizado. Estos envolventes deben tener el tamaño suficiente que permita instalar o retirar fácilmente los conductores empleados, sin daño a los conductores ni al aislamiento, y deben cumplir con las disposiciones de esta parte.
**Excepción:** Cuando los envolventes eléctricos considerados en la Parte E de este Artículo sean parte de un sistema de alambrado industrial, que funciona bajo condiciones de mantenimiento y supervisión que garantizan que sólo personal calificado vigila y supervisa el sistema, se permite que estos envolventes se diseñen e instalen según las prácticas adecuadas de ingeniería.

**110-71. Resistencia**. Los pozos de inspección, las bóvedas y sus medios de acceso se deben diseñar bajo la supervisión de Ingeniería calificada, y deben resistir todas las cargas que probablemente se apliquen sobre las estructuras.
**110-72. Espacio de trabajo para el cableado**. Debe existir un espacio de trabajo libre, con ancho no menor a 90 centímetros cuando los cables se ubican a ambos lados, y no menor a 75 centímetros cuando los cables están en un solo lado. El espacio vertical no debe ser menor a 1.80 metros, a menos que la abertura esté como máximo a 30 centímetros, medidos horizontalmente, con respecto a la pared interior adyacente del envolvente.
**Excepción:** Se debe permitir que un pozo de inspección que contenga uno o más de los siguientes elementos, tenga una de las dimensiones horizontales del espacio de trabajo reducida a 60 centímetros, cuando el otro espacio horizontal libre de trabajo se incremente de modo que la suma de las dos dimensiones no sea menor a 1.80 metros:
(1) Cables de fibra óptica según lo cubierto en el Artículo 770.
(2) Circuitos de alarma contra incendios de potencia limitada alimentados según lo cubierto en 760-121.
(3) Circuitos de control remoto y circuitos de señalización Clase 2 o Clase 3, o ambos, alimentados según lo cubierto en 725-121.
**110-73. Espacio de trabajo del equipo**. Para instalaciones que funcionan a 600 volts o menos y cuando el equipo eléctrico con partes vivas, que puedan requerir de inspección, ajuste, reparación o mantenimiento mientras está energizado, esté instalado en un pozo de inspección, una bóveda u otro envolvente diseñado para el acceso de personal, se debe cumplir lo establecido para el espacio de trabajo y los requisitos asociados en 110-26. Cuando la instalación opere a más de 600 volts, se debe cumplir lo establecido para el espacio de trabajo y los requisitos asociados en 110-34. Una cubierta para el acceso del pozo de inspección que pese más de 45 kilogramos se debe considerar que cumple con los requisitos de 110-34(c).
**110-74. Instalación de los conductores**. Los conductores instalados en un pozo de inspección y otros envolventes diseñados para el acceso de personal se deben cablear, montar en bastidores o disponer en una manera aprobada, que proporcione acceso fácil y seguro a las personas que entran para instalación y mantenimiento. La instalación debe cumplir con (a) o (b) siguientes, el que sea aplicable:
**a) 600 volts o menos.** El espacio para el doblado de los conductores que operan a 600 volts o menos, se debe proporcionar según los requisitos de 314-28.
**b) Más de 600 volts.** Los conductores que operan a más de 600 volts se deben proporcionar con espacio para su doblado de acuerdo con 314-71(a) y (b), según corresponda.
**Excepción:** Cuando se aplica 314-71(b), cada fila o columna de ductos en una pared del envolvente se debe calcular individualmente, y se debe usar la fila o columna que proporcione la distancia máxima.
**110-75. Acceso a los pozos de inspección**
**a) Dimensiones.** Las aberturas rectangulares para el acceso no deben ser de menos de 65 x 55 centímetros. Las aberturas circulares para el acceso a un pozo de inspección deben tener un diámetro mínimo de 65 centímetros.
**Excepción:** Se permite que se reduzca el diámetro mínimo de la cubierta a 60 centímetros, en un pozo de inspección que tenga una escalera fija que no obstruya la abertura, o que contenga uno o más de los siguientes elementos:
(1) Cables de fibra óptica según lo cubierto en el Artículo 770.
(2) Circuitos de potencia limitada de alarma contra incendios alimentados como se indica en 760-121.
Circuitos de control remoto y circuitos de señalización Clase 2 o Clase 3, o ambos, alimentados según se indica en 725-121.
**b) Obstrucciones**. Las aberturas de los pozos de inspección deben estar libres de partes sobresalientes que puedan lesionar al personal o dificultar la salida rápida.
**c) Ubicación.** Las aberturas de los pozos de inspección para el personal se deben ubicar donde no estén directamente por encima del equipo eléctrico o de los conductores en el envolvente. Cuando esto no es factible, debe haber una escalera fija o una barrera protectora.
**d) Tapas.** Las tapas deben pesar más de 45 kilogramos o ser de un diseño que requiera el uso de herramientas para abrirlas. Se deben diseñar o contener de manera que no puedan caer dentro del pozo de inspección ni sobresalir lo suficiente como para hacer contacto con los conductores eléctricos o el equipo dentro del pozo de inspección.
**e) Marcado.** Las tapas de los pozos de inspección deben tener una marca de identificación o un logotipo que indique de modo prominente su función, tal como “eléctrica”.
**110-76. Acceso a bóvedas y túneles**

**a) Ubicación.** Las aberturas de acceso para el personal deben ubicarse de manera tal que no estén directamente por encima del equipo eléctrico o de los conductores en el envolvente. Se deben permitir otras aberturas por encima del equipo para facilitar la instalación, el mantenimiento o el reemplazo del equipo.
**b) Cerraduras.** Además del cumplimiento con los requisitos de 110-34, si así corresponde, las aberturas de acceso para el personal deben estar dispuestas de modo que la persona que está en el interior pueda salir cuando la puerta de acceso esté cerrada con seguro desde afuera, o en el caso de estar cerrada con candado, la disposición de cierre debe ser tal que el candado se pueda cerrar en el sistema de cierre y prevenir que la cierren desde afuera.
**110-77. Ventilación**. Cuando los pozos de inspección, los túneles y las bóvedas tengan aberturas de comunicación en las áreas encerradas usadas por el público, se debe tener ventilación hacia el aire libre, siempre que sea factible.
**110-78. Resguardo.** Cuando los conductores o el equipo, o ambos, puedan entrar en contacto con objetos cayendo o siendo empujados a través de la rejilla de ventilación, tanto los conductores como las partes vivas se deben proteger según los requisitos de 110-27(a)(2) o la 110-31(b)(1), dependiendo de la tensión.
**110-79. Escaleras fijas.** Las escaleras fijas deben ser resistentes a la corrosión

**Capítulo 2**
**Alambrado y protección**
**Artículo 200-Uso e identificación de los conductores puestos a tierra**

**Artículo 210-Circuitos derivados**
**A. Generalidades**

**210-5. Identificación de los circuitos derivados**
**a) Conductor puesto a tierra**. El conductor puesto a tierra de un circuito derivado debe identificarse de acuerdo a 200-6.
**b) Conductor de puesta a tierra de equipos**. El conductor de puesta a tierra de equipos debe identificarse de acuerdo a 250-119.
**c) Identificación de conductores de fase**. Los conductores de fase deben identificarse de acuerdo a 1), 2) y 3) siguientes.
1) Aplicación. Donde el sistema de alambrado de los inmuebles tiene circuitos derivados alimentados por más de un sistema de tensión, cada conductor de fase de un circuito derivado se debe identificar por fase o línea y por sistema en todos los puntos de terminación, conexión y empalme.
2) Medios de identificación. Se permitirá que los medios de identificación sean por métodos como código de color separado, cinta de marcado, tarjeta u otros medios.
3) Fijación de medios de identificación. El método utilizado para marcar los conductores que se originen dentro de cada tablero de distribución del circuito derivado o en un equipo similar de distribución del circuito derivado, se debe documentar de manera que esté fácilmente disponible o se debe fijar permanentemente a cada tablero de alumbrado y control del circuito derivado o al equipo similar de distribución del circuito derivado.

**210-8. Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra.** Se debe brindar protección a las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra tal y como se exige en (a) a (c) siguientes. El interruptor de circuito por falla a tierra se debe instalar en un lugar fácilmente accesible. En la norma de producto se establece que estos dispositivos deben ser CLASE A (6 mA), mayor información sobre este concepto se encuentra en el Apéndice B en la Tabla B1.2
**NOTA:** Véase 215-9 para la protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra en los circuitos alimentadores.
**a) Unidades de vivienda.** Todos los contactos en instalaciones monofásicas de 120 volts de 15 y 20 amperes, instalados en los lugares que se especifican en los incisos (1) hasta (8) siguientes, deben ofrecer protección a las personas mediante interruptor de circuito por falla a tierra:
(1) Cuartos de baño.
(2) Cocheras y también edificios auxiliares con un nivel situados sobre o debajo del nivel del piso, que no estén previstos como cuartos habitables y estén limitados a áreas de almacenamiento, áreas de trabajo y áreas de uso similar.
(3) En exteriores.
**Excepción a (1), (2) y (3):** Se permite utilizar contactos normales si se instala protección por falla a tierra al principio del circuito derivado en unidades de vivienda popular hasta de 60 $m^2$
**Excepción a (3):** Está permitido instalar contactos que no sean fácilmente accesibles y estén alimentados desde un circuito derivado dedicado para equipos de fusión de nieve, deshielo o para calentar tuberías y tanques, según establece en 426-28 ó 427-22, según sea aplicable.
(4) Espacios de poca altura (que exijan entrar agachado) situados a nivel del suelo o por debajo de él.
(5) Sótanos sin acabados. Para los fines de esta sección, se definen los sótanos sin acabado como las partes o zonas del sótano que no estén pensadas como habitaciones, limitadas a zonas de almacén, de trabajo o similar.
**Excepción a (5):** No se requiere que los contactos que alimenten únicamente a una alarma contra incendios instalada permanentemente o a un sistema de alarma contra robo, tengan protección con interruptores de circuito por falla a tierra. Los contactos así instalados no se deben considerar que cumplen los requisitos indicados en 210-52(g).
**NOTA:** Véase 760-41(b) y 760-121(b) para los requerimientos de energía para sistemas de alarma contra incendios.
(6) Cocinas. Cuando los contactos estén instalados en la cubierta del mueble de cocina.
(7) Fregaderos situados en áreas que no sean la cocina, cuando los contactos se instalen a menos de 1.80 metros del borde exterior del fregadero.

**Excepción a (6) y (7):** En unidades de vivienda popular hasta de 60 $m^2$. Se permite utilizar contactos normales siempre y cuando se instale protección por falla a tierra en el origen del circuito derivado
(8) Cobertizos para botes.
**b) Edificios que no sean viviendas.** Todos los contactos en instalaciones monofásicas de 120 volts de 15 y 20 amperes, instalados en los lugares que se especifican en (1) hasta (8) siguientes, deben ofrecer protección a las personas mediante interruptor de circuito por falla a tierra:
(1) Cuartos de baño.
(2) Cocinas.
(3) Azoteas.
(4) En exteriores.
**Excepción 1 a (3) y (4):** Está permitido instalar contactos que no sean fácilmente accesibles y estén alimentados desde un circuito derivado especial dedicado para equipos de deshielo o fusión de nieve, deshielo o para calentar tuberías y tanques, según establece el Artículo 426-28 o 427-22, según sea aplicable
**Excepción 2 a (4):** En establecimientos industriales únicamente, donde las condiciones de mantenimiento y supervisión garanticen que la instalación sólo será atendida por personas calificadas, se permite un programa de aseguramiento para el conductor de puesta a tierra de equipos, como se especifica en 590-6(b)(2), sólo para aquellas salidas de contacto para alimentar equipos que podrían crear un peligro mayor, si se interrumpe el suministro o que tienen un diseño que no es compatible con la protección con interruptor de circuito por falla a tierra.
(5) Fregaderos. Cuando los contactos se instalen a menos de 1.80 metros del borde exterior del fregadero.
**Excepción 1 a (5):** En laboratorios industriales, se permite que los contactos usados para alimentar equipos en los cuales el corte de la alimentación introduciría un peligro mayor, se instalen sin protección con interruptor de circuito por falla a tierra.
**Excepción 2 a (5):** No será requerida protección con interruptor de circuito por falla a tierra para los contactos ubicados en ubicaciones de camas para pacientes en áreas de cuidado general o crítico en instalaciones médicas que no sean las que se tratan en el inciso (1) anterior.
(6) Instalaciones interiores húmedas.
(7) Vestidores con su correspondiente área de regaderas.
(8) Talleres de servicio automotriz, bahías de servicio automotriz y áreas similares, donde se utilizan equipos eléctricos de diagnóstico, herramientas de mano eléctricas o lámparas portátiles.
**c) Grúas para botes.** Se debe proporcionar protección con interruptor de circuito por falla a tierra para las salidas que no excedan de 240 volts y que alimentan a grúas para botes, instaladas en lugares de unidades de vivienda.

## 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 ampacidad 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.

