



# Formulario

Examen General para el Egreso  
de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica

## **EGEL Plus IELEC**

# Formulario

Examen General para el Egreso  
de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica

## **EGEL Plus IELEC**

**Directorio**

**Carmen Enedina Rodríguez Armenta**  
Directora General

**Alejandra Zúñiga Bohigas**  
Directora de los Exámenes  
Generales para el Egreso de la Licenciatura

**David González Ramírez**  
Subdirector de Evaluación de Egreso  
en Diseño, Ingenierías y Arquitectura

**Noemí Navarrete Aguirre**  
Responsable del EGEL Plus® Sección  
Disciplinar en Ingeniería Eléctrica

*Formulario*

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

Tercera edición

## Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Ingeniería económica</b> .....  | <b>7</b>  |
| Interés simple .....   | 7         |
| Interés compuesto.....   | 7         |
| Valor futuro pago único .....  | 7         |
| Valor presente pago único.....   | 7         |
| Cantidad compuesta serie uniforme.....                                       | 7         |
| Fondo de amortización.....   | 7         |
| Recuperación del capital de una serie uniforme.....                          | 8         |
| Valor presente de una serie uniforme .....                                   | 8         |
| Series de gradiente .....  | 8         |
| Tasa efectiva de interés anual.....  | 8         |
| Capitalización continua.....   | 8         |
| Definición de “e” .....  | 8         |
| Pagos continuos.....   | 9         |
| Tasa mixta.....  | 9         |
| Inversión inicial.....   | 9         |
| Tasa mínima aceptable de rendimiento .....                                   | 9         |
| Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta .....                             | 9         |
| Valor presente neto (con TMAR).....  | 10        |
| Valor presente neto (con anualidad e interés).....                           | 10        |
| Tasa interna de retorno.....   | 10        |
| Periodo de recuperación de la inversión .....                                | 10        |
| Punto de equilibrio en ventas .....  | 11        |
| Costo beneficio.....   | 11        |
| Costo anual uniforme equivalente (CAUE).....                                 | 11        |
| Serie uniforme equivalente.....  | 11        |
| Recuperación de capital.....   | 11        |
| Retiro y reemplazo .....   | 11        |
| <b>Mantenimiento</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>Costos de mantenimiento</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>Costo total</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>Costo del consumo total anual</b> .....                                   | <b>12</b> |
| Costos mantenimiento preventivo .....  | 13        |
| <b>Indicadores control de trabajo</b> .....                                  | <b>14</b> |
| <b>Efectividad del sistema</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>Confiabilidad</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>Métodos de mantenimiento vs. costo</b> .....                              | <b>20</b> |
| <b>Sistemas en serie</b> .....   | <b>20</b> |
| <b>Sistemas en paralelo</b> .....  | <b>20</b> |
| <b>Restablecimiento de la confiabilidad</b> .....                            | <b>21</b> |
| <b>Probabilidad de falla</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>Mantenimiento productivo total</b> .....                                  | <b>22</b> |
| <b>Disponibilidad intrínseca o de explotación</b> .....                      | <b>22</b> |
| <b>Tiempo medio de parada por averías</b> .....                              | <b>22</b> |
| <b>Tiempo medio entre averías MTBF (tiempo de buen funcionamiento)</b> ..... | <b>22</b> |
| <b>Tiempo de funcionamiento medio</b> .....                                  | <b>22</b> |
| <b>Tasa de fallo</b> .....   | <b>23</b> |
| <b>Trabajo en mantenimiento correctivo</b> .....                             | <b>23</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Consumo de los aparatos electrodomésticos .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>Teoría de control.....</b>  | <b>24</b> |
| Terminología de la ingeniería de control .....   | 24        |
| Modelos de control .....   | 24        |
| <b>Teoría de circuitos eléctricos .....</b>  | <b>26</b> |
| Impedancia.....  | 26        |
| Admitancia.....  | 27        |
| Reactancia .....   | 28        |
| Resonancia .....   | 29        |
| Cargas reactivas y factor de potencia .....  | 30        |
| Potencia compleja .....  | 30        |
| Potencia trifásica .....   | 32        |
| <b>Sistemas eléctricos de potencia .....</b>   | <b>34</b> |
| Sistema por unidad .....   | 34        |
| Transformadores .....  | 34        |
| Componentes simétricas .....   | 35        |
| Corrientes de falla de secuencia cero, positiva y negativa (In-0, In-1, In-2) para una falla en bus n.....                               | 38        |
| Corriente de cortocircuito eficaz (rms) de máquina síncrona .....  | 39        |
| Cálculo de fallas .....  | 40        |
| Transformadores .....  | 42        |
| Transformadores de instrumento (transformadores de medida) .....   | 43        |
| Corrección del factor de potencia .....  | 45        |
| Reactores .....  | 47        |
| Resonancia armónica.....   | 49        |
| Resistencia.....   | 50        |
| Inductancia.....   | 50        |
| Capacitancia.....  | 53        |
| Líneas trifásicas de circuitos paralelos.....  | 54        |
| Cálculo de líneas.....   | 54        |
| Líneas aéreas.....   | 56        |
| Líneas de tensión .....  | 57        |
| Cálculo de conductores .....   | 58        |
| Cálculo de conductores para cargas específicas .....   | 59        |
| Transformadores .....  | 61        |
| Flujos de potencia .....   | 72        |
| <b>Óptica e iluminación.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>Cantidades básicas en luminotecnia .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>Ley de la iluminación.....</b>  | <b>74</b> |
| <b>Niveles de iluminación en interiores .....</b>  | <b>75</b> |
| <b>Niveles de iluminación exteriores .....</b>   | <b>76</b> |
| <b>Niveles de iluminación en zonas deportivas (mínimos) .....</b>  | <b>76</b> |
| <b>Cálculo de instalaciones de alumbrado.....</b>  | <b>77</b> |
| <b>Método de los lúmenes o del factor de utilización.....</b>  | <b>78</b> |
| <b>Cálculo de la separación entre luminarias.....</b>  | <b>80</b> |
| <b>Descripción de los números ANSI/IEEE.....</b>   | <b>91</b> |
| <b>Anexos.....</b>   | <b>97</b> |
| Extracto de la CFE J1000-50 Torres para líneas de transmisión y subtransmisión .....   | 97        |
| Extracto de la CFE V5100-15 Interruptores de potencia para media tensión de 15 kV a 38 kV.....   | 98        |
| Extracto del IEEE Std C37 230 2007 Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines .....                                   | 101       |
| Extracto del IEEE Std. 43 2013 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery.....                         | 103       |
| Extracto del IEEE Std. C57 152 2013 Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors..... | 106       |

|   |            |
|---|------------|
| Extracto del IEEE-519 2014 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems .....   | 108        |
| Extracto del IEEE-1159 2019 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality .....  | 109        |
| Extracto del IEEE-1531 2003 Guide for Application and Specification of Harmonic Filters .....   | 111        |
| Extracto de la NEMA MG1 Motors and Generators 2009. National Electrical Manufacturers Association .....   | 115        |
| Extracto de la NMX-J-098-ANCE-2014 .....  | 117        |
| Extracto de la NMX-J-136-ANCE-2019 .....  | 119        |
| Extracto de la norma de Construcción de instalaciones aéreas en media y baja tensión .....  | 121        |
| Extracto de la NMX-J-199-ANCE-2002 .....  | 139        |
| Extracto de la NMX-J-284-ANCE-2018 .....  | 141        |
| Extracto de la NMX-J-549-ANCE-2005 .....  | 144        |
| 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 ..... | 150        |
| Extracto de la IEC 60214-2 .....  | 155        |
| Extracto de la EN-60617 o IEC 60617 .....   | 157        |
| Símbolos de acuerdo con la ANSI.....  | 160        |
| Extracto de la ANSI/NETA MTS 2019 .....   | 162        |
| Extracto del SOM-3531 2003 Procedimiento de pruebas de campo para equipo primario de subestaciones de distribución .....  | 163        |
| Extracto de la NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución .....  | 168        |
| Extracto de la NOM-022-STPS-2015, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.....   | 169        |
| Extracto de la NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.....   | 173        |
| 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 .....   | 176        |
| 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 .....  | 191        |
| <b>Norma Oficiales Mexicanas más empleadas en Instalaciones Eléctricas.....</b>   | <b>192</b> |
| <b>Anexos.....</b>  | <b>195</b> |
| Tablas de equivalencia.....   | 195        |
| <b>Tablas adicionales de datos prácticos.....</b>   | <b>196</b> |
| <b>Consejo Técnico.....</b>   | <b>202</b> |

## Ingeniería económica

Glosario de términos para ingeniería económica

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

Interés simple

$$I = niP$$

Interés compuesto

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

Valor futuro pago único

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

Valor presente pago único

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

Cantidad compuesta serie uniforme

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

Fondo de amortización

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

Recuperación del capital de una serie uniforme

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

Valor presente de una serie uniforme

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

Series de gradiente

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

Tasa efectiva de interés anual

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

Capitalización continua

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

Definición de "e"

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

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

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

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

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

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

### Pagos continuos

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

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

### Tasa mixta

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

### Inversión inicial

$$II = CO + CP + CA$$

donde:

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

### Tasa mínima aceptable de rendimiento

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

donde:

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

### Tasa mínima aceptable de rendimiento mixta

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

donde:

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

### Valor presente neto (con TMAR)

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

donde:

VPN = Valor presente neto

$S_0$  = Inversión inicial

$S_t$  = Flujo de efectivo neto del periodo t

n = Número de periodos de la vida del proyecto

i = Tasa de recuperación mínima atractiva

t = periodos en años

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

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

donde:

VPN = Valor presente neto

P = Inversión inicial

A = Anualidad

i = Tasa de interés

VS = Valor de salvamento al final del periodo n

n = Número de periodos

### Tasa interna de retorno

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

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)

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

### Serie uniforme equivalente

$$SAUE = -CAUE$$

### Recuperación de capital

$$CAUE = -SAUE = RC$$

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

### Retiro y reemplazo

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

## 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

$$\text{Consumo total anual} = \text{Potencia} * \text{F. U.} * \text{h/día} * \text{día/sem.} * \text{Tarifa}$$

F. U. = Factor de utilización

## Costos mantenimiento preventivo

| Definición  | Fórmula de cálculo  | Objetivos  | Significado  |
|---|---|--|--|
| IGTR<br>Índice general de trabajos realizados               | $IGTR = \frac{OTE}{OTR}$ 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 | $ITP = \frac{OTPP}{OTR}$ 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                   | $IMP = \frac{HHMP}{THHM}$ 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                           | $IOA = \frac{EHH}{HHD}$ 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     | $IHE = \frac{CHE}{THHM}$ 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)             | $ITM = \frac{THR}{THHM}$ 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

| <b>Control de trabajo</b>      |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Indicador</b>               | <b>Descripción</b>   |
| $CT1 = \frac{ODTR}{DHP}$       | 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                                   |
| <b>Soporte de logística</b>    |  |
| $SL1 = \frac{RAA}{RP}$         | 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  |
| <b>Uso de contratistas</b>     |   |
| $UC1 = \frac{CM}{TC}$          | 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  |
| <b>La organización</b>         |   |
| $OR1 = \frac{PM}{TP}$          | 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

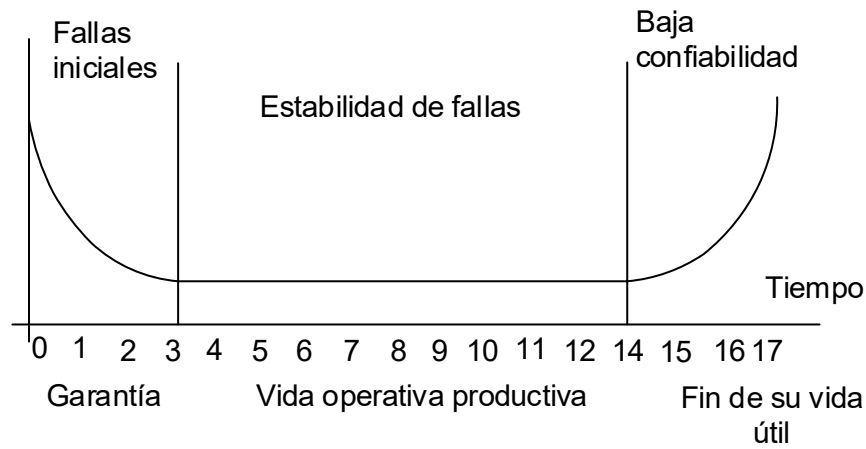
HH = Horas hombre

Efectividad del sistema

| Indicador                     | Descripción   |
|-------------------------------|---|
| $ES1 = \frac{CR}{CI}$         | 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                           |

| <b>Costos</b>              |  |
|----------------------------|--|
| $CO1 = \frac{CMT}{PRE}$    | 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



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

donde:

$R$ : Confiabilidad

$MTBF$ : Tiempo medio entre fallas

$MTTR$ : Tiempo medio para reparación

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

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

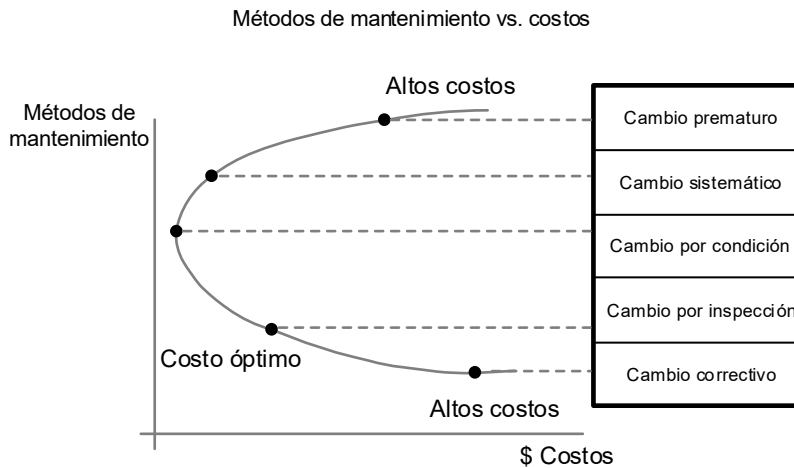
donde:

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

$p$ : Número de paros durante el periodo de evaluación

$h_p$ : Horas de paro durante el periodo de evaluación

Métodos de mantenimiento vs. costo



Sistemas en serie

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

donde:

$R_s$  = Confiabilidad en serie

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

Sistemas en paralelo

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

donde:

$R_p$  = Confiabilidad en paralelo

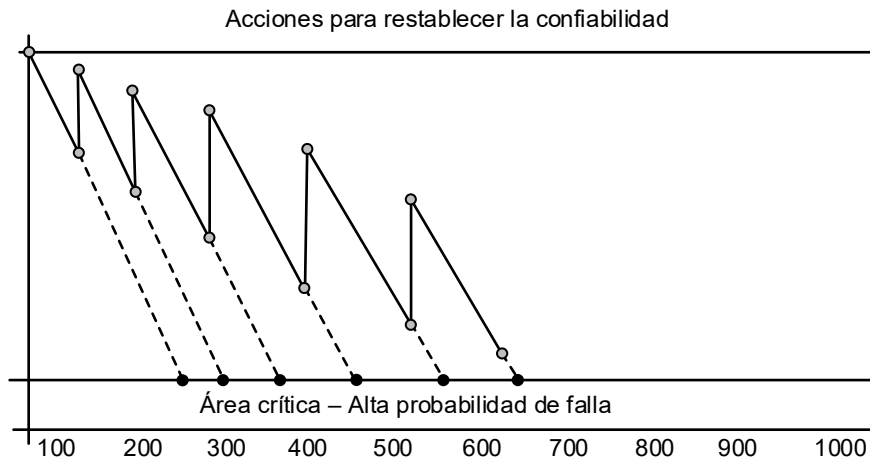
$C_{f1}, C_{f2}, \dots, C_{fn}$  son las confiabilidades de cada uno de los equipos

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

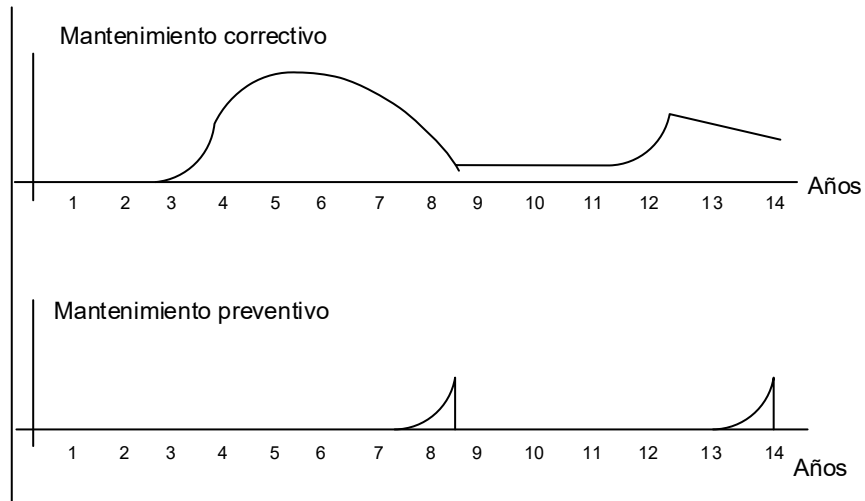
Generalizando para  $n$  equipos en paralelo:

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

### Restablecimiento de la confiabilidad



### Probabilidad de falla



Mantenimiento productivo total

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

donde:

$D_p$  = Mantenimiento productivo total  
 $TF$  = Tiempo disponible para producir (Tiempo real)  
 $TAP$  = Tiempo de parada propia (Set-Up)

Disponibilidad intrínseca o de explotación

$$TR = TF - TAP$$

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

donde:

$D_i$  = Disponibilidad intrínseca o de explotación  
 $TR$  = Tiempo requerido, durante el cual se produce  
 $TAI$  = Tiempo de parado incluido (parada imprevista)

Tiempo medio de parada por averías

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

donde:

$TP$  = Tiempo de averías  
 $NP$  = Número de averías

Tiempo medio entre averías MTBF (tiempo de buen funcionamiento)

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

donde:

$TF$  = Tiempo de funcionamiento  
 $NP$  = Número de averías

Tiempo de funcionamiento medio

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

donde:

$TF$  = Tiempo de funcionamiento  
 $NAP$  = Número de paradas planificadas

Tasa de fallo

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

Trabajo en mantenimiento correctivo

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

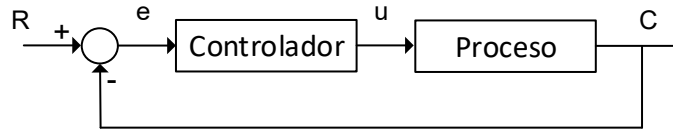
$$TBMC = \frac{(Totalidad) HHMC}{(Totalidad) HHDP}$$

Consumo de los aparatos electrodomésticos

| Aparatos o equipos | Potencias<br>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            |

## Teoría de control

### Terminología de la ingeniería de control



donde:

R = señal de referencia o set point  
 e = señal de error ( $e = R - C$ )  
 u = acción de control (variable manipulada)  
 C = señal de salida (variable controlada)

### Modelos de control

Los modelos clásicos de control clásico comprenden ecuaciones diferenciales de orden n.

$$a_0 \frac{d^n c(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} c(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-2} \frac{dc(t)}{dt} + a_{n-1} c(t) + a_n = k u(t)$$

#### Modelo diferencial de primer orden

$$\dot{C} + \frac{1}{\tau} c = \frac{k}{\tau} R$$

donde:

$\tau$  = Constante de tiempo  
 k = ganancia del sistema

#### Modelo diferencial de segundo orden

$$\ddot{C} + 2\zeta\omega_n \dot{C} + \omega_n^2 C = \omega_n^2 R$$

Atenuación:  $\sigma = \zeta\omega_n$

Frecuencia natural amortiguada

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

donde:

$\zeta$  : coeficiente de amortiguamiento  
 $\omega_n$  : Frecuencia natural no amortiguada

Porcentaje de sobrepaso:

$$\%S = e^{-\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)\pi} \times 100$$

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

Tiempo de asentamiento:

$$t_s = \frac{4}{\sigma} = \frac{4}{\zeta\omega_n}$$

Tiempo de pico máximo:

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Tiempo de subida:

$$t_r = \frac{\pi - \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right)}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

## Teoría de circuitos eléctricos

### Notación

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

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

$$Z = |Z| \angle \phi = |Z| \cos \phi + j |Z| \operatorname{sen} \phi$$

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  $B$ :

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

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

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

Usando la forma polar de la impedancia  $Z$ :

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

$$Y = |Y| \angle -\phi = |Y| \cos \phi - j|Y| \operatorname{sen} \phi$$

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  $X$ :

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

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

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

Usando la forma polar de la admitancia  $Y$ :

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

$$Z = |Z| \angle \phi = |Z| \cos \phi + j|Z| \operatorname{sen} \phi$$

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

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

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

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

En resumen:

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

## Reactancia

Reactancia inductiva

La reactancia inductiva  $X_L$  de una inductancia  $L$  a una frecuencia angular  $\omega$  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  $\omega$ :

$$i = I \text{ sen } \omega t$$

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  $90^\circ$ .

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  $\omega$ :

$$v = V \text{ sen } \omega t$$

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

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

La corriente a través de una capacitancia adelanta la tensión a través de la misma por  $90^\circ$ .

## Resonancia

### Resonancia serie

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

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

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

En resonancia, la parte imaginaria de  $Z_S$  es cero

$$\begin{aligned} X_C &= X_L \\ Z_{Sr} &= R \\ \omega_r &= \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_r \end{aligned}$$

El factor de calidad a la resonancia  $Q_r$  es:

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

### Resonancia paralelo

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

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

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

En resonancia, la parte imaginaria de  $Y_P$  es cero:

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{R^2 + X_L^2}{X_L} = X_L + \frac{R^2}{X_L} = X_L \left( 1 + \frac{R^2}{X_L^2} \right) \\ Z_{Pr} &= Y_{Pr}^{-1} = \frac{R^2 + X_L^2}{R} = \frac{X_L X_C}{R} = \frac{L}{CR} \\ \omega_r &= \sqrt{1/LC - R^2/L^2} = 2\pi f_r \end{aligned}$$

El factor de calidad a la resonancia  $Q_r$  es:

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

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

## Cargas reactivas y factor de potencia

### Resistencia y reactancia en serie

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

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

Convirtiéndola a su admitancia equivalente  $Y$ :

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

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

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

La corriente activa  $I_P$  y la corriente reactiva  $I_Q$  son:

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

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

### Potencia compleja

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

$$S = VI^* = V \left( \frac{V}{Z} \right)^* = \frac{|V|^2}{Z^*}$$

o

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

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

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

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

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

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

### Resistencia y reactancia en derivación (shunt)

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

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

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

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

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

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

La corriente activa  $I_P$  y la corriente reactiva  $I_Q$  son:

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

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

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

$$S = VI^* = V \left( \frac{V}{Z} \right)^* = \frac{|V|^2}{Z^*}$$

o

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

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

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

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

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

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

Carga inductiva

$$Z = R + jX_L$$

$$I = I_P - jI_Q$$

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

$$I^* = I_P + jI_Q$$

$$S = P + jQ$$

Carga capacitiva

$$Z = R - jX_C$$

$$I = I_P + jI_Q$$

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

$$I^* = I_P - jI_Q$$

$$S = P - jQ$$

### Potencia trifásica

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

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

$$P = S \cos \phi$$

$$Q = S \sin \phi$$

donde  $\cos \phi$  es el factor de potencia y  $\sin \phi$  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

Coefficiente de distorsión armónico total para voltaje y corriente

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

Factor de potencia

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

Potencia de distorsión

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

## 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:

$$V_{p.u.} = \frac{V}{V_{base}}$$

$$I_{p.u.} = \frac{I}{I_{base}}$$

$$Z_{p.u.} = \frac{Z}{Z_{base}}$$

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:

$$Z_{p.u.} = \frac{Z_{\%}}{100}$$

### 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" ( $1 \angle 120^\circ$ ) es la raíz cúbica compleja de unidad:

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

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

Algunas propiedades útiles de "a" son:

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

$$a + a^2 = -1 = 1 \angle 180^\circ$$

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

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

En forma matricial

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

Desbalance o desequilibrio en un sistema trifásico:

$$\text{Desbalance} = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \%$$

Definiciones base por unidad trifásico:

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

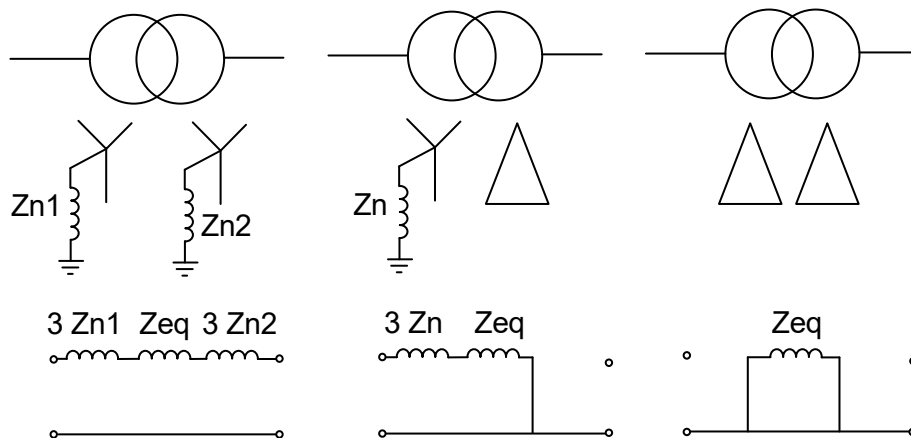
$$V_{baseLN} = \frac{V_{baseLL}}{\sqrt{3}}$$

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

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

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

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



Corrientes de falla de secuencia cero, positiva y negativa ( $I_{n-0}$ ,  $I_{n-1}$ ,  $I_{n-2}$ ) para una falla en bus n

Falla trifásica

$$I_{n-1} = \frac{V_F}{Z_{nn-1}}; \quad I_{n-0} = I_{n-2} = 0$$

Falla monofásica a tierra, fase a

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

Falla bifásica, fase b y c

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

Falla bifásica a tierra, fase b y c

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

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

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

$Z_{nn-0}$ ,  $Z_{nn-1}$  y  $Z_{nn-2}$  note el elemento (n,n) de matriz de impedancia de bus de secuencia cero, positiva y negativa  $Z_{bus}$ .

Si las corrientes de prefalla se desprecian, las tensiones de bus durante la falla en el bus n.

$$V_{bus} = V_F - Z_{bus} I_F$$

donde  $I_F$  tiene un elemento no cero  $I_{n-}$  la corriente de falla que deja el bus n.

