

INSTALACIONES ELECTRICAS

CONTENIDO

1 Aspectos Legales y Normas Vigentes	4
1.1 Norma Oficial Mexicana, relativa a las instalaciones eléctricas.....	4
1.1.1 Conceptos y clasificación sobre instalaciones eléctricas.	5
1.1.2 Interpretación de la Norma Oficial Mexicana.	7
1.2 Leyes Vigentes Aplicables.....	7
1.2.1 Ley del Servicio Público de Energía y su reglamento.	8
1.2.2 Ley Federal sobre Metrología y Normalización.....	8
1.2.3 Acuerdo que establece los requisitos que deben cumplir los proyectos de instalaciones para el uso de la energía eléctrica.....	9
1.3 La figura de la U.V.I.E.	9
1.4 Unidades de medida a utilizar por Ley.....	9
1.5 Simbología eléctrica normalizada.	11
1.5.1 Americana.	11
1.5.2 Europea.	12
1.6 Costo de la energía eléctrica.	13
1.6.1 Tarifas vigentes.	13
2 Conductores Eléctricos y sus Protecciones	19
2.1 Conductores.	19
2.1.1 Niveles de voltaje.	20
2.1.2 Clasificación de los conductores y sus aislamientos.	22
2.1.3 Cálculo de calibres y sus aplicaciones.	25
2.1.3.1 Por corriente.	27
2.1.3.2 Por caída de tensión.	28
2.1.3.3 Por cortocircuito.....	29
2.2 Cálculo y selección de instalaciones y protecciones.	33
2.2.1 Conocimiento y selección accesorios de equipos de baja tensión.	34
2.2.1.1 Canalizaciones, tuberías.	34
2.2.1.2 Dispositivos de sujeción para cables y electro ductos.	44
2.2.1.3 Tableros de distribución y centros de carga.	47

2.2.2 Selección y cálculo de dispositivos de protección, por sobrecarga y cortocircuito para motores.	48
2.3 Consideraciones de planeación.....	61
2.3.1 Sistemas de distribución.	63
2.3.2 Instalación baja tensión.	65
2.3.3 Acometidas.....	67
2.3.4 Cálculo de carga y capacidad del transformador.	70
2.4 Distancias mínimas en espacios de trabajo según normas.....	73
3 Cálculo de corto-circuito	77
3.1 Introducción a los dispositivos de protección.....	78
3.1.1 Dispositivos de protección.	78
3.1.2 Comparación entre fusibles e interruptores termo-magnéticos.	79
3.2 Cálculo de la corriente de cortocircuito en baja tensión en los puntos críticos de la instalación.	85
3.2.1 Selección de dispositivos de protección de en base a su capacidad interruptiva.	87
3.2.2 Coordinación de protecciones.	90
4 Sistemas de tierra.....	99
4.1 Sistemas de tierra.....	99
4.1.1 Importancia de un sistema de tierras.	100
4.1.2 Elementos de un sistema de tierras.....	102
4.2 Puesta a tierra de equipos según normas.....	103
4.2.1 Tierra física.	105
4.2.2 Equipos de potencia.....	107
4.2.3 Equipos electrónicos.	107
4.2.4 Electrodo de tierra.....	109
5 Proyectos de alumbrado	111
5.1 Introducción a la iluminación.....	111
5.1.1 Definición de términos de unidades de medición de los parámetros de iluminación... ..	112
5.1.2 Fundamentos de lámparas.....	114
5.1.2.1 Incandescentes.....	115
5.1.2.2 De descarga.	119
5.1.2.3 De última tecnología.	125

5.1.3 Fundamentos de luminarias.....	125
5.2 Introducción al diseño de alumbrado.	126
5.2.1 Niveles de iluminación.	130
5.2.2 Sistemas de alumbrado.	130
5.2.3 Introducción al método de Lúmenes.	136
5.2.4 Introducción al método punto por punto.	140
5.3 Ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.....	144
Fuentes de Información	156

1 Aspectos Legales y Normas Vigentes

Las instalaciones eléctricas deben cumplir con una serie de normas y reglamentos que se ajustan a la evolución tecnológica de los materiales y técnicas de fabricación. La normalización persigue fundamentalmente tres objetivos:

Simplificación: se trata de reducir los modelos para quedarse únicamente con los más necesarios.

Unificación: para permitir el intercambio a nivel internacional.

Especificación: se persigue evitar errores de identificación creando un lenguaje claro y preciso.

A nivel internacional, las normas que indican los lineamientos y especificaciones que han de cumplir las instalaciones eléctricas son las de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC por sus siglas en inglés, *International Electrotechnical Commission*), la cual es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Las normas IEC indican asimismo las especificaciones que han de cumplir los productos eléctricos. A nivel nacional, se justifica la creación de las normas mexicanas y las normas oficiales mexicanas debido a aspectos como las diferencias en las designaciones de áreas de sección transversal de los conductores y las características constructivas generales de estos, asimismo de diferencias debidas a la infraestructura tecnológica y a la regulación técnica en materia de instalaciones eléctricas del país. Las normas mexicanas dan cabal cumplimiento a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica y a su Reglamento.