**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 ($VA/m^2$) |
|---|---|
| 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:<br>- Vestíbulos, pasillos, closets, escaleras<br>- Lugares de reunión y auditorios<br>- Bodegas | <br><br><br>6 5<br>11<br>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<br>A partir de 12 500 | 100<br>50 |
| Hospitales* | Primeros 50 000 o menos<br>A partir de 50 000 | 40<br>20 |
| Hoteles y moteles, incluyendo los bloques de apartamentos sin cocina* | Primeros 20 000 o menos<br>De 20 001 a 100 000<br>A partir de 1 00000 | 50<br>40<br>30 |
| Unidades de vivienda | Primeros 3 000 o menos<br>De 3 001 a 120 000<br>A partir de 120 000 | 100<br>35<br>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<br>A partir de 10 kVA | 100<br>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 $mm^2$ 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.

**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, | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| callejones, accesos vehiculares y estacionamientos | | | | | |
| Accesos vehiculares y estacionamientos exteriores para viviendas unifamiliares, bifamiliares y utilizados sólo para propósitos relacionados con la vivienda | 45 | 45 | 45 | 30 | 45 |
| 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.

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

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

| Número de conductores[1] | 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 |

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

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

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

| Número de conductores[1] | 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 |

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

**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)) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 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.

**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)) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 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, THWN-2, XHHW, XHHW-2 | Tipos UF | Tipos RHW, XHHW, USE | 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.

**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 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| mm² | AWG o kcmil | 150 °C Tipo Z | 200 °C Tipos FEP, FEPB, PFA, SA | 250 °C Tipos PFAH, TFE | 150 °C Tipo Z |
| | | 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) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| mm² | AWG o kcmil | 150 °C Tipos Z, SF | 200 °C Tipos FEP, FEPB, SA | 250 °C Tipos PFAH, TFE | 150 °C Tipo Z |
| | | 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 |

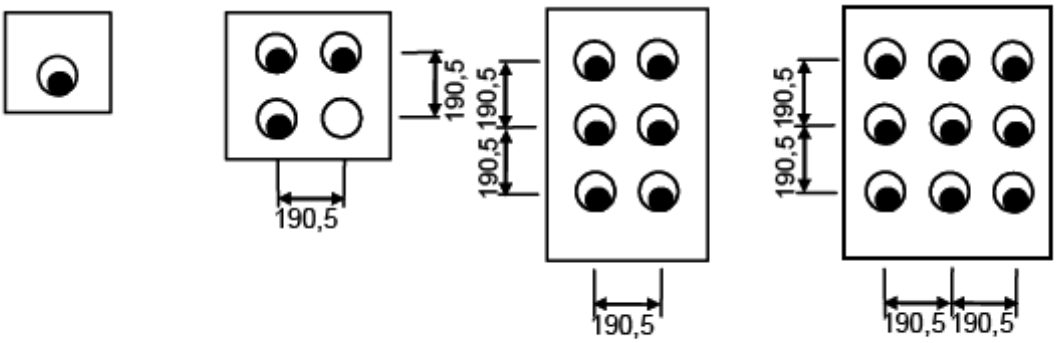
* Ver 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 40 °C

**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 |
| mm² | 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**

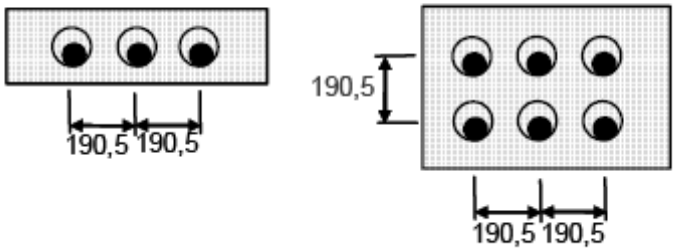



Detalle 1
292,1x292,1 mm
Zanja con cables entubados, un ducto eléctrico

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

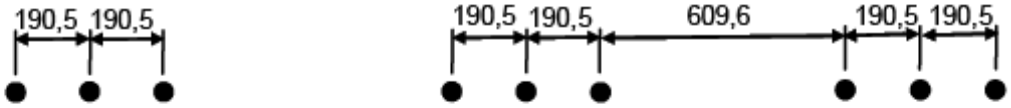



Detalle 5
Cable tripolar enterrado

Detalle 6
Cables tripolares enterrados

Detalle 7
Ternas de cables enterrados (un circuito)

Detalle 8
Ternas 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 tríplex 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 media 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

**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 | |
| mm² | AWG o kcmil | Temperatura de los conductores de media 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

**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 media 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

**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 media 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 | |
| mm² | AWG o kcmil | Temperatura de los conductores de media 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

**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 media 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 | |
| mm² | AWG o kcmil | Temperatura de los conductores de media 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

**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 media 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 | |
| mm² | AWG o kcmil | Temperatura de los conductores de media 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

**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 | |
| $mm^2$ | AWG o kcmil | Temperatura de los conductores de media tensión en °C | | | |
| | | 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

**Tabla 310-60(c)(77).- Ampacidad de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos n 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 media 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 |
| 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)] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Ampacidad para 2 001-5 000 volts | | Ampacidad para 5 001-35 000 volts | |
| mm² | AWG o kcmil | 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 naylon 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 dentrode aparatos o dentro decanalizacionesconectadas a aparatos(sólo de níquel o decobre recubiertos deníquel) | Perfluoroalcoxi | Ninguno |
| 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 dentrode aparatos o dentro decanalizacionesconectadas a aparatos(sólo de níquel o decobre recubierto deníquel) | 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 | | |
| 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 °C5 | | Resistente a la humedad y al calor | |
| Cable de acometida subterránea de un solo conductor | USE | 75 °C | Ver el Artículo 3406 | 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 conetileno. | Z | 90 °C | Lugares secos y húmedos | Tetrafluoroetileno modificado con etileno. | Ninguno |
| | | 150 °C | Lugares secos y aplicaciones especiales[2] | | |
| Tetrafluoroetilenomodificado conetileno. | 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 90º 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 |
|---|---|---|---|
| mm² | 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 ºC | Lugares secos o mojados | Termoplástico o termofijo | Cubierta, termoplástica o cubierta metálica o armadura |
| | 105* | 105 ºC | | | |

* Cuando las condiciones de diseño exigen temperaturas del aislamiento mayores que de 90º 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 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AWG o kcmil | Nivel de aislamiento del | | | | | |
| | | 100%1 | 133%2 | 173%3 | 100%1 | 133%2 | 173%3 |
| mm² | | 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 $mm^2$ (6 AWG) hasta el 507 $mm^2$ (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 $mm^2$ (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 $mm^2$ (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 $mm^2$ 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 debe 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 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| mm² | AWG o kcmil | 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 $mm^2$ (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.

## 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 $mm^2$ (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 $mm^2$ (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).

**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<br>FD de Prof. mínima 6.0 c/tapa | 295<br>394 | 12<br>16 | 10<br>13 | 9<br>12 | 8<br>10 | 7<br>9 | 6<br>8 | 3<br>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 $cm^3$ 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 $cm^3$. Las cajas descritas en la Tabla 314-16(a) que tengan mayor volumen del indicado en la tabla, pueden tener marcado su volumen en $cm^3$ 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 contratuercas.

**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 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $mm^2$ | 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 Aplicable sólo por 392-22(a)(1)(b) | Columna 2[a] Aplicable sólo por 392-22(a)(1)(c) | Columna 1 Aplicable sólo por 392-22(a)(1)(b) | Columna 2[a] 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 $mm^2$ (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:

a. Si todos los cables son de tamaño 107 $mm^2$ (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.

b. Si todos los cables son de tamaño menor a 107 $mm^2$ (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.

c. Si en la misma charola portacables se instalan cables de tamaño 107 $mm^2$ (4/0 AWG) o mayores, con cables de tamaño menor que 107 $mm^2$ (4/0 AWG), la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables inferiores al 107 $mm^2$ (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 mm$^2$ (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 mm$^2$ (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 mm$^2$ (4/0 AWG) o más grandes, con cables de menor tamaño de 107 mm$^2$ (4/0 AWG), la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables de tamaño menor de 107 mm$^2$ (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 mm$^2$ (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 portacables de canal sólido.** Cuando las charolas portacables 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 portacables 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<br>Un solo cable | Columna 2<br>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 portacables 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<br>Un solo cable | Columna 2<br>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 portacables.** El número de cables de un solo conductor de 2000 volts o menos, permitidos en una sola sección de una charola portacables, 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 portacables de tipo escalera o de fondo ventilado.** Cuando una charola portacables 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 $mm^2$ (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 $mm^2$ (250 kcmil) hasta 456 $mm^2$ (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 | $mm^2$ | $mm^2$ |
| 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 $mm^2$ y más mayores instalados en la misma charola con cables más pequeños. | | |

## Capítulo 4
## 4.4 Equipos de uso general

### Artículo 406 - Contactos, conectores de cordon y clavijas de conexión

**406-9. Contactos en lugares húmedos o mojados.**

**a) Lugares húmedos**. Un contacto instalado en una zona exterior, en un lugar protegido de la intemperie o en otros lugares húmedos, debe tener un envolvente que sea a prueba de intemperie cuando el contacto está cubierto (la clavija de conexión sin introducir y las cubiertas del contacto cerradas). Una instalación adecuada para lugares mojados también se debe considerar adecuada para lugares húmedos.

Se debe considerar que un contacto está en un lugar protegido de la intemperie cuando está debajo de porches abiertos con techo, techos ornamentales, marquesinas o similares, y no está sometido al azote de la lluvia ni a corrientes de agua. Todos los contactos de 15 y 20 amperes, 120 y 250 volts sin bloqueo, deben ser del tipo resistente a la intemperie certificados.

**b) Lugares mojados.**

**1) Contactos de 15 y 20 amperes en lugares mojados.** Los contactos de 15 y 20 amperes, 120 y 250 volts instalados en un lugar mojado deben tener un envolvente que sea a prueba de intemperie esté introducida o no la clavija de conexión. Para viviendas diferentes a las unifamiliares o bifamiliares, se debe instalar una cubierta de caja de salida aprobada para este propósito y cuando se instale en un envolvente soportado desde el suelo como se describe en 314-23(b) ó 314-23(f) se debe identificar como “trabajo pesado”.

Todos los contactos de 15 y 20 amperes, 120 y 250 volts sin bloqueo, deben ser del tipo resistente a la intemperie.

**Excepción:** Se permitirá que los contactos de 15 y 20 amperes, de 120 hasta 250 volts, instalados en un lugar mojado y sometidos a lavado rutinario con aspersión de alta presión, tengan un envolvente que sea a prueba de intemperie cuando la clavija de conexión sea retirada.

**2) Otros contactos.** Todos los otros contactos instalados en un lugar mojado deben cumplir con (a) o (b) siguientes:

**a. Un contacto instalado en un lugar mojado**, cuando el producto previsto a conectarse a él estará desatendido mientras está en uso, debe tener un envolvente que sea a prueba de intemperie cuando la clavija de conexión esté introducida y cuando se retire.

**b. Un contacto instalado en un lugar mojado** donde el producto previsto a conectarse a él estará atendido mientras está en uso (por ejemplo, herramientas portátiles) debe tener un envolvente que sea a prueba de intemperie cuando se retira la clavija de conexión.

**c) Espacio de la ducha y la tina.** Los contactos no se deben instalar ni dentro ni directamente por encima del compartimiento de la ducha o de la tina.
**d) Protección para los contactos en el piso.** Los tubos de soporte de los contactos en el piso deben permitir que el equipo de limpieza para el piso funcione sin producir daños a los contactos.
**e) Montaje a nivel con placa frontal.** El envolvente para un contacto instalado en una caja de salida montada a nivel en una superficie terminada, debe ser a prueba de intemperie por medio de un ensamble de placa frontal a prueba de intemperie que proporcione una conexión hermética entre la placa y la superficie terminada.

**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 menos | 140 por ciento |
| 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 período de arranque.

**Excepción:** Se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecarga del motor se ponga en derivación o se desconecte durante el período 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 rearranque 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 tiempo1 | 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 |
| Sincrónicos[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 | |
| mm² | 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.

**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 | 16 | 4.4 | 4 | 2.4 | 2.2 |
| 0.19 | ¼ | 5.8 | 5.3 | 3.2 | 2.9 |
| 0.25 | | 7.2 | 6.5 | 4 | 3.6 |
| 0.37 | ½ | 9.8 | 8.9 | 5.4 | 4.9 |
| 0.56 | ¾ | 13.8 | 11.5 | 7.6 | 6.9 |
| 0.75 | 1 | 16 | 14 | 8.8 | 8 |
| 1.12 | 1 ½ | 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 ½ | 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 |

**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 | 44 | - | - | - | - | - |
| 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

**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 |

**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 amoniaco, 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. |
| | 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. |
| Interiores | 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. |
| Venteo | 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. |
| | 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 envolventes de protección | 2 | 2 | Todo el espacio dentro de la envolvente. |
| Equipo sin envolventes 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 |
| - Envolventes de equipos | 1 | 1 | Todo el espacio dentro de la envolvente, si hay vapor o líquido inflamable en condiciones normales de operación. |
| | 2 | 2 | Todo el espacio dentro de la envolvente, 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.