### Corriente de cortocircuito eficaz (rms) de máquina síncrona

Simétrica (CA)

$$I_{CA}(t) = E_g \left[ \left( \frac{1}{X''_d} - \frac{1}{X'_d} \right) e^{-t/T''_d} + \left( \frac{1}{X'_d} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-t/T'_d} + \frac{1}{X_d} \right]$$

Asimétrica (CA + CD)

$$I_{rms(t)} = \sqrt{I_{CA}^2(t) + I_{CD}^2(t)}$$

Asimétrica (CA + CD máxima)

$$I_{rms(t)} = \sqrt{I_{CA}^2(t) + \left[ \sqrt{2} I'' e^{-t/T_A} \right]^2}$$

donde:

$$I'' = \frac{E_g}{X''_d}$$

Generador síncrono con rotor de polos salientes

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

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

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

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

Matriz de elementos

$$J_{mn}(i) = \left. \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \right|_{x=x(i)}$$

Potencia compleja inyectada al bus k calculada utilizando la matriz de admitancias de bus, vector de tensión de bus:

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

donde:

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

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

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

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

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

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

### Cálculo de fallas

Los diferentes tipos de fallas de cortocircuito que ocurren en un sistema de potencia son:

- monofásica a tierra
- bifásica
- bifásica a tierra
- trifásica
- trifásica a tierra

Para cada tipo de falla de cortocircuito que ocurre en un sistema sin carga:

- la primera columna de cada tabla establece las condiciones de la tensión de fase y la corriente de línea en la falla
- la segunda columna de cada tabla establece las condiciones de tensión y corriente de secuencia "a" de fase en la falla
- la tercera columna de cada tabla proporciona la fórmula para las corrientes de secuencia "a" de fase en la falla
- la cuarta columna de cada tabla proporciona la fórmula para la corriente de falla y las corrientes de línea resultantes

Por convención, las fases falladas se seleccionan por falla simétrica con respecto a la fase de referencia "a".

$I_f$  = corriente de falla

$I_e$  = corriente de falla a tierra

$V_a$  = tensión de fase normal en el sitio de la falla

$Z_1$  = impedancia de red de secuencia positiva de fase a la falla

$Z_2$  = impedancia de red de secuencia negativa de fase a la falla

$Z_0$  = impedancia de red de secuencia cero de fase a la falla

**Monofásica a tierra** – falla de la fase “a” a tierra:

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

**Bifásica** – falla de la fase “b” a la fase “c”:

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

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

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

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

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

Los valores de  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_0$  se determinan cada uno respectivamente de la impedancia de red de secuencia positiva, negativa y cero por reducción de la red a una sola impedancia.

Note que la corriente de falla monofásica es mayor que la corriente de falla trifásica si  $Z_0$  es menor que  $(2Z_1 - Z_2)$ .

Note también que si el sistema está conectado a tierra a través de una impedancia  $Z_n$  (llevando una corriente  $3I_0$ ) entonces una impedancia  $3Z_n$  (llevando una corriente  $I_0$ ) debe incluirse en la impedancia de red de secuencia cero.

### Nivel de falla trifásico

La corriente de cortocircuito trifásica simétrica  $I_{sc}$  de un sistema de potencia con tensiones de línea y fase sin carga  $V_{línea}$  y  $V_{fase}$  y la impedancia de la fuente  $Z_s$  en estrella por fase es:

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

El nivel de falla trifásico  $S_{sc}$  del sistema de potencia es:

$$S_{sc} = 3I_{sc}^2 Z_s = 3V_{fase} I_{sc} = 3 \frac{V_{fase}^2}{Z_s} = \frac{V_{línea}^2}{Z_s}$$

Note que si la relación X/R de la impedancia de la fuente  $Z_s$  (comprendiendo una resistencia  $R_s$  y una reactancia  $X_s$ ) es suficientemente grande, entonces  $Z_s \approx X_s$ .

### Transformadores

Si un transformador con un valor nominal  $S_T$  (tomada como base) y una impedancia por unidad  $Z_{Tp.u.}$  se alimenta de una fuente con un nivel de falla ilimitado (bus infinito), entonces la corriente de cortocircuito del secundario por unidad  $I_{2p.u.}$  y el nivel de falla  $S_{2p.u.}$  son:

$$I_{2p.u.} = \frac{V_{2p.u.}}{Z_{Tp.u.}} = \frac{1}{Z_{Tp.u.}}$$

$$S_{2p.u.} = I_{2p.u.} = \frac{1}{Z_{Tp.u.}}$$

Si el nivel de falla de la fuente se limita a  $S_s$  por una impedancia de la fuente por unidad  $Z_{Sp.u.}$  (con la misma base  $Z_{Tp.u.}$ ), entonces la corriente de cortocircuito del secundario  $I_{2p.u.}$  y el nivel de falla  $S_{2p.u.}$  se reduce a:

$$I_{2p.u.} = \frac{V_{2p.u.}}{Z_{Tp.u.} + Z_{Sp.u.}} = \frac{1}{Z_{Tp.u.} + Z_{Sp.u.}}$$

$$S_{2p.u.} = I_{2p.u.} = \frac{1}{Z_{Tp.u.} + Z_{Sp.u.}}$$

donde:  $Z_{Sp.u.} = S_T/S_s$

Valores nominales térmicos de corto tiempo

Si un conductor que está designado para conducir una corriente de carga plena continua  $I_{load}$  se designa para conducir una corriente de falla máxima  $I_{lim}$  por un tiempo  $t_{lim}$ , entonces puede conducir una corriente de falla menor  $I_{fault}$  por un tiempo mayor  $t_{fault}$  de acuerdo con:

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

Reacomodando para  $I_{fault}$  y  $t_{fault}$ :

$$I_{fault} = (I_{lim} - I_{load}) \sqrt{\frac{t_{lim}}{t_{fault}}} + I_{load}$$

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

Si  $I_{load}$  es menor comparada con  $I_{lim}$  y  $I_{fault}$ , entonces:

$$I_{lim}^2 t_{lim} \approx I_{fault}^2 t_{fault}$$

$$I_{fault} \approx I_{lim} \sqrt{\frac{t_{lim}}{t_{fault}}}$$

$$t_{fault} \approx \frac{I_{lim}^2}{I_{fault}^2} t_{lim}$$

Note que si la corriente  $I_{fault}$  se reduce por un factor de 2, entonces el tiempo  $t_{fault}$  se incrementa por un factor de 4.

## Transformadores de instrumento (transformadores de medida)

### Transformador de potencial

Para un transformador de potencial con un valor nominal de VA para S, tensión primaria nominal  $V_P$  y tensión secundaria nominal  $V_S$ , la corriente secundaria máxima  $I_{Smax}$ , la conductancia máxima de carga del secundario  $G_{Bmax}$  y la corriente máxima del primario  $I_{Pmax}$  son:

$$I_{Smax} = \frac{S}{V_S}$$

$$G_{Bmax} = \frac{I_{Smax}}{V_S} = \frac{S}{V_S^2}$$

$$I_{Pmax} = \frac{S}{V_P} = I_{Smax} \frac{V_S}{V_P}$$

### 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  $V_{S_{\max}}$ , la resistencia máxima de carga del secundario  $R_{B_{\max}}$  y la tensión máxima del primario  $V_{P_{\max}}$  son:

$$V_{S_{\max}} = \frac{S}{I_S}$$

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

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

Para un transformador de corriente de protección con un valor nominal de VA para S, corriente primaria nominal  $I_P$ , corriente secundaria nominal  $I_S$  y factor límite de exactitud nominal F, la tensión nominal de referencia del secundario  $V_{SF}$ , la resistencia máxima de carga del secundario  $R_{B_{\max}}$  y la tensión de referencia equivalente del primario  $V_{PF}$  son:

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

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

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

### Impedancia de medición

Si la tensión primaria  $V_{\text{prim}}$  y la corriente primaria  $I_{\text{prim}}$  se miden en un punto del sistema, entonces la impedancia del primario  $Z_{\text{prim}}$  en ese punto es:

$$Z_{\text{prim}} = \frac{V_{\text{prim}}}{I_{\text{prim}}}$$

Si la tensión medida es la tensión secundaria  $V_{\text{sec}}$  de un transformador de potencial de relación primaria/secundaria  $N_V$  y la corriente medida es la corriente secundaria  $I_{\text{sec}}$  de un transformador de corriente de relación primaria/secundaria  $N_I$ , entonces la impedancia del primario  $Z_{\text{prim}}$  se refiere a la impedancia del secundario  $Z_{\text{sec}}$  por:

$$Z_{\text{prim}} = \frac{V_{\text{prim}}}{I_{\text{prim}}} = \frac{V_{\text{sec}}}{I_{\text{sec}}} \frac{N_V}{N_I} = Z_{\text{sec}} \frac{N_V}{N_I} = Z_{\text{sec}} N_Z$$

donde:  $N_Z = \frac{N_V}{N_I}$

Si la tensión (fuente) sin carga  $E_{prim}$  también se mide en el punto, entonces la impedancia de la fuente  $Z_{Tprim}$  en el punto es:

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

### Corrección del factor de potencia

Si una carga inductiva con una demanda de potencia activa  $P$  tiene un factor de potencia  $\cos \phi_1$  en atraso sin corregir, y se requiere tener un factor de potencia corregido del  $\cos \phi_2$  atrasado, las demandas de potencia reactiva sin corregir y corregida,  $Q_1$  y  $Q_2$ , son:

$$Q_1 = P \tan \phi_1$$

$$Q_2 = P \tan \phi_2$$

donde:  $\tan \phi_n = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi_n} - 1}$

La demanda de potencia reactiva en adelanto (capacitiva)  $Q_C$  que debe conectarse a través de la carga es:

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

Las demandas de potencia aparente sin corregir y corregida,  $S_1$  y  $S_2$ , se relacionan por:

$$S_1 \cos \phi_1 = P = S_2 \cos \phi_2$$

Comparando las corrientes de carga corregidas y sin corregir y las demandas de potencia aparente:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2}$$

Si se requiere que la carga tenga un factor de potencia corregido unitario,  $Q_2$  es cero y:

$$Q_C = Q_1 = P \tan \phi_1$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{S_2}{S_1} = \cos \phi_1 = \frac{P}{S_1}$$

### Capacitores en derivación (shunt)

Para capacitores en derivación conectados en estrella cada uno con capacitancia  $C_{estrella}$  en un sistema trifásico de tensión de línea  $V_{línea}$  y frecuencia  $f$ , la demanda de potencia reactiva en adelanto  $Q_{Cestrella}$  y la corriente de línea reactiva en adelanto  $I_{línea}$  son:

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

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

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

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:

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

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

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

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

$$X_{Cdelta} = 3X_{Cestrella}$$

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

## 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:

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

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

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

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:

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

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

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

Para reactores en derivación conectados en delta cada uno de inductancia  $L_{\text{delta}}$  en un sistema trifásico de tensión de línea  $V_{\text{línea}}$  y frecuencia  $f$ , la demanda de potencia reactiva en atraso  $Q_{L_{\text{delta}}}$  y la corriente reactiva de línea en atraso  $I_{\text{línea}}$  son:

$$Q_{L_{\text{delta}}} = \frac{3V_{\text{línea}}^2}{X_{L_{\text{delta}}}} = \frac{3V_{\text{línea}}^2}{2\pi f L_{\text{delta}}}$$

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

$$L_{\text{delta}} = \frac{3V_{\text{línea}}^2}{2\pi f Q_{L_{\text{delta}}}}$$

Note que para la misma potencia reactiva en atraso  $Q_L$ :

$$X_{L_{\text{delta}}} = 3X_{L_{\text{estrella}}}$$

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

### Reactores en serie

Para reactores de línea en serie cada uno de inductancia  $L_{\text{serie}}$  conduciendo una corriente de línea  $I_{\text{línea}}$  en un sistema trifásico de frecuencia  $f$ , la caída de tensión  $V_{\text{drop}}$  a través de cada reactor de línea y la demanda total de potencia reactiva en atraso  $Q_{L_{\text{serie}}}$  del grupo de 3 reactores de línea son:

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

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

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

Note que el valor nominal de la potencia aparente  $S_{\text{rating}}$  del grupo de 3 reactores de línea en serie se basa en la tensión de línea  $V_{\text{línea}}$  y no en la caída de tensión  $V_{\text{drop}}$ :

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

## 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 armónico  $f_r/f$  de la resonancia serie de  $X_L$  y  $X_C$  es:

$$\frac{f_r}{f} = \frac{\omega_r}{\omega} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \approx \sqrt{\frac{S_{SC}}{Q_C}}$$

Note que la relación  $X_L/X_C$  que resulta en un número armónico  $f_r/f$  es:

$$\frac{X_L}{X_C} = \frac{f^2}{f_r^2}$$

para que  $f_r/f$  sea igual a la media geométrica del tercer y quinto armónico:

$$\frac{f_r}{f} = \sqrt{15} = 3.873$$

$$\frac{X_L}{X_C} = \frac{1}{15} = 0.067$$

## Resistencia

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

R = resistencia ( $\Omega$ )  
 $\rho$  = resistividad del conductor ( $\Omega \cdot m$ )  
 L = longitud (m)  
 A = área ( $m^2$ )

## Variación de la resistencia con la temperatura

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

Por relaciones de resistencia

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

$\alpha$  = 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)

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

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

## Inductancia de un conductor debida al flujo interno

$$\Psi_{\text{int}} = \frac{I}{2} \times 10^{-7} \text{ (Wb-vueltas/m)}$$

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

L = inductancia (H)  
 D = Distancia (m)  
 $r'_1 = r_1 \varepsilon^{-1/4}$   
 $r'_2 = r_2 \varepsilon^{-1/4}$   
 r = radio conductor (m)

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

$$L_{12} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} [H / m]$$

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

$$L_1 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'_1} (H/m)$$

$$L_2 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'_2} (H/m)$$

$$L = L_1 + L_2$$

Si  $r'_1 = r'_2 = r'$

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} (H/m)$$

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

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

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{D_s}$$

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

$$X_L = 2\pi fL$$

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

Por tablas

$$X_L = X_a + X_d \text{ (}\Omega/\text{mi)}$$

$X_a$  = Reactancia inductiva a 1 pie  
 espaciamento ( $\Omega/\text{mi}$ )

$X_d$  = factor de espaciamento de la reactancia  
 inductiva ( $\Omega/\text{mi}$ )

### Inductancia de líneas trifásicas con disposición equilátera

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

### Inductancia de líneas trifásicas con disposición asimétrica

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

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

$D_{eq}$  = distancia equivalente (m)

$D_s$  = es el RMG del conductor (m)

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

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

### Inductancia de líneas con conductores agrupados

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

$D_s^b$  = 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

$$D_s^b = 1.094 \sqrt[4]{D_s \times d^3}$$

### Inductancia de líneas trifásicas de circuitos paralelos

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

### Distancia media geométrica

$$D_{ab}^P = \sqrt[4]{D_{ab} D_{ab'} D_{ba} D_{ba'}}$$

$$D_{bc}^P = \sqrt[4]{D_{bc} D_{bc'} D_{cb} D_{cb'}}$$

$$D_{ca}^P = \sqrt[4]{D_{ac} D_{ac'} D_{ca} D_{ca'}}$$

$$D_{eq}^P = \sqrt[3]{D_{ab}^P D_{bc}^P D_{ca}^P}$$

### Radio medio geométrico

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

$$D_{b-b'} = \sqrt{D_{b-b'} D_s}$$

$$D_{c-c'} = \sqrt{D_{c-c'} D_s}$$

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

### Capacitancia

#### Capacitancia entre dos conductores

$$C = \frac{q}{V} \text{ (F/m)}$$

$$C_{ab} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln(D/r)} \text{ (F/m)}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ (F/m)}$$

$C$  = capacitancia (F/m)  
 $C_{ab}$  = capacitancia en líneas a y b (F/m)  
 $D$  = distancia entre conductores (m)  
 $r$  = radio del conductor (m)

#### Capacitancia entre conductores y neutro

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(D/r)} \text{ (F/m) al neutro}$$

#### Reactancia capacitiva

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

$$X_c = \frac{1.779}{f} \times 10^6 \ln \frac{D}{r} \text{ (\Omega \cdot mi) al neutro}$$

Por tablas

$$X_c = X'_a + X'_d$$

$X_c$  = reactancia capacitiva (M $\Omega$ ·mi)  
 $X'_a$  = reactancia capacitiva a un pie (M $\Omega$ ·mi)  
 $X'_d$  = factor de espaciamiento (M $\Omega$ ·mi)

#### Capacitancia en líneas trifásicas con espaciamiento equilátero

$$C_{an} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(D/r)} \text{ (F/m) respecto al neutro}$$

$$I_{crg} = j\omega C_n V_{an} \text{ (A/mi)}$$

$C_{an}$  : capacitancia respecto al neutro (F/m)  
 $D$  : distancia entre conductores (m)  
 $r$  : radio del conductor (m)  
 $I_{crg}$  : corriente de carga  
 $\omega$  : velocidad angular (rad/s)

#### Capacitancia en líneas trifásicas con disposición asimétrica

$$C_n = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(D_{eq}/r)} \text{ (F/m) respecto al neutro}$$

$C_n$  : capacitancia respecto al neutro (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

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{D_{eq}}{D_{sc}^p}\right)} \text{ (F/m) respecto al neutro}$$

**Distancia media geométrica**

$$D_{ab}^p = \sqrt[4]{D_{ab} D_{ab'} D_{ba} D_{ba'}}$$

$$D_{bc}^p = \sqrt[4]{D_{bc} D_{bc'} D_{cb} D_{cb'}}$$

$$D_{ca}^p = \sqrt[4]{D_{ca} D_{ca'} D_{ac} D_{ac'}}$$

$$D_{eq}^p = \sqrt[3]{D_{ab}^p D_{bc}^p D_{ca}^p}$$

**Radio medio geométrico**

$$\text{Distancia } D_{a-a'} = \sqrt{D_{a-a'} r}$$

$$D_{b-b'} = \sqrt{D_{b-b'} r}$$

$$D_{c-c'} = \sqrt{D_{c-c'} r}$$

$$D_s^p = \sqrt{D_{a-a'} D_{b-b'} D_{c-c'}}$$

Cálculo de líneas

**Caída de tensión ( $V_c$ )**

Se llama caída de tensión a la pérdida de d.d.p. entre dos puntos de un circuito, como puede ser por ejemplo entre acometida y receptor.

$$V_c = V_1 - V_2$$

donde:

$V_1$  : tensión en la acometida

$V_2$  : tensión en el receptor (utilización)

**Porcentaje de caída de tensión (e%)**

$$e\% = \frac{100 - V_c}{V_1}$$

**Densidad eléctrica (d)**

Corresponde al número de amperios que circulan por mm<sup>2</sup> de sección en un conductor

$$d = \frac{I}{S} \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

donde:

I : Intensidad (A)

S : Sector (mm<sup>2</sup>)

### Cálculo de secciones en conductores cilíndricos (S)

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

### Volumen de un conductor (V)

$$V = SL$$

donde:

S : Sección (mm<sup>2</sup>)

L : Longitud (m)

### Peso de un conductor (P)

$$P = Vd$$

donde:

S : sección (mm<sup>2</sup>)

L : Longitud (m)

d : Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

## Líneas aéreas

### Longitud corta

$$\overline{V}_S = \overline{V}_R + I_L \overline{Z}$$

Para el f.p. =1

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

Para el f.p. en atraso

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

Para el f.p. en adelanto

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

donde:

$V_S$  = voltaje de envío por fase [V]

$V_R$  = voltaje de recepción por fase [V]

$I_L$  = corriente de carga [A]

$R$  = resistencia [ $\Omega$ ]

$X_L$  = reactancia inductiva [ $\Omega$ ]

$\theta$  = ángulo entre voltaje y corriente

Porcentaje de regulación

$$\% \text{Reg} = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \%$$

donde:

$V_S$  = voltaje de envío [V]

$V_R$  = voltaje de recepción [V]

### Longitud media

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

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 ( $\text{S}$ )

Porcentaje de regulación

$$\%Reg = \frac{|V_S| / A - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

## Líneas de tensión

### Pérdida de tensión en líneas trifásicas

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

donde:

$V_C$ : caída de tensión en volts

$I$ : intensidad que circula por el conductor

$R$ : resistencia del conductor

$\varphi$ : ángulo de desfase entre tensión e intensidad

$\omega = 2\pi f$

$L$ : sección del conductor

### Pérdida de potencia en una línea trifásica

$$P_p = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L$$

donde:

$P_p$  : potencia de pérdida [W]

$I$ : intensidad que circula por la línea

$R$ : resistencia kilométrica [ $\Omega$ ]

$L$ : longitud de la línea [km]

### Capacidad de transmisión de potencia

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

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

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

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

donde:

d: diámetro del conductor

s: distancia media geométrica entre conductores. Con la misma unidad que  $d$  para líneas monofásicas,  $s$  es la distancia coaxial entre conductores.

Para líneas trifásicas:

$$s = \sqrt{a \cdot b \cdot c}$$

$a, b, c$  - distancias axiales entre cada dos conductores.

### Cálculo de conductores

El cálculo del conductor debe efectuarse principalmente de dos maneras: por corriente y por caída de tensión. El resultado del cálculo que arroje el conductor de mayor sección transversal será el que se seleccione. La tabla siguiente muestra fórmulas para dichos cálculos.

| Sistema       | Cálculo de corriente de carga, con VA | Cálculo de corriente de la carga, con P | Cálculo de la sección transversal (mm <sup>2</sup> )  |
|---------------|---------------------------------------|---|---|
| 1F-2H         | $I = \frac{S}{E_n}$                   | $I = \frac{P}{E_n \cdot f.p.}$          | $s = \frac{4L \cdot I}{E_n \cdot e\%}$  |
| 1F-3H         | $I = \frac{S}{2E_n}$                  | $I = \frac{P}{2E_n \cdot f.p.}$         | $s = \frac{2L \cdot I}{E_n \cdot e\%}$  |
| 3F-3H o 3F-4H | $I = \frac{S}{\sqrt{3}E_f}$           | $I = \frac{P}{\sqrt{3}E_f \cdot f.p.}$  | $s = \frac{2\sqrt{3}L \cdot I}{E_f \cdot e\%}$<br>$E_f = \sqrt{3}E_n$<br>$s = \frac{2L \cdot I}{E_n \cdot e\%}$ |

|   |  |
|---|--|
| donde:                                  | En = voltaje de fase a neutro en volts                   |
| I = corriente eléctrica en A            | P = Potencia eléctrica de la carga en W                  |
| S = potencia aparente de la carga en VA | s = sección transversal del conductor en mm <sup>2</sup> |
| Ef = voltaje entre fases en V           | 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<sup>2</sup> (4/0 AWG) son aceptables. Para cálculos en los que se involucren conductores de secciones transversales grandes será necesario consultar las tablas de los fabricantes para incluir el valor de la reactancia inductiva.