La norma aplicable para las instalaciones eléctricas (utilización) es la NOM 001 SEDE-2012. Dicha norma establece las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de energía eléctrica, con la finalidad de que se garanticen las condiciones apropiadas de seguridad para los usuarios y sus bienes. La Secretaría de Energía, a través de la Dirección General de Distribución y Abastecimiento de Recursos Nucleares, expide y publica esta norma, dando a los proyectos su aprobación si cumplen con los requisitos técnicos y de seguridad. La NOM 001 SEDE-2012 cubre instalaciones eléctricas con tensiones nominales no mayores a 600 [V] de corriente alterna o 1500 [V] de corriente continua, además de algunas aplicaciones especificadas arriba de 600 [V] de corriente alterna o 1500 [V] de corriente directa.

1.1 Norma Oficial Mexicana, relativa a las instalaciones eléctricas.

En México el reglamento que está vigente es la Norma NOM-001-SEDE-2012, que establece las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas al uso de la energía eléctrica, con el objetivo de ofrecer condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra: las descargas eléctricas, los efectos térmicos, las sobre corrientes, las corrientes de falla y las sobretensiones.

Se estructura la norma en ocho títulos que incluyen concordancia entre las normas internacionales y las mexicanas. Es adecuada en función de las especificaciones técnicas de la Comisión Federal de Electricidad. Se enfoca en los aspectos fundamentales de seguridad, en concordancia con la norma Internacional IEC 60364-1.

Se aplica en la República Mexicana en propiedades residenciales, comerciales industriales e institucionales. Se aplica también a subestaciones, líneas aéreas (tanto eléctricas como de comunicaciones), instalaciones subterráneas, casas móviles, vehículos de recreo, construcciones flotantes, ferias, circos, estacionamientos, talleres de servicio automotor, teatros, salas de estudios cinematográficos, hangares de aviación, clínicas y hospitales, entre otros. Especifica los requerimientos mínimos de cumplimiento obligatorio, lo que deriva en la prevención de riesgos y construcciones u operaciones defectuosas.

No es aplicable esta norma a instalaciones ni aparatos especiales de barcos y embarcaciones, locomotoras, carros de ferrocarril, vehículos automotores, aeronaves y en general a equipos de tracción y transporte.

Los ocho títulos son los siguientes:

TITULO 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

TITULO 2. REFERENCIAS

TITULO 3. LINEAMIENTOS PARA LA APLICACION DE LAS ESPECIFICACIONES EN LAS INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION)

TITULO 4. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

(Protección para la seguridad, Diseño, Selección del equipo eléctrico, Construcción, prueba inicial y verificación de las instalaciones eléctricas, y Compatibilidad)

TITULO 5. ESPECIFICACIONES

CAPITULO 1 Disposiciones Generales

CAPITULO 2 Alambrado y Protección

CAPITULO 3 Métodos de Alambrado y Materiales

CAPITULO 4 Equipo de Uso General

CAPITULO 5 Ambientes Especiales

CAPITULO 6 Equipos Especiales

CAPITULO 8 Sistemas de Comunicación

CAPITULO 9 Instalaciones destinadas al Servicio Público

CAPITULO 10 Tablas

TITULO 6. VIGILANCIA

TITULO 7. BIBLIOGRAFIA

TITULO 8. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES Y NORMAS MEXICANAS

Los títulos más representativos de la norma son el 3, 4 y 5, que describen la esencia y constan de: El Título 3 “Lineamientos para la aplicación de las especificaciones en las instalaciones eléctricas (utilización)”, establece la metodología para la apropiada aplicación de las disposiciones y una guía general para su interpretación correcta.

El Título 4 de esta NOM establece los “principios fundamentales”, los cuales no están sujetos a modificaciones en función de desarrollos tecnológicos.

El Título 5 “Especificaciones”, contiene los requisitos técnicos cuya observancia tienen por objeto asegurar la conformidad de las instalaciones eléctricas a los principios fundamentales del Título 4 de esta NOM.

1.1.1 Conceptos y clasificación sobre instalaciones eléctricas.

Definición de instalación eléctrica.

Se entiende por instalación eléctrica al conjunto integrado por canalizaciones, estructuras, conductores, accesorios y dispositivos que permiten el suministro de energía eléctrica desde las centrales generadoras hasta el centro de consumo, para alimentar a las máquinas y aparatos que la demanden para su funcionamiento.

Las instalaciones eléctricas pueden clasificarse tomando como base varios criterios.

Si se consideran las etapas de generación, transformación, transmisión y distribución tendríamos que hablar de las centrales eléctricas, de los transformadores elevadores, de las líneas de transmisión, de las subestaciones reductoras y de las redes de distribución.

Si clasificamos a las instalaciones eléctricas en función de sus voltajes de operación, necesariamente habría que mencionarse: alta tensión, mediana tensión y baja tensión.