**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 |

**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 9
## Instalaciones destinadas al servicio público

### Artículo 921
### Puesta a tierra

### D. Subestaciones

**921-25. Características del sistema de tierra.** Las características de los sistemas de tierra deben cumplir con lo aplicable del Artículo 250.

**NOTA:** Para definir un método adecuado para calcular el sistema de puesta a tierra, como el cálculo para sistemas de tierra en centrales generadoras y subestaciones, véase el Apéndice B.

**a) Disposición física.** El cable que forme el perímetro exterior del sistema, debe ser continuo de manera que rodee el área en que se encuentra el equipo de la subestación.

En subestaciones tipo pedestal, de conexión estrella-estrella, se puede aceptar que el sistema de tierra quede confinado dentro del área que proyecta el equipo sobre el suelo, siempre y cuando el transformador esté conectado a un sistema de 3 fases, 4 hilos, desde la subestación de la empresa suministradora.

La resistencia a tierra total del sistema debe cumplir con los valores indicados en el inciso (b) de esta sección.

**b) Resistencia a tierra del sistema.** La resistencia a tierra del sistema de tierra, incluyendo todos los elementos que lo forman, debe conservarse en un valor menor que lo indicado en la tabla 921-25(b).

Deben efectuarse pruebas periódicamente durante la operación, anotando en los registros para comprobar que los valores del sistema de tierra se ajustan a los valores de diseño; asimismo, para comprobar que se conservan las condiciones originales, a través del tiempo y de preferencia en época de estiaje.

**Tabla 921-25 (b).- Resistencia a tierra del sistema.**

| Resistencia (Ω) | Tensión máxima (kV ) | Capacidad máxima del transformador (kVA) |
|---|---|---|
| 5 | mayor que 35 | mayor que 250 |
| 10 | 35 | mayor que 250 |
| 25 | 35 | 250 |

**c) Sistemas con transformador.** Cuando se requiera de un transformador para obtener la referencia a tierra, aplicar lo indicado en 450-5.

**921-26. Puesta a tierra de cercas metálicas.** Las cercas metálicas pueden ocupar una posición sobre la periferia del sistema de tierra. Debido a que los gradientes de potencial son más altos, se deben tomar las medidas siguientes:
**a) Dentro.** Si la cerca se coloca dentro de la zona correspondiente a la malla, debe ser puesta a tierra.
**b) Fuera.** Si la cerca se encuentra fuera de la zona correspondiente a la malla debe colocarse por lo menos a 2.00 metros del límite de la malla.
**921-27. Puesta a tierra de rieles y tubos para agua y gas.**
**a) Rieles.** Las vías de escape (espuelas) de ferrocarril que entren a una subestación no deben conectarse al sistema de tierra de la subestación. Deben aislarse uno o más pares de juntas de los rieles donde éstos salen del área de la red de tierra.
**b) Tubos para agua y gas.** Los tubos metálicos para agua, gas y las cubiertas metálicas de cables que estén enterrados dentro del área de la subestación deben conectarse al sistema de tierra, en varios puntos.

**NOTA:** Primero se debe instalar el sistema de tierras de acuerdo a su valor óptimo para la instalación eléctrica y después conectar los tubos para gas al sistema.

**921-28. Puesta a tierra de partes no conductoras de corriente.**

**a) Partes metálicas expuestas.** Las partes metálicas expuestas que no conducen corriente, y las defensas metálicas del equipo eléctrico, deben conectarse a tierra.

**b) Lugares húmedos o peligrosos (clasificados).** Con excepción de equipo instalado en lugares húmedos o áreas peligrosas (clasificadas), las partes metálicas que no conducen corriente, pueden no conectarse a tierra, siempre que sean inaccesibles o que se protejan por medio de guardas.

Esta última protección debe impedir que se puedan tocar inadvertidamente las partes metálicas mencionadas y simultáneamente algún otro objeto puesto a tierra.

**c) Estructuras de acero.** Todas las estructuras de acero de la subestación deben ser puestas a tierra.

**921-29. Conexión de puesta a tierra de cercas metálicas.** Toda cerca metálica que se cruce con líneas suministradoras en áreas no urbanizadas, debe conectarse a tierra, a uno y otro lado del cruce, a una distancia sobre el eje de la cerca y no mayor que 45.00 metros. En caso de existir una o más puertas o cualquier otra condición que interrumpa la continuidad de la cerca, ésta debe estar puesta a tierra en el extremo más cercano al cruce con la línea.

Esta conexión de puesta a tierra debe efectuarse uniendo todos los elementos metálicos de la cerca.

**921-30. Conductor de puesta a tierra común para el circuito, canalizaciones metálicas y equipo.** Si la ampacidad del conductor de puesta a tierra del circuito, satisface también el requerimiento para la conexión de puesta a tierra del equipo, este conductor puede usarse para ambos fines. Dentro de dicho equipo se incluyen los armazones y cubiertas de los componentes auxiliares y de control del sistema eléctrico, canalizaciones metálicas, pantallas de cables y otras cubiertas.

## 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 | | | | | | |
| 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 |

| 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)<br>**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 |
| 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 | mm² | mm² | mm² | mm² | mm² |
| 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** | **mm²** | **mm²** | **mm²** | **mm²** | **mm²** |
| 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 |
| **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), Tipo EB | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | | | | | | |
| 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 |
|---|---|---|---|---|
| | mm² | AWG o kcmil | mm | mm² |
| **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 |
| | 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 |

| Tipo | Tamaño | | Diámetro aproximado | Área aproximada |
|---|---|---|---|---|
| | mm² | AWG o kcmil | mm | mm² |
| 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 | 15.69 |
| | 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 |
| | 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 |

| Tipo | Tamaño | | Diámetro aproximado | Área aproximada |
|---|---|---|---|---|
| | mm² | AWG o kcmil | mm | mm² |
| | 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 |
| 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 |

| Tipo | Tamaño | | Diámetro aproximado | Área aproximada |
|---|---|---|---|---|
| | mm² | AWG o kcmil | mm | mm² |
| 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 |
| | 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 |

| Tipo | Tamaño | | Diámetro aproximado | Área aproximada |
|---|---|---|---|---|
| | mm² | AWG o kcmil | mm | mm² |
| | 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 | | Tipo THHN | | Tipo XHHW | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Diámetro | Diámetro aproximado | Área aproximada | Diámetro aproximado | Área aproximada | Diámetro aproximado | Área aproximada |
| mm² | AWG o kcmil | mm | mm | mm² | mm | mm² | mm | mm² |
| 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 |
| 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 |
| | mm² | kcmil | | mm | mm | mm² | 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 |
| 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 |

| 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 | $mm^2$ | Ω/km | Ω/km | Ω/km |

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: $R2 = R1\ [1 + (T2 - 75)]$, donde cu = 0.00323, AL = 0.00330 a 75º 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

## 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 mm² | 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 *FP* = 0.85 para conductores de cobre sin recubrimiento | | | Z eficaz a *FP* = 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 (θ)+ X sen(θ), 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 *XL* dados en esta tabla, como sigue: $Ze = R \times FP + X_L$ sen [arc cos (*FP*)].

## Apéndice D (normativo)

## Grados de protección proporcionados por los envolventes

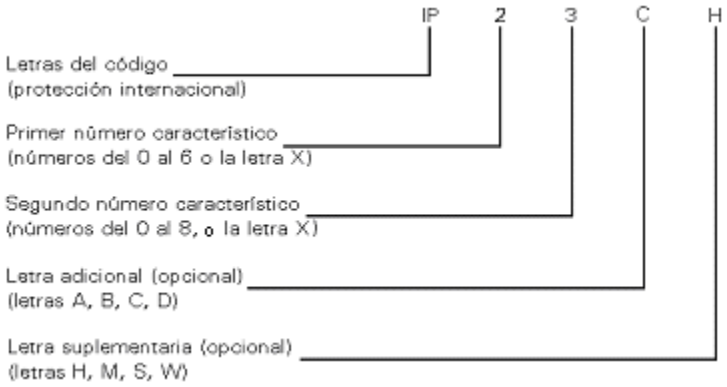
### D.1 Clasificación norteamericana

**tipo 1:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado y para proporcionar un grado de protección contra la suciedad.
**tipo 2:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, para proporcionar un grado de protección contra la suciedad, y para proporcionar un grado de protección contra el goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos.
**tipo 3:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior o exterior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve y tolvanera; y que no se dañe por la formación de hielo en el exterior del envolvente (gabinete).
**tipo 3R:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior o exterior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve y que no se dañe por la formación de hielo en el exterior del envolvente (gabinete).
**tipo 3S:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior o exterior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve y tolvaneras; y en el cual el mecanismo externo sigue operable cuando se forman capas de hielo.
**tipo 4:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior o exterior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, tolvaneras, salpicaduras de agua y chorro directo de agua y que no se dañe por la formación de hielo en el exterior del envolvente (gabinete).
**tipo 4X:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior o exterior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, tolvaneras, salpicaduras de agua, chorro directo de agua y corrosión y que no se dañe por la formación de hielo en el exterior del envolvente (gabinete).
**tipo 5:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, acumulación de polvo del ambiente, pelusa, fibras y partículas flotantes y contra el goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos.
**tipo 6:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior o exterior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, chorro directo de agua y la entrada de agua durante inmersión temporal ocasional a una profundidad limitada y que no se dañe por la formación de hielo en el exterior del envolvente (gabinete).
**tipo 6P:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior o exterior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, chorro directo de agua, corrosión y la entrada de agua durante inmersión prolongada a una profundidad limitada y que no se dañe por la formación de hielo en el exterior del envolvente (gabinete).
**tipo 12:** envolventes (gabinetes) construidos (sin discos desprendibles) para uso interior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, el polvo del ambiente, pelusa, fibras, partículas flotantes, contra el goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos; y contra salpicaduras ligeras y escurrimientos de aceite y refrigerantes no corrosivos.
**tipo 12K:** envolventes (gabinetes) construidos (con discos desprendibles) para uso interior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, el polvo del ambiente, pelusa, fibras, partículas flotantes, contra el goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos; y contra salpicaduras ligeras y escurrimientos de aceite y refrigerantes no corrosivos.
**tipo 13:** envolventes (gabinetes) construidos para uso interior para proporcionar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado, contra la suciedad, el polvo del ambiente, pelusa, fibras, partículas flotantes; y contra el rociado, salpicaduras y escurrimientos de agua, aceite y refrigerantes no corrosivos.

## D.2 Clasificación IEC

**código IP:** un sistema codificado para indicar los grados de protección proporcionados por un envolvente contra el acceso a partes peligrosas, ingreso de objetos extraños sólidos, ingreso de agua y para proporcionar información adicional en relación con dicha protección.

Distribución del código IP




**D.2.1** Ejemplos del uso de letras en el código IP

Los ejemplos siguientes sirven para explicar el uso y arreglo de letras en el código IP.

| | |
|---|---|
| IP44 | - Sin letras, sin opciones; |
| IPX5 | - Omitir el primer número característico; |
| IP2X | - Omitir el segundo número característico; |
| IP20C | - Usar letra adicional; |
| IPXXC | - Omitir ambos números característicos, utilizar letra adicional; |
| IPX1C | - Omitir el primer número característico, utilizar letra adicional; |
| IP3XD | - Omitir el segundo número característico, utilizar letra adicional; |
| IP23S | - Utilizar letra suplementaria; |
| IP21CM | - Utilizar letra adicional y letra suplementaria; |
| IPX5/IPX7 | - Dando dos diferentes grados de protección por un envolvente contra chorros de agua e inmersión temporal para aplicación “dual”. |

**D.2.2** Código IP que no utiliza letras opcionales



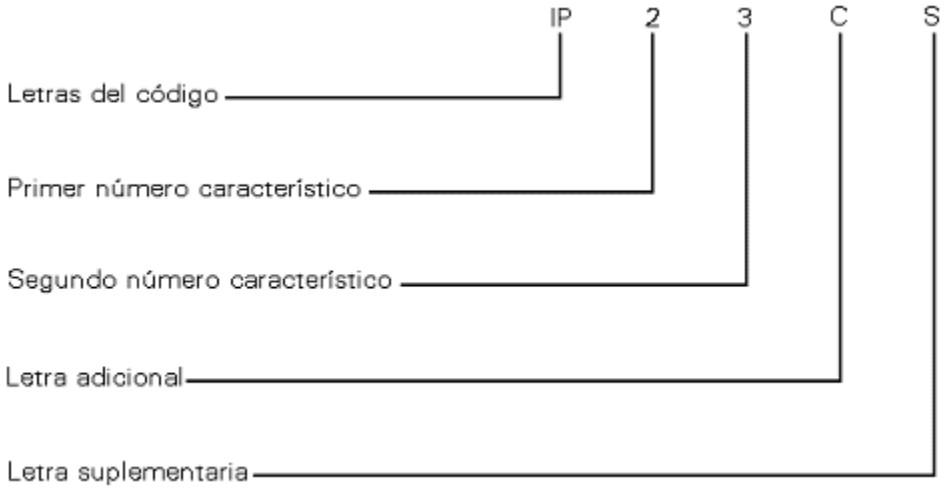

Un envolvente con esta designación (código IP)

(3) - protege a personas que manejan herramientas con un diámetro de 2.5 milímetros y mayor, contra el acceso a partes peligrosas;

- protege al equipo dentro del envolvente contra el ingreso de objetos extraños sólidos que tienen un diámetro de 2.5 milímetros y mayor;

(4) - protege al equipo dentro del envolvente contra efectos perjudiciales debidos a las salpicaduras de agua contra el envolvente desde cualquier dirección.