### Cálculo de conductores para cargas específicas

Cálculo de conductores que alimentan un tablero de alumbrado con cargas continuas

$$I_c = 1.25 (I_n \text{ tablero})$$

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

$$I_c = 1.25 (I_n \text{ cargas continuas del tablero}) + (I_n \text{ cargas no continuas del tablero})$$

Cálculo de conductores que alimentan un solo motor

$$I_c = 1.25 I_n \text{ motor}$$

Cálculo de conductores que alimentan un grupo de motores

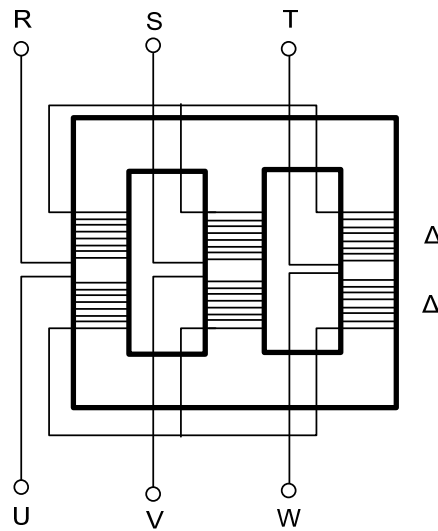
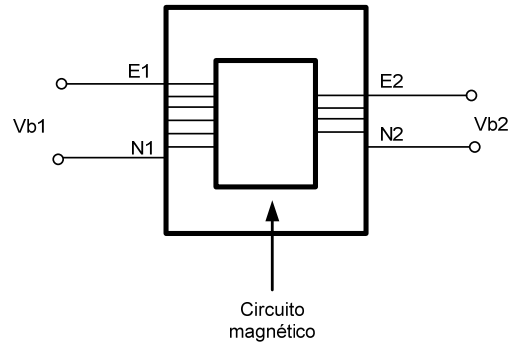
$$I_c = 1.25 (I_n \text{ motor mayor}) + \Sigma (I_n \text{ otros motores})$$

| Diámetro en CMIL o AWG para aluminio | Aluminio |       | Acero                 |       | Diámetro exterior IN | Equivalente en cobre CMIL o AWG | Esfuerzo de rotura lb | Peso lb/mi | Radio medio geométrico 60 Hz FT | Capacidad aproximada de corriente | Resistencia $\Omega$ /mi conductor |                                     |        |        |  |                 | X Reactancia inductiva milla conductor |                              | X Reactancia capacitiva $\Omega$ /mi conductor |                                      |        |        |        |  |  |
|--------------------------------------|----------|-------|-----------------------|-------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--|-----------------|--|------------------------------|--|--------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
|                                      | Hilos    | Capas | Diámetro de los hilos | Hilos |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   | Diámetro de los hilos              | 25 ° C. (77°F.) Pequeñas corrientes |        |        | 50°C. (122°F.) Corriente aprox. 75 % de la capacidad |                 |  | 50 Hz                        | 60 Hz  | 50 Hz                                | 60 Hz  |        |        |  |  |
|                                      |          |       |                       |       |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   |                                    | CD                                  | 50 Hz  | 60 Hz  | CD   | 50 Hz           | 60 Hz                                  |                              |  |                                      |        |        |        |  |  |
|                                      |          |       |                       |       |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   |                                    |                                     |        |        |  |                 |  |                              | Conductores de una sola capa                   |                                      |        |        |        |  |  |
|                                      |          |       |                       |       |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   |                                    |                                     |        |        |  |                 |  | Corrientes pequeñas          |  | Corriente aprox. de 75% de capacidad |        |        |        |  |  |
|                                      |          |       |                       |       |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   |                                    |                                     |        |        |  |                 |  | 50 Hz                        | 60 Hz  | 50 Hz                                | 60 Hz  |        |        |  |  |
| 1 590 000                            | 54       | 3     | 0.1716                | 19    | 0.1030               | 1 545                           | 1 000 000             | 56 000     | 10 777                          | 0.0520                            | 1 389                              | 0.0587                              | 0.0590 | 0.0591 | 0.0646   | 0.0675          | 0.0684                                 | 0.299                        | 0.359  | 0.0977                               | 0.0814 |        |        |  |  |
| 1 510 500                            | 54       | 3     | 0.1673                | 19    | 0.1040               | 1.506                           | 950 000               | 53 000     | 10 237                          | 0.0507                            | 1 340                              | 0.0618                              | 0.0621 | 0.0622 | 0.0680   | 0.0710          | 0.0720                                 | 0.302                        | 0.362  | 0.0986                               | 0.0821 |        |        |  |  |
| 1 431 000                            | 54       | 3     | 0.1628                | 19    | 0.0977               | 1.465                           | 900 000               | 50 400     | 9 699                           | 0.0493                            | 1 300                              | 0.0652                              | 0.0655 | 0.0656 | 0.0718   | 0.0749          | 0.0760                                 | 0.304                        | 0.365  | 0.0996                               | 0.0830 |        |        |  |  |
| 1 351 000                            | 54       | 3     | 0.1582                | 19    | 0.0949               | 1.424                           | 850 000               | 47 600     | 9 160                           | 0.0479                            | 1 250                              | 0.0691                              | 0.0694 | 0.0695 | 0.0761   | 0.0792          | 0.0803                                 | 0.307                        | 0.369  | 0.1006                               | 0.0838 |        |        |  |  |
| 1 272 000                            | 54       | 3     | 0.1535                | 19    | 0.0921               | 1.382                           | 800 000               | 44 800     | 8 621                           | 0.0465                            | 1 200                              | 0.0734                              | 0.0737 | 0.0738 | 0.0808   | 0.0840          | 0.0851                                 | 0.310                        | 0.372  | 0.1016                               | 0.0847 |        |        |  |  |
| 1 192 500                            | 54       | 3     | 0.1486                | 19    | 0.0892               | 1.338                           | 750 000               | 41 100     | 8 082                           | 0.0450                            | 1 160                              | 0.0783                              | 0.0786 | 0.0788 | 0.0862   | 0.0894          | 0.0906                                 | 0.314                        | 0.376  | 0.1028                               | 0.0857 |        |        |  |  |
| 1 113 000                            | 54       | 3     | 0.1436                | 19    | 0.0862               | 1.293                           | 700 000               | 40 200     | 7 544                           | 0.0435                            | 1 110                              | 0.0839                              | 0.0842 | 0.0844 | 0.0924   | 0.0957          | 0.0969                                 | 0.317                        | 0.380  | 0.1040                               | 0.0867 |        |        |  |  |
| 1 033 500                            | 54       | 3     | 0.1384                | 7     | 0.1384               | 1.246                           | 650 000               | 37 100     | 7 019                           | 0.0420                            | 1 060                              | 0.0903                              | 0.0907 | 0.0909 | 0.0994   | 0.1025          | 0.1035                                 | 0.321                        | 0.385  | 0.1053                               | 0.0878 |        |        |  |  |
| 954 000                              | 54       | 3     | 0.1329                | 7     | 0.1329               | 1.196                           | 600 000               | 34 200     | 6 479                           | 0.0403                            | 1 010                              | 0.0979                              | 0.0981 | 0.0982 | 0.1078   | 0.1105          | 0.1128                                 | 0.325                        | 0.390  | 0.1068                               | 0.0890 |        |        |  |  |
| 900 000                              | 54       | 3     | 0.1291                | 7     | 0.1291               | 1.162                           | 566 000               | 32 300     | 6 112                           | 0.0391                            | 979                                | 0.104                               | 0.104  | 0.104  | 0.1145   | 0.1175          | 0.1185                                 | 0.328                        | 0.393  | 0.1078                               | 0.0898 |        |        |  |  |
| 874 000                              | 54       | 3     | 0.1273                | 7     | 0.1273               | 1.146                           | 550 000               | 31 400     | 5 940                           | 0.0386                            | 950                                | 0.107                               | 0.107  | 0.108  | 0.1178   | 0.1218          | 0.1228                                 | 0.329                        | 0.395  | 0.1083                               | 0.0903 |        |        |  |  |
| 795 000                              | 54       | 3     | 0.1214                | 7     | 0.1214               | 1.093                           | 500 000               | 28 500     | 5 399                           | 0.0368                            | 900                                | 0.117                               | 0.118  | 0.119  | 0.1288   | 0.1358          | 0.1378                                 | 0.334                        | 0.401  | 0.1100                               | 0.0917 |        |        |  |  |
| 795 000                              | 26       | 2     | 0.1749                | 7     | 0.1360               | 1.108                           | 500 000               | 31 200     | 5 770                           | 0.0375                            | 900                                | 0.117                               | 0.117  | 0.117  | 0.1288   | 0.1288          | 0.1288                                 | 0.332                        | 0.399  | 0.1095                               | 0.0912 |        |        |  |  |
| 795 000                              | 30       | 2     | 0.1628                | 19    | 0.0977               | 1.140                           | 500 000               | 38 400     | 6 517                           | 0.0393                            | 910                                | 0.117                               | 0.117  | 0.117  | 0.1288   | 0.1288          | 0.1288                                 | 0.327                        | 0.393  | 0.1085                               | 0.0904 |        |        |  |  |
| 715 000                              | 54       | 3     | 0.1451                | 7     | 0.1151               | 1.036                           | 450 000               | 26 300     | 4 859                           | 0.0349                            | 830                                | 0.131                               | 0.132  | 0.132  | 0.1442   | 0.1472          | 0.1482                                 | 0.339                        | 0.407  | 0.1119                               | 0.0932 |        |        |  |  |
| 715 000                              | 26       | 2     | 0.1659                | 7     | 0.1290               | 1.051                           | 450 000               | 28 100     | 5 193                           | 0.0355                            | 840                                | 0.131                               | 0.131  | 0.131  | 0.1442   | 0.1442          | 0.1442                                 | 0.337                        | 0.405  | 0.1114                               | 0.0928 |        |        |  |  |
| 715 000                              | 30       | 2     | 0.1544                | 19    | 0.0925               | 1.081                           | 450 000               | 34 600     | 5 365                           | 0.0372                            | 840                                | 0.131                               | 0.131  | 0.131  | 0.1442   | 0.1442          | 0.1442                                 | 0.333                        | 0.399  | 0.1104                               | 0.0920 |        |        |  |  |
| 636 000                              | 54       | 2     | 0.                    | 7     | 0.1514               | 1.000                           | 419 000               | 24 500     | 4 527                           | 0.0337                            | 800                                | 0.140                               | 0.141  | 0.141  | 0.1541   | 0.1591          | 0.1601                                 | 0.343                        | 0.412  | 0.1132                               | 0.0943 |        |        |  |  |
| 636 000                              | 54       | 3     | 0.1085                | 7     | 0.1085               | 0.977                           | 400 000               | 23 600     | 4 319                           | 0.0329                            | 770                                | 0.147                               | 0.148  | 0.148  | 0.1618   | 0.1678          | 0.1688                                 | 0.345                        | 0.414  | 0.1140                               | 0.0950 |        |        |  |  |
| 636 000                              | 26       | 2     | 0.1564                | 7     | 0.1216               | 0.990                           | 400 000               | 25 000     | 4 616                           | 0.0335                            | 780                                | 0.147                               | 0.147  | 0.147  | 0.1618   | 0.1618          | 0.1614                                 | 0.344                        | 0.412  | 0.1135                               | 0.0946 |        |        |  |  |
| 636 000                              | 30       | 2     | 0.1456                | 19    | 0.0874               | 1.019                           | 400 000               | 31 500     | 5 213                           | 0.0351                            | 780                                | 0.147                               | 0.147  | 0.147  | 0.1618   | 0.1618          | 0.1618                                 | 0.339                        | 0.406  | 0.1125                               | 0.0937 |        |        |  |  |
| 605 000                              | 54       | 2     | 0.1059                | 7     | 0.1059               | 0.953                           | 380 500               | 22 500     | 4 109                           | 0.0321                            | 750                                | 0.154                               | 0.155  | 0.155  | 0.1695   | 0.1755          | 0.1775                                 | 0.348                        | 0.417  | 0.1149                               | 0.0957 |        |        |  |  |
| 605 000                              | 26       | 2     | 0.1525                | 7     | 0.1186               | 0.966                           | 380 500               | 24 100     | 4 391                           | 0.0327                            | 760                                | 0.154                               | 0.154  | 0.154  | 0.1700   | 0.1720          | 0.1720                                 | 0.346                        | 0.415  | 0.1144                               | 0.0953 |        |        |  |  |
| 556 500                              | 26       | 2     | 0.1463                | 7     | 0.1138               | 0.927                           | 350 000               | 22 400     | 4 039                           | 0.0313                            | 730                                | 0.168                               | 0.168  | 0.168  | 0.1849   | 0.1859          | 0.1859                                 | 0.350                        | 0.420  | 0.1159                               | 0.0965 |        |        |  |  |
| 556 500                              | 30       | 2     | 0.1362                | 7     | 0.1362               | 0.953                           | 350 000               | 27 200     | 4 588                           | 0.0328                            | 730                                | 0.168                               | 0.168  | 0.168  | 0.1849   | 0.1859          | 0.1859                                 | 0.346                        | 0.415  | 0.1149                               | 0.0957 |        |        |  |  |
| 500 000                              | 30       | 2     | 0.1291                | 7     | 0.1291               | 0.904                           | 314 500               | 24 400     | 4 122                           | 0.0311                            | 690                                | 0.187                               | 0.187  | 0.187  | 0.206  |                 |  | 0.351                        | 0.421  | 0.1167                               | 0.0973 |        |        |  |  |
| 477 000                              | 26       | 2     | 0.1355                | 7     | 0.1054               | 0.358                           | 300 000               | 19 430     | 3 462                           | 0.0290                            | 670                                | 0.196                               | 0.196  | 0.196  | 0.216  |                 |  | 0.358                        | 0.430  | 0.1186                               | 0.0988 |        |        |  |  |
| 477 000                              | 30       | 2     | 0.1261                | 7     | 0.1261               | 0.883                           | 300 000               | 23 300     | 3 933                           | 0.0304                            | 670                                | 0.196                               | 0.196  | 0.196  | 0.216  |                 |  | 0.353                        | 0.424  | 0.1176                               | 0.0980 |        |        |  |  |
| 397 500                              | 26       | 2     | 0.1236                | 7     | 0.0961               | 0.783                           | 250 000               | 16 190     | 2 885                           | 0.0265                            | 590                                | 0.235                               |        |        | Igual que en CD                                      | Igual que en CD |  | 0.367                        | 0.441  | 0.1219                               | 0.1015 |        |        |  |  |
| 397 500                              | 30       | 2     | 0.1151                | 7     | 0.1151               | 0.806                           | 250 000               | 19 980     | 3 277                           | 0.0278                            | 600                                | 0.235                               |        |        | Igual que en CD                                      | Igual que en CD |  | 0.362                        | 0.435  | 0.1208                               | 0.1006 |        |        |  |  |
| 336 400                              | 26       | 2     | 0.0385                | 7     | 0.0385               | 0.721                           | 4/0                   | 14 050     | 2 442                           | 0.0244                            | 530                                | 0.278                               |        |        | 0.306  |                 |  | 0.376                        | 0.451  | 0.1248                               | 0.1039 |        |        |  |  |
| 336 400                              | 30       | 2     | 0.1059                | 7     | 0.1059               | 0.741                           | 4/0                   | 17 040     | 2 774                           | 0.0255                            | 530                                | 0.278                               |        |        | 0.306  |                 |  | 0.371                        | 0.445  | 0.1238                               | 0.1032 |        |        |  |  |
| 300 000                              | 26       | 2     | 0.0835                | 7     | 0.0835               | 0.680                           | 188 700               | 12 650     | 2 178                           | 0.0230                            | 490                                | 0.311                               |        |        | 0.342  |                 |  | 0.382                        | 0.458  | 0.1269                               | 0.1057 |        |        |  |  |
| 300 000                              | 30       | 2     | 0.1000                | 7     | 0.1000               | 0.700                           | 188 700               | 15 430     | 2 473                           | 0.0241                            | 500                                | 0.311                               |        |        | 0.342  |                 |  | 0.377                        | 0.452  | 0.1258                               | 0.1049 |        |        |  |  |
| 266 800                              | 26       | 2     | 0.0738                | 7     | 0.0738               | 0.642                           | 30                    | 11 250     | 1 936                           | 0.0217                            | 460                                | 0.350                               |        |        | 0.385  |                 |  | 0.387                        | 0.465  | 0.1289                               | 0.1074 |        |        |  |  |
|                                      |          |       |                       |       |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   |                                    |                                     |        |        |  |                 |  | Conductores de una sola capa |  |                                      |        |        |        |  |  |
|                                      |          |       |                       |       |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   |                                    |                                     |        |        |  |                 |  | Corrientes pequeñas          |  | Corriente aprox. de 75% de capacidad |        |        |        |  |  |
|                                      |          |       |                       |       |                      |                                 |                       |            |                                 |                                   |                                    |                                     |        |        |  |                 |  | 50 Hz                        | 60 Hz  | 50 Hz                                | 60 Hz  |        |        |  |  |
| 5/0                                  | 6        | 1     | 0.2109                | 7     | 0.0703               | 0.633                           | 3/0                   | 9 645      | 1 802                           | 0.00684                           | 460                                | 0.351                               | 0.351  | 0.352  | 0.386  | 0.510           | 0.552                                  | 0.338                        | 0.466  | 0.504                                | 0.605  | 0.1294 | 0.1079 |  |  |
| 4/0                                  | 6        | 1     | 0.1878                | 1     | 0.1878               | 0.563                           | 2/0                   | 8 420      | 1 542                           | 0.00814                           | 340                                | 0.444                               | 0.441  | 0.445  | 0.485  | 0.567           | 0.592                                  | 0.437                        | 0.524  | 0.484                                | 0.581  | 0.1336 | 0.1113 |  |  |
| 3/0                                  | 6        | 1     | 0.1672                | 1     | 0.1672               | 0.502                           | 1/0                   | 6 675      | 1 223                           | 0.00600                           | 300                                | 0.556                               | 0.556  | 0.560  | 0.612  | 0.697           | 0.723                                  | 0.450                        | 0.540  | 0.517                                | 0.621  | 0.1477 | 0.1147 |  |  |
| 2/0                                  | 6        | 1     | 0.1490                | 1     | 0.1490               | 0.442                           | 1                     | 5 348      | 970                             | 0.00510                           | 270                                | 0.702                               | 0.704  | 0.406  | 0.773  | 0.866           | 0.895                                  | 0.462                        | 0.554  | 0.534                                | 0.641  | 0.1418 | 0.1182 |  |  |
| 1/0                                  | 6        | 1     | 0.1327                | 1     | 0.1427               | 0.498                           | 2                     | 4 280      | 769                             | 0.00446                           | 230                                | 0.885                               | 0.887  | 0.888  | 0.974  | 1.08            | 1.12                                   | 0.473                        | 0.568  | 0.547                                | 0.656  | 0.1460 | 0.1216 |  |  |
| 1                                    | 6        | 1     | 0.1182                | 1     | 0.1182               | 0.335                           | 3                     | 3 480      | 610                             | 0.00418                           | 200                                | 1.12                                | 1.12   | 1.12   | 1.23   | 1.34            | 1.38                                   | 0.483                        | 0.580  | 0.554                                | 0.665  | 0.1500 | 0.1250 |  |  |
| 2                                    | 6        | 1     | 0.1052                | 1     | 0.1052               | 0.446                           | 4                     | 3 790      | 484                             | 0.00418                           | 190                                | 1.48                                | 1.48   | 1.41   | 1.55   | 1.66            | 1.69                                   | 0.493                        | 0.592  | 0.665                                | 0.665  | 0.1342 | 0.1285 |  |  |
| 2                                    | 7        | 1     | 0.0924                | 1     | 0.1099               | 0.445                           | 4                     | 3 323      | 566                             | 0.00504                           | 180                                | 1.41                                | 1.41   | 1.41   | 1.55   | 1.62            | 1.65                                   | 0.493                        | 0.592  | 0.642                                | 0.642  | 0.1532 | 0.1276 |  |  |
| 4                                    | 6        | 1     | 0.0936                | 1     | 0.0937               | 0.280                           | 5                     | 2 250      | 384                             | 0.00430                           | 160                                | 1.78                                | 1.78   | 1.78   | 1.95   | 2.04            | 2.07                                   | 0.503                        | 0.604  | 0.661                                | 0.661  | 0.1583 | 0.1320 |  |  |
| 4                                    | 6        | 1     | 0.0834                | 1     | 0.0834               | 0.250                           | 6                     | 1 380      | 304                             | 0.00437                           | 140                                | 2.24                                | 2.24   | 2.24   | 2.47   | 2.54            | 2.57                                   | 0.514                        | 0.611  | 0.659                                | 0.659  | 0.1627 | 0.1355 |  |  |
| 4                                    | 7        | 1     | 0.0772                | 1     | 0.1020               | 0.257                           | 6                     | 2 388      | 156                             | 0.00452                           | 140                                | 2.24                                | 2.24   | 2.24   | 2.47   | 2.53            | 2.55                                   | 0.515                        | 0.618  | 0.655                                | 0.655  | 0.1615 | 0.1346 |  |  |
| 5                                    | 6        | 1     | 0.0711                | 1     | 0.0941               | 0.228                           | 7                     | 1 160      | 241                             | 0.00416                           | 241                                | 2.82                                | 2.82   | 2.82   | 3.10   | 3.16            | 3.18                                   | 0.525                        | 0.630  | 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 |  |  |

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

Para corriente aproximada del 75% de capacidad

## Transformadores



### Relación de transformación (m)

En función del número de espiras

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

donde:

N<sub>1</sub> : Número de espiras del primario  
N<sub>2</sub> : Número de espiras del secundario

En función de la tensión en bornes (en vacío)

$$m = \frac{V_{b1}}{V_{b2}}$$

### Fuerza electromotriz del primario ( $E_1$ )

$$E_1 = \frac{4.44\phi_0 \cdot F \cdot N_1}{10^8}$$

donde:

$E_1$  : en (V)

$\phi_0$  : 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:

$E_2$  - en [V]

$\phi_0$  - flujo máximo [Mx]

F- frecuencia [Hz]

$N_2$  - número de espiras del secundario

### Voltaje 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<sup>2</sup>)

K : constante del hierro

P : potencia del transformador (kVA)

**Condiciones que se han de cumplir para el acoplamiento en paralelo de los transformadores trifásicos**

1. Igualdad de relación de transformación  
 Igualdad de tensiones secundarias

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

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

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

3. Igualdad de factores de potencia

$$\phi_1 = \phi_2 = \dots$$

4. Orden de polaridad en las conexiones

$$U_1 - V_1 - W_1$$

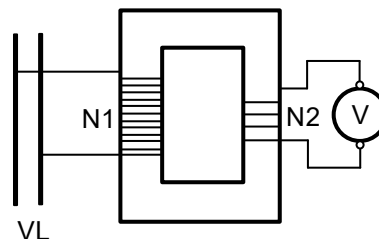
$$U_2 - V_2 - W_2$$

**Transformadores de medida**

Transformador de tensión

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

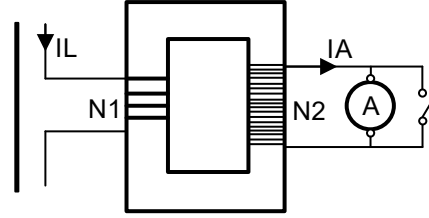
$$V_L = mV$$



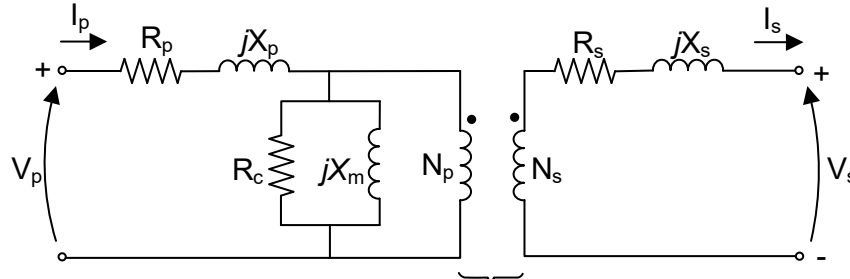
Transformador de corriente

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

$$I_L = \frac{I_A}{m}$$

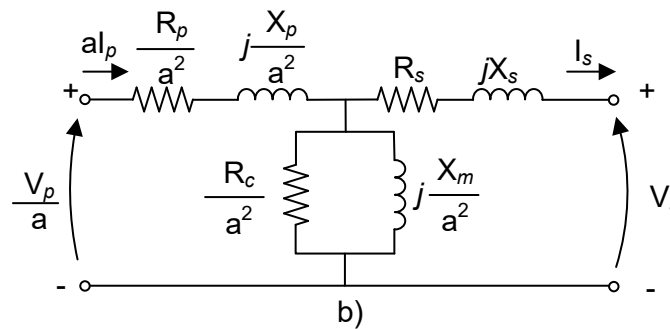
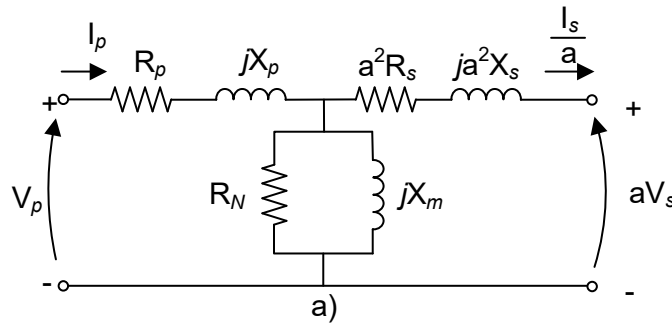


Circuito equivalente exacto de un transformador real



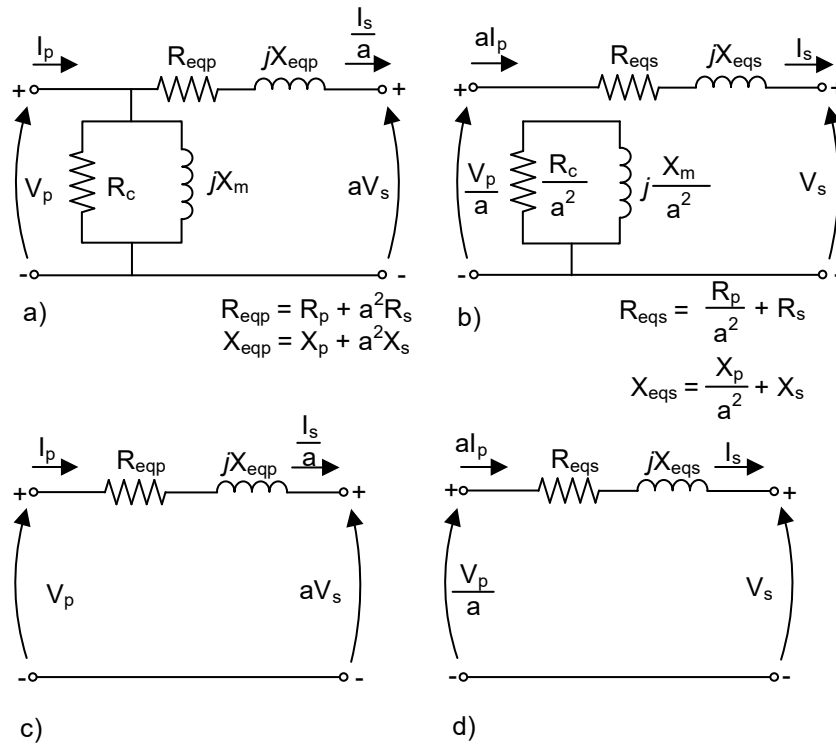
Transformador ideal

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 pérdidas en el hierro del transformador se obtienen con la fórmula:

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

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

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

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

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

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

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



| Capacidad<br>(kVA) |      |      |      |      |      |      |      |      |     | Garganta baja<br>tensión |      |      | Garganta alta<br>tensión |      |     | K   | L    | Peso<br>(kg) | Aceite<br>(L) |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|--------------------------|------|------|--------------------------|------|-----|-----|------|--------------|---------------|
|                    | I    | J    | H    | I    | J    | H    | I    | J    | H   | I                        | J    | H    | I                        | J    |     |     |      |              |               |
| 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 con su asesor de ventas.

dudas o preguntas en ayuda@ceneval.net

www.ceneval.net

Tabla de circuitos de secuencia cero para transformadores

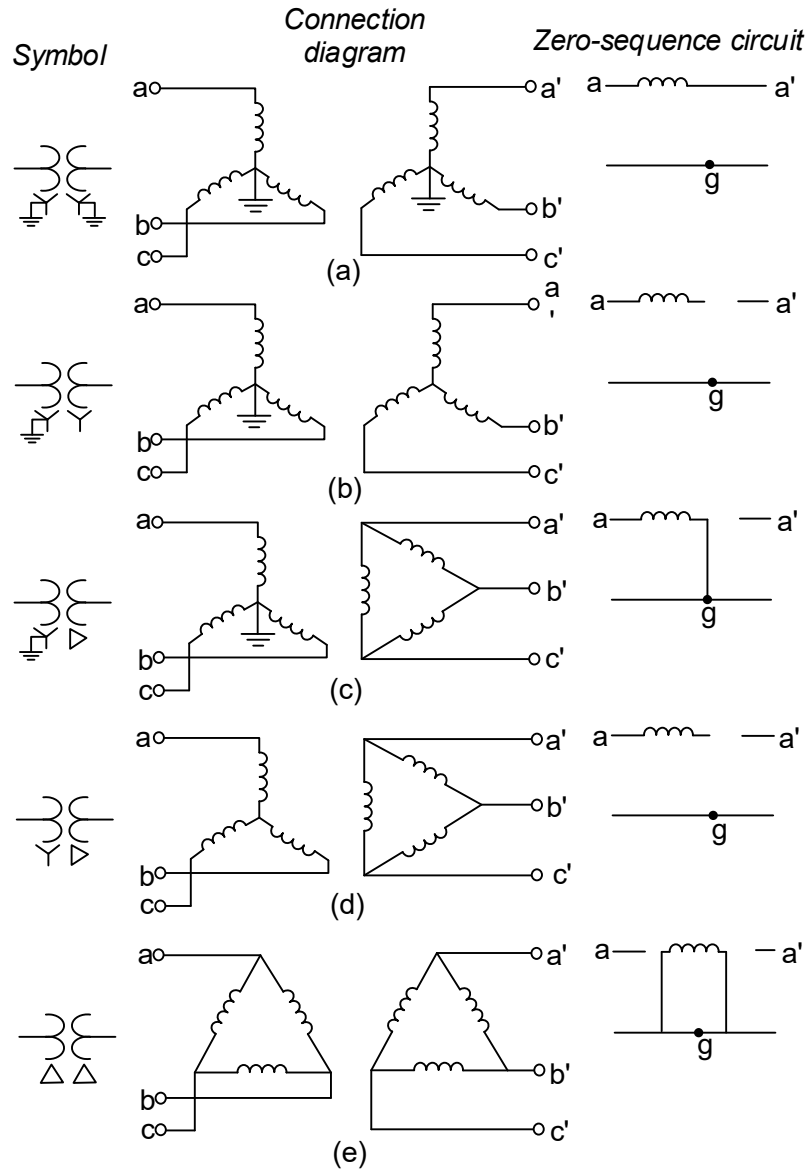
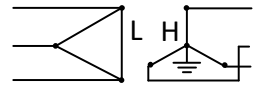
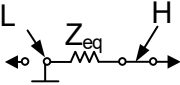
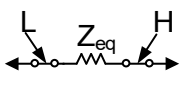
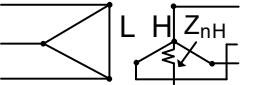
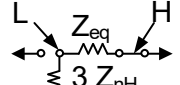
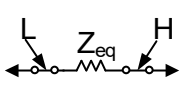

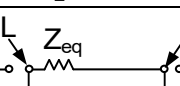
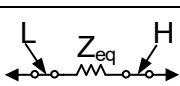
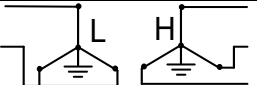
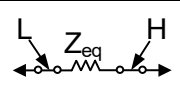
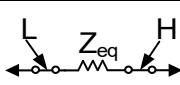
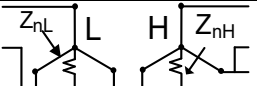
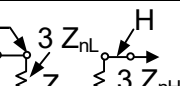
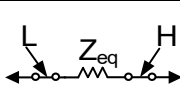
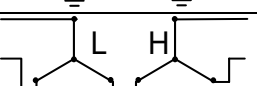
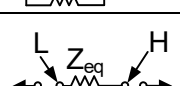
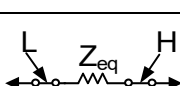
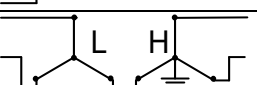

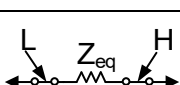
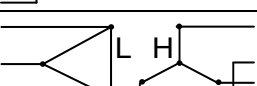
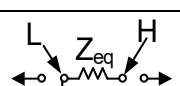
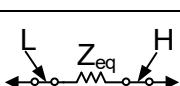


Tabla de circuitos de secuencia positiva, negativa y cero para transformadores

| 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

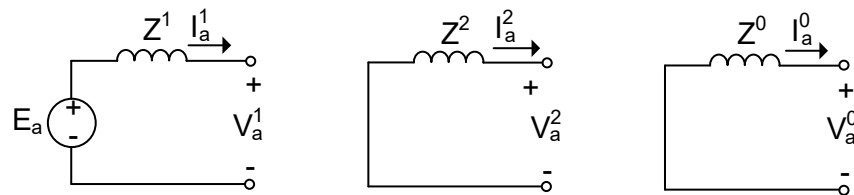
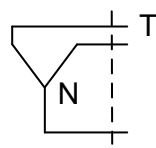
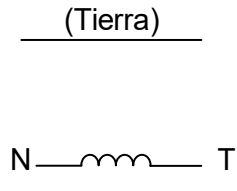
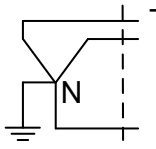
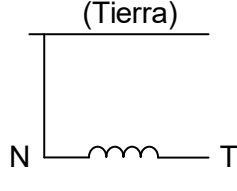
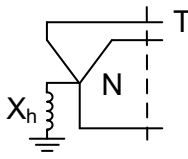
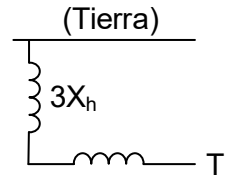


Tabla de circuitos de secuencia cero para generadores

| Circuitos de secuencia cero para generadores   |   |
|--|---|
| Conexión a tierra del neutro   | Diagrama de secuencia cero  |
|  <p>Neutro aislado</p>  | <p>(Tierra)</p>   |
|  <p>Neutro solamente conectado a tierra</p>                             | <p>(Tierra)</p>   |
|  <p>Neutro conectado a tierra a través de reactancia o resistencia</p> | <p>(Tierra)</p>  |

Factor de carga siempre es menor a 1

Factor de carga = (Carga promedio)/(Carga máxima durante un periodo determinado)

Factor de diversidad suele ser mayor de 1

Factor de diversidad = (Suma individual máxima de demanda)/(Máxima demanda)

Factor de demanda siempre es menor a 1

Factor de demanda = (Demanda máxima de un sistema)/(Carga total conectada en el sistema)

Factor de utilización

Factor de utilización = (Tiempo que un equipo está en uso)/(Tiempo total que podría estar en uso)

Fuente: <https://crushtymks.com/es/energy-and-power/345-demand-factor-diversity-factor-utilization-factor-load-factor.html>

### Flujos de potencia

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i (Y_{ij}(V_i - V_j) + Y_{ij} V_i)^*$$

## Óptica e iluminación

Cantidades básicas en luminotecnia

| Magnitud                           | Símbolos y relaciones                    | Unidad                                       | Explicación   |
|------------------------------------|--|--|---|
| Intensidad luminosa                | $I_v$                                    | Candela<br>cd                                | $I_v$ es una magnitud fundamental.  |
| Ángulo sólido                      | $\Omega = \frac{A_s}{r_s^2}$             | estereorradián<br>$sr = \frac{1 m^2}{1 m^2}$ | $\Omega$ 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<br>$\Omega = 4\pi sr = 12.56sr$ |
| Flujo lumínico (potencia lumínica) | $\Phi_v = \Omega I_v$                    | lumen<br>$lm = cd \cdot sr$                  | $\Phi_v$ es el producto del ángulo sólido $\Omega$ y la intensidad luminosa.  |
| Cantidad de luz (energía lumínica) | $Q_v = \Phi_v t$                         | lumen-segundo<br>$lm \cdot s$                | $Q_v$ es el producto del flujo lumínico y el intervalo de tiempo.   |
| Iluminación                        | $E_v = \frac{I_v \cos \alpha}{r^2}$      | lux<br>$lx = \frac{lm}{m^2}$                 | $E_v$ es el coeficiente de flujo lumínico incidente y la superficie iluminada<br>$A = A_k / \cos \alpha$  |
| Luminosidad (brillo)               | $L_v = \frac{I_v}{A_1 \cos \varepsilon}$ | $\frac{cd}{m^2}$                             | $L_v$ es la relación de la intensidad luminosa $I_v$ a la proyección de la superficie iluminada sobre un plano perpendicular a la dirección.  |

Flujo lumínico requerido para la iluminación:

Una superficie  $A$  sobre la que hay una iluminación  $E_v$  requiere un flujo lumínico

$$\Phi_v = \frac{AE_v}{\eta}$$

Equivalente fotométrico de la radiación

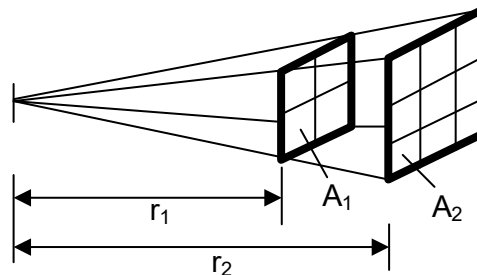
$$1 \text{ W} = 680 \text{ lm a una longitud de onda de } 0.555 \mu\text{m}$$

Definición de la unidad fundamental candela

Un radiador perfecto (cuerpo negro) con una superficie de  $1/(6 \times 10^5) \text{ m}^2$  tiene a una temperatura de 2 043 K una intensidad luminosa de 1 candela.

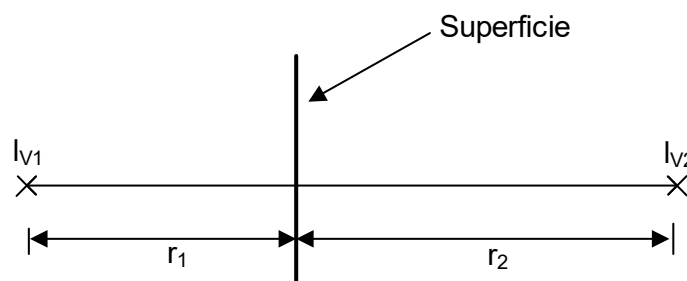
Ley de la iluminación

La iluminación de una superficie es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia a la fuente de la luz:



$$\frac{E_{v1}}{E_{v2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Para igual iluminación de una superficie las intensidades de dos fuentes de luz en relación directa al cuadrado de sus distancias a la superficie:

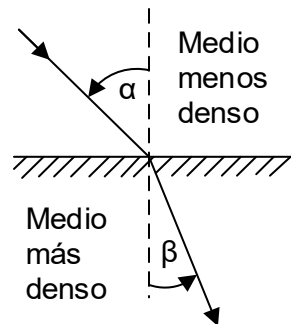


$$\frac{I_{v1}}{I_{v2}} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

Refracción de la luz

$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{constante para todo ángulo}$$

Cuando  $\sin \beta \geq \frac{n_b}{n_a}$ , hay reflexión total.



Niveles de iluminación en interiores

Viviendas

|   | Luxes         |
|---|---------------|
| Alumbrado local en salas de estar (superficie de trabajo) | 500 – 1 000   |
| Alumbrado local en salas de estar (superficie de trabajo) | 50 – 100      |
| Cocinas   | 100 – 300     |
| Dormitorios, cuartos de baño, W.C.                        | 150 – 300     |
| Pasillos, escaleras, garajes, cuartos de alumbrado        | 50 – 100      |
| Escuelas  |               |
| Aulas   | 250 – 1 000   |
| Salas de dibujo   | 400 – 800     |
| Tableros de dibujo  | 1 000 – 3 000 |
| Oficinas  |               |
| Salas de dibujo   | 750 – 1 500   |
| Locales de oficina (trabajo normal, mecanografía, etc.)   | 400 – 800     |
| Lugares de trabajo (archivos, salas de espera, etc.)      | 150 – 300     |

|           |  |               |
|-----------|--|---------------|
| 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 iluminación de 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 proporcionarían una buena visibilidad dentro de los márgenes establecidos por los organismos competentes.

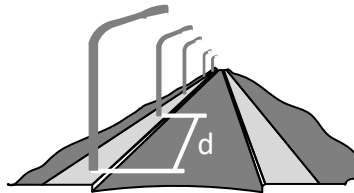
A medida que se fue desarrollando la informática y aumentaron las capacidades de procesamiento de datos, los cálculos se fueron orientando hacia la determinación de luminancias. Esto no hubiera sido posible sin la existencia de ordenadores que permiten ejecutar y aplicar los métodos de cálculo numérico en un tiempo razonable.

Así pues, podemos agrupar los métodos en:

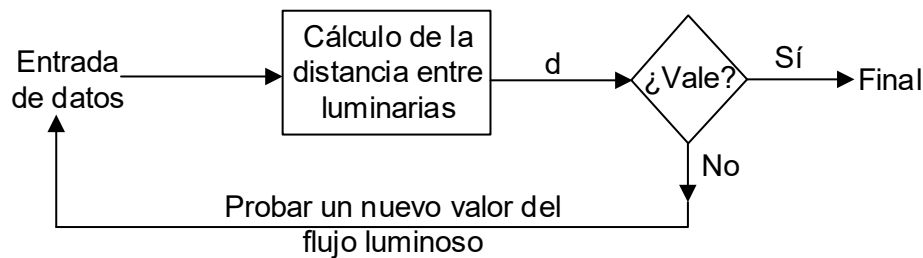
- Cálculo de iluminancias
  - Método de los lúmenes o del factor de utilización
  - Métodos numéricos. El método de los nueve puntos
- Cálculo de luminancias
  - Método de los lúmenes o del factor de utilización

### 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 ( $E_m$ ). 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/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------|---------------------------------------|
| 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  | $\leq 1$                |
| Tresbolillo | $1 < A/H \leq 1.5$      |

|         |       |
|---------|-------|
| Pareada | > 1.5 |
|---------|-------|

- Determinar el factor de mantenimiento ( $f_m$ ) 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).

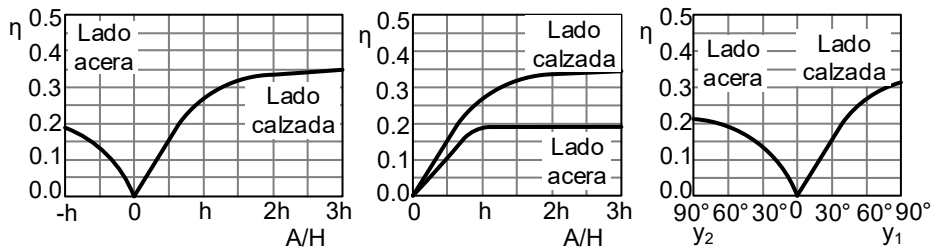
| Características de la vía | Luminaria abierta | Luminaria cerrada |
|---------------------------|-------------------|-------------------|
| Limpia                    | 0.75              | 0.80              |
| Media                     | 0.68              | 0.70              |
| Sucia                     | 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.

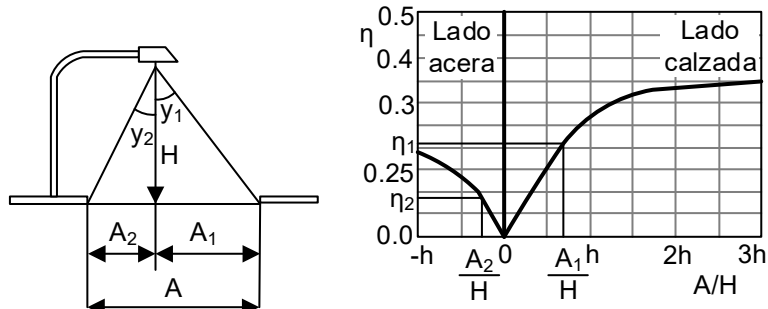
$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_L}$$

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:

- $E_m$  es la iluminancia media sobre la calzada que queremos conseguir.
- $\eta$  es el factor de utilización de la instalación.
- $f_m$  es el factor de mantenimiento.
- $\Phi_L$  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.

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>Unilateral o tresbolillo</b> | A   |
| <b>Bilateral</b>                | A/2 |

son datos conocidos y

- d es la separación entre las luminarias y la incógnita a resolver.

### Métodos numéricos

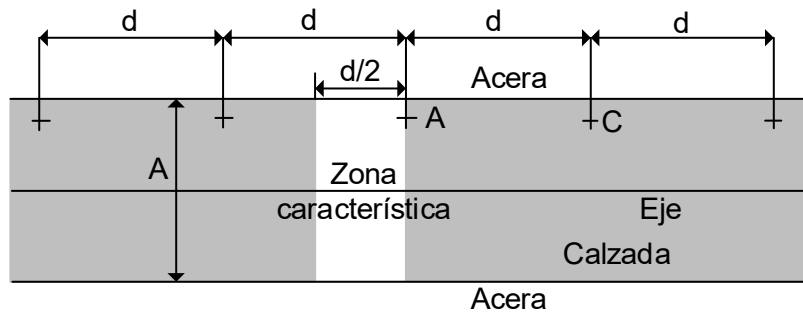
Los métodos numéricos se basan en la idea de que no es preciso calcular la iluminancia en todos los puntos de la calzada para tener una idea exacta de la distribución luminosa, sino que basta con hacerlo en unos cuantos puntos representativos llamados nodos. Para ello, dividiremos la zona a estudiar 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.

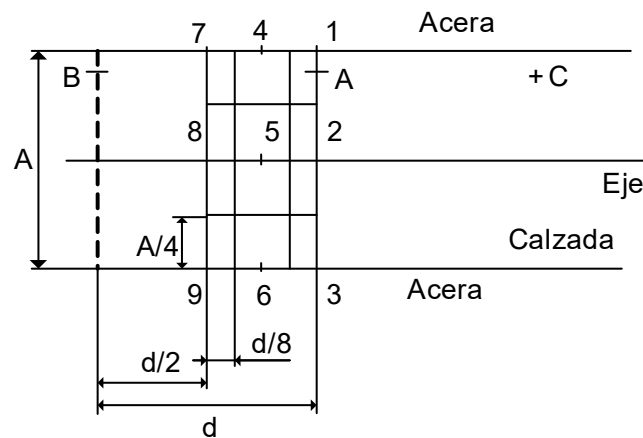
#### Método de los nueve puntos

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:

$$E_m = \frac{E_1 \cdot S_1 + E_2 \cdot S_2 + \dots + E_9 \cdot S_9}{S_1 + S_2 + \dots + S_9} = \frac{\sum_{i=1}^9 E_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^9 S_i}$$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

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  $E_m$  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:

$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$$

|   |   |
|---|---|
| $E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$ |   |
| <p>Distribución de puntos en una disposición unilateral</p>                 | $E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$                            |
| <p>Distribución de puntos en una disposición tresbolillo</p>                | $E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$                            |
| <p>Distribución de puntos en una disposición bilateral</p>                  | $E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC} + E_{iD} + E_{iE} + E_{iF}$ |

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:

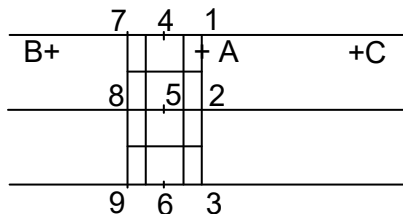
$$E_i = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot \cos^3 \gamma_i$$

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 origen quede situado sobre la luminaria y los ejes estén correctamente orientados (0-180° paralelo al eje de la calzada y 90°-270° 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.



#### Para relajarte

Las lámparas con temperatura de color cálida son recomendadas para instalarse en lugares donde se busca la relajación, tales como las recámara, las estancias, la sala o en general donde se reúna la gente de la casa para pasar el rato.

#### ● Para concentrarte

La iluminación ideal para una videoconferencia, un taller, el estudio o lugares en general es la de las lámparas con temperatura de color fría, ya que ayudan a mantener la concentración de las personas.

**Iluminación media  $E_v$  (lux)**

| Tipo de instalación                         |             | Solo para alumbrado general | Alumbrado general y localizado |         |
|---|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------|
|   |             |                             | Localizado                     | General |
| Talleres de acuerdo con la clase de trabajo | Rudo        | 80                          | 100                            | 20      |
|   | Normal      | 160                         | 400                            | 40      |
|   | preciso     | 300                         | 1 000                          | 80      |
|   | Muy preciso | 600                         | 4 000                          | 300     |
| Habitaciones en que el alumbrado es         | Débil       | 40                          |                                |         |
|   | Moderado    | 80                          |                                |         |
|   | Brillante   | 150                         |                                |         |
| Alumbrado público, en sitios con tránsito   | Escaso      | 5                           |                                |         |
|   | Mediano     | 10                          |                                |         |
|   | Intenso     | 20                          |                                |         |
|   | Muy intenso | 40                          |                                |         |
| Patios de fábricas, con tránsito            | Ligero      | 5                           |                                |         |
|   | pesado      | 20                          |                                |         |

**Eficacia de iluminación  $\eta$**

| 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  $\phi_v$  (kilólúmenes, 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

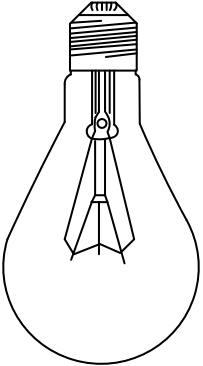
### Magnitudes luminosas

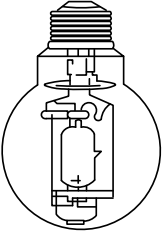
| Magnitud            | Símbolo       | Definición  | Unidad                   | Fórmula                               |
|---------------------|---------------|---|--------------------------|---------------------------------------|
| Flujo luminoso      | $\phi$        | Potencia o caudal de energía 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<br>Flujo luminoso por una fuente de luz                               | Lumen·segund<br>o (lm·s) | $Q = \phi t$                          |
| Intensidad luminosa | I             | Coficiente 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             |

### Tipos de lámparas

| Lámparas con filamento de tungsteno   |              |         |        |         |      |             |      |                   |
|---|--------------|---------|--------|---------|------|-------------|------|-------------------|
| Forma   | Potencia (W) | a 125 V |        | a 220 V |      | Dimensiones |      | Tipo de casquillo |
|   |              | ∅(lm)   | lm/W   | ∅(lm)   | lm/W | L           | ∅    |                   |
| Estándar<br> | 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<br>o<br>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              |

| Lámparas de mercurio y sodio  |                                      |              |         |        |             |     |                   |      |
|---|--------------------------------------|--------------|---------|--------|-------------|-----|-------------------|------|
| Forma   | Color                                | Potencia (W) | a 220 V |        | Dimensiones |     | Tipo de casquillo |      |
|   |                                      |              | ø(lm)   | lm/W   | L           | ø   |                   |      |
| Lámparas de vapor de mercurio   |                                      |              |         |        |             |     |                   |      |
|    | Color corregido                      | 50           | 1 800   | 36     | 130         | 55  | E-27              |      |
|   |                                      | 80           | 3 500   | 43.5   | 157         | 70  | E-27              |      |
|   |                                      | 125          | 5 600   | 45     | 186         | 75  | E-27 o E-40       |      |
|   |                                      | 250          | 12 000  | 48     | 227         | 90  | E-40              |      |
|   |                                      | 400          | 21 000  | 52.5   | 290         | 120 | E-40              |      |
|   |                                      | 700          | 37 000  | 53     | 330         | 140 | E-40              |      |
|   |                                      | 1 000        | 52 000  | 52     | 410         | 165 | E-40              |      |
|   |                                      | 2 000        | 125 000 | 62.5   | 445         | 185 | E-40              |      |
|   | Color corregido con vanadio de itrio | 50           | 2 000   | 40     | 130         | 55  | E-27              |      |
|   |                                      | 80           | 3 800   | 47.5   | 157         | 70  | E-27              |      |
|   |                                      | 125          | 6 300   | 50.5   | 177         | 75  | E-27              |      |
|   |                                      | 250          | 13 500  | 54     | 227         | 90  | E-40              |      |
|   |                                      | 400          | 23 000  | 57.5   | 290         | 120 | E-40              |      |
|   |                                      | 700          | 42 500  | 60.5   | 330         | 140 | E-40              |      |
|   | Sin corrección de color              | 100          | 60 000  | 60     | 400         | 165 | E-40              |      |
|   |                                      | 250          | 11 500  | 46     | 256         | 49  | E-40              |      |
|   |                                      | 400          | 21 000  | 52.5   | 313         | 49  | E-40              |      |
|   |                                      | 1 000        | 52 000  | 52     | 282         | 68  | E-40              |      |
|   |                                      |              | 2 000   | 11 800 | 59          | 172 | 85                | E-40 |
|   | Lámparas de vapor de sodio           |              |         |        |             |     |                   |      |
|   |                                      | Baja presión | 35      | 4 650  | 133         | 310 | 54                | B-22 |
| 55  |                                      |              | 7 700   | 425    | 425         | 54  | B-22              |      |
| 90  |                                      |              | 12 700  | 528    | 528         | 68  | B-22              |      |
| 135   |                                      |              | 21 500  | 775    | 775         | 68  | B-22              |      |
| 80  |                                      |              | 33 000  | 1120   | 1120        | 68  | B-22              |      |
|   | Alta presión                         | 250          | 23 000  | 92     | 227         | 90  | E-40              |      |
|   |                                      | 400          | 43 000  | 107.5  | 290         | 120 | E-40              |      |
|   |                                      | 1 000        | 120 000 | 120    | 400         | 165 | E-40              |      |
| <p>Altura recomendada para un punto de luz en función del flujo luminoso dado.</p> <p>De 3.000 a 9.000 lm – entre 6.5 y 7.5 m</p> <p>9.000 a 19.00 lm – entre 7.5 y 9 m</p> <p>19.000 lm en adelante – &gt;9 m</p> <p>Factor de conversión de flujo dado por una lámpara por efecto de la suciedad prevista, o flujo útil en función de tipo luminaria</p> <p>Hermética – Multiplicar flujo por 0.80 a 0.87</p> <p>Ventilada – Multiplicar flujo por 0.70 a 0.80</p> <p>Abierta – Multiplicar flujo por 0.65 a 0.75</p> |                                      |              |         |        |             |     |                   |      |

### Características de las lámparas fluorescentes normales

|                             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Potencia (W)                | 6     | 8     | 14    | 15    | 20    | 30    | 40    | 65    | 100   |
| Longitud del tubo (mm)      | 229   | 305   | 381   | 457   | 611   | 914   | 1 219 | 914   | 1 524 |
| Diámetro del tubo (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 (h)          | 1 000 | 1 000 | 1 500 | 2 500 | 2 500 | 2 500 | 2 500 | 2 000 | 3 000 |