**D.2.3** Código IP que utiliza letras opcionales




Un envolvente con esta designación (código IP)

(2) - protege a las personas contra el acceso a partes peligrosas con los dedos;
- protege el equipo dentro del envolvente contra el ingreso de objetos extraños sólidos que tienen un diámetro mayor o igual que 12.5 milímetros;

(3) - protege el equipo dentro del envolvente contra efectos perjudiciales ocasionados por el rocío de agua contra el envolvente;

(c) - protege contra el acceso a partes peligrosas a personas que manejan herramientas, con un diámetro mayor o igual que 2.5 milímetros y una longitud que no excede de 100 milímetros (la herramienta puede penetrar en el envolvente a toda su longitud):

(S) - se prueba para la protección contra efectos perjudiciales ocasionados por el ingreso de agua cuando todas las partes del equipo están estacionarias.

**Tabla 1.- Grados de protección contra el acceso a partes peligrosas indicados por el primer número característico**

| Primer número característico | Grado de protección | |
|---|---|---|
| | Descripción breve | Definición |
| 0 | No protegido | - |
| 1 | Protegido contra el acceso a partes peligrosas con el dorso de la mano | La sonda de acceso, esfera de 50 mm de diámetro debe tener una distancia adecuada de las partes peligrosas |
| 2 | Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un dedo | El dedo de prueba articulado de 12 mm de diámetro y 80 mm de longitud, debe tener una distancia adecuada de las partes peligrosas |
| 3 | Protegido contra el acceso a partes peligrosas con una herramienta | La sonda de acceso de 2.5 mm de diámetro no debe penetrar |
| 4 | Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre | La sonda de acceso de 1.0 mm de diámetro no debe penetrar |
| 5 | Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre | La sonda de acceso de 1.0 mm de diámetro no debe penetrar |
| 6 | Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre | La sonda de acceso de 1.0 mm de diámetro no debe penetrar |

1 En el caso de los primeros números característicos 3, 4, 5 y 6, la protección contra el acceso a partes peligrosas se satisface si se guarda una distancia adecuada. La distancia adecuada debe estar especificada por la norma específica de producto, de acuerdo con 12.3.

2 Debido al requisito simultáneo especificado en la tabla 2, el término "no debe penetrar" se considera en la columna de definiciones de la tabla 1.

**Tabla 3.- Grados de protección contra agua indicados por el segundo número característico**

| Segundo número característico | Grado de protección | |
|---|---|---|
| | Descripción breve | Definición |
| 0 | No protegido | - |
| 1 | Protegido contra la caída vertical de gotas de agua | La caída vertical de gotas no debe tener efectos perjudiciales |
| 2 | Protegido contra la caída vertical de gotas de agua cuando el envolvente se inclina hasta 15° | La caída vertical de gotas no debe tener efectos perjudiciales cuando el envolvente se inclina en cualquier ángulo hasta 15° en cada lado de la vertical |
| 3 | Protegido contra el rocío de agua | El rocío de agua en un ángulo de hasta 60° en cada lado de la vertical no debe tener efectos perjudiciales |
| 4 | Protegido contra la salpicadura de agua | La salpicadura de agua contra el envolvente en cualquier dirección no debe tener efectos perjudiciales |
| 5 | Protegido contra chorros de agua | El agua proyectada en chorros contra el envolvente en cualquier dirección no debe tener efectos perjudiciales |
| 6 | Protegido contra chorros fuertes de agua | El agua proyectada en chorros fuertes de agua contra el envolvente en cualquier dirección no debe tener efectos perjudiciales |
| 7 | Protegido contra los efectos de la inmersión temporal en agua | No se permite el ingreso de agua en cantidades que causen efectos perjudiciales cuando el envolvente es sumergido temporalmente en agua, bajo condiciones normalizadas de presión y tiempo |
| 8 | Protegido contra los efectos de la inmersión continua en agua | No se permite el ingreso de agua en cantidades que causen efectos perjudiciales cuando el envolvente es sumergido continuamente en agua, bajo condiciones más severas que las indicadas en el número 7 |

*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 |
| | 167 | 99.00 | 98.90 | 98.80 |
| Trifásico | 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-2015, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad*

Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.

**7. Condiciones de seguridad**

**7.1** Las condiciones de seguridad para controlar la generación y/o acumulación de electricidad estática, se deberán determinar con base en lo siguiente:

**a)** La naturaleza del trabajo (se refiere a las etapas del proceso, los equipos, la existencia de fricción, la velocidad de conducción o vertido de fluidos y los tipos de procedimientos de trabajo, entre otras características);
**b)** Las características fisicoquímicas de las sustancias (temperatura, punto de inflamación, límite de explosividad, viscosidad, conductividad específica de la sustancia, densidad, entre otras), que se manejen, almacenen o transporten;
**c)** Las características del ambiente en lo que se refiere a humedad relativa y temperatura, y
**d)** Las características de los materiales de construcción de la maquinaria, equipo e inmueble.

**7.2** Para controlar la generación o acumulación de electricidad estática se deberán adoptar, según apliquen, las medidas de seguridad siguientes:

**a)** Instalar sistemas de puesta a tierra, dispositivos o equipos para controlar la electricidad estática, en función de los tipos de procesos e instalaciones con que se cuente, tales como: ionizadores; neutralizadores o eliminadores de electricidad estática; dispositivos con conexión a tierra; cepillos mecánicos conectados a tierra; barras de disipación de electricidad estática, o mediante la aplicación de tratamientos a bandas, entre otros;
**b)** Asegurar la unión eléctrica o conexión equipotencial entre máquinas, equipos, contenedores y componentes metálicos;
**c)** Realizar la medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra, conforme a lo señalado por el Capítulo 9 de la presente Norma, y la comprobación de la continuidad en los puntos de conexión a tierra, al menos cada doce meses. Los valores deberán cumplir con lo siguiente:
**1)** Tener un valor menor o igual a 10 ohms, para la resistencia a tierra del (los) electrodo(s) en sistemas de pararrayos o sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas;
**2)** Tener un valor menor o igual a 25 ohms, para la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra, y
**3)** Existir continuidad eléctrica en los puntos de conexión a tierra del equipo que pueda generar o almacenar electricidad estática. En la Guía de referencia I, se indican de manera ilustrativa los puntos a inspeccionar y la forma de medir la continuidad eléctrica de las conexiones;
**d)** Colocar pisos antiestáticos o conductivos;
**e)** Humidificar el ambiente manteniendo una humedad relativa superior a 65%. Esta disposición no aplica para aquellos casos en que, por la naturaleza de las sustancias, la humedad del aire represente un peligro por reacción con la sustancia, en cuyo caso el control de la acumulación de la electricidad estática se deberá realizar por otros medios;
**f)** Ionizar el aire en la proximidad del equipo, contenedor u objeto cargados, y/o
**g)** Aumentar la conductividad de los materiales susceptibles de generar y acumular cargas eléctricas estáticas, mediante el agregado de aditivos conductivos (por ejemplo, negro de humo, aditivos de carbono, grafito y otros productos conductores de la electricidad).

**7.3** En las áreas de trabajo cerradas donde la humedad relativa sea la medida o una de las medidas adoptadas para controlar la acumulación de electricidad estática se deberá realizar lo siguiente:

**a)** Mantener la humedad relativa en un nivel superior a 65%;
**b)** Medir la humedad relativa y registrar su valor, al menos cada doce meses y/o cuando se realicen modificaciones al área de trabajo que puedan afectar esta condición, y

**c)** Monitorear, en su caso, la humedad relativa de las áreas o procesos de manera continua cuando constituya una medida de seguridad contra peligro de incendio o explosión. El monitoreo deberá realizarse mediante equipos que cuenten con alarma que indique que la humedad relativa ha descendido a niveles inferiores al establecido en el inciso **a)** del presente numeral.

El equipo que se utilice para la medición y/o monitoreo de la humedad relativa deberá contar con certificado de calibración vigente, en los términos que dispone la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

**7.4** En las áreas de trabajo donde la presencia de electricidad estática en el cuerpo del trabajador represente un riesgo, se deberán colocar materiales antiestáticos o conductivos, o dispositivos para drenar a tierra las corrientes que se hayan acumulado en él.

**7.5** En las zonas donde se manejen, almacenen o transporten sustancias inflamables o explosivas, deberán conectarse a tierra las partes metálicas que no estén destinadas a conducir energía eléctrica y que no se encuentren ya inherentemente conectados a tierra, tales como tanques metálicos, cajas metálicas de equipos, maquinaria y tuberías.

**9. Medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra**

**9.1** La medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra se deberá realizar aplicando el método de caída de tensión, de conformidad con lo que prevé el numeral 9.4 de la presente Norma. Esta medición deberá efectuarse tomando en consideración la condición más desfavorable en cuanto al grado de humedad del terreno en el que se ha instalado la red de puesta a tierra.

**9.2** Para realizar la medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra se deberá contar con los instrumentos siguientes:

**a)** Equipo de medición de resistencia de tierra con las características siguientes:
**1)** Intervalo de frecuencia de 90 Hz a 200 Hz o mayor, y
**2)** Con capacidad de proveer corriente con valores de al menos 0.1 mA;
**b)** Accesorios provistos por el fabricante del equipo de medición o, en caso de no contar con accesorios para el equipo de medición, utilizar cable o cordón aislado de cobre de forro apropiado a las condiciones de uso con una designación de uso más común de 2.08 mm2 (14 AWG) o 1.307 mm2 (16 AWG), con accesorios en sus extremos para la correcta conexión al equipo y electrodos auxiliares con una longitud mínima de 50 centímetros y un diámetro mínimo de 13 milímetros de alguno de los materiales siguientes: acero inoxidable, acero con recubrimiento de cobre o acero galvanizado;
**c)** Óhmetro o medidor de resistencia a tierra para comprobar la continuidad de las conexiones a tierra, con una resolución de al menos 1 ohm;
**d)** Voltímetro con resolución de al menos 1 volt, y
**e)** Flexómetro o instrumento similar de medición de longitud.

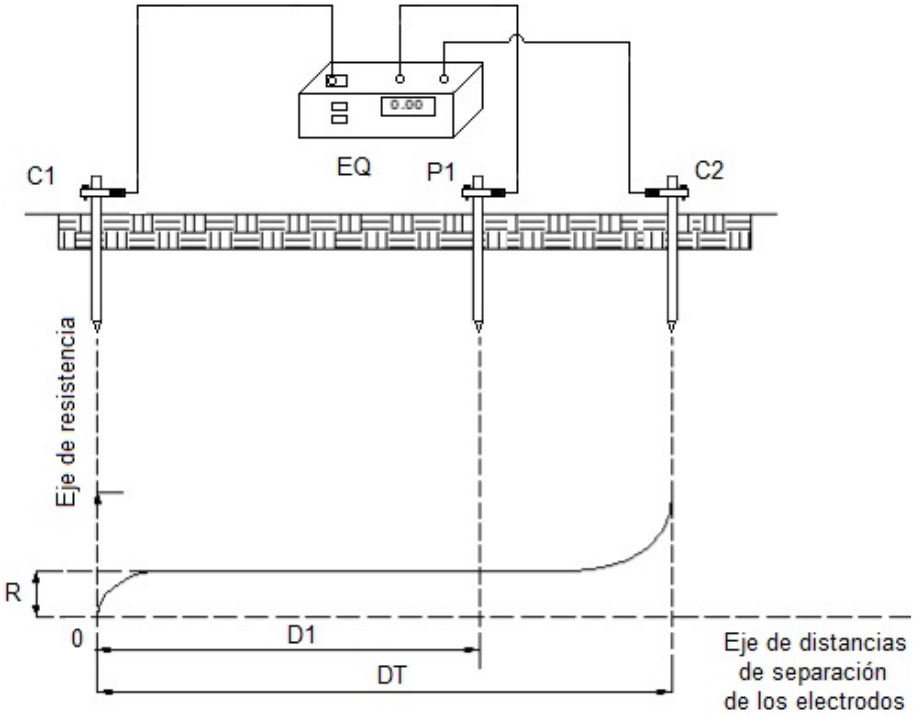
**9.3** El óhmetro o medidor de resistencia a tierra y el voltímetro deberán contar con certificado de calibración vigente, en los términos de lo determinado por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

**9.4** La medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra se deberá realizar conforme a lo siguiente:

**a)** Verificar que el electrodo bajo prueba (que corresponde a la red de puesta a tierra) esté desconectado de la red de puesta a tierra, considerando lo siguiente:
**1)** Realizar la desconexión de la red de puesta a tierra, con los equipos eléctricos desenergizados, y
**2)** Efectuar la medición de la resistencia a tierra desconectando cada electrodo de forma individual, cuando ésta se realice en condiciones de operación normal, a fin de no desproteger a los trabajadores;

**b)** 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;
**c)** Aplicar el método de caída de tensión de la manera siguiente:
**1)** Hacer circular una corriente entre dos electrodos: uno llamado C1 (que corresponde a la red de puesta a tierra) y un electrodo auxiliar denominado C2, mismo que se introduce al terreno a una distancia mínima de 20

metros de C1. Para realizar la primera medición se introduce en el terreno otro electrodo auxiliar llamado P1, a un metro de distancia de C1, entre el electrodo bajo prueba C1 y el electrodo auxiliar C2;
**2)** Desplazar el electrodo auxiliar P1 de manera lineal a 3 metros de la primera medición y en dirección al electrodo auxiliar C2 para realizar la segunda medición, y
**3)** Realizar las mediciones siguientes desplazando el electrodo auxiliar P1 cada 3 metros hasta complementar 19 metros. En la Figura 1 se muestra la colocación de los electrodos de la red de puesta a tierra, y auxiliares;
**d)** Registrar los valores obtenidos de las mediciones;
**e)** Elaborar una gráfica con base en los valores registrados, similar a la que se ilustra en la parte inferior de la Figura 1 siguiente;




**D1** Distancia entre el electrodo de la red de puesta a tierra C1 y el electrodo auxiliar P1.
**DT** Distancia entre el electrodo de la red de puesta a tierra C1 y el electrodo auxiliar C2.
**Figura 1 â Posición de electrodos y gráfica de valores de resistencia eléctrica vs. distancia**

**f)** Obtener el valor de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra de la intersección del eje de resistencia con la parte paralela de la curva al eje de las distancias;
**g)** Repetir las mediciones alejando el electrodo C2 del electrodo C1, cuando la curva obtenida no presente un tramo paralelo, hasta obtener valores paralelos al eje de las distancias, y
**h)** Verificar que los valores de la resistencia a tierra, de la red de puesta a tierra que se obtengan en esta prueba, sean menores o iguales a 10 ohms para el (los) electrodo(s) del sistema de pararrayos, y/o tener un valor menor o igual a 25 ohms para la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra.