Capacidad de condensadores en  $\mu\text{f}$  para un  $\cos \varphi = 0.9 \pm 0.05$

| Potencia (W)      | Capacidad ( $\mu\text{f}$ ) |       | Intensidad servicio (A) | Potencia (W)              | Capacidad ( $\mu\text{f}$ ) |       | 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              | <b>Elemento principal</b> es el dispositivo de iniciación, tal como el interruptor de control, relevador 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 relevadores de protección con retardo.   |
| 2              | <b>Relevador de cierre o arranque temporizado</b> 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              | <b>Relevador de comprobación o de bloqueo</b> 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              | <b>Contacto principal</b> es un dispositivo generalmente mandado por el dispositivo N° 1 o su equivalente y los dispositivos de permiso y protección necesarios, y sirve para cerrar y abrir los circuitos de control necesarios para reponer un equipo en marcha, bajo las condiciones deseadas o bajo condiciones anormales.  |
| 5              | <b>Dispositivo de parada</b> es aquel cuya función primaria es quitar y mantener un equipo fuera de servicio.   |
| 6              | <b>Interruptor de arranque</b> es un dispositivo cuya función principal es conectar la máquina a su fuente de tensión de arranque.  |
| 7              | <b>Interruptor de ánodo</b> 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              | <b>Dispositivo de desconexión de energía de control</b> 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><b>Nota:</b> Se considera que la energía de control incluye la energía auxiliar que alimenta aparatos pequeños como motores calefactores. |
| 9              | <b>Dispositivo de inversión</b> es el que se utiliza para invertir las conexiones del campo de una máquina o bien para otras funciones especiales de inversión.   |
| 10             | <b>Conmutador de secuencia</b> es el que se utiliza para cambiar la secuencia de conexión o desconexión de unidades de un equipo de unidades múltiples.   |
| 11             | <b>Reservado para aplicaciones futuras</b>  |
| 12             | <b>Dispositivo de exceso de velocidad</b> es normalmente un interruptor de velocidad de conexión directa que actúa cuando la máquina embala.  |
| 13             | <b>Dispositivo de velocidad síncrona</b> es el que funciona con aproximadamente la velocidad normal de una máquina, tal como un conmutador de velocidad centrífuga, relevadores de frecuencia de deslizamiento, relevador de tensión, relevador de intensidad mínima o cualquier tipo de dispositivo similar.   |
| 14             | <b>Dispositivo de falta de velocidad</b> es el que actúa cuando la velocidad de la máquina desciende por debajo de un valor predeterminado.   |
| 15             | <b>Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia</b> de una máquina o sistema a un cierto valor o bien entre ciertos límites.   |
| 16             | <b>Reservado para aplicaciones futuras.</b>   |
| 17             | <b>Conmutador para puentear el campo serie</b> sirve para abrir y cerrar un circuito en shunt entre los extremos de cualquier pieza o aparto (excepto una   |

| Núm.<br>ANSI/IEEE | Descripción  |
|-------------------|--|
|                   | resistencia) tal como el campo de una máquina un condensador o una reactancia.<br><b>Nota:</b> 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                | <b>Dispositivo de aceleración o declaración</b> es el que se utiliza para cerrar o hacer cerrar los circuitos que sirven para aumentar o disminuir la velocidad de una máquina.  |
| 19                | <b>Contactos de transición de arranque a marcha normal</b> son aquellos cuya función es hacer las transferencias de las conexiones de alimentación de arranque a las de marcha normal de la máquina.   |
| 20                | <b>Válvula maniobrada eléctricamente</b> es accionada por solenoide o motor, que se utiliza en circuitos de vacío, aire, gas, aceite, agua o similares.  |
| 21                | <b>Relevador de distancia</b> es el que funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia del circuito disminuyen o aumentan a unos límites preestablecidos.  |
| 22                | <b>Interruptor igualador</b> 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                | <b>Dispositivo regulador de temperatura</b> es el que funciona para mantener la temperatura de la máquina u otros aparatos dentro de ciertos límites.<br><b>Nota:</b> 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                | <b>Sobreexcitación</b> es un relevador que funciona cuando la relación V/Hz (tensión/frecuencia) excede un valor previamente ajustado. El relevador puede tener una característica temporizada o instantánea.  |
| 25                | <b>Dispositivo de sincronización o puesta en paralelo</b> 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                | <b>Dispositivo térmico</b> 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                | <b>Relevador de mínima tensión</b> es el que funciona al descender la tensión de un valor predeterminado.  |
| 28                | <b>Detector de llama</b> sirve para detectar la existencia de llama en el piloto o quemador principal, por ejemplo de una caldera o una turbina de gas.  |
| 29                | <b>Contactador de aislamiento</b> 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                | <b>Relevador anunciador</b> 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                | <b>Dispositivo de excitación separada</b> es el que conecta un circuito, tal como el campo shunt de una conmutatriz, a la fuente de excitación separada durante el   |

| Núm.<br>ANSI/IEEE | Descripción  |
|-------------------|--|
|                   | proceso de arranque, o bien se utiliza para energizar la excitación y el circuito de encendido de un rectificador.   |
| 32                | <b>Relevador direccional de potencia</b> 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                | <b>Conmutador de posición</b> 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                | <b>Conmutador de secuencia movido a motor</b> 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                | <b>Dispositivo de cortocircuito de las escobillas o anillos rozantes</b> es el que sirve para elevar, bajar o desviar las escobillas de una máquina, o para cortocircuitar los anillos rozantes.   |
| 36                | <b>Dispositivo de polaridad</b> 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                | <b>Dispositivo térmico de cojinetes</b> es el que funciona con temperatura excesiva de los cojinetes.  |
| 39                | <b>Detector de condiciones mecánicas</b> 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                | <b>Relevador de campo</b> 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                | <b>Interruptor de campo</b> es un dispositivo que funciona para aplicar o quitar la excitación de campo de una máquina.  |
| 42                | <b>Interruptor de marcha</b> 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                | <b>Dispositivo de transferencia</b> 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                | <b>Relevador de secuencia de arranque del grupo</b> 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                | <b>Detector de condiciones atmosféricas</b> Funciona ante condiciones atmosféricas anormales, como humos peligrosos, gases explosivos, fuego, etc.   |
| 46                | <b>Relevador de intensidad para equilibrio o inversión de fases</b> es el que funciona cuando las intensidades polifásicas están en secuencia inversa o desequilibrada o contienen componentes de secuencia negativa.  |
| 47                | <b>Relevador de tensión para secuencia de fase</b> es el que funciona con un valor dado de tensión polifásica de la secuencia de fase deseada.   |
| 48                | <b>Relevador de secuencia incompleta</b> 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.   |

| Núm. ANSI/IEEE | Descripción   |
|----------------|---|
| 49             | <b>Relevador térmico para máquina, aparato o transformador</b> es el que funciona cuando la temperatura de la máquina, aparato o transformador excede de un valor fijado.   |
| 50             | <b>Relevador instantáneo de sobreintensidad o de velocidad de aumento de intensidad</b> es el que funciona instantáneamente con un valor excesivo de velocidad de aumento de intensidad.  |
| 51             | <b>Relevador de sobreintensidad temporizado</b> es un relevador 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             | <b>Interruptor de CA</b> 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             | <b>Relevador de la excitatriz o del generador de CD</b> 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             | <b>Reservado para aplicaciones futuras.</b>   |
| 55             | <b>Relevador de factor de potencia</b> es el que funciona cuando el factor de potencia de un circuito de CA no llega o sobrepasa un valor dado.   |
| 56             | <b>Relevador de aplicación del campo</b> 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             | <b>Dispositivo de cortocircuito o de puesta a tierra</b> 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             | <b>Relevador de fallo de rectificador de potencia</b> 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             | <b>Relevador de sobretensión</b> es que funciona con un valor dado de sobretensión.   |
| 60             | <b>Relevador de equilibrio de tensión</b> es el que opera con una diferencia de tensión entre dos circuitos.  |
| 61             | <b>Relevador de parada o apertura temporizada</b> 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             | <b>Reservado para aplicaciones futuras.</b>   |
| 63             | <b>Relevador de presión de gas, líquido o vacío</b> es el que funciona con un valor dado de presión del líquido o gas, para una determinada velocidad de variación de la presión.   |
| 64             | <b>Relevador de protección de tierra</b> 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><b>Nota:</b> Esta función se aplica solo a un relevador 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             | <b>Regulador mecánico</b> es el equipo que controla la apertura de la compuerta o válvula de la máquina motora para arrancarla, mantener su velocidad o detenerla.  |

| Núm.<br>ANSI/IEEE | Descripción  |
|-------------------|--|
| 66                | <b>Relevador de pasos</b> 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                | <b>Relevador direccional de sobreintensidad de CA</b> es el que funciona con un valor deseado de circulación de sobreintensidad de CA en una dirección dada.   |
| 68                | <b>Relevador de bloqueo</b> 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                | <b>Dispositivo de supervisión y control</b> 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                | <b>Reóstato</b> 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                | <b>Relevador de nivel líquido o gaseoso</b> es el que funciona para valores dados de nivel de líquidos o gases, o para determinadas velocidades de variación de estos parámetros.  |
| 72                | <b>Interruptor de CD</b> 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                | <b>Contactador de resistencia de carga</b> 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                | <b>Relevador de alarma</b> es cualquier otro relevador diferente al anunciador comprendido bajo el dispositivo 30 que se utiliza para accionar u operar en unión de una alarma visible o audible.  |
| 75                | <b>Mecanismo de cambio de posición</b> es el que se utiliza para cambiar un interruptor desconectable en unidad entre las posiciones de conectado, desconectado y prueba.  |
| 76                | <b>Relevador de sobreintensidad de CD</b> es el que funciona cuando la intensidad en un circuito de CD sobrepasa un valor dado.  |
| 77                | <b>Transmisor de impulsos</b> es el que se utiliza para generar o transmitir impulsos, a través de un circuito de telemida o hilos pilotos, a un dispositivo de indicación o recepción de distancia.   |
| 78                | <b>Relevador de medio de ángulo de desfase o de protección de salida de paralelo</b> es el que funciona con un valor determinado de ángulo de desfase entre dos tensiones o dos intensidades, o entre tensión e intensidad.  |
| 79                | <b>Relevador de reenganche de CA</b> es el que controla el reenganche enclavamiento de un interruptor de CA.   |
| 80                | <b>Relevador de flujo líquido o gaseoso</b> actúa para valores dados de la magnitud del flujo o para determinadas velocidades de variación de este   |
| 81                | <b>Relevador de frecuencia</b> es el que funciona con un valor dado de la frecuencia o por la velocidad de variación de la frecuencia.   |
| 82                | <b>Relevador de reenganche de CD</b> es el que controla el cierre y reenganche de un interruptor de CD generalmente respondiendo a las condiciones de la carga del circuito.   |

| Núm.<br>ANSI/IEEE | Descripción   |
|-------------------|---|
| 83                | <b>Relevador de selección o transferencia del control automático</b> 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                | <b>Mecanismo de accionamiento</b> 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                | <b>Relevador receptor de ondas portadoras o hilo piloto</b> 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                | <b>Relevador de enclavamiento</b> es un relevador accionado eléctricamente con reposición a mando o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo fuera de servicio cuando concurren condiciones anormales.   |
| 87                | <b>Relevador de protección diferencial</b> es el que funciona sobre un porcentaje o ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa de dos intensidades o algunas otras cantidades eléctricas.  |
| 88                | <b>Motor o grupo motor generador auxiliar</b> es el que se utiliza para accionar equipos auxiliares, tales como bombas, ventiladores, excitatrices, etcétera.   |
| 89                | <b>Desconectador de línea</b> 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                | <b>Dispositivo de regulación</b> 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                | <b>Relevador direccional de tensión</b> 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                | <b>Relevador direccional de tensión y potencia</b> es un relevador 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                | <b>Contador de cambio de campo</b> es el que funciona para cambiar el valor de la excitación de la máquina.   |
| 94                | <b>Relevador de disparo o disparo libre</b> 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) 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 °
- 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 conector, 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 $\mu$ s kV (cresta) | Tensión de aguante a 60 Hz kV (eficaz)* |             |
|---|---|---|-------------|
|   |   | Seco 1 min                              | Húmedo 10 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 debe hacer 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 con 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 documento indicado 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 líneas en vacío A | Corriente de maniobra de cables en vacío A | Corriente de maniobra de 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<sup>3</sup> para áreas normales y 40 kg/m<sup>3</sup> para áreas contaminadas. Si el usuario adicionalmente requiere la distancia de fuga superior, debe indicarlo en el Apéndice A **Características Particulares**, de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3 - Distancia de fuga y nivel de contaminación

| Nivel de contaminación | Distancia de fuga específica mínima mm/kV <sub>f-f</sub> | Distancia mínima recomendada nominal de fuga especificada unificada en mm/kV | Concentración de contaminación, método de niebla salina kg/m <sup>3</sup> mínimo |
|------------------------|--|--|--|
| Media                  | 20   | 34.7   | 14   |
| Alto                   | 25   | 43.3   | 40   |
| Extra Alto             | 31   | 53.7   | 56   |

## Extracto del IEEE Std C37.230.2007 Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines

### 7.4 Reconexión (función 79)

Los relevadores de reconexión vuelven a cerrar automáticamente los disyuntores después de dispararse mediante relevadores 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 relevadores numéricos o como un relevador separado con entradas de los relevadores de detección / disparo de fallas.

Los relevadores de reenganche (o elementos de relevador) 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 relevador 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 relevador 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 relevador 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 relevador 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  $11,5 \text{ ciclos } (t = kV / 34,5 + 10,5)$ . 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 a 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 relevador de reconexión. Esto puede llevar a intentos de reenganche ilimitados por una falla permanente, ya que el relevador 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. 43 2013 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery

### 6.3 Effect of temperature

#### 6.3.1 General theory

The insulation resistance value for a given system, at any given point in time, varies inversely, on an exponential basis, with the winding temperature. There is a contrast between the temperature dependence of resistivity in metals and non-metallic materials, especially in good insulators. In metals, where there are numerous free electrons, higher temperature introduces greater thermal agitation, which reduces the mean free path of electron movement with a consequent reduction in electron mobility and an increase in resistivity. However, in insulators, an increase in temperature supplies thermal energy, which frees additional charge carriers and reduces resistivity. This temperature variation affects all of the current components identified in 5.1 except for the geometric capacitive current. The insulation resistance value of a winding depends upon the winding temperature and the time elapsed since the application of the voltage.

For example, when the machine has just been stopped, and the operating temperature is of the order of 90 °C – 100 °C, the temperature can drop significantly during 10 min and this can affect the *P.I.* In order to avoid the effects of temperature in trend analysis, subsequent tests should be conducted when the winding is near the same temperature as the previous test. However, if the winding temperature cannot be controlled from one test time to another, it is recommended that all insulation test values be corrected to a common base temperature of 40 °C using Equation (2). Though the corrected value is an approximation, this permits a more meaningful comparison of insulation resistance values obtained at different temperatures.

The correction may be made by using Equation (2):

$$R_c = K T R T \quad (2)$$

where

*R<sub>c</sub>* is insulation resistance (in megohms) corrected to 40 °C,

*K T* is insulation resistance temperature coefficient at temperature *T* °C (from 6.3.2 or 6.3.3),

*R T* is measured insulation resistance (in megohms) at temperature *T* °C.

For winding temperatures below the dew point, it is difficult to predict the effect of moisture condensation on the surface, therefore an attempt to correct to 40 °C for trend analysis would introduce an unacceptable error. In such cases, it is recommended that the history of the machine tested under similar conditions be the predominant factor in determining suitability for return to service. However, since moisture contamination normally lowers the insulation resistance and/or polarization index readings, it is possible to correct to 40 °C for comparison against the acceptance criteria (see Clause 12).

There are no effective means for converting the insulation resistance measured under a specific humidity to the insulation resistance that would occur at a different humidity.

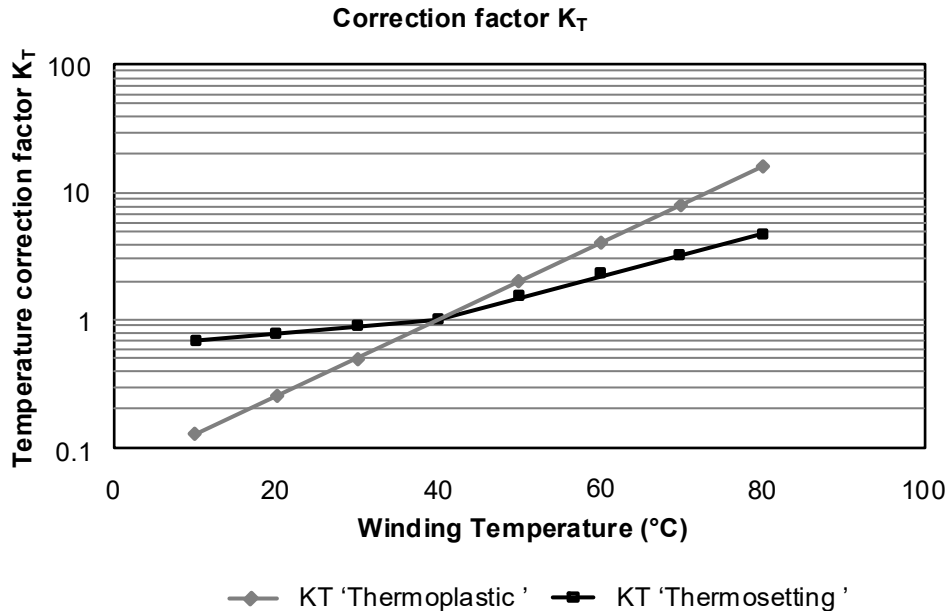
#### 6.3.2 Field measurements for determining *K T*

The recommended method of obtaining data for an insulation resistance versus winding temperature curve is by making measurements at several winding temperatures, all above the dew point, and plotting the results on a semi-logarithmic scale.

#### 6.3.3 Approximating *K T*

The correction factors (*K T*) are presented here for two different families of insulation systems labeled respectively “THERMOPLASTIC” and “THERMOSETTING”. “THERMOPLASTIC” applies, for example, to asphaltic systems and other systems that were in use prior to the early 1960s.

“THERMOSETTING” applies to newer insulations that appeared around the early 1960s. They include epoxy and polyester based systems. Both are presented on Figure 5.



**Figure 5 —Temperature correction factors for “THERMOPLASTIC” (asphaltic) and “THERMOSETTING” (epoxy or polyester) insulation systems**

### 6.3.3.1 Equation for “THERMOPLASTIC” insulation systems

For the THERMOPLASTIC family,  $K_T$  can be approximated by Equation (3).

$$K_T = (0.5)(40-T)/10 \quad (3)$$

where

$T$  = Temperature in °C

For example, if the winding temperature at test time was 35 °C, then the  $K_T$  for correction to 40 °C would be derived in the following way:

$$K_T = (0.5)(40-35)/10 = (0.5)5/10 = (0.5)1/2 = 0.707$$

### 6.3.3.2 Equation for “THERMOSETTING” insulation systems [B8]

For thermosetting insulation, the correction factor equations for temperatures above 40 °C differ from those below 40 °C.

For the range of 40 °C <  $T$  < 85 °C, is illustrated in Equation (4).

$$K_T(T) = e \left[ -4230 \left( \frac{1}{(T+273)} - \frac{1}{313} \right) \right] \quad (4)$$

where

$T$  = Temperature in °C

Over the other range (10 °C <  $T$  < 40 °C), is illustrated in equation (5)

$$K_T = e \left[ -1245 \left( \frac{1}{(T + 273)} - \frac{1}{313} \right) \right] \quad (5)$$

where

T = Temperature in °C

The values used to generate curves on figure 5 are shown in table 2. They were calculate with equation (3), equation (4), and equation (5):

Table 2-K<sub>T</sub> versus temperature for “Thermoplastic” and “Thermosetting” insulation stator winding systems

| T (°C) | K <sub>T</sub><br>“Thermoplastic” | K <sub>T</sub><br>“Thermosetting” |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 10     | 0.125                             | 0.7                               |
| 20     | 0.250                             | 0.8                               |
| 30     | 0.500                             | 0.9                               |
| 40     | 1                                 | 1.0                               |
| 50     | 2                                 | 1.5                               |
| 60     | 4                                 | 2.3                               |
| 70     | 8                                 | 3.3                               |
| 80     | 16                                | 4.6                               |

Equation (4) and equation (5) have been established by performing test on single bars or portions of bars. The bars were clean and dry. Therefore, equation (4) and equation (5) might no apply to windings affected by moisture and dust. Tests were carried out in three different labs and results were in good agreement (see [B8], [B14], [B15]).

Note – equation (4) and equation (5) are approximations and could lead to significant errors if use to calculate insulation resistance at temperatures outside the range from 10 °C to 60 °C.

## Extracto del IEEE Std. C57 152 2013 Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors

### 7.2.10.4 Interpreting the transformer ratio test

The tolerance of the voltage ratio should be within 0.5 % of the specified nameplate voltage for all windings and winding taps. The following are some clarifications on how the voltage ratio tolerance should be interpreted and applied.

The voltage ratio tolerance applies to the phase-to-neutral voltage for three-phase, wye-connected windings. If the phase-to-neutral voltage is not explicitly indicated on the nameplate, it may be calculated by dividing the phase-to-phase voltage by  $\sqrt{3}$ .

The measured voltage ratios of the outer phases of a three-phase transformer are sometimes observed to be slightly different but are not a cause for the transformer to be rejected unless the difference is  $> 0.5$  %.

NOTE 1— A difference in the outer phases may be observed when windings and lead arrangements are designed neglecting “half-turn-effect” compensation and may not always represent a problem.

NOTE 2— In some cases, transformers with load taps in the LV winding are not designed with an equal number of turns per tap. This is due to an unevenly divisible number of turns required for voltage regulation on an LV winding having a low overall number of turns. In such cases, the voltage variation per tap changer operation is not uniform and may not be within the 0.5 % tolerance of some of the nameplate tap voltages. As long as all three phases have the same measured voltage ratios and the measured voltage ratios at the extreme ends of the regulation range are within the 0.5 % tolerance, the transformer should not be rejected.

NOTE 3— In some cases, a transformer LTC switches coarse and fine tap windings in various combinations to achieve the desired voltage ratio. In these cases, it is especially important that the ratios should be observed to have a trend that preserves appropriate step voltage ratio changes throughout the tap range.

NOTE 4— In some cases, a transformer LTC relies on a bridging transformer (autotransformer) to provide an

intermediate voltage ratio between two winding tap voltage ratios. Bridging positions should be observed to have an appropriate intermediate ratio.

### 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  $\geq 230$  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

| <b>Insulating liquid</b>  | <b>kV rating</b> | <b>Nominal/new powerfactor limit</b> | <b>Serviceability aged limit</b> |
|---|------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 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 this issue. |                  |                                      |                                  |

Extracto del IEEE-519 2014 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems

| <b>Bus voltaje V at PCC</b>             | <b>Individual harmonic (%)</b> | <b>Total harmonic distortion THD (%)</b> |
|---|--------------------------------|--|
| $V \leq 1 \text{ kV}$                   | 5.0                            | 8.0                                      |
| $1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$   | 3.0                            | 5.0                                      |
| $69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$ | 1.5                            | 2.5                                      |
| $161 \text{ kV} < V$                    | 1.0                            | 1.5 <sup>1</sup>                         |

<sup>1</sup> High voltage systems can have up to 2.0 % THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be connected.

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 $\mu$ s 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 $\mu$ s       | 0-8 p.u.                  |
| 1.2.3 High frequency          | 0.5-5 MHz                | 5 $\mu$ s        | 0-4 p.u.                  |
| 2.0 Short duration variations |                          |                  |                           |
| 2.1 Instantaneous             |                          |                  |                           |
| 2.1.1 Sag                     |                          | 0.5-30 cycles    | 0.1-0.9 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 p.u.              |
| 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 harmonic analysis. 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 system 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 should make 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 equipment'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 ratings 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 manufacturer 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 the harmonic filter. The effective kvar of the harmonic filter is always less than the nameplate kvar of the harmonic 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 are summarized 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 performance criteria. 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<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> harmonics, a single filter tuned near the 5<sup>th</sup> 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 frequency 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 than is needed to achieve the required harmonic performance.
- b) The harmonic filter interaction with the system impedances results in a parallel resonance at a frequency 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 could retune 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 filter 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 weaken the source and shift the parallel resonance to a lower frequency.
    - Routine maintenance can often result in a “weakening” of the source supplying the harmonic-producing load.
    - Portions of overhead circuits may be replaced with underground lines, and lines may be relocated.

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 frequency. 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 harmonic 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 inductive reactance is selected to create a series resonance with the harmonic filter capacitor at the tuned frequency. 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<sup>th</sup> 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 resonance in the power system. In this case, the harmonic filter is ungrounded (to avoid 3<sup>rd</sup> harmonic resonance with the system) and tuned below the 5<sup>th</sup> harmonic (i.e., 4.3<sup>rd</sup> or 4.7<sup>th</sup>) to avoid resonance at a characteristic harmonic (e.g., 5<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>).

### 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 simulation program is required to adequately assess each of the possible operating conditions over the frequency spectrum of the harmonic loads. IEEE Std 519-1992 and IEEE Std 399-1997 provide guidance on performing the required studies.

The harmonic studies will finalize the number of harmonic filters, harmonic filter tuning, and the location of the harmonic filters based on compliance with the harmonic guidelines. The factors that should be considered 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 manufacturing tolerances, 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 the harmonic filter to the lower harmonic frequency can sometimes be adequate. If it is not, then multiple-tuned harmonic 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), inductance(s), and resistance(s) (if needed). Allowable tolerances for capacitance, inductance, and resistance may be 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 significant 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 cannot 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 Manufacturers Association

Tests and performance

20.8 Temperature 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 temperature 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. Temperatures shall be determined in accordance with IEEE Std. 112.

20.8.1 Machines with a 1.0 service factor at rated load

| Item | Machine part   | Method of temperature determination | Temperature rise, degrees C |    |     |     |
|------|--|-------------------------------------|-----------------------------|----|-----|-----|
|      |  |                                     | Class of insulation system  |    |     |     |
|      |  |                                     | 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)  | Embedded detector*                  | 65                          | 85 | 110 | 135 |
|      | a) 7 000 volts and less  | Embedded detector*                  | 60                          | 80 | 105 | 125 |
|      | b) Over 7 000 volts  | Embedded detector*                  |                             |    |     |     |
| 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. |                                     |                             |    |     |     |

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.*

La temperatura de los devanados es un factor de selección del tipo de aislamiento en función de la temperatura máxima y del incremento máximo de esta especificando las siguientes clases.

Clase A 105 °C, con un incremento máximo de 65 °C.

Clase B 130 °C, con un incremento máximo de 90 °C.

Clase E 120 °C, con un incremento máximo de 80 °C.

Clase F 155 °C, con un incremento máximo de 115 °C.

Clase H 180 °C, con un incremento máximo de 140 °C.

Clase N 200 °C, con un incremento máximo de 160 °C.

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.

| Clasificación      | Tensión eléctrica nominal del sistema (*)<br>V |                    |                        | Tensión eléctrica de suministro<br>V |               | Tensión eléctrica nominal de utilización<br>V<br>(**) |
|--------------------|--|--------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------|---|
|                    | 1 fase<br>3 hilos                              | 3 fases<br>3 hilos | 3 fases<br>4 hilos     | Máximo                               | Mínimo        |   |
| Baja tensión       | <u>120/240</u>                                 | --                 | --                     | 126/252                              | 108/216       | <u>115/230</u>  |
|                    | --   | --                 | <u>208 Y/ 127 (1)</u>  | 231/133.3                            | 198/114.3     | <u>208 Y/120</u>                                      |
|                    | --   | --                 | <u>220 Y/ 127 (2)</u>  | 504/291                              | 432/249.4     | <u>460 Y/265</u>                                      |
|                    | --   | <u>480</u>         | <u>480 Y/ 277</u>      | 504                                  | 432           | <u>460</u>  |
| Media tensión      |  | <u>4 160</u>       | --                     | 4 368                                | 3 744         | <u>4 000</u>  |
|                    |  | --                 | --                     | --                                   | --            | --  |
|                    |  | <u>13 800</u>      | <u>13 800 Y/7 970</u>  | 14 490                               | 12 420        | <u>13 200</u>   |
|                    |  | --                 | --                     | 14 490/8 366                         | 12 420/7 171  |   |
|                    |  | <u>23 000</u>      | <u>23 000 Y/13 280</u> | 24 150                               | 20 700        |   |
|                    |  | --                 | --                     | 24 150/13 943                        | 20 700/11 951 |   |
|                    |  | <u>34 500</u>      | <u>34 500 Y/19 920</u> | 36 225                               | 31 050        |   |
| Alta tensión       |  | 69 000             |                        | 72 500                               |               |   |
|                    |  | 85 000             |                        | 123 000                              |               |   |
|                    |  | <u>115 000</u>     |                        | 123 000                              |               |   |
|                    |  | 138 000            |                        | 145 000                              |               |   |
|                    |  | 161 000            |                        | 170 000                              |               |   |
| Extra alta tensión |  | <u>230 000</u>     |                        | 245 000                              |               |   |
|                    |  | <u>400 000</u>     |                        | 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 que la 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.









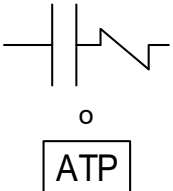
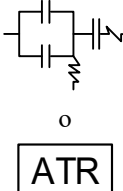
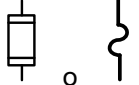
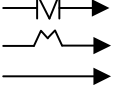










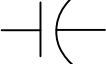

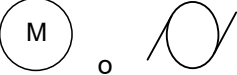
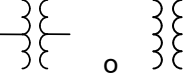
(2) La tensión 220Y/127, se suministrará en las cargas que así lo requieran por el tamaño y tipo de carga, siendo la tensión y sistema preferente de 120/240 y 1 fase 3 hilos.

(\*) 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.


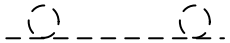
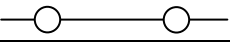

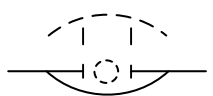
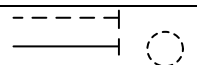
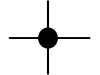
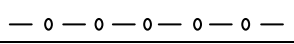

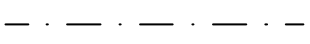
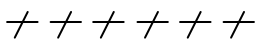
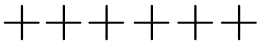
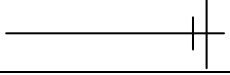
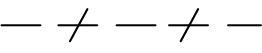
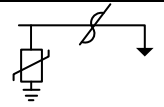

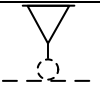

<sup>1)</sup> Las tensiones nominales del sistema que contiene la tabla 1 se aplican a todas las partes del sistema eléctrico, tanto para el suministrador como para el usuario. Es importante notar que la tensión eléctrica de utilización existe en diferentes puntos de la instalación. Se entiende que la 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 bajas 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.











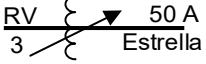
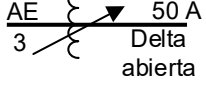
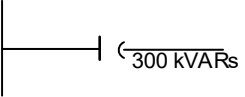
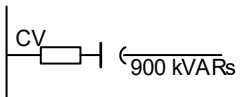



Extracto de la NMX-J-136-ANCE-2019

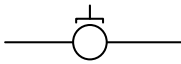





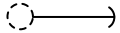

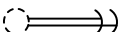
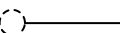
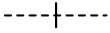
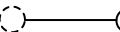
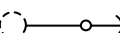
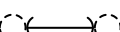
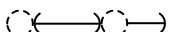




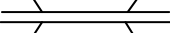

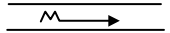


| Descripción   | Símbolo   | Descripción  | Símbolo   |
|---|---|--|---|
| Circuito, símbolo general (diagrama unifilar)                         |    | Circuitos (conductor o tubo)Nota: La letra N indica el número de conductores |    |
| Conexión en cruz (conexión cuatro vías)                               |    | 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  |  |

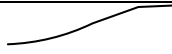
| Descripción   | Símbolo | Descripción   | Símbolo |
|---|---------|---|---------|
| Transformador con tres devanados                      |         | Autotransformador, símbolo general                    |         |
| Transformador de potencial                            |         | Vóltmetro   |         |
| 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                                |   |                 |
| <b>Bancos de transformación</b>  |  |                 |
| 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      |
| <b>Equipo de protección y desconexión</b>                  |  |         |
| Apartarrayos   |           |         |
| Cortacircuito fusible de tres disparos                     | 10 kA  3D | 29      |
| Cortacircuito fusible                                      |  50I      | 29      |
| Seccionalizador  |  25 A     | 27      |
| Restaurador  |  50 A     | 24 Y 27 |
| Desconectador  |  200 A    | 25      |
| Cuchilla desconectadora de operación en grupo, con carga   |  500 A    | 25      |
| Cuchilla desconectadora monopolar de operación con pértiga |  600 A  | 25      |
| <b>Equipo de regulación y capacitores</b>                  |  |         |
| Regulador de tensión                                       |        | 30      |
| Autoelevador tipo de distribución                          |        | 30      |
| Banco de capacitores poste, fijo                           |        | 37      |
| Banco de capacitores automático                            |        | 20      |
| <b>Alumbrado público</b>                                   |  |         |
| Lámpara incandescente                                      |         |         |
| Lámpara de vapor de sodio                                  |         |         |
| Fotocelda  |         |         |

|  |   |    |
|--|---|----|
| Relevador para el control de alumbrado público |    |    |
| Conexión a tierra                              |    |    |
| <b>Postes</b>                                  |   |    |
| Poste de concreto reforzado                    |    |    |
| Poste de madera                                |    |    |
| Poste de acero troncocónico                    |    |    |
| Poste existente                                |    |    |
| <b>Retenidas</b>                               |   |    |
| 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  |
| <b>Vías de comunicación</b>                    |   |    |
| Carretera pavimentada                          |  | 32 |
| Carretera de terracería                        |  | 32 |
| Brecha   |  | 32 |
| Vía de ferrocarril                             |  | 33 |
| Puente   |  |    |
| Arroyo   |  |    |
| Canal de riego principal                       |  |    |
| Río  |  |    |
| Pantano  |  |    |

|                           |   |    |
|---------------------------|---|----|
| Tubos para agua           | —  — A —  —   | 34 |
| Drenaje                   | —  — D —  —   | 34 |
| Tubos para gas            | —  — G —  —   | 34 |
| Cable de televisión       | —  — TV —  —  | 34 |
| Línea aérea telefónica    | —  — T —  —   | 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.

| Altura (m) y resistencia (kg) del poste | Empotramiento por tipo de suelo (cm)      |              |                        |
|---|---|--------------|------------------------|
|   | 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 terreno blando.
2. Un terreno blando es posible considerarlo como terreno normal si se compacta con piedras 30 cm en 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 terreno normal.
4. Un terreno normal es posible considerarlo como terreno duro si se compacta con piedras de 30 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 el terreno 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 en la parte superior de la cepa.
7. En caso de que no se tenga la tabla, se puede utilizar la fórmula siguiente para terreno normal:

$$\text{Profundidad del empotramiento} = \text{Altura del poste en dm} + 50 \text{ cm}$$

### Selección de apartarrayos

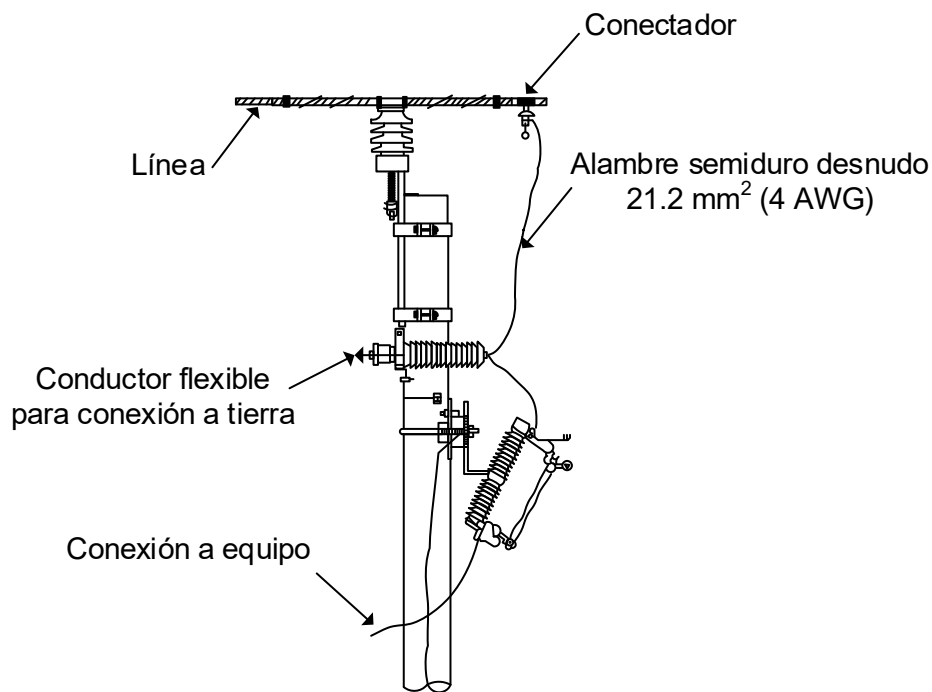
1. Los apartarrayos utilizados en instalaciones aéreas de distribución son de óxidos metálicos.
2. La selección del apartarrayo está en función de la tensión de la línea y del apartarrayo de acuerdo con el tipo de sistema.

| Tensión entre fases (kV) | Tensión nominal (kV) |                         |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|
|                          | Tipos de sistema     |                         |
|                          | 3F-4H (A)            | 3F-3H Sistema existente |
| 1<br>3                   | 10                   | 12                      |
| 2<br>3                   | 18                   | 21                      |
| 3<br>3                   | 27                   | 30                      |

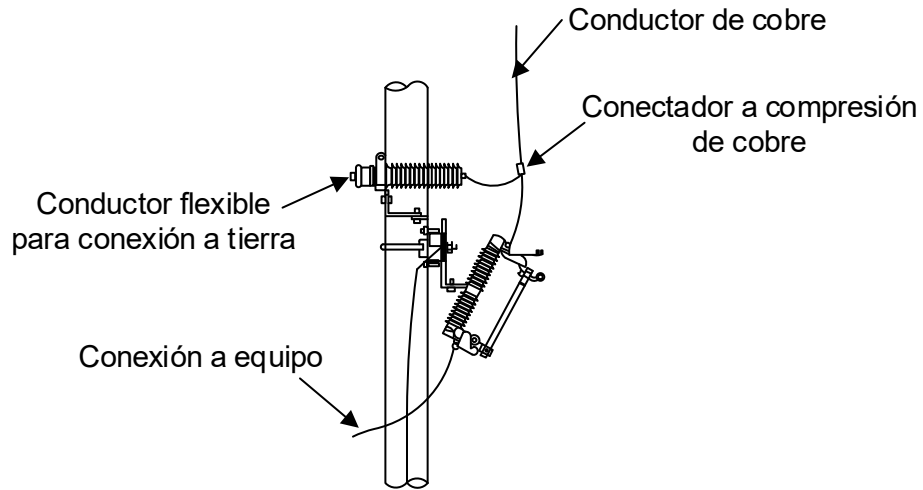
3. Para la selección, se debe consultar al responsable técnico de la zona que corresponda.

### 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<sup>2</sup> (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 la arandela 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<sup>2</sup> (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 mm<sup>2</sup> (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 mm<sup>2</sup> (4 AWG) y conector a compresión.



Limitantes de la estructura TS

| Limitaciones mecánicas y eléctricas de la estructura TS3N<br>(VR = 120 km/h) |    |   |       |       |              |              |            |             |                                |        |                                 |              |
|--|----|---|-------|-------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o<br>kcmil)                                | kV | Claro interpostal máximo en metros por: |       |       |              |              |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |        | Desnivel<br>máximo en<br>metros |              |
|  |    | Resistencia de:                         |       |       |              |              | Separación |             | Grados                         | Metros | Sin<br>hielo                    | Con<br>hielo |
|  |    | Poste                                   | Cable | Perno | Cruceta      |              | A piso     | En<br>fases |                                |        |                                 |              |
|  |    |   |       |       | Sin<br>hielo | Con<br>hielo |            |             |                                |        |                                 |              |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>PARTRIDG<br>E   | 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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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<br>(VR = 120 km/h) |    |   |       |       |              |              |            |             |                                |        |                                 |              |
|--|----|---|-------|-------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o<br>kcmil)                                | kV | Claro interpostal máximo en metros por: |       |       |              |              |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |        | Desnivel<br>máximo en<br>metros |              |
|  |    | Resistencia de:                         |       |       |              |              | Separación |             | Grados                         | Metros |                                 |              |
|  |    | Poste                                   | Cable | Perno | Cruceta      |              | A piso     | En<br>fases |                                |        | Sin<br>hielo                    | Con<br>hielo |
|  |    |   |       |       | Sin<br>hielo | Con<br>hielo |            |             |                                |        |                                 |              |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>PARTRIDG<br>E   | 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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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         |

| Limitaciones mecánicas y eléctricas de la estructura TS3N<br>(VR=120 km/h) |    |  |       |       |              |              |            |             |                                |              |                                 |       |
|--|----|--|-------|-------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------|-------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o kcmil)                                 | kV | Claro interpostal máximo en metros por |       |       |              |              |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |              | Desnivel<br>máximo en<br>metros |       |
|  |    | Resistencia de                         |       |       |              |              | Separación |             | Grados                         | Metros       |                                 |       |
|  |    | Poste                                  | Cable | Perno | Cruceta      |              | A piso     | En<br>fases |                                |              |                                 |       |
|  |    |  |       |       | Sin<br>hielo | Con<br>hielo |            |             | Sin<br>hielo                   | Con<br>hielo |                                 |       |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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 estructura TS3G<br>(VR=120 km/h) |    |  |       |       |              |              |            |             |                                |              |                                 |       |
|--|----|--|-------|-------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------|-------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o<br>kcmil)                              | kV | Claro interpostal máximo en metros por |       |       |              |              |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |              | Desnivel<br>máximo en<br>metros |       |
|  |    | Resistencia de                         |       |       |              |              | Separación |             | Grados                         | Metros       |                                 |       |
|  |    | Poste                                  | Cable | Perno | Cruceta      |              | A piso     | En<br>fases |                                |              |                                 |       |
|  |    |  |       |       | Sin<br>hielo | Con<br>hielo |            |             | Sin<br>hielo                   | Con<br>hielo |                                 |       |
| Cu<br>53.49<br>(1/0) C-<br>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<br>(3/0) C-<br>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)<br>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<br>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<br>85(<br>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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(1/0<br>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<br>85( 3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>LINNE<br>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<br>( 477)<br>HAW<br>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<br>(VR = 120 km/h) |    |   |       |       |            |           |        |                             |           |                           |       |       |
|--|----|---|-------|-------|------------|-----------|--------|-----------------------------|-----------|---------------------------|-------|-------|
| Tamaño mm <sup>2</sup><br>(AWG o kcmil)  | kV | Claro interpostal máximo en metros por: |       |       |            |           |        | Deflexión máxima horizontal |           | Desnivel máximo en metros |       |       |
|  |    | Resistencia de:                         |       |       | Separación |           |        | Grados                      | Metros    |                           |       |       |
|  |    | Poste                                   | Cable | Perno | Cruzeta    |           | A piso |                             |           | En fases                  |       |       |
|  |    |   |       |       | Sin hielo  | Con hielo |        | Sin hielo                   | Con hielo |                           |       |       |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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<br>(VR = 120 km/h) |    |   |       |       |              |              |            |             |                                |        |                                 |              |
|--|----|---|-------|-------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o<br>kcmil)                                  | kV | Claro interpostal máximo en metros por: |       |       |              |              |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |        | Desnivel<br>máximo en<br>metros |              |
|  |    | Resistencia de:                         |       |       |              |              | Separación |             | Grados                         | Metros |                                 |              |
|  |    | Poste                                   | Cable | Perno | Cruceta      |              | A piso     | En<br>fases |                                |        | Sin<br>hielo                    | Con<br>hielo |
|  |    |   |       |       | Sin<br>hielo | Con<br>hielo |            |             |                                |        |                                 |              |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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         |

| Limitaciones mecánicas y eléctricas de la estructura TD3N<br>(VR=120 km/h) |    |  |       |       |              |              |            |             |                                |        |                                 |              |
|--|----|--|-------|-------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o<br>kcmil)                              | kV | Claro interpostal máximo en metros por |       |       |              |              |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |        | Desnivel<br>máximo en<br>metros |              |
|  |    | Resistencia de                         |       |       |              |              | Separación |             | Grados                         | Metros |                                 |              |
|  |    | Poste                                  | Cable | Perno | Cruceta      |              | A piso     | En<br>fases |                                |        | Sin<br>hielo                    | Con<br>hielo |
|  |    |  |       |       | Sin<br>hielo | Con<br>hielo |            |             |                                |        |                                 |              |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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)<br>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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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<br>(VR=120 km/h) |    |  |       |       |           |           |            |          |                             |        |                           |           |
|--|----|--|-------|-------|-----------|-----------|------------|----------|-----------------------------|--------|---------------------------|-----------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o kcmil)                                 | kV | Claro interpostal máximo en metros por |       |       |           |           |            |          | Deflexión máxima horizontal |        | Desnivel máximo en metros |           |
|  |    | Resistencia de                         |       |       |           |           | Separación |          | Grados                      | Metros | Sin hielo                 | Con hielo |
|  |    | Poste                                  | Cable | Perno | Cruzeta   |           | A piso     | En fases |                             |        |                           |           |
|  |    |  |       |       | Sin hielo | Con hielo |            |          |                             |        |                           |           |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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<br>(VR = 120 km/h) |    |  |       |       |                |              |              |            |             |                                |              |                                 |              |
|--|----|--|-------|-------|----------------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o kcmil)                                     | kV | Claro interpostal máximo en metros por |       |       |                |              |              |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |              | Desnivel<br>máximo en<br>metros |              |
|  |    | Resistencia de                         |       |       |                |              |              | Separación |             | Grados                         | Metros       |                                 |              |
|  |    | Poste                                  | Cable | Perno | Punta<br>poste | Cruceta      |              | A<br>piso  | En<br>fases |                                |              | Sin<br>hielo                    | Con<br>hielo |
|  |    |  |       |       |                | Sin<br>hielo | Con<br>hielo |            |             | Sin<br>hielo                   | Con<br>hielo |                                 |              |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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)<br>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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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 estructuraPS3N<br>(VR=120 km/h) |    |  |       |       |                |         |     |            |             |                                |        |                                 |              |
|---|----|--|-------|-------|----------------|---------|-----|------------|-------------|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------------|
| Tamaño<br>mm <sup>2</sup><br>(AWG o kcmil)                                | kV | Claro interpostal máximo en metros por |       |       |                |         |     |            |             | Deflexión máxima<br>horizontal |        | Desnivel<br>máximo en<br>metros |              |
|   |    | Resistencia de                         |       |       |                |         |     | Separación |             | Grados                         | Metros |                                 |              |
|   |    | Poste                                  | Cable | Perno | Punta<br>poste | Cruceta |     | A<br>piso  | En<br>fases |                                |        | Sin<br>hielo                    | Con<br>hielo |
| Cu 53.49<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>53.49<br>(1/0)<br>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<br>(3/0)<br>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<br>(266.8)<br>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<br>(336.4)<br>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<br>(477)<br>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 <sup>2</sup> (3/0 AWG)                                | 8            | 8         | 16             | A-2                   | A-2    | A-2  |
| Cu 127 mm <sup>2</sup> (250 kcmil)                             | 9            | 8         | 16             | A-1                   | C-3    | C-1  |
| AAC 53.5 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)                             | 9            | 8         | 16             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| AAC 53.5 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)                             | 8            | 8         | 16             | A-2                   | A-2    | A-2  |
| AAC 85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)                               | 8            | 8         | 16             | A-2                   | A-2    | A-2  |
| AAC 135 mm <sup>2</sup> (266.8 kcmil)                          | 9            | 8         | 16             | A-1                   | C-3    | C-1  |
| AAC 171 mm <sup>2</sup> (336.4 kcmil)                          | 9            | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| AAC 242 mm <sup>2</sup> (477 kcmil)                            | 9            | 8         | 16             | A-1                   | C-3    | C-1  |
| ACSR 53.5 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)                            | 9            | 8         | 16             | A-1                   | C-3    | C-1  |
| ACSR 85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)                              | 9            | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| ACSR 135 mm <sup>2</sup> (266.8 kcmil)                         | 9            | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| ACSR 171 mm <sup>2</sup> (336.4 kcmil)                         | 9            | 8         | 16             | A-1                   | C-3    | C-1  |
| ACSR 242 mm <sup>2</sup> (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 <sup>2</sup> (1/0 AWG)                              | 8            | 8         | 16             | A-1                   | C-1    | C-1  |
| Cu 85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)                                | 13           | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| Cu 127 mm <sup>2</sup> (250 kcmil)                             | 13           | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| AAC 53.5 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)                             | 8            | 8         | 16             | A-2                   | A-2    | A-2  |
| AAC 85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)                               | 8            | 8         | 16             | A-1                   | C-1    | C-1  |
| AAC 135 mm <sup>2</sup> (266.8 kcmil)                          | 13           | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| AAC 171 mm <sup>2</sup> (336.4 kcmil)                          | 13           | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| AAC 242 mm <sup>2</sup> (477 kcmil)                            | 13           | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| ACSR 53.5 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)                            | 9            | 8         | 16             | A-1                   | C-3    | C-1  |
| ACSR 85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)                              | 13           | 8         | 19             | A-1                   | A-1    | C-3  |
| ACSR 135 mm <sup>2</sup> (266.8 kcmil)                         | 13           | 8         | 19             | A-1                   | A-1    | C-3  |
| ACSR 171 mm <sup>2</sup> (336.4 kcmil)                         | 13           | 8         | 19             | A-1                   | C-3    | C-3  |
| ACSR 242 mm <sup>2</sup> (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 aislamiento extruido.

Clase 1B. Para usarse en cable con aislamiento 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 3 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 contaminantes 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 dieléctricos donde la temperatura ambiente del medio que rodea la terminal puede alcanzar 55 °C.

## Extracto de la NMX-J-284-ANCE-2018

### 6.4.4 Accesorios

#### 6.4.4.1 Boquillas y terminales

Los transformadores deben equiparse con boquillas cuyo nivel de aislamiento y capacidad de conducción de corriente debe ser igual o mayor que la de los devanados a los que se conectan.

El nivel de aislamiento de la boquilla del neutro, para los devanados con conexión en estrella debe estar de acuerdo con lo que se indica en 6.2.7.3.

Las distancias entre boquillas y boquillas a tierra de los transformadores deben ser las que se indican en la Tabla 12. Estas distancias no aplican para apartarrayos.

#### Distancias entre boquillas de transformadores de potencia

| Para operar a<br>1 000 m de<br>altitud Tensión<br>nominal<br>kV (eficaz) | NBAI<br>kV (cresta) | Distancia entre<br>partes vivas<br>mm | Distancia entre<br>partes vivas y<br>tierra<br>mm | Distancia entre<br>partes<br>superiores de<br>campanas<br>mm |
|--|---------------------|---------------------------------------|---|--|
| 4,4  | 75                  | 102                                   | 89  | 51   |
| 6,9  | 95                  | 127                                   | 114   | 64   |
| 13,8   | 110                 | 165                                   | 152   | 89   |
| 24,0   | 150                 | 229                                   | 203   | 152  |
| 34,5   | 200                 | 330                                   | 305   | 203  |
| 69,0   | 350                 | 635                                   | 584   | 483  |
| 115,0  | 450                 | 838                                   | 762   | 686  |
| 115,0  | 550                 | 1 041                                 | 940   | 914  |
| 138,0  | 650                 | 1 245                                 | 1 118   | 1 118  |
| 161,0  | 750                 | 1 448                                 | 1 321   | 1 321  |
| 230,0  | 900                 | 1 778                                 | 1 600   | 1 651  |
| 230,0  | 1 050               | 2 134                                 | 1 930   | 2 007  |
| 400,0  | 1 300               | 2 743                                 | 2 489   | 2 616  |
| 400,0  | 1 400               | 3 073                                 | 2 743   | 2 896  |

#### DISPOSICIONES ADICIONALES:

- En caso de que el lugar de instalación se encuentre en altitudes mayores que 1 000 m, debe multiplicarse por el factor de corrección correspondiente de la Tabla 3.

- Esta tabla no aplica para distancias que incluyan apartarrayos.

#### 6.4.4.1.1 Características eléctricas y mecánicas de las boquillas

Todos los extremos de los devanados que sean llevados al exterior, deben ser a través de boquillas. Para el caso de transformadores con devanado terciario estabilizador, las terminales deben llevarse al exterior sólo si así se especifica previo al diseño del transformador, de lo contrario debe proporcionarse una salida a través de una boquilla, para fines de pruebas.

Las boquillas desde 1,2 kV hasta 34,5 kV deben cumplir con lo que se especifica en la NMX-J-234-ANCE-2016.

Las boquillas de 69 kV y mayores deben ser de acuerdo con lo siguiente:

a) Las características generales, características eléctricas, dimensiones y requisitos de descargas parciales que se indican en la NMX-J-234-ANCE-2016.

**NOTA:** Puede consultarse [7] de la Bibliografía para otros requisitos de boquillas con tensiones de 69 kV y mayores.

b) Cuando el usuario especifique ambientes con contaminación elevada, las boquillas deben ser del tipo niebla;

c) Cuando se requieran de porcelana, las piezas que componen cada boquilla, deben ser como máximo:

1) Una pieza para boquillas hasta 161 kV;

2) Una o dos piezas para tensiones mayores que 161 kV y hasta 230 kV; y

- 3) De dos a cuatro piezas para tensiones mayores que 230 kV.
- d) Las piezas de porcelana deben estar cementadas y vidriadas en conjunto y cumplir con la prueba de aguante de carga en flexión (cantiliver) de acuerdo con la NMX-J-234-ANCE-2016 y las modificaciones correspondientes que se indican en el Apéndice A;
- e) Deben tener un depósito sellado con indicador de nivel de líquido aislante, además deben contar con provisión para el llenado;
- f) Deben ser del tipo condensador y contar con una derivación capacitiva para la medición de descargas parciales;
- g) El perno de las boquillas expuesto al exterior, debe suministrarse con su superficie de contacto plateada; y
- h) Todas las boquillas deben ser de color uniforme.

#### 6.4.4.1.2 Localización de las boquillas

Las boquillas pueden instalarse en la cubierta o en la pared del tanque y localizarse como se muestra en la Figura 6.