**9.5** El resultado de las mediciones tendrá que registrarse, dicho registro deberá contener, como mínimo, lo siguiente:

**a)** Los 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)** Los datos de los instrumentos de medición:
**1)** Nombre genérico del instrumento utilizado;

**2)** Características del equipo de medición utilizado (modelo, número de serie, intervalos de medición, precisión, exactitud, etc.), y
**3)** Copia del certificado de calibración vigente del instrumento utilizado;
**c)** Los valores de las mediciones:
**1)** Valores de resistencia a tierra de la red de puesta a tierra y/o de la resistencia a tierra del (los) electrodo(s) del sistema de pararrayos, y
**2)** Indicación de si existe continuidad eléctrica de los puntos de conexión del sistema;
**d)** El croquis en el que se muestre los puntos de medición del sistema de puesta a tierra y, en su caso, del (los) electrodo(s) del sistema pararrayos, y
**e)** Las características del sistema de pararrayos utilizado, en su caso, con al menos lo siguiente:
**1)** Tipo de sistema de pararrayos;
**2)** Altura de las terminales aéreas;
**3)** Ubicación, y
**4)** Área de cobertura de protección.

*Extracto de la NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.*

**Apéndice A**
**Evaluación de los niveles de iluminación**

**A.1.** Objetivo

Evaluar los niveles de iluminación en las áreas y puestos de trabajo seleccionados.

**A.2.** Metodología

De acuerdo con la información obtenida durante el reconocimiento, se establecerá la ubicación de los puntos de medición de las áreas de trabajo seleccionadas, donde se evaluarán los niveles de iluminación.

**A.2.1.** Cuando se utilice iluminación artificial, antes de realizar las mediciones, se debe de cumplir con lo siguiente:

**a)** Encender las lámparas con antelación, permitiendo que el flujo de luz se estabilice; si se utilizan lámparas de descarga, incluyendo lámparas fluorescentes, se debe esperar un periodo de 20 minutos antes de iniciar las lecturas. Cuando las lámparas fluorescentes se encuentren montadas en luminarias cerradas, el periodo de estabilización puede ser mayor;

**b)** En instalaciones nuevas con lámparas de descarga o fluorescentes, se debe esperar un periodo de 100 horas de operación antes de realizar la medición, y

**c)** Los sistemas de ventilación deben operar normalmente, debido a que la iluminación de las lámparas de descarga y fluorescentes presentan fluctuaciones por los cambios de temperatura.

**A.2.2.** Cuando se utilice exclusivamente iluminación natural, se debe realizar al menos las mediciones en cada área o puesto de trabajo de acuerdo con lo siguiente:

**a)** Cuando no influye la luz natural en la instalación ni el régimen de trabajo de la instalación, se deberá efectuar una medición en horario indistinto en cada puesto o zona determinada, independientemente de los horarios de trabajo en el sitio;

**b)** Cuando sí influye la luz natural en la instalación, el turno en horario diurno (sin periodo de oscuridad en el turno o turnos) y turnos en horario diurno y nocturnos (con periodo de oscuridad en el turno o turnos), deberán efectuarse 3 mediciones en cada punto o zona determinada distribuidas en un turno de trabajo que pueda presentar las condiciones críticas de iluminación de acuerdo a lo siguiente:

- Una lectura tomada aproximadamente en la primera hora del turno;
- Una lectura tomada aproximadamente a la mitad del turno, y
- Una lectura tomada aproximadamente en la última hora del turno.

**c)** Cuando sí influye la luz natural en la instalación y se presentan condiciones críticas, efectuar una medición en cada punto o zona determinada en el horario que presente tales condiciones críticas de iluminación.

**A.2.3.** Ubicación de los puntos de medición.

Los puntos de medición deben seleccionarse en función de las necesidades y características de cada centro de trabajo, de tal manera que describan el entorno ambiental de la iluminación de una forma confiable, considerando: el proceso de producción, la clasificación de las áreas y puestos de trabajo, el nivel de iluminación requerido en base a la Tabla 1 del Capítulo 7, la ubicación de las luminarias respecto a los planos de trabajo, el cálculo del índice de áreas correspondiente a cada una de las áreas, la posición de la maquinaria y equipo, así como los riesgos informados a los trabajadores.

**A.2.3.1.** Las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna A (número mínimo de zonas a evaluar) de la Tabla A1, y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas; en caso de que los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias, se debe considerar el número de zonas de evaluación de acuerdo a lo establecido en la columna B (número mínimo de zonas a considerar por la limitación) de la Tabla A1. En caso de coincidir nuevamente el centro geométrico de cada zona de evaluación con la ubicación del punto focal de la luminaria, se debe mantener el número de zonas previamente definido.

**Tabla A1**
**Relación entre el Indice de Area y el número de Zonas de Medición**

| Indice de área | A) Número mínimo de zonas a evaluar | B) Número de zonas a considerar por la limitación |
|---|---|---|
| IC < 1 | 4 | 6 |
| 1 ≤ IC < 2 | 9 | 12 |
| 2 ≤ IC < 3 | 16 | 20 |
| 3 ≤ IC | 25 | 30 |

El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar, está dado por la ecuación siguiente:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x+y)}$$

Donde:

IC = índice del área.

x, y = dimensiones del área (largo y ancho), en metros.
h = altura de la luminaria respecto al plano de trabajo, en metros.

En donde x es el valor de índice de área (IA) del lugar, redondeado al entero superior, excepto que para valores iguales o mayores a 3 el valor de x es 4. A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición.

En pasillos o escaleras, el plano de trabajo por evaluar debe ser un plano horizontal a 75 cm ± 10 cm, sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas.

**A.2.4.** En el puesto de trabajo se debe realizar al menos una medición en cada plano de trabajo, colocando el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo y tomando precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro.

**A.3.** Instrumentación

**A.3.1.** Se debe usar un luxómetro que cuente con:

**a)** Detector para medir iluminación;
**b)** Corrección cosenoidal;
**c)** Corrección de color, detector con una desviación máxima de ± 5% respecto a la respuesta espectral fotópica, y
**d)** Exactitud de ± 5% (considerando la incertidumbre por calibración).

**A.3.2.** Se debe verificar el luxómetro antes y después de iniciar una evaluación conforme lo establezca el fabricante y evitar bloquear la iluminación durante la realización de la evaluación.

**A.3.3.** El luxómetro deberá contar con el certificado de calibración de acuerdo a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Las lecturas serán válidas mientras los resultados obtenidos en el luxómetro no cambien de acuerdo con los requisitos establecidos en los párrafos siguientes:

**A.3.3.1.** Debe asegurarse que se cumpla con el inciso d) de la sección A.3.1., ya que la calibración no implica el ajuste del instrumento y por tanto, por sí sola, no garantiza que se realicen las mediciones con la exactitud requerida. Debido a lo anterior se deberá verificar y registrar en el informe el error que comete el instrumento y aplicar el factor de corrección si es necesario, además de corregir los resultados de la medición.

**A.3.3.2** Cuando el luxómetro tenga variaciones en la coincidencia de sus lecturas se debe someter para su certificación al laboratorio.

La forma de respaldar la veracidad del luxómetro será a través del registro de mediciones realizadas midiendo los niveles de iluminación que produce una lámpara incandescente, que únicamente será utilizada para este fin, a distancias conocidas. Las lecturas obtenidas durante la verificación deberán coincidir con las lecturas de referencia que deberán haber sido obtenidas al momento de que se recibió el luxómetro después de su certificación, una vez que se haya aplicado el factor de corrección reportado en el certificado.

**A.3.3.3.** El reporte de verificación debe contener la fecha de su realización, la intensidad de corriente a la que se operó la lámpara incandescente, las condiciones ambientales al momento de la verificación, las distancias a las cuales se midieron los niveles de iluminación y los valores de iluminancia indicados por el instrumento para cada distancia.

**A.3.3.4.** En caso de que el luxómetro haya sufrido una caída, se le dio uso rudo o estuvo expuesto a condiciones extremas de temperatura y humedad, se debe someter a una nueva verificación y elaborar el reporte de verificación.

*Extracto de la NOM-016-ENER-2016, Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 kW a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado*

**8. Método de prueba**

Todos los motores se prueban por el método de las pérdidas segregadas, en este método, a partir de mediciones y cálculos, se determinan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator y del rotor, las pérdidas del núcleo y las pérdidas por fricción y ventilación; al final, las pérdidas indeterminadas se obtienen por diferencia.

**8.1** Condiciones de la prueba

Todos los motores se deben de probar en posición horizontal; en el caso de que los rodamientos originales no lo permitan, (rodamientos de contacto angular, especiales, lubricados por aceite), deben remplazarse por rodamientos de bolas de la serie 6 000, con sus variantes en tamaño asignado, sin tapas o con tapas de acero. En caso de motores de flecha hueca se debe insertar una flecha sólida para realizar las pruebas con el dinamómetro y se pueden retirar todos los elementos adicionales que generen una fricción adicional durante la prueba, tales como trinquetes giratorios y sus bolas o pernos de bloqueo.

En motores con rodamientos especiales que debido a su construcción, presenten fricción que afecte la medición de la eficiencia (rodamientos con sellos de neopreno, rodamientos cerámicos con sellos de silicón, etc), deberán ser remplazados por rodamientos de bolas de la serie 6 000, con sus variantes en tamaño asignado, sin tapas o con tapas de acero.

En motores con sellos o anillos de aterrizaje que presenten fricción que afecte la medición de la eficiencia éstos deben ser removidos.

Para los motores que experimenten un cambio de pérdidas por fricción, antes de que éstos alcancen condiciones de operación de rodamientos estabilizados, éstos deben operar hasta alcanzar las condiciones de estado estable descritas en los incisos 8.3.4 y 8.3.5, Se considera que el motor operando en vacío, alcanza las condiciones de estado estable, cuando la potencia de entrada no varíe más del 3% en un periodo de 30 min.

Para los fines de certificación, seguimiento y/o vigilancia, es necesario un periodo de estabilización de pérdidas en los rodamientos, antes de las pruebas mencionadas en los incisos 8.3.4 y 8.3.5, Se considera que el motor operando en vacío, alcanza las condiciones de estado estable, cuando la potencia de entrada no varíe más del 3% en un periodo de 30 min.

La frecuencia eléctrica de alimentación para todas las pruebas debe ser de 60 Hz con una variación de ± 0,3%.

La tensión eléctrica de corriente alterna de alimentación para la prueba, debe ser cualquier tensión eléctrica indicada en la placa de datos del motor**,** medida en sus terminales, sin exceder una variación de ± 0,5%, con un desbalance máximo permitido de ± 0,5%. El por ciento de desbalance es igual a 100 veces la desviación máxima de la tensión eléctrica de cada fase con respecto a la tensión eléctrica promedio, dividida entre la tensión eléctrica promedio.

La Distorsión Armónica Total (DAT) de la onda de tensión eléctrica no debe ser mayor que 5%.

La Distorsión Armónica Total (DAT) es un indicador del contenido de armónicas en una onda de tensión eléctrica. Se expresa como un porcentaje de la fundamental y se define como:

$$DAT = \left( \frac{\sum_{i=2}^{n} V_i^2}{V_1^2} \right) \cdot 100 \qquad [\%]$$

donde:

**Vi** es la amplitud de cada armónica
**V1** es la amplitud de la fundamental

Las magnitudes eléctricas que varíen senoidalmente, deben expresarse en valores eficaces, a menos que se especifique otra cosa.