En caso de que el usuario especifique, previo al diseño, que el transformador se equipe con bridas para el acoplamiento a barras de fase aislada, debe suministrarse una brida por cada boquilla, ya sea del lado de alta o de baja tensión.

#### 6.4.4.1.3 Terminales

En caso de que el usuario lo especifique, previo al diseño del transformador, las boquillas deben suministrarse con terminales (conectores) para recibir los cables o barras de interconexión (exteriores). Las características de los conectores o de los cables o barras de interconexión, deben indicarse por el usuario.

En caso de conexión entre materiales diferentes, cobre y aluminio, los conectores deben ser bimetálicos.

#### 6.4.4.2 Cambiador de derivaciones

El transformador debe suministrarse con un cambiador de derivaciones de operación externa, éste sólo debe operarse cuando el transformador está desenergizado. En el caso de que el transformador se requiera por el usuario con cambiador de derivaciones bajo carga, entonces puede omitirse el cambiador de derivaciones para operación desenergizado.

El mecanismo del cambiador puede ser tipo volante o tipo manivela, contar con un aditamento para aseguramiento con candado y que permita ver la posición del cambiador sin necesidad de quitar el candado.

El volante de operación debe girar en el sentido de las manecillas del reloj, de la tensión mayor a la menor; cada posición debe marcarse con letras o números arábigos progresivos. La letra "A" o el número arábigo 1, debe designarse a la tensión mayor.

El cambiador de derivaciones debe proveerse con topes en las posiciones extremas y cada posición debe corresponder a una tensión de operación.

#### 6.4.4.3 Conexión a tierra

##### 6.4.4.3.1 Placa para conexión a tierra

Consiste de una placa de acero cobrizado, latón o acero inoxidable, con dimensiones de 60 mm × 90 mm, con dos barrenos cuyos centros estén espaciados horizontalmente 44 mm, con rosca normal para tornillos M12 × 1,75 mm. La longitud mínima de la rosca debe ser de 13 mm y el espesor mínimo de la capa de cobre, cuando se use, debe ser de 0,5 mm. Las roscas deben protegerse contra la corrosión, de forma que no afecten la conexión eléctrica.

Las placas de conexión a tierra deben ser dos; una placa debe colocarse hacia el extremo izquierdo del segmento 1 y la otra diagonalmente opuesta en el segmento 3, como se muestra en la Figura 5, de modo que no interfieran con los medios de palanqueo.

Deben soldarse en la base o en la pared del tanque próximo a la base. Si la base es desmontable, las placas de conexión a tierra deben localizarse en la pared del tanque.

La designación del conductor para la conexión a tierra, debe ser de 67,43 mm<sup>2</sup> a 107,2 mm<sup>2</sup>, a menos que se especifique otra área.

##### 6.4.4.3.2 Placa para el conector a tierra

Debe constar de una placa de acero cobrizado, latón o acero inoxidable de 60 mm × 90 mm con un espesor de 4,8 mm como dimensiones mínimas, con dos barrenos cuyos centros estén espaciados horizontalmente 44 mm, los cuales deben tener un diámetro de 14 mm.

Deben suministrarse dos tornillos M12 × 1,75 mm (por cada placa de conexión a tierra) de acero cobrizado, latón o acero inoxidable y con una longitud de 25 mm con rosca corrida.

**NOTA:** Las dimensiones del párrafo anterior se consideran nominales y la tolerancia está en función de la norma correspondiente al producto.

#### 6.4.4.3.3 Puesta a tierra del núcleo

El núcleo del transformador debe ser puesto a tierra en un solo punto, al tanque o a la cubierta para efectos electrostáticos.

Para transformadores clase II, se puede poner a tierra el núcleo hacia el exterior del transformador (la tapa principal o una pared del tanque), por medio de una boquilla auxiliar.

## 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 mm<sup>2</sup> (14 AWG) o 1.307 mm<sup>2</sup> (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.

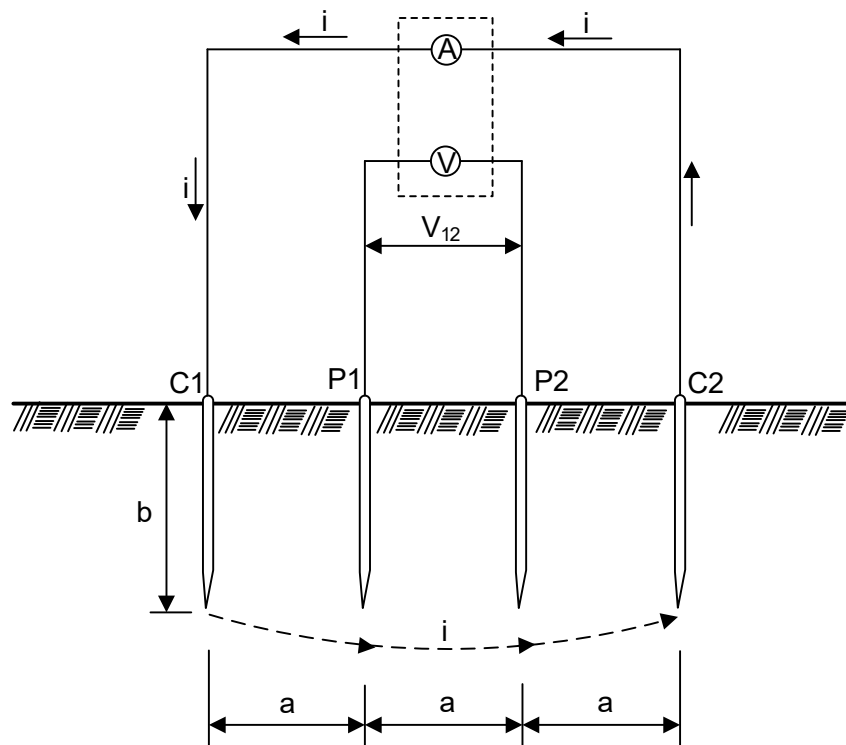


Figura B.1.- Método de los cuatro electrodos o método de wenner

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:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} = \frac{4\pi a R}{n} \quad (B-1)$$

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  $\Omega$ .

P es la resistividad aparente del suelo, en  $\Omega m$

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:

$$\rho = 2\pi a R \quad (B-2)$$

Algunos equipos de medición proporcionan directamente el valor de la resistividad aparente, por lo que no es necesario aplicar las ecuaciones anteriores B-1 y 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.

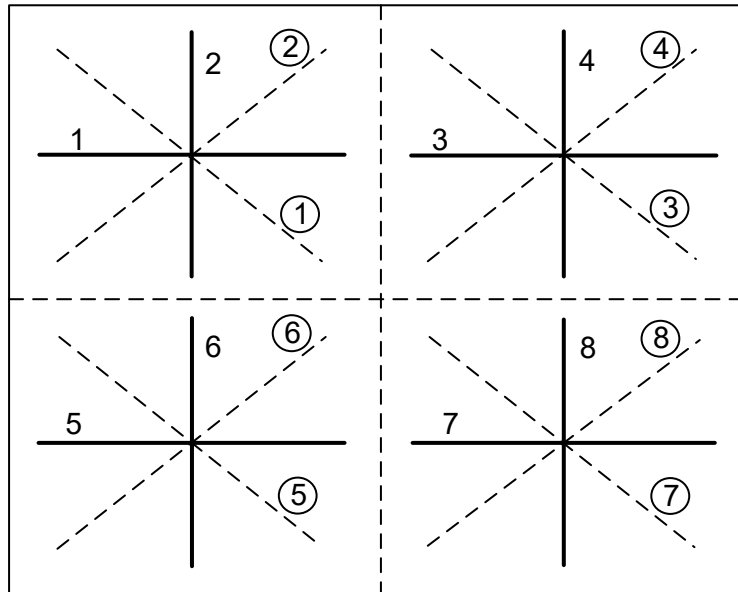


Figura B.2.- Ejemplo de trayectoria de direcciones recomendadas para la medición de resistividad del suelo

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 ( $\Omega m$ ) | Dirección 2 ( $\Omega m$ ) | Dirección 3 ( $\Omega m$ ) | Dirección n ( $\Omega m$ ) | Promedio ( $\Omega m$ ) |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1                  | 1                           | $\rho_{11}$                | $\rho_{21}$                | $\rho_{31}$                | $\rho_{n1}$                | $\rho_1$                |
| 2                  | 2                           | $\rho_{12}$                | $\rho_{22}$                | $\rho_{32}$                | $\rho_{n2}$                | $\rho_2$                |
| 3                  | 3                           | $\rho_{13}$                | $\rho_{23}$                | $\rho_{33}$                | $\rho_{n3}$                | $\rho_3$                |
| 4                  | 4                           | $\rho_{14}$                | $\rho_{24}$                | $\rho_{34}$                | $\rho_{n4}$                | $\rho_4$                |
| 5                  | 6                           | $\rho_{15}$                | $\rho_{25}$                | $\rho_{35}$                | $\rho_{n5}$                | $\rho_5$                |
| 6                  | 8                           | $\rho_{16}$                | $\rho_{26}$                | $\rho_{36}$                | $\rho_{n6}$                | $\rho_6$                |

#### 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:

$$\rho_{hm} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5 + \rho_6 + \dots + \rho_n}{n} \quad (B-3)$$

En donde:

$n$  es el número de mediciones en cada dirección realizadas en campo; y  
 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  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  $\rho$  del suelo, conocido como resistividad uniforme equivalente, mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{\rho_{m\acute{a}x} + \rho_{m\acute{i}n}}{2} \quad (B-4)$$

En donde  $\rho_{m\acute{a}x}$  y  $\rho_{m\acute{i}n}$  representan el valor máximo y el valor mínimo, respectivamente, de la resistividad aparente promedio obtenidos en la última columna de la tabla B1.1a

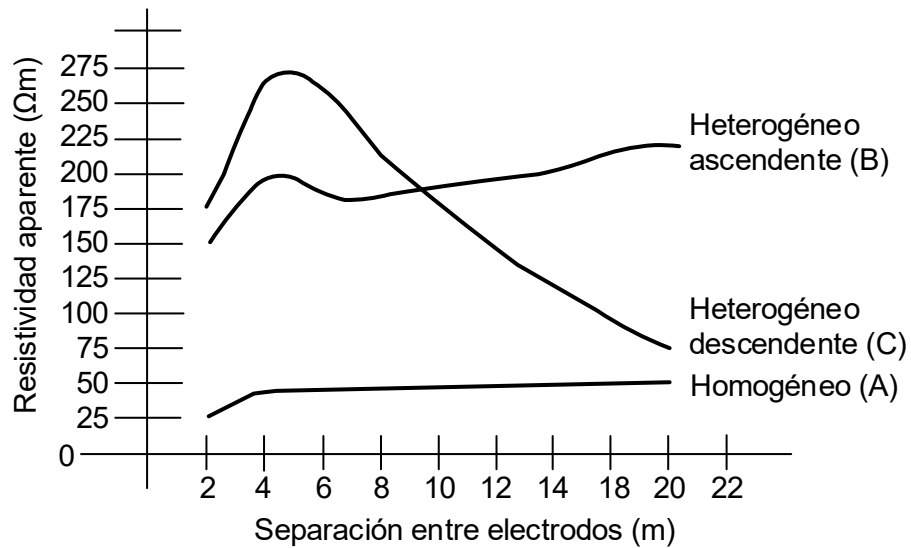


Figura B3.- Curvas típicas de la resistividad aparente del suelo

#### 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 con 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 con 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 con la Figura 3.1.1.A.

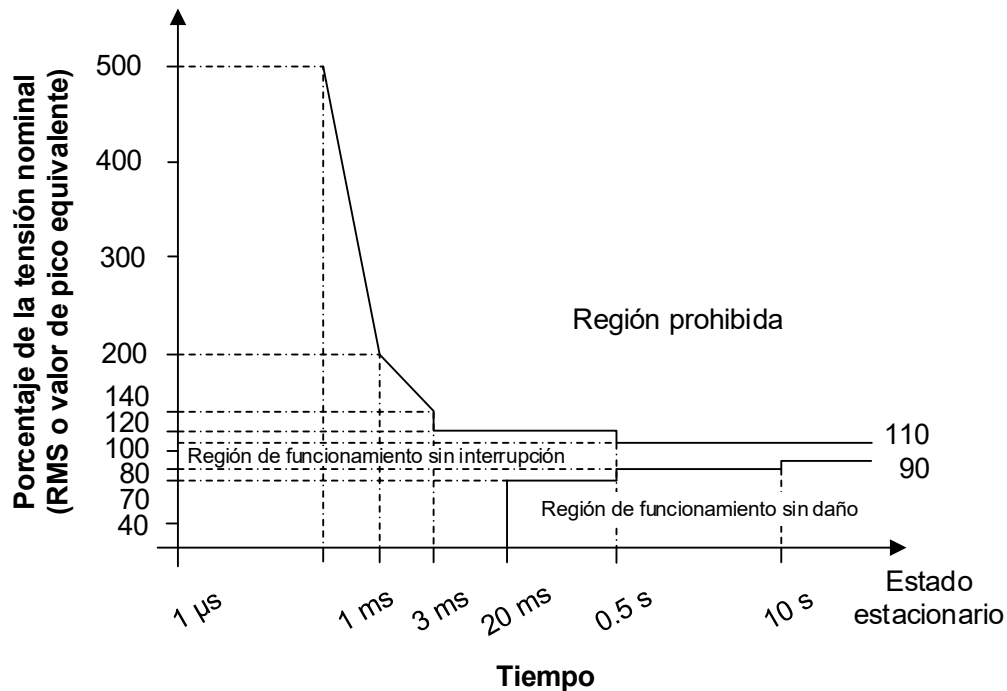


Figura 3.1.1.A. Curva ITIC o ITI (desarrollada por el Consejo Industrial de Tecnología de la Información, en inglés Information Technology Industry Council)

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 con 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 total de demanda (% TDD) |
|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|
|  | 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 total de demanda (% TDD) |
|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|
|  | 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 ( $I_{cc}/I_L$ ) | Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$ |                   |                   |                   |               | Distorsión total de demanda (% TDD) |
|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|
|  | Armónicas <11  | Armónicas 11 a 16 | Armónicas 17 a 22 | Armónicas 23 a 34 | Armónicas >34 |                                     |
| $I_{cc}/I_L < 50$  | 2.0  | 1.0               | 0.75              | 0.3               | 0.15          | 2.5                                 |
| $I_{cc}/I_L \geq 50$   | 3.0  | 1.5               | 1.15              | 0.45              | 0.22          | 3.75                                |

donde:

$I_L$  = 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.

$I_{cc}$  = Corriente de Corto Circuito en el punto de acometida.

% TDD = Porcentaje de distorsión 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 con 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.   |
| $d_c$             | $\leq 3.3$ %  |
| $d_{m\acute{a}x}$ | $\leq 4$ % 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  $d_{m\acute{a}x}$  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  $P_{st}=1$  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  $P_{st}$ .

**$d_t$**  – 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,  $\Delta U_c$ . Es la diferencia entre dos tensiones medidas de fase a tierra y en estado estacionario separados por una característica de cambio de tensión.

$d_{\text{máx}}$  – Característica de cambio de tensión máxima  $\Delta U_{\text{max}}$ . 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 voltage 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 temperature requirements if below  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 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 double 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**

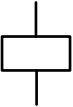
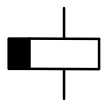


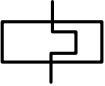

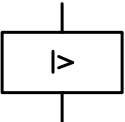
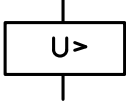
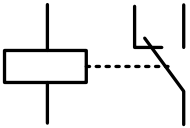
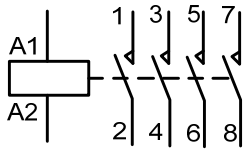
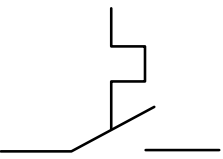
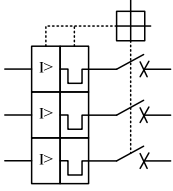
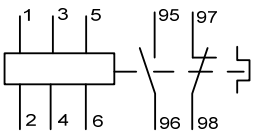



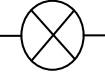

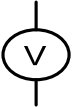
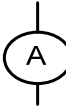
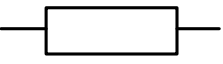


- a) Position: horizontal or vertical
- b) Control shaft exit: on the cover, high on the wall or low on the wall




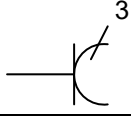

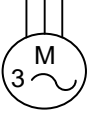


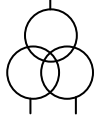


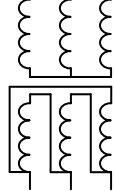
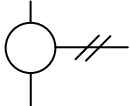
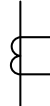

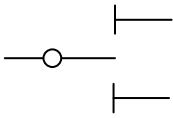
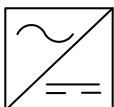
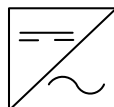

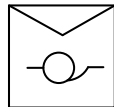
##### **10.2.3 Small off-circuit tap-changers**

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.



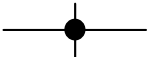






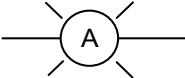


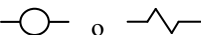
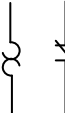
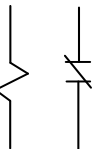





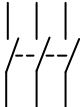
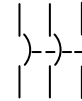
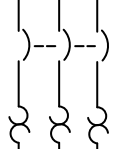
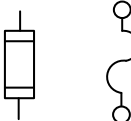
Extracto de la EN-60617 o IEC 60617


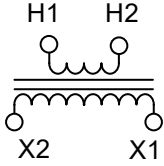
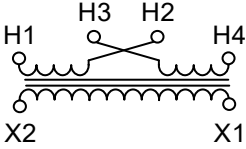
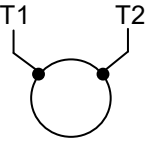
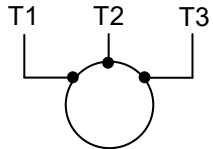
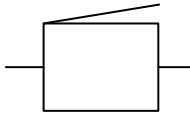
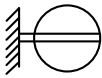
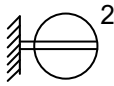
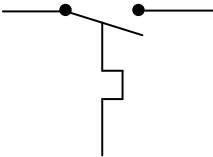
| Descripción                                  | Símbolo | Descripción  | Símbolo |
|--|---------|--|---------|
| Empalme de conductores en una misma línea    |         | Unifilar 3 circuitos   |         |
| Unifilar 3 conductores                       |         | Terminal en placa  |         |
| Punto 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 |         |
| Pulsador con retención                       |         | Interruptor bipolar  |         |
| Accionamiento por efecto electromagnético    |         | Accionamiento por dispositivo térmico                            |         |

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

| Descripción  | Símbolo   | Descripción  | Símbolo   |
|--|---|--|---|
| Clavija de enchufe.                                  |    | Arrancador de motor  |    |
| Clavija y receptáculo                                |    | Toma de corriente múltiple   |    |
| Motor de corriente continua                          |    | Motor 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 con 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 phase-to-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   |
|   | Reemplazo de aceite a cambiador de derivaciones                                   |         | 5    |
|   | Mantenimiento a sistema de enfriamiento   |         | 1    |
|   | Mantenimiento a equipos auxiliares  |         | 1    |
| Cuchillas desconectoras 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 <sub>6</sub> y PVA en A.T.                     | Pruebas eléctricas  |         | 3    |
|   | Mantenimiento a cámaras y mecanismos  |         | 4    |
|   | Cambio de aceite a cámaras  |         | 2    |
|   | Medición de humedad residual SF <sub>6</sub>                                      |         | 3    |
| Interruptores de potencia SF <sub>6</sub> , 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 SF <sub>6</sub>                                      |         | 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               |
|                              | Pérdidas en el cobre                     | X                   | X                |                    |                 |
|                              | Pérdidas 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               |

|                              |  |   |   |  |   |
|------------------------------|--|---|---|--|---|
| Interrupidores 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 |

|                        |  |   |   |  |   |
|------------------------|--|---|---|--|---|
| Apararrayos            | Resistencia de aislamiento             | X | X |  | X |
|                        | Pérdidas 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.



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<br>(Clase 15 kV) | Hasta 150 kV<br>(Clase 18 y 25 kV) | Hasta 200 kV<br>(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 mm<sup>2</sup> (14 AWG) o 1.307 mm<sup>2</sup> (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 V, 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:

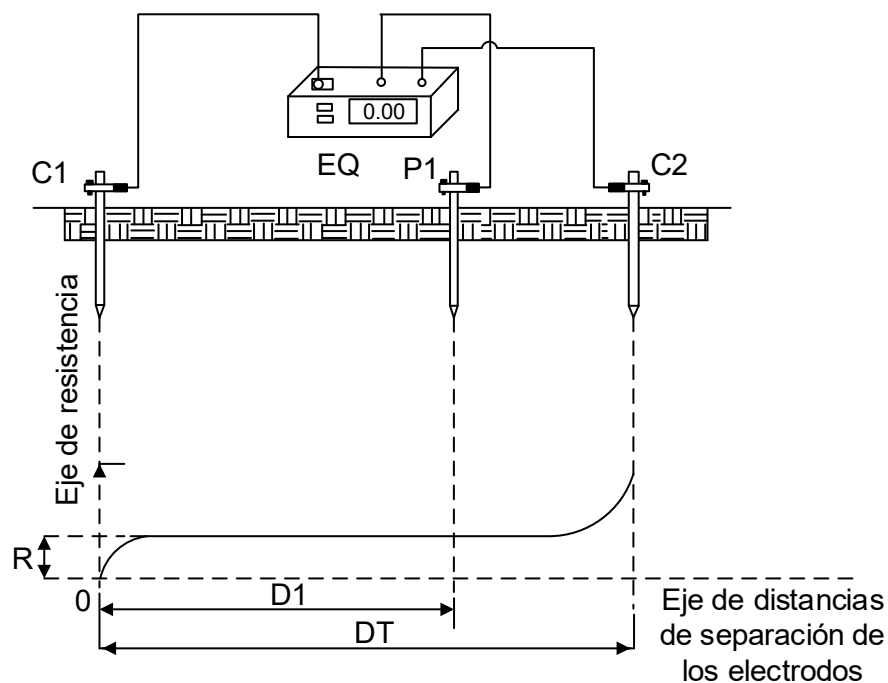
1) Hacer circular una corriente entre dos electrodos: uno llamado C1 (que corresponde a la red de puesta a tierra) y un electrodo auxiliar denominado C2, mismo que se introduce al terreno a una distancia mínima de 20 metros de C1. Para realizar la primera medición se introduce en el terreno otro electrodo 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 con lo siguiente:

- o Una lectura tomada aproximadamente en la primera hora del turno;
- o Una lectura tomada aproximadamente a la mitad del turno, y
- o 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 con 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 con 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 Índice de Área y el número de Zonas de Medición**

| Índice 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:

$$IC = \frac{xy}{h(x+y)}$$

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 con 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  $\pm 0.3$  %.

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  $\pm 0.5$  %, con un desbalance máximo permitido de  $\pm 0.5$  %. 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 (THD) de la onda de tensión eléctrica no debe ser mayor que 5 %.

La Distorsión Armónica Total (THD<sub>v</sub>) 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:

$$THD_v = \left( \frac{\sum_{i=2}^n V_i^2}{V_1^2} \right) \times 100 \%$$

donde:

$V_i$  es la amplitud de cada armónica

$V_1$  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  $\pm 0.2 \%$  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  $\pm 0.2 \%$  de plena escala.

La instrumentación para medir la frecuencia eléctrica de alimentación debe tener un error de instrumento máximo de  $\pm 0.1 \%$  de plena escala.

La instrumentación para medir la frecuencia de rotación debe tener un error de instrumento máximo de  $\pm 1 \text{ min}^{-1}$  de la lectura.

La instrumentación para medir la temperatura debe tener un error de instrumento máximo de  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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) voltímetros;
- f) ampérmegos;

- 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  $\hat{\Omega}$  (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  $^{\circ}\text{C}$ , y
- c) La temperatura ambiente  $t_{ai}$ , en  $^{\circ}\text{C}$ .

Se designa como resistencia de referencia  $R_i$ , a aquélla con el valor más cercano al promedio de las tres registradas. Por ejemplo, cuando:

$$R_{1-2} = 4,8 \hat{\Omega} \quad R_{1-3} = 5,0 \hat{\Omega} \quad R_{2-3} = 5,2 \hat{\Omega}$$

El valor de la resistencia de referencia es  $R_i = 5,0 \hat{\Omega}$

#### 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 (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  $\hat{\Omega}$ ;
- b) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo,  $t_f$ , en  $^{\circ}\text{C}$ ;
- c) La temperatura ambiente,  $t_{af}$ , en  $^{\circ}\text{C}$ , 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 ( $\Delta t$ ) después de que el motor ha alcanzado el equilibrio térmico mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta t = t_f - t_{af} \quad (^{\circ}\text{C})$$

donde:

$$t_f = \left[ \left( \frac{R_f}{R_l} \right) (t_l + K) \right] - K \quad (^{\circ}\text{C})$$

$t_f$  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  $\pm 2$  %.