**8.2** Instrumentos de medición y equipo de prueba

Los instrumentos de medición deben seleccionarse para que el valor leído esté dentro del intervalo de la escala recomendado por el fabricante del instrumento, o en su defecto en el tercio superior de la escala del mismo.
Los instrumentos analógicos o digitales deben estar calibrados con un error de instrumento máximo de ± 0,2% de plena escala.

Cuando se utilicen transformadores de corriente y transformadores de potencial, se deben realizar las correcciones necesarias para considerar los errores de relación y fase en las lecturas de tensión, corriente y potencia eléctricas. Los errores de los transformadores de corriente y de los transformadores de potencial no deben ser mayores de 0,3%.

El dinamómetro debe seleccionarse de forma que a su carga mínima, la potencia de salida demandada al motor no sea mayor que 15 % de la potencia nominal del mismo.

La instrumentación para medir el par torsional debe tener un error de instrumento máximo de ± 0,2% de plena escala.

La instrumentación para medir la frecuencia eléctrica de alimentación debe tener un error de instrumento máximo de ± 0,1% de plena escala.

La instrumentación para medir la frecuencia de rotación debe tener un error de instrumento máximo de ± 1 min-1 de la lectura.

La instrumentación para medir la temperatura debe tener un error de instrumento máximo de ± 1 °C.

Para evitar la influencia por el acoplamiento y desacoplamiento del motor con el dinamómetro durante el desarrollo de las pruebas de equilibrio térmico, funcionamiento, y carga mínima posible en el dinamómetro, éstas deben realizarse sin desacoplar el motor entre ellas.

Los instrumentos de medición, equipos y aparatos para aplicar este método de prueba son los siguientes:

**a)** aparato para medir la temperatura detectada por los detectores de temperatura por resistencia o termopares;
**b)** óhmetro a cuatro terminales, para medir resistencias bajas;
**c)** equipo para controlar la tensión de alimentación;
**d)** frecuencímetro;
**e)** vóltmetros;
**f)** ampérmetros;
**g)** wáttmetro trifásico;
**h)** dinamómetro;
**i)** torsiómetro o aparato para medir par torsional;

**j)** tacómetro, y
**k)** cronómetro.

**8.3** Procedimiento de prueba

Las pruebas que conforman este método deben ser desarrolladas en la secuencia indicada. No es necesario que cada paso sea llevado a cabo inmediatamente después del otro, sin embargo, cuando cada paso se ejecuta en forma individual e independiente, entonces las condiciones térmicas especificadas para el mismo deben ser reestablecidas previamente a la ejecución de la prueba.

Antes de comenzar las pruebas se debe instalar un termopar en el motor. Cuando se utilice más de un termopar, la temperatura para los cálculos debe ser el valor promedio.

Cuando todos los termopares se localicen en los cabezales del devanado o cuando la temperatura del termopar más caliente sea localizada en el núcleo del estator o en el cuerpo del motor, se debe aplicar el siguiente criterio, de preferencia en el siguiente orden que se establece:

**a)** Entre o sobre los cabezales del devanado, procurando que queden fuera de las trayectorias del aire de enfriamiento del motor.

En los casos en que es inaceptable abrir el motor o no es posible la colocación de termopares en los cabezales del devanado, los termopares pueden ser instalados en:
**b)** el núcleo del estator (ejemplo; a través de la caja de conexiones del motor), o
**c)** en el cuerpo del motor.

**Nota:** Cuando se utilizan termopares externos ya sea en el núcleo del estator o en el cuerpo del motor, debe asegurarse que los termopares estén posicionados tan cerca como sea posible al estator devanado, con un buen contacto térmico. Cuidado especial debe tomarse para que el termopar quede aislado y sellado del medio ambiente de enfriamiento.

**8.3.1** Parámetros iniciales

Se miden las resistencias entre terminales de los devanados del estator y la temperatura correspondiente.
Se registran los siguientes parámetros:

**a)** Las resistencias entre terminales de los devanados del estator, en Î© (ohm);
**b)** La temperatura o el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo $t_i$, en °C, y
**c)** La temperatura ambiente $t_{ai}$, en °C.

Se designa como resistencia de referencia Ri, a aquélla con el valor más cercano al promedio de las tres registradas. Por ejemplo, cuando:

$R1\text{-}2 = 4{,}8$ Î©  $R1\text{-}3 = 5{,}0$ Î©  $R2\text{-}3 = 5{,}2$ Î©

El valor de la resistencia de referencia es $R_i = 5{,}0$ Î©

**8.3.2** Prueba para alcanzar el equilibrio térmico

Mediante esta prueba se determinan la resistencia y temperatura de los devanados del motor operando a carga plena.

Se hace funcionar el motor a su régimen nominal hasta alcanzar el equilibrio térmico definido en el inciso 3.23 en todos los detectores de temperatura. Se desenergiza y se desconectan las terminales de línea del motor, se mide y registra la resistencia entre las terminales de la resistencia de referencia determinada en el inciso 8.3.1 en el tiempo especificado en la Tabla 2.

**Tabla 2 - Tiempo al cual se debe realizar la medición de la resistencia de referencia de los devanados del estator**

| Potencia Nominal, en kW | Tiempo [s] |
|---|---|
| 37,5 o menor | 30 |
| Mayor que 37,5 a 150 | 90 |
| Mayor que 150 | 120 |

Cuando se excede el tiempo establecido en la Tabla 2, se traza una curva de enfriamiento basada en la resistencia entre el par de terminales de referencia, utilizando por lo menos 10 valores espaciados a intervalos de 30 s, para determinar la resistencia al tiempo de retardo especificado en la Tabla 2.

Cuando los tiempos especificados en la Tabla 2 se exceden en más del doble para el registro de la primera lectura, se anula y se repite la prueba.

Se miden y registran:

**a)** La resistencia entre las terminales de referencia, $R_f$, en Î©;
**b)** El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo, $t_f$, en °C;
**c)** La temperatura ambiente, $t_{af}$, en °C, y
**d)** El tiempo al que se midió o determinó la resistencia $R_f$, en s.

**8.3.2.1** Cálculo del incremento de temperatura por resistencia

Se determina el incremento de temperatura (Ît) después de que el motor ha alcanzado el equilibrio térmico mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta t = t_{fr} - t_{af} \qquad [°C]$$

donde:

$$t_{fr} = \left[\left(\frac{R_f}{R_i}\right)(t_i + K)\right] - K \qquad [°C]$$

$t_{fr}$ Es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico (calculado por resistencia)
K es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro y para el aluminio 224,6. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante del material.

**8.3.3** Prueba de funcionamiento

Al término de la prueba anterior, se hace funcionar el motor a su tensión eléctrica nominal medida en sus terminales, a 60 Hz y potencia nominal. Se aplican en forma descendente dos valores de carga arriba de la potencia nominal, 130% y 115%; así como cuatro valores de carga al 100%, 75%, 50% y 25% de la potencia nominal, con una tolerancia de ± 2%.

La temperatura en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo del motor, debe estar como máximo 10 °C abajo de la temperatura registrada en la prueba para alcanzar el equilibrio térmico, antes de dar inicio a la prueba de funcionamiento.

Se miden y registran los siguientes parámetros para cada uno de los valores de carga:

**a)** El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en volt (V);
**b)** Frecuencia eléctrica de alimentación, en Hertz (Hz);
**c)** El promedio de las corrientes eléctricas de línea, $I_m$, en ampere (A);

**d)** La potencia de entrada, $P_e$, en kilowatts (kW)
**e)** El par torsional del motor, $T_m$, en newton metro (N ·m);
**f)** La frecuencia de rotación, $n_m$, en min $^{-}$1;
**g)** El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga, $t_m$, en grados Celsius ( °C), y
**h)** La temperatura ambiente para cada valor de carga, $t_{am}$, en °C.

**8.3.4** Prueba de carga mínima posible en el dinamómetro

Se ajusta el dinamómetro a su carga mínima y se opera el motor a su tensión eléctrica nominal, medida en sus terminales y 60 Hz, hasta que la potencia de entrada no varíe más del 3% en un periodo de 30 min.

Con la potencia de entrada estabilizada a la carga mínima del dinamómetro, se miden y registran:

**a)** El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V;
**b)** La frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
**c)** El promedio de las corrientes eléctricas de línea, $I_{mín}$, en A;
**d)** La potencia de entrada, $P_{mín}$, en kW;
**e)** El par torsional del motor, $T_{mín}$, en N ·m;
**f)** La frecuencia de rotación, $n_{mín}$, en min$^{-}$1;
**g)** El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo $t_{mín}$, en °C, y
**h)** Se verifica que la potencia de salida Pd demandada al motor bajo prueba, sea menor al 15 % de su potencia nominal. Donde Pd en kW, se calcula de la siguiente forma:

$$P_d = \frac{T_{mín} \cdot n_{mín}}{9\,549} \qquad [kW]$$

**8.3.5** Prueba de operación en vacío

Se desacopla el motor del dinamómetro y se opera en vacío a su tensión eléctrica nominal, medida en las terminales del motor y 60 Hz, hasta que la potencia de entrada varíe no más del 3% en un periodo de 30 min. Se aplican en forma descendente tres o más valores de tensión eléctrica entre el 125% y el 60% de la tensión eléctrica nominal, espaciados en forma regular; dentro de estos tres valores debe incluirse la medición al 100% de la tensión eléctrica nominal, de la misma manera, tres o más valores entre el 50% y el 20% de la tensión eléctrica de prueba seleccionada en 8.1 o hasta donde la corriente eléctrica de línea llegue a un mínimo o se haga inestable.

La prueba debe ser llevada a cabo lo más rápidamente posible y las mediciones deben tomarse en forma descendente respecto a la tensión máxima aplicada.

Para cada valor de tensión eléctrica, se miden y registran:

**a)** El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V;
**b)** La frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
**c)** El promedio de las corrientes eléctricas de línea, I0, en A;
**d)** La potencia de entrada en vacío P0, en kW;
**e)** La frecuencia de rotación, n0, en min$^{-}$1, y
**f)** El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de tensión, t0, en °C.

**8.4** Segregación de pérdidas

**8.4.1** Determinación de las pérdidas por fricción y ventilación y cálculo de las pérdidas en el núcleo.

Los siguientes cálculos se utilizan para separar el origen de las pérdidas en vacío.

**a)** Se resta de la potencia de entrada medida en el inciso 8.3.5 en vacío, P0, las pérdidas de los devanados del estator $I^2R_e0$ para cada valor de tensión eléctrica del inciso 8.3.5, calculadas con la siguiente ecuación:

$$I^2R_{E0} = 0{,}0015 \cdot I_0^2 \cdot R_{E0} \qquad [kW]$$

donde:

I0 Es el promedio de las corrientes eléctricas de línea en vacío del inciso 8.3.5, en A, y $R_E0$ es la resistencia entre las terminales de referencia, en ohm, del inciso 8.3.1, corregida al promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator para cada valor de tensión eléctrica, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R_{E0} = R_i \cdot \frac{t_0 + K}{t_i + K} \qquad [\Omega]$$

donde:

$R_i$ es la resistencia de referencia del inciso 8.3.1, en Î©;
t0 es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator, o en el cuerpo para cada valor de tensión del inciso 8.3.5, en °C;
$t_i$ es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo en frío del inciso 8.3.1, en °C, y
K es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro y para aluminio 224,6. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante del material.
b) Se traza una curva con la potencia de entrada con el motor operando en vacío P0 menos las pérdidas en los devanados del estator $I^2R_E0$ contra la tensión eléctrica en vacío, para cada valor de tensión eléctrica entre el 125% y el 60% del valor nominal.
c) Se traza una curva con los valores de potencia de entrada en vacío P0 menos las pérdidas en los devanados del estator I2$R_E0$, contra el cuadrado de la tensión eléctrica, para cada valor de tensión eléctrica entre el 50% y el 20% del valor nominal o hasta el valor correspondiente a la corriente eléctrica de línea mínima o inestable. Se extrapola la curva a la tensión eléctrica en vacío igual a cero. El valor de la potencia de entrada en este punto corresponde a las pérdidas por fricción y ventilación $P_{fv}$.
d) De la curva obtenida en el inciso (b), se calculan las pérdidas del núcleo, $P_h$, a la tensión eléctrica nominal, restando de la potencia de entrada en vacío, P0, las pérdidas en los devanados del estator $I^2R_E0$ según el inciso (a), y las pérdidas de fricción y ventilación $P_{fv}$ según el inciso (c).

**8.4.2** Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el estator

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator $I^2R_m$ para cada uno de los seis valores de carga aplicados según el inciso 8.3.3, utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2R_m = 0{,}0015 \cdot I_m^2 \cdot R_m \qquad [kW]$$

donde:

$I_m$ es el promedio de las corrientes de línea del inciso 8.3.3, en A;
$R_m$ es la resistencia entre las terminales de referencia del estator, del inciso 8.3.1, corregida a la temperatura de los devanados para cada valor de carga mediante la siguiente ecuación:

$$R_m = R_i \cdot \frac{t_{mc} + K}{t_i + K} \qquad [\Omega]$$

donde:

$R_i$ es la resistencia de referencia del inciso 8.3.1, en ohm;

$t_i$ es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, en frío, del inciso 8.3.1, en °C, y
K es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro y para aluminio 224,6. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante.
$t_{mc}$ es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga del inciso 8.3.3, en °C, corregida mediante la siguiente ecuación;

$$t_{mc} = \frac{t_{fr}}{t_f} \cdot t_m \qquad [°C]$$

donde:

$t_{fr}$ Es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico, calculada por resistencia en el inciso 8.3.2.1, en °C;
$t_f$ Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, del inciso 8.3.2, en °C;
$t_m$ Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga del inciso 8.3.3., en °C

**8.4.3** Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el rotor

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor $I2R_r$, en cada uno de los seis valores de carga aplicados según el inciso 8.3.3 utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2R_r = \left(P_e - I^2R_m - P_h\right) \cdot S_m \qquad [kW]$$

donde:

$P_e$ es la potencia de entrada para cada valor de carga medida en el inciso 8.3.3
$P_h$ son las pérdidas del núcleo calculadas en el inciso 8.4.1
$S_m$ es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de rotación síncrona ns para cada valor de carga, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{n_s - n_m}{n_s} \qquad [p.u.]$$

donde:

$n_m$ es la frecuencia de rotación para cada valor de carga medida en el inciso 8.3.3 en $min^{-1}$, y
$n_s$ es la frecuencia de rotación síncrona, calculado mediante la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \qquad [min^{-1}]$$

donde:

f es la frecuencia eléctrica de 60 Hz de la alimentación, y
p es el número de polos del motor.

**8.4.4** Cálculo de la potencia de salida

**a)** Se calculan los valores de par torsional corregido Tc, sumando el factor de corrección del dinamómetro FCD, en cada uno de los valores de par medidos Tm. En la práctica el FCD es compensado por la calibración del

dinamómetro, por lo que cuando la medición del par se hace entre el motor a prueba y el dinamómetro, este valor no afecta la medición y puede ser despreciado considerando FCD = 0 para este paso del cálculo. Cuando es necesario el cálculo del FCD, debe realizarse de acuerdo con el Apéndice B.

$$T_c = T_m + FCD \qquad [Nm]$$

**b)** Se calcula la potencia de salida de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_s = \frac{T_c \cdot n_m}{9\,549} \qquad [kW]$$

donde:

$T_c$ es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, en N ·m, y
$n_m$ es la frecuencia de rotación para cada valor de carga, medida en el inciso 8.3.3, en $min^{-1}$.

**8.4.5** Cálculo de las pérdidas indeterminadas

Para calcular las pérdidas indeterminadas en cada uno de los seis valores de carga medidos en el inciso 8.3.3, se calcula la potencia residual $P_{res}$ como sigue:

$$P_{res} = P_e - P_s - I^2R_m - P_h - P_{fv} - I^2R_r \qquad [kW]$$

donde:

$P_e$ es la potencia eléctrica de entrada para cada valor de carga, medida en el inciso 8.3.3
$P_s$ es la potencia mecánica de salida corregida para cada valor de carga calculada en el inciso 8.4.4, en kW
$I^2R_m$ son las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator para cada valor de carga calculadas en el inciso 8.4.2, en kW
$P_h$ son las pérdidas en el núcleo calculadas en el inciso 8.4.1 (d), en kW
$P_{fv}$ son las pérdidas por fricción y ventilación calculadas en el inciso 8.4.1(c), en kW
$I^2R_r$ son las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor para cada valor de carga, calculada en el inciso 8.4.3, en kW

Para suavizar la curva de potencia residual, $P_{res}$, contra el cuadrado del par torsional, $T_c2$, para cada valor de carga, se usa el análisis de regresión lineal del Apéndice A.

$$P_{res} = AT_c^2 + B \qquad [kW]$$

donde:

$T_c$ es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el inciso 8.4.4 (a), en N ·m;
A es la pendiente de la recta para el análisis de regresión lineal, y
B es la intersección de la recta con el eje de las ordenadas

Cuando el coeficiente de correlación $\gamma$ (letra gamma) es menor que 0,9, se elimina el peor punto y se calculan nuevamente A y B. Cuando el valor de gamma se incrementa hasta hacerlo mayor o igual que 0,9, se usa el segundo cálculo. En caso contrario, la prueba no fue satisfactoria, indicando errores en la instrumentación, de lectura o ambos. Se debe investigar la fuente de estos errores y corregirse, para posteriormente repetir las pruebas. Cuando el valor de A se establece conforme al párrafo anterior, se pueden calcular las pérdidas indeterminadas para cada uno de los valores de carga del inciso 8.3.3 de la siguiente forma:

$$P_{ind} = AT_c^2 \qquad [kW]$$

donde:

$T_c$ es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el inciso 8.4.4 (a), en N ·m, y
A es la pendiente de la recta

**8.5** Corrección por temperatura para las pérdidas por efecto Joule

**8.5.1** Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el estator corregidas por temperatura

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator corregidas de la temperatura ambiente $t_{af}$, medida en el inciso 8.3.2, a la temperatura ambiente de 25 °C, para cada uno de los seis valores de carga medidos en el inciso 8.3.3, usando la siguiente ecuación:

$$I^2R_{mc} = 0{,}0015 \cdot I_m^2 \cdot R_{mc} \qquad [kW]$$

donde:

$I_m$ es el promedio de las corrientes de línea para cada valor de carga del inciso 8.3.3, en A;

$R_{mc}$ es la resistencia de referencia Rf del inciso 8.3.2, corregida a una temperatura ambiente de 25 °C de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_{mc} = R_f \cdot \frac{t_c + K}{t_{fr} + K} \qquad [\Omega]$$

donde:

$t_c$ es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico calculada por resistencia, $t_{fr}$, del inciso 8.3.2.1, corregida a una temperatura ambiente de 25 °C ($t_c = t_{fr} + 25\ °C - t_{af}$), en °C;
$t_{fr}$ es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico calculada por resistencia, del inciso 8.3.2.1, en °C, y
K es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro y para aluminio 224,6. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante del material.

**8.5.2** Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el rotor corregidas por temperatura

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del rotor, corregidas de la temperatura ambiente $t_{af}$, medida en el inciso 8.3.2, a la temperatura ambiente de 25 °C, para cada uno de los seis valores de carga medidos en el inciso 8.3.3, usando la siguiente ecuación:

$$I^2R_{rc} = \left(P_e - I^2R_{mc} - P_f\right) \cdot S_{mc} \qquad [kW]$$

donde:

$$S_{mc} = S_m \cdot \frac{t_c + K}{t_{mc} + K}$$

donde:

$S_{mc}$ es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de rotación síncrona, referido a una temperatura ambiente de 25 °C;
$S_m$ es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de rotación síncrona medida en el inciso 8.3.3 y calculado en el inciso 8.4.3;

$t_{mc}$ es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga, del inciso 8.3.3, en °C, corregidas mediante la siguiente ecuación $t_{mc}=t_{fr}/t_f * t_m$;
$t_c$ es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico calculada por resistencia, $t_{fr}$, del inciso 8.3.2.1, corregida a una temperatura ambiente de 25 °C ($t_c = t_{fr} + 25\ °C - t_{af}$), en °C;
$t_{af}$ es la temperatura ambiente durante la prueba de equilibrio térmico a plena carga del inciso 8.3.2, en °C;
K es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro y para aluminio 224,6. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante del material.

**8.6** Cálculo de la potencia de salida a 25 °C

Se calcula la potencia de salida corregida a la temperatura ambiente de 25 °C, para cada uno de los seis valores de carga del inciso 8.3.3 usando la siguiente ecuación:

$$P_{sc} = P_e - P_h - P_{fv} - P_{ind} - I^2R_{mc} - I^2R_{rc} \qquad [kW]$$

donde:

$P_{sc}$ es la potencia de salida corregida para cada valor de carga, referido a una temperatura ambiente de 25 °C, en kW;
$P_e$ es la potencia de entrada para cada valor de carga, medida en el inciso 8.3.3;
$P_h$ son las pérdidas en el núcleo, calculadas en el inciso 8.4.1 (d), en kW;
$P_{fv}$ son las pérdidas por fricción y ventilación, calculadas en el inciso 8.4.1(c), en kW;
$P_{ind}$ son las pérdidas indeterminadas, calculadas en el inciso 8.4.5, en kW;

$I^2R_{mc}$ son las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator para cada valor de carga, referidas a una temperatura ambiente de 25 °C, calculadas en el inciso 8.5.1, en kW;
$I^2R_{rc}$ son las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor para cada valor de carga, referidas a una temperatura ambiente de 25 °C, calculadas en el inciso 8.5.2, en kW.

**8.7** Cálculo de la eficiencia

Se calcula la eficiencia Æm para cada uno de los seis valores de carga del inciso 8.3.3 usando la siguiente ecuación:

$$\eta_m = \left(\frac{P_{sc}}{P_e}\right) 100 \qquad [\%]$$

donde:

$P_{sc}$ es la potencia mecánica de salida corregida para cada valor de carga, referida a una temperatura ambiente de 25 °C, calculada en el inciso 8.6, en kW;
$P_e$ es la potencia eléctrica de entrada para cada valor de carga, medida en el inciso 8.3.3, en kW.

**8.8** Eficiencia en cualquier valor de carga

Para determinar la eficiencia en algún valor preciso de carga, se traza una curva con la eficiencia calculada según el inciso 8.7 contra la potencia de salida corregida calculada en el inciso 8.6.

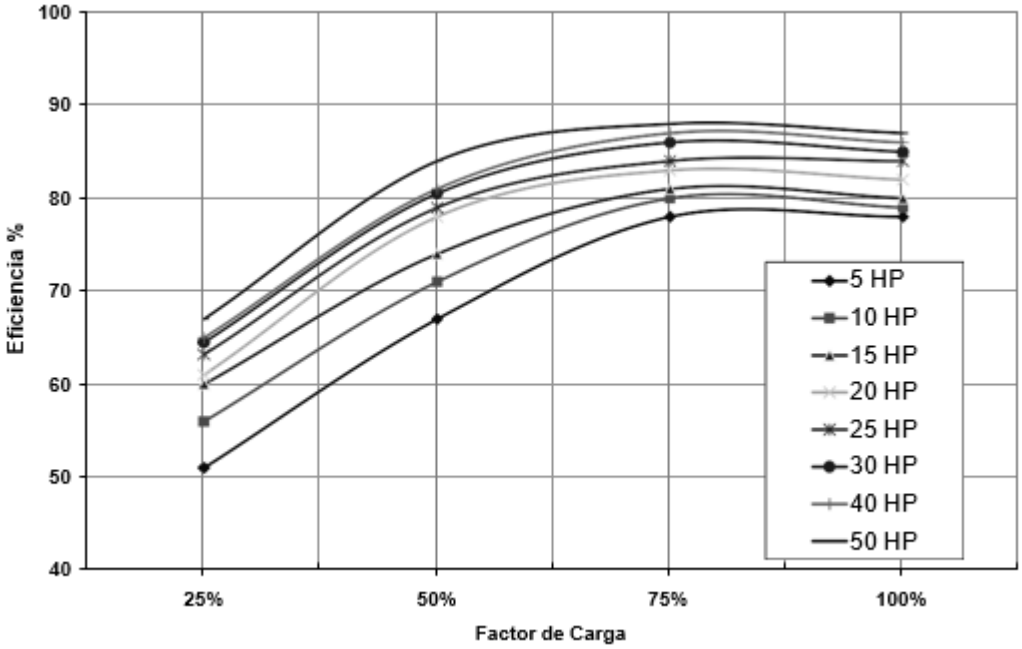
**Determinación del factor de carga referido a la potencia de placa**

En este método es necesario conocer la curva del comportamiento del motor, es decir, eficiencia y factorde potencia contra factor de carga.

**Curva de comportamiento de motores**

| Factor de carga | Eficiencia | Factor de potencia |
|---|---|---|
| **100%** | **84%** | **89%** |
| 75 | 86% | 85% |
| 50 | 79% | 76% |
| 25 | 73% | 60% |

**Factor de carga y eficiencia en motores estándar**




**El factor de carga se determina mediante la siguiente ecuación:**

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Potencia medida}}{\text{Potencia de placa/ eficiencia a plena carga}}$$

ó

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{kW demandados / 0.746}}{\text{Potencia de placa / eficiencia a plena carga}}$$

La eficiencia se determinará interpolando en la curva de comportamiento del motor con base al factor decarga obtenido en la sección anterior.