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  $\text{min}^{-1}$ ;
- 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,  $I_{\text{mín}}$ , en A;
- d) La potencia de entrada,  $P_{\text{mín}}$ , en kW;
- e) El par torsional del motor,  $T_{\text{mín}}$ , en N · m;
- f) La frecuencia de rotación,  $n_{\text{mín}}$ , en  $\text{min}^{-1}$ ;
- g) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo  $t_{\text{mín}}$ , en °C, y
- h) Se verifica que la potencia de salida  $P_d$  demandada al motor bajo prueba, sea menor al 15 % de su potencia nominal. Donde  $P_d$  en kW, se calcula de la siguiente forma:

$$P_d = \frac{T_{\text{mín}} n_{\text{mín}}}{9549}$$

#### 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,  $I_0$ , en A;

- d) La potencia de entrada en vacío P<sub>0</sub>, en kW;
- e) La frecuencia de rotación, n<sub>0</sub>, en min<sup>-1</sup>, 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, t<sub>0</sub>, 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, P<sub>0</sub>, las pérdidas de los devanados del estator I<sup>2</sup>R<sub>e0</sub> para cada valor de tensión eléctrica del inciso 8.3.5, calculadas con la siguiente ecuación:

$$I^2R_{e0} = 0.0015I_0^2R_{e0} \quad [\text{kW}]$$

donde:

I<sub>0</sub> es el promedio de las corrientes eléctricas de línea en vacío del inciso 8.3.5, en A, y R<sub>e0</sub> 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:

$$R_{e0} = R_i \frac{t_0 + K}{t_i + K} \quad [\Omega]$$

donde:

R<sub>i</sub> es la resistencia de referencia del inciso 8.3.1, en Ω;

T<sub>0</sub> 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<sub>i</sub> 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 P<sub>0</sub> menos las pérdidas en los devanados del estator I<sup>2</sup>R<sub>e0</sub> 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 P<sub>0</sub> menos las pérdidas en los devanados del estator I<sup>2</sup>R<sub>e0</sub>, 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<sub>fv</sub>.

d) De la curva obtenida en el inciso (b), se calculan las pérdidas del núcleo, P<sub>n</sub>, a la tensión eléctrica nominal, restando de la potencia de entrada en vacío, P<sub>0</sub>, las pérdidas en los devanados del estator I<sup>2</sup>R<sub>e0</sub> según el inciso (a), y las pérdidas de fricción y ventilación P<sub>fv</sub> 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<sup>2</sup>R<sub>m</sub> para cada uno de los seis valores de carga aplicados según el inciso 8.3.3, utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2R_m = 0.0015I_m^2R_m \quad [\text{kW}]$$

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:

$$R_m = R_i \frac{t_{mc} + K}{t_i + K} \quad [\Omega]$$

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;

$$t_{mc} = \frac{t_{fr}}{t_f} t_m \quad (^\circ\text{C})$$

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  $I^2R_r$ , en cada uno de los seis valores de carga aplicados según el inciso 8.3.3 utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2R_r = (P_e - I^2R_m - P_h) S_m \quad [\text{kW}]$$

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  $n_s$  para cada valor de carga, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad (\text{p.u.})$$

donde:

$n_m$  es la frecuencia de rotación para cada valor de carga medida en el inciso 8.3.3 en  $\text{min}^{-1}$ , y

$n_s$  es la frecuencia de rotación síncrona, calculado mediante la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (\text{min}^{-1})$$

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  $T_c$ , sumando el factor de corrección del dinamómetro FCD, en cada uno de los valores de par medidos  $T_m$ . 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.

$$T_c = T_m + FDCD \quad (\text{Nm})$$

b) Se calcula la potencia de salida de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_s = \frac{T_c n_m}{9549} \quad (\text{kW})$$

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  $\text{min}^{-1}$ .

#### 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:

$$P_{res} = P_e - P_s - I^2 R_m - P_h - P_{fv} - I^2 R_r \quad [\text{kW}]$$

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  
 $I^2 R_m$  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  
 $I^2 R_r$  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,  $T_c^2$ , para cada valor de carga, se usa el análisis de regresión lineal del Apéndice A.

$$P_{res} = AT_c^2 + B \quad [\text{kW}]$$

donde:

$T_c$  es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el inciso 8.4.4 (a), en  $\text{N}\cdot\text{m}$ ;

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:

$$P_{ind} = AT_c^2 \quad [\text{kW}]$$

donde:

$T_c$  es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el inciso 8.4.4 (a), en  $\text{N}\cdot\text{m}$ , 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  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , para cada uno de los seis valores de carga medidos en el inciso 8.3.3, usando la siguiente ecuación:

$$I^2 R_{mc} = 0.0015 I_m^2 R_{mc} \quad [\text{kW}]$$

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  $R_f$  del inciso 8.3.2, corregida a una temperatura ambiente de  $25\text{ }^\circ\text{C}$  de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R_{mc} = R_f \frac{t_c + K}{t_{fr} + K} \quad [\Omega]$$

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  $25\text{ }^\circ\text{C}$  ( $t_c = t_{fr} + 25\text{ }^\circ\text{C} - t_{af}$ ), en  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{fr}$  es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico calculada por resistencia, del inciso 8.3.2.1, en  $^\circ\text{C}$ , 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:

$$I^2R_{rc} = (P_e - I^2R_{mc} - P_h) S_{mc} \quad [\text{kW}]$$

donde:

$$S_{mo} = S_m \frac{t_c + K}{t_{mc} + K}$$

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  $t_{mc} = t_{fr}/t_r^* t_m$ ;

$t_c$  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 ( $t_c = t_{fr} + 25 \text{ °C} - t_{af}$ ), 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:

$$P_{sc} = P_e - P_h - P_{fv} - P_{ind} - I^2R_{mc} - I^2R_{rc} \quad [\text{kW}]$$

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  $\eta_m$  para cada uno de los seis valores de carga del inciso 8.3.3 usando la siguiente ecuación:

$$\eta_m = \frac{P_{sc}}{P_e} \times 100 [\%]$$

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.

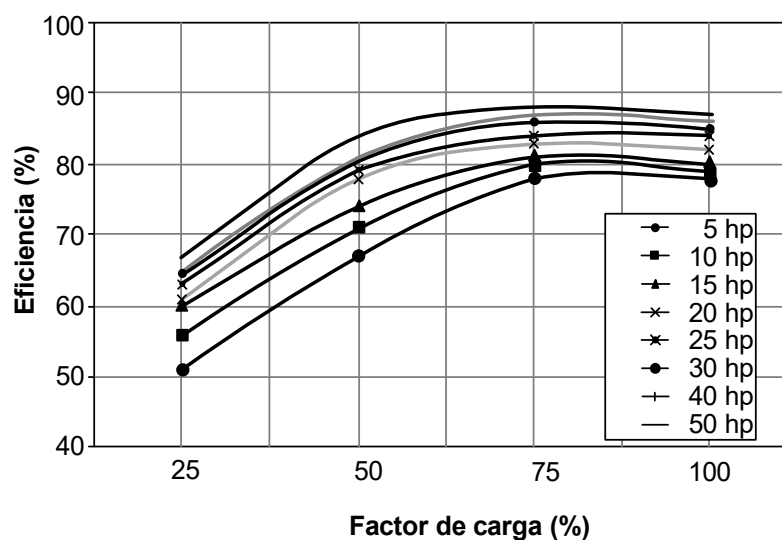
#### Determinación del factor de carga referido a la potencia de placa

En este método es necesario conocer la curva del comportamiento del motor, es decir, eficiencia y factor de 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

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{kW demandados}/0.746}{\text{Potencia de placa}/\text{Eficiencia a plena carga}}$$

La eficiencia se determinará interpolando en la curva de comportamiento del motor con base al factor de carga obtenido en la sección anterior.

Las ecuaciones de interpolación utilizadas son las siguientes:

$$\text{Factor de interpolación} = \frac{X1-X}{X1-X2}$$

$$Y=Y1-\text{Factor de interpolación} (Y1-Y2)$$

Ejemplo: Un motor de 30 hp de 3 580 rpm a 440 V, 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?

$$\text{Factor de carga} = \frac{16.5 \text{ kW}/0.746}{30 \text{ hp}/0.89} \times 100 = 65.6 \%$$

$$\text{Factor de interpolación} = \frac{75-65.6}{75-50} = 0.376$$

$$\text{Eficiencia} = (0.86 - (0.376 \times (0.86 - 0.79))) \times 100 = 83.37 \%$$

**Apéndice E  
 (Informativo)**

**Identificación de motores abiertos o cerrados**

| <b>Enclaustramiento</b> | <b>Designación</b>                   | <b>Definición en español</b>   | <b>Definición en inglés</b>    |
|-------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|
| 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, DPFGB                          | A Prueba de Goteo Completamente Protegido  | (Drip-ProofFullyGuarded)       |
| APP, ODG                | Abierto a Prueba de Goteo, Protegido | Open Drip-Prof, Guarded  |                                |

|                  |                       |   |  |
|------------------|-----------------------|---|--|
|                  | APG-VF,<br>ODG-FV     | Abierto a Prueba de Goteo,<br>Ventilación Forzada   | Open Drip-Proof,<br>Force Ventilated               |
|                  | APG-VS,<br>ODG-SV     | Abierto a Prueba de Goteo,<br>Ventilación Separada  | Open Drip-Proof,<br>Separately<br>Ventilated       |
| Motores cerrados | IP 44                 | Protección contra contacto con<br>herramientas, contra sólidos de<br>diámetros mayores de 1 mm y<br>contra salpicaduras de agua en<br>todas direcciones |  |
|                  |                       | Totalmente Cerrado  | Totally-Enclosed<br>(IEC Standard)                 |
|                  | IP 54                 | Protección completa contra<br>contacto, contra acumulación<br>de polvos nocivos y contra<br>salpicaduras de agua en todas<br>direcciones                |  |
|                  |                       | A prueba de Chapoteo  | SplashProof (IEC<br>Standard)                      |
|                  | IP 55                 | Protección completa contra<br>contacto, contra acumulación<br>de polvos nocivos y contra<br>chorro de agua en todas<br>direcciones                      |  |
|                  |                       | Uso Lavadora  | Washdown (IEC<br>Standard)                         |
|                  | IP 56                 | Protección completa contra<br>contacto, contra acumulación<br>de polvos nocivos y contra<br>oleaje fuerte   |  |
|                  | IP 65                 | Protección completa contra<br>contacto, protección completa<br>contra polvos y contra chorro<br>de agua en todas direcciones                            |  |
|                  | TC, TE, TCVE,<br>TEFC | Totalmente cerrado con<br>ventilación exterior.   | TotallyEnclosed Fan<br>Cooled                      |
|                  | TC, TCVE,<br>TEAO     | Totalmente cerrado con<br>ventilación exterior.   | TotallyEnclosed Air<br>Over                        |
|                  | TCVF, TEBC            | Totalmente cerrado con<br>ventilación forzada   | TotallyEnclosedBlo<br>werCooled                    |
|                  | TC, TCNV,<br>TENV     | Totalmente cerrado no<br>ventilado  | TotallyEnclosed<br>Non-Ventilated                  |
|                  | TCEA, TEWC            | Totalmente cerrado con<br>enfriamiento agua   | Totally Enclosed<br>Water Cooled                   |
|                  | TCCCAA,<br>TECACA     | Totalmente Cerrado, Circuito<br>Cerrado, Enfriamiento Aire-Aire   | Totally-Enclosed,<br>Closed Circuit, Air to<br>Air |
|                  | TCDVAAi,<br>TEDC-A/A  | Totalmente Cerrado, Doble<br>Ventilación, Aire-Aire   | Totally-Enclosed,<br>Dual Cooled, Air to<br>Air    |

|                       |  |   |
|-----------------------|--|---|
| TCDVAA,<br>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,<br>TEWAC       | Totalmente Cerrado, Enfriamiento Aire-Agua                                 | Totally-Enclosed, Water/Air Cooled                      |
| TC, TCPE,<br>TEXP, XP | Totalmente cerrado a prueba de explosión.                                  | Totally-Enclosed, Explosion-Proof                       |
| TCEAAi,<br>TEAAC      | Totalmente cerrado con enfriamiento aire-aire.                             | Totally Enclosed Air to Air Cooled                      |
| TCPE, TEEP            | Totalmente cerrado a prueba de explosión.                                  | TotallyEnclosedExpl osionProof                          |
| TCPGI, TEIGF          | Totalmente cerrado, presurizado con gas inerte.                            | Totally Enclosed Inert Gas Filled                       |
| TCDV-IP,<br>TEPV-IP   | Totalmente cerrado con ductos de ventilación e internamente presurizados.  | Totally Enclosed Pipe Ventilation Internally presurized |
| TCEAAg,<br>TEWC       | Totalmente cerrado con enfriamiento agua-aire.                             | TotallyEnclosedWat erCooled                             |
| TCEAA-IP,<br>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     | 55                              |
|  | 22:00 a 6:00     | 50                              |
| Industriales y comerciales                           | 6:00 a 22:00     | 68                              |
|  | 22:00 a 6:00     | 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.

## 8. Método de cálculo

### 8.1 Consideraciones generales

La determinación de las DPEA del sistema de alumbrado de un edificio no residencial nuevo, ampliación o modificación de alguno ya existente, de los tipos cubiertos por esta Norma Oficial Mexicana, deben ser calculados a partir de la carga total conectada de alumbrado y el área total por iluminar de acuerdo con la metodología indicada a continuación.

La expresión genérica para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) es:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

donde la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) está expresada en W/m<sup>2</sup>, la carga total conectada para alumbrado, que incluye la potencia total del sistema de alumbrado, está expresada en watts y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado.

**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 autobalastadas. 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 prueba. Eficiencia 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.

## Anexos

### Tablas de equivalencia

#### Longitud

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

#### Masa

|             | <b>kg</b> | <b>lb</b> |
|-------------|-----------|-----------|
| 1 kilogramo | 1         | 2.205     |
| 1 libra     | 0.4536    | 1         |

#### Fuerza

|                    | <b>dina</b>         | <b>N</b>  | <b>lbr</b>             | <b>kgf</b>             |
|--------------------|---------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| 1 dina             | 1                   | $10^{-5}$ | $2.248 \times 10^{-6}$ | $1.020 \times 10^{-6}$ |
| 1 newton           | $10^5$              | 1         | 0.2248                 | 0.1020                 |
| 1 libra fuerza     | $4.448 \times 10^5$ | 4.448     | 1                      | 0.4536                 |
| 1 kilogramo fuerza | $9.807 \times 10^5$ | 9.807     | 2.205                  | 1                      |

#### Presión

|                      | <b>atm</b>             | <b>mm Hg</b>           | <b>in Hg</b>          | <b>Pa</b>           | <b>kPa</b>         | <b>bar</b>             | <b>torr</b>          | <b>lb/in<sup>2</sup></b> |
|----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 atm                | 1                      | 760                    | 29.92                 | $1.013 \times 10^5$ | 101.325            | 1.013                  | 760                  | 14.7                     |
| 1 mm Hg              | $1.316 \times 10^{-3}$ | 1                      | 0.04                  | 133.3               | 0.13               | $1.333 \times 10^{-3}$ | 1                    | 0.02                     |
| 1 in Hg              | 0.033                  | 25.4                   | 1                     | 3386.4              | 3.38               | 0.034                  | 25.4                 | 0.49                     |
| 1 Pa                 | $9.869 \times 10^{-6}$ | $7.501 \times 10^{-3}$ | $2.95 \times 10^{-4}$ | 1                   | $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-5}$     | $7.5 \times 10^{-3}$ | $1.45 \times 10^{-4}$    |
| 1 kPa                | $9.87 \times 10^{-3}$  | 7.5                    | 0.3                   | $1 \times 10^3$     | 1                  | 0.01                   | 7.5                  | 0.145                    |
| 1 bar                | 0.987                  | 750.062                | 29.53                 | $10^5$              | 100                | 1                      | 750                  | 14.5                     |
| 1 torr               | $1.3 \times 10^3$      | 1                      | 0.04                  | 133.32              | 0.133              | $1.33 \times 10^{-3}$  | 1                    | 0.02                     |
| 1 lb/in <sup>2</sup> | 0.068                  | 51.71                  | 2.04                  | 6894.8              | 6.894              | 0.07                   | 51.71                | 1                        |

#### Energía, trabajo, calor

|           | <b>Btu</b>             | <b>hp·h</b>            | <b>J</b>            | <b>cal</b>          | <b>kWh</b>             |
|-----------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| 1 Btu     | 1                      | $3.929 \times 10^{-4}$ | 1055                | 252                 | $2.930 \times 10^{-4}$ |
| 1 hp·h    | 2545                   | 1                      | $2.385 \times 10^6$ | $6.413 \times 10^5$ | 0.7457                 |
| 1 joule   | $9.481 \times 10^{-4}$ | $3.725 \times 10^{-7}$ | 1                   | 0.2389              | $2.778 \times 10^{-7}$ |
| 1 caloría | $3.969 \times 10^{-3}$ | $1.560 \times 10^{-6}$ | 4.186               | 1                   | $1.163 \times 10^{-6}$ |
| 1 kWh     | 3413                   | 1.341                  | $3.600 \times 10^6$ | $8.600 \times 10^5$ | 1                      |

#### Volumen

|                   | <b>m<sup>3</sup></b>  | <b>L</b>              | <b>ft<sup>3</sup></b> | <b>gal</b>           | <b>onza</b> |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| 1 m <sup>3</sup>  | 1                     | 1000                  | 35.31                 | 264.17               | 33814       |
| 1 L               | $1 \times 10^{-3}$    | 1                     | 0.04                  | 0.264                | 33.81       |
| 1 ft <sup>3</sup> | 0.03                  | 28.3                  | 1                     | 7.48                 | 957.5       |
| 1 galón           | $3.79 \times 10^{-3}$ | 3.79                  | 0.134                 | 1                    | 128         |
| 1 onza            | $2.96 \times 10^{-5}$ | $2.96 \times 10^{-2}$ | $1 \times 10^{-3}$    | $7.8 \times 10^{-3}$ | 1           |

Viscosidad

|               | <b>cP</b>       | <b>P</b>  | <b>Pa.s</b> |
|---------------|-----------------|-----------|-------------|
| 1 centi Poise | 1               | $10^{-2}$ | $10^{-3}$   |
| 1 Poise       | 100             | 1         | 0.1         |
| 1 Pa.S        | $1 \times 10^3$ | 10        | 1           |

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        |         |         | $Q=I \cdot t$  |
| d.d.p. o tensión                          | U      | Volt    | V        |         |         | $V=R \cdot I$  |
| Resistencia                               | R      | Ohm     | $\Omega$ |         |         | $R=V/I$  |
| Capacidad                                 | C      | Farad   | F        |         |         | $C=Q/V$  |
| Campo eléctrico y gradiente de potencia   | E      | V/m     | --       |         |         | $E=F/Q$  |
| Desplazamiento o inducción electrostática | D      | $Q/m^2$ | --       |         |         | $D=\epsilon \cdot E$   |
| Inducción magnética                       | B      | Tesla   | $W/m^2$  | Gauss   | Gs      | $\beta=1.25 \cdot N \cdot I \cdot \mu/L$<br>(Gs)                                 |
| Campo magnético                           | H      | A/m     | --       | Oersted | Oe      | $H=1.25 \cdot N \cdot I/L$ (Oe)  |
| Permeabilidad                             | $\mu$  | --      | --       |         |         | $\mu=\beta/H$  |
| Flujo magnético                           | $\Phi$ | Weber   | Wb       | Maxwell | Mx      | $\Phi=1.25 \cdot N \cdot I \cdot \mu \cdot S/L$<br>(mx)                          |
| Fuerza magnetomotriz                      |        | Ampere  | At, A    | Gisbert | Gb      | $\epsilon=1.25 \cdot N \cdot I$  |
| Inductancia                               | L      | Henry   | H        |         |         | $L=N \cdot \phi/10^8 \cdot I$  |
| Reluctancia                               | R      | At/Wb   |          |         |         | $R=I/S \cdot \mu$  |
| Intensidad luminosa                       | I      | Candela | Cd       |         |         | $I=\phi/\omega$  |
| Flujo luminoso                            | $\Phi$ | Lumen   | lm       |         |         | $\Phi=Q/t$   |
| Cantidad de luz                           | Q      | lm/s    | --       |         |         | --   |
| Iluminación                               | E      | Lux     | lx       |         |         | $E=\phi/S$   |
| Brillo                                    |        | Stilb   | sb       |         |         | $S_b=1 \text{ cd}/1 \text{ cm}^2$<br>$1 \text{ nit}= 1 \text{ cd}/1 \text{ m}^2$ |

**Resistividad  $\rho$  y conductividad  $\gamma$  de conductores (a 20 °C)**

| Material       | $\rho$<br>$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ | $\gamma = \frac{1}{\rho}$ | Material      | $\rho$<br>$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ | $\gamma = \frac{1}{\rho}$ |
|----------------|---|---------------------------|---------------|---|---------------------------|
| 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          | $10^{15}$         |

**Coefficiente 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  $\epsilon_r$**

| Material aislante                   | $\epsilon_r$ | Material aislante    | $\epsilon_r$ | Material aislante     | $\epsilon_r$ |
|-------------------------------------|--------------|----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| Aceite de oliva                     | 3            | Caucho (hule) duro   | 4            | Papel Kraft           | 4.5          |
| Aceite de parafina                  | 2.2          | Caucho (hule) suave  | 2.5          | Papel pescado         | 4            |
| Aceite de ricino                    | 4.7          | Compuesto (compound) | 2.5          | Parafina              | 2.2          |
| Aceite mineral para transformadores | 2.2          | Cuarzo               | 4.5          | Petróleo              | 2.2          |
| Aceite vegetal para transformadores | 2.5          | Ebonita              | 2.5          | Pizarra               | 4            |
| Agua                                | 80           | Esteatita            | 6            | Plexiglás             | 3.2          |
| Aire                                | 1            | Fibra vulcanizada    | 2.5          | Poliamida             | 5            |
| Aislamiento para cable alta tensión | 4.2          | Gutapercha           | 4            | Poliestireno          | 3            |
| Aislamiento para cable telefónico   | 1.5          | Laca (Shellac)       | 3.5          | Porcelana             | 4.4          |
| Araldita                            | 3.6          | Mármol               | 8            | Resina fenólica       | 8            |
| Baquelita                           | 3.6          | Mica                 | 6            | Teflón                | 2            |
| Cartón comprimido                   | 4            | Micanita             | 5            | Tela                  | 4            |
|                                     |              | Papel                | 2.3          | Trementina (aguarrás) | 2.2          |
|                                     |              | Papel impregnado     | 5            | Vidrio                | 5            |

**Serie de potenciales electroquímicos**  
**Diferencia de potencial referida a electrodo de hidrógeno**

| Material | Volts | Material  | Volts | Material  | Volts |
|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| Aluminio | -1.66 | Hidrógeno | 0.00  | Platino   | +1.20 |
| Berilio  | -1.85 | Hierro    | -0.41 | Plomo     | -0.13 |
| Cadmio   | -0.40 | Magnesio  | -2.37 | Potasio   | -2.93 |
| Calcio   | -2.87 | Manganeso | -1.19 | Sodio     | -2.71 |
| Cobalto  | -0.28 | Mercurio  | +0.85 | Tungsteno | -0.58 |
| Cobre    | +0.34 | Níquel    | -0.23 | Zinc      | -0.76 |
| Cromo    | -0.74 | Oro       | +1.50 |           |       |
| Estaño   | -0.14 | Plata     | +0.80 |           |       |

**Números estandarizados mediante una razón progresiva**

| Serie E 6 ( $\approx \sqrt[6]{10}$ ) |      |     | Serie E 12 ( $\approx \sqrt[12]{10}$ ) |      |     | Serie E 24 ( $\approx \sqrt[24]{10}$ ) |      |     |
|--------------------------------------|------|-----|--|------|-----|--|------|-----|
| 1.0                                  | 2.2  | 4.7 | 1.0                                    | 2.2  | 4.7 | 1.0                                    | 2.2  | 4.7 |
|                                      |      |     |  |      |     | 1.1                                    | 2.4  | 5.1 |
|                                      |      |     | 1.2                                    | 2.7  | 5.6 | 1.2                                    | 2.7  | 5.6 |
|                                      |      |     |  |      |     | 1.3                                    | 3.0  | 6.2 |
| 1.5                                  | 3.3  | 6.8 | 1.5                                    | 3.3  | 6.8 | 1.5                                    | 3.3  | 6.8 |
|                                      |      |     |  |      |     | 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"<br>$\rho_{Fe10} = 3.6 \frac{W}{kg}$ |         | Lámina de acero aleado<br>$\rho_{Fe10} = 1.3 \frac{W}{kg}$ |         |
|-------------------------------|-----------|----------------|---------|--|---------|--|---------|
| $B$                           |           | $H$            | $\mu_r$ | $H$  | $\mu_r$ | $H$  | $\mu_r$ |
| Tesla<br>( $T = Vs/m^2$ )     | 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 <sup>3</sup>       |               | 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         | 1.53               | 1.50    | 1.47   | 1.43        |
|                                    |               | Gauss         | 15 300             | 15 300  | 14 700 | 14 300      |
|                                    | $B_{50}$      | Tesla         | 1.63               | 1.60    | 1.57   | 1.55        |
|                                    |               | Gauss         | 16 300             | 16 000  | 15 700 | 15 500      |
| $B_{100}$                          | Tesla         | 1.73          | 1.71               | 1.69    | 1.65   |             |
|                                    | Gauss         | 17 300        | 17 100             | 16 900  | 16 500 |             |
| $B_{300}$                          | Tesla         | 1.98          | 1.95               | 1.93    | 1.85   |             |
|                                    | Gauss         | 19 800        | 19 500             | 19 300  | 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:  $5 \times 25 = 125$  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  $0 < t < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

| Sustancia                   | Puntos de           |                    |            |                               |                          |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|------------|-------------------------------|--------------------------|
|                             | Densidad<br>$\rho$  | Fusión<br>(soldf.) | Ebullición | Conductividad<br>térmica<br>k | Calor<br>específico<br>c |
|                             | kg/dm <sup>3</sup>  | °C                 | °C         | W/(mK) <sup>(1)</sup>         | kJ/(kgK) <sup>(2)</sup>  |
| Aceite de colza             | 0.91 <sup>(3)</sup> | -3.5               | 300        | 0.17                          | 1.97                     |
| Aceite de linaza            | 0.94 <sup>(3)</sup> | -20                | 316        | 0.15                          |                          |
| Aceite para calefacción     | 0.92 <sup>(3)</sup> | -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 <sup>(3)</sup> |                    | 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 <sup>(4)</sup> | -1.3               | 86         | 0.53                          | 2.72                     |
| Ácido sulfúrico             | 1.49 <sup>(5)</sup> | -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 <sup>(6)</sup>  | 0                  | 100        | 0.58                          | 4.183                    |
| Alcohol                     | 0.79                | -130               | 78.4       | 0.17-0.23                     | 2.42                     |
| Alcohol etílico 95 %        | 0.82 <sup>(3)</sup> | -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, A.C.**

Dr. Rafael Peña Gallardo  
**Universidad Autónoma  
de San Luis Potosí**

Mtro. Joel Azpeitia Luevano  
**Instituto Tecnológico de Aguascalientes**

Dr. Manuel Reta Hernández  
**Universidad Autónoma  
de Zacatecas**

Mtra. Teresa Ramírez Hernández  
**Instituto Tecnológico de Mérida**

Dr. Osvaldo Rodríguez Villalón  
**Universidad de Guanajuato**

Dr. Rubén Andrés Reyes Zamora  
**Universidad Autónoma de Baja California**

Dr. Antonio Ramos Paz  
**Universidad Michoacana  
de San Nicolás de Hidalgo**

Mtro. Abel Eduardo Quezada Carreón  
**Universidad Autónoma de Ciudad Juárez**

Dr. Jesús Antonio Camarillo Montero  
**Universidad Veracruzana**

Este Formulario es un instrumento de apoyo para quienes sustentarán el Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Ingeniería Eléctrica (EGEL 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. 5107

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

[noemi.navarrete@ceneval.edu.mx](mailto:noemi.navarrete@ceneval.edu.mx)

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

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

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

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

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

Autoridades educativas gubernamentales: Secretaría de Educación Pública.

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

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



CENEVAL®

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



@SomosCeneval