Las ecuaciones de interpolación utilizadas son las siguientes:

$$\text{Factor de interpolación} = \frac{X\ 1 - X}{X\ 1 - X\ 2}$$

$$Y = Y1 - \text{Fac. Int.} \times (Y1 - Y2)$$

Ejemplo: Un motor de 30 Hp de 3,580 RPM a 440 Volts, tiene un comportamiento en su eficiencia y factor de potencia similar al de la tabla anterior. Por otro lado, se realizaron mediciones de potencia la cuál promedio un valor de 16.5 kW. ¿Cuál es su factor de carga y su eficiencia a ese factor de carga?

$$\% \text{ de factor de carga} = \frac{16.5 / 0.746}{30 / 0.89} \times 100 = 65.6\ \%$$

$$\text{Factor de interpolación} = \frac{75 - 65.6}{75 - 50} = 0.376$$

$$\text{Eficiencia} = (0.86 - (0.376 \times (0.86 - 0.79)) \times 100 = 83.37\ \%$$

**Apéndice E**
**(Informativo)**
**Identificación de motores abiertos o cerrados**

| Enclaustramiento | Designación | Definición en español | Definición en inglés |
|---|---|---|---|
| Motores abiertos | IP 00 | Sin protección | |
| | IP 02 | Sin protección contra contacto y cuerpos extraños y protección contra gotas de agua con 15 ° de inclinación respecto a la vertical | |
| | IP 11 | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua verticales | |
| | IP 12 | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua con 15 ° de inclinación respecto a la vertical | |
| | IP 13 | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua con 60 ° de inclinación respecto a la vertical | |
| | IP 21 | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua verticales. | |
| | IP 22 | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua con 15 ° de inclinación respecto a la vertical. | Open Drip-Proof (IEC Standard) |
| | | Abierto a prueba de goteo | |
| | IP 23 | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua con 60 ° de inclinación respecto a la vertical | |
| | WP-I | Protección Ambiental Tipo I | AmbientProtection Type I |
| | APG, ODP | Abierto a Prueba de Goteo | Open DripProof |
| | PGCP, DPFG | A Prueba de Goteo Completamente Protegido | (Drip-ProofFullyGuarded) |
| | APP, ODG | Abierto a Prueba de Goteo, Protegido | Open Drip-Prof, Guarded |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | APG-VF, ODG-FV | Abierto a Prueba de Goteo, Ventilación Forzada | Open Drip-Proof, Force Ventilated |
| | APG-VS, ODG-SV | Abierto a Prueba de Goteo, Ventilación Separada | Open Drip-Proof, Separately Ventilated |
| Motores cerrados | IP 44 | Protección contra contacto con herramientas, contra sólidos de diámetros mayores de 1 mm y contra salpicaduras de agua en todas direcciones | |
| | | Totalmente Cerrado | Totally-Enclosed (IEC Standard) |
| | IP 54 | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra salpicaduras de agua en todas direcciones | |
| | | A prueba de Chapoteo | SplashProof (IEC Standard) |
| | IP 55 | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorro de agua en todas direcciones | |
| | | Uso Lavadora | Washdown (IEC Standard) |
| | IP 56 | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra oleaje fuerte | |
| | IP 65 | Protección completa contra contacto, protección completa contra polvos y contra chorro de agua en todas direcciones | |
| | TC, TE, TCVE, TEFC | Totalmente cerrado con ventilación exterior. | TotallyEnclosed Fan Cooled |
| | TC, TCVE, TEAO | Totalmente cerrado con ventilación exterior. | TotallyEnclosed Air Over |
| | TCVF, TEBC | Totalmente cerrado con ventilación forzada | TotallyEnclosedBlowerCooled |
| | TC, TCNV, TENV | Totalmente cerrado no ventilado | TotallyEnclosed Non-Ventilated |
| | TCEA, TEWC | Totalmente cerrado con enfriamiento agua | Totally Enclosed Water Cooled |
| | TCCCAA, TECACA | Totalmente Cerrado, Circuito Cerrado, Enfriamiento Aire-Aire | Totally-Enclosed, Closed Circult, Air to Air |
| | TCDVAAi, TEDC-A/A | Totalmente Cerrado, Doble Ventilación, Aire-Aire | Totally-Enclosed, Dual Cooled, Air to Air |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | TCDVAA, TEDC-Q/W | Totalmente Cerrado, Doble Ventilación, Aire-Agua | Totally-Enclosed, Dual Cooled, Air to Water |
| | TCTV, TETC | Totalmente Cerrado con tubería de ventilación | Totally-Enclosed. Tube Coole |
| | TCEAA, TEWAC | Totalmente Cerrado, Enfriamiento Aire-Agua | Totally-Enclosed, Water/Air Cooled |
| | TC, TCPE, TEXP, XP | Totalmente cerrado a prueba de explosión. | Totally-Enclosed, Explosion-Proof |
| | TCEAAi, TEAAC | Totalmente cerrado con enfriamiento aire-aire. | Totally Enclosed Air to Air Cooled |
| | TCPE, TEEP | Totalmente cerrado a prueba de explosión. | TotallyEnclosedExplosionProof |
| | TCPGI, TEIGF | Totalmente cerrado, presurizado con gas inerte. | Totally Enclosed Inert Gas Filled |
| | TCDV-IP, TEPV-IP | Totalmente cerrado con ductos de ventilación e internamente presurizados. | Totally Enclosed Pipe Ventilation Internally presurized |
| | TCEAAg, TEWC | Totalmente cerrado con enfriamiento agua-aire. | TotallyEnclosedWaterCooled |
| | TCEAA-IP, TEWC-IP | Totalmente cerrado con enfriamiento agua aire e internamente presurizados. | Totally Enclosed Water Cooled Internally presurized |

*Extracto de la NOM-081-SEMARNAT-2013, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición*

**Artículo único.** Se modifica el numeral 5.4 de la norma oficial mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición, para establecer lo siguiente:

"5.4 Los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitidos por fuentes fijas, son los establecidos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Límites máximos permisibles**

| Zona | Horario | Límite máximo permisible dB (A) |
|---|---|---|
| Residencial1 (exteriores) | 6:00 a 22:00<br>22:00 a 6:00 | 55<br>50 |
| Industriales y comerciales | 6:00 a 22:00<br>22:00 a 6:00 | 68<br>65 |
| Escuelas (áreas exteriores de juego) | Durante el juego | 55 |
| Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento. | 4 horas | 100 |

## Norma Oficiales Mexicanas más empleadas en Instalaciones Eléctricas.

**1. NOM-001-SEDE-2012. DOF 29/11/2012.** Instalaciones Eléctricas (utilización).. 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. NOM-002-SEDE/ENER-2014, DOF 29/08/2014** Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución. Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos de seguridad y eficiencia energética que deben cumplir los transformadores de distribución, además establece los métodos de prueba que deben utilizarse para evaluar estos requisitos.
Esta Norma aplica a los transformadores de distribución de fabricación nacional e importados, tipo: poste, subestación, pedestal y sumergible (de acuerdo con las definiciones establecidas en el capítulo 3 de esta Norma), autoenfriados en líquido aislante, destinados al consumidor final, cuando sean comercializados en los Estados Unidos Mexicanos.
Asimismo, la presente Norma Oficial Mexicana aplica cuando el transformador de distribución sea objeto de reparación, reconstrucción o reinstalación con el propósito de comercializarse en territorio nacional.

**3. 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.

**4. 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.

**5. 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.

**6. NOM-022-STPS-2015. DOF 01/04/2016.** Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad. Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.

**7. NOM-025-STPS-2008. DOF 30/12/2008** Condiciones de iluminación en los centros de trabajo**.** El objetivo es 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.

**8. 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. 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. NOM-011-ENER-2006**. **DOF: 22/06/2007.** Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

**3. 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.

**4. 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.

**5. NOM-016-ENER-2016**. **DOF: 15/11/2016.** 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.

**6. NOM-017-ENER/SCFI-2012**. **DOF: 09/01/2013.** Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastradas. Límites y métodos de prueba.

**7. NOM-028-ENER-2017. DOF: 09/03/2018.** Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.

**8. NOM-031-ENER-2019. DOF: 03/03/2021.** Eficiencia energética para luminarios con led para iluminación de vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de pruebaEficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.

**9. NMX-J-116-ANCE-2017**. **DOF: 17/08/2017.** Transformadores de distribución tipo poste y tipo subestación-especificaciones.

**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.

## 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 | $Q/m^2$ | -- | | | D=ϵ·E |
| Inducción magnética | B | Tesla | $W/m^2$ | 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 | | | $L=N\cdot\varphi/10^8\cdot I$ |
| Reluctancia | R | At/Wb | | | | R=l/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 $m^2$ |

**Resistividad $\rho$ y conductividad $\gamma$ de conductores (a 20 °C)**

| Material | $\rho$ $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ | $\gamma = \frac{1}{\rho}$ | Material | $\rho$ $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ | $\gamma = \frac{1}{\rho}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 $\rho$ aislantes**

| Material | $\Omega \cdot cm$ | Material | $\Omega \cdot cm$ |
|---|---|---|---|
| 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 | $10^{15}$ |

**Coeficiente térmico de resistencia $\alpha_{20}$ (a 20 °C)**

| Material | $^{\circ}C^{-1}, K^{-1}$ | Material | $^{\circ}C^{-1}, K^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| 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 |

**Constante dieléctrica** $\varepsilon_r$

| Material aislante | $\varepsilon_r$ | Material aislante | $\varepsilon_r$ | Material aislante | $\varepsilon_r$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 $\left(\approx \sqrt[6]{10}\right)$ | | | Serie E 12 $\left(\approx \sqrt[12]{10}\right)$ | | | Serie E 24 $\left(\approx \sqrt[24]{10}\right)$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |
| | | | | | | 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 $\mu_r$ 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* | $\mu_r$ | *H* | $\mu_r$ | *H* | $\mu_r$ |
| 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 | | |

**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 | | $\rho_{Fe10}$ | 3.6 | 3.0 | 2.3 | 1.5 | 1.3 |
| | | $\rho_{Fe10}$ | 8.6 | 7.2 | 5.6 | 3.7 | 3.3 |
| Valor mínimo de la inducción | $B_{25}$ | Tesla<br>Gauss | 1.53<br>15 300 | 1.50<br>15 300 | 1.47<br>14 700 | 1.43<br>14 300 | |
| | $B_{50}$ | Tesla<br>Gauss | 1.63<br>16 300 | 1.60<br>16 000 | 1.57<br>15 700 | 1.55<br>15 500 | |
| | $B_{100}$ | Tesla<br>Gauss | 1.73<br>17 300 | 1.71<br>17 100 | 1.69<br>16 900 | 1.65<br>16 500 | |
| | $B_{300}$ | Tesla<br>Gauss | 1.98<br>19 800 | 1.95<br>19 500 | 1.93<br>19 300 | 1.85<br>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.

| | | |
|---|---|---|
| $\rho_{Fe10}$ | Pérdidas magnéticas por unidad de masa con las inducciones de: | 10 000 Gs = 1.0 tesla |
| $\rho_{Fe15}$ | | 15 000 Gs = 1.5 tesla |

Los valores corresponden a las siguientes condiciones:

Densidad a t=15 °C
Temperaturas (o puntos) de fusión y de ebullición para $\rho$ = 1.0132 bar = 760 Torr
Los valores entre paréntesis indican sublimación, o sea, cambio directo del estado sólido al gaseoso.
Conductividad térmica a 20 °C

Capacidad térmica específica (o calor específico) para el intervalo de temperaturas 0 < t < 100 °C

| Sustancia | Densidad ρ | Puntos de Fusión (soldf.) | Puntos de Ebullición | Conductividad térmica k | Calor específico *c* |
|---|---|---|---|---|---|
| | kg/dm$^3$ | °C | °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 | |
| 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]
$\omega$ = velocidad angular [rpm]

$$P_{sal} = \frac{T\omega}{5252}$$

donde:

P = Potencia de salida [HP]
$T$ = Par [lb-ft]
$\omega$ = 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. Alejandro Cristóbal Galicia Ponce
**Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo**

M. en C. Abel Eduardo Quezada Carreón
**Universidad Autónoma de Ciudad Juárez**

Dr. Adrián González Parada
**Universidad de Guanajuato**

Dr. Jesús Antonio Camarillo Montero
**Universidad Veracruzana**

Ing. Beatriz Aurora García Cristiano
**Instituto Tecnológico de Mérida**

Dr. Pedro Francisco Rosales Escobedo
**Universidad Autónoma de Baja California**

Dr. Juan Segundo Ramírez
**Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

Dr. Antonio Ramos Paz
**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

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

El Formulario para el sustentante es un documento cuyo contenido está sujeto a revisiones periódicas. Las posibles modificaciones atienden a los aportes y críticas que hagan los miembros de las comunidades académicas de instituciones de educación superior de nuestro país, los usuarios y, fundamentalmente, las orientaciones del Consejo Técnico del examen.

El Ceneval y el Consejo Técnico del EGEL Plus IELEC agradecerán todos los comentarios que puedan enriquecer este material. Sírvase dirigirlos a:

**Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A.C.**
**Subdirección de Evaluación de Egreso**
**en Diseño, Ingenierías y Arquitectura**
Av. Camino al Desierto de los Leones (Altavista) 37,
Col. San Ángel, Álvaro Obregón,
C.P. 01000, Ciudad de México.
Tel: 55 53 22 92 00 ext. 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. Asimismo, es miembro de estas organizaciones: International Association for Educational Assessment; European Association of Institutional Research; Consortium for North American Higher Education Collaboration; Institutional Management for Higher Education de la OCDE.