En el ámbito de la sociedad se clasifican a las instalaciones eléctricas como residenciales, comerciales e industriales según el concepto donde se utilizan.

Existen 7 diferentes tipos de instalaciones eléctricas, las cuales obedecen principalmente al tipo de construcción que se realiza, al material que se utiliza en ellas, las condiciones ambientales en que se encuentra entre otros aspectos más.

Los diferentes tipos que son:

1. Totalmente visibles.
2. Visibles entubadas.
3. Temporales.
4. Provisionales.
5. Parcialmente ocultas.
6. Ocultas.
7. A prueba de explosión.

1.- Totalmente visibles:

El nombre de este tipo lo dice todo, todas sus partes componentes se encuentran a la vista y sin protección en contra de esfuerzos mecánicos y en contra del medio ambiente.

2.- Visibles entubadas:

La razón por la cual reciben este nombre, es debido a que por las estructuras de las construcciones y el material de los muros, es imposible ahogarlas, no así protegerlas contra esfuerzos mecánicos y contra el medio ambiente, con tuberías, cajas de conexión y dispositivos de unión, control y protección recomendables a cada caso particular.

3.- Temporales:

Este tipo de instalación, se realiza para el aprovechamiento de la energía eléctrica por temporadas o periodos cortos de tiempo, tales son los casos de ferias, juegos mecánicos, exposiciones, etc.

4.- Provisionales:

En realidad este tipo de instalaciones caen dentro del tipo anterior, excepto en casos en que se realizan en instalaciones definitivas en operación para hacer reparaciones o eliminar fallas principalmente en aquellas en las cuales no se puede prescindir del servicio aun en un solo equipo motor o local.

5.- Parcialmente ocultas:

Este tipo de instalaciones se encuentran en construcciones grandes, en las que parte del entubado esta por pisos y muros y la restante por armaduras; también es muy común observarlas en edificios comerciales y de oficinas que tienen plafón falso. La parte oculta en muros y columnas generalmente, y la parte superpuesta pero entubada en su totalidad es la que va entre las losas y el plafón falso para de ahí mediante cajas de conexión localizadas de antemano, se hagan las tomas necesarias.

6.- Totalmente ocultas:

Este tipo de instalaciones se considera de mejor acabado, pues en ellas se busca tanto la mejor solución técnica así como el mejor aspecto estético posible, el que una vez terminada la instalación eléctrica, se complementa con la calidad de los dispositivos de control y protección que quedan solo con el frente al exterior de los muros.

7.- A prueba de explosión:

Se realizan principalmente en fábricas y laboratorios en donde se tienen ambientes corrosivos, polvos o gases explosivos, materias fácilmente inflamables, etc. En estas instalaciones tanto las canalizaciones, como las partes de unión y las cajas de conexión quedan herméticamente cerradas para así, en caso de producirse un cortocircuito, la flama o chispa no salga al exterior, lo que viene a dar la seguridad de que jamás llegara a producirse una explosión por fallas en las instalaciones eléctricas.

1.1.2 Interpretación de la Norma Oficial Mexicana.

Para establecer los criterios para el diseño de las instalaciones eléctricas en los inmuebles manteniendo un alto nivel de servicio y seguridad en el suministro y utilización de la energía eléctrica demandada por los usuarios.

La parte medular de las instalaciones eléctricas es el proyecto eléctrico donde se pueden prever problemas de construcción y mantenimiento y en el que para su desarrollo se requiere de personal especializado con conocimientos amplios de códigos, normas, leyes, reglamentos, etc., así como de una amplia experiencia en la especificación de los equipos y materiales a emplear.

Los ordenamientos de estas Disposiciones son de aplicación obligatoria en el diseño de las instalaciones eléctricas, tanto para inmuebles nuevos como para ampliaciones, remodelaciones y rehabilitación de instalaciones existentes.

En México, el diseño de las instalaciones eléctricas se realiza bajo las disposiciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 relativa al uso y utilización de la energía eléctrica, y en ese sentido las Disposiciones en Materia de Instalaciones Eléctricas acatan las disposiciones de la referida NOM, así como criterios básicos de ingeniería para tener instalaciones eléctricas seguras, flexibles y económicas.

En los siguientes capítulos se describirá ampliamente la aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 relativa al uso y utilización de la energía eléctrica, por ejemplo para la instalación de Alumbrado se consideran los artículos:

- Ubicación de las luminarias (410 B)
- Soportes de las luminarias (410 D)
- Puesta a tierra (410 E)
- Alumbrado de luminarias (410 F)
- Construcción de las luminarias (410 G).
- Instalación de los portalámparas (410 H)
- Lámparas y equipo auxiliar (410 I)
- Disposiciones especiales para luminarias empotradas y a nivel con la superficie (410 J)
- Construcción de luminarias empotradas y montadas a nivel de superficie (410 K)
- Disposiciones especiales para sistemas de alumbrado de descarga eléctrica de 1000 Volts o menos (410 L)
- Disposiciones especiales para los sistemas de alumbrado de descarga eléctrica de más de 1000 Volts (410 M)
- Rieles de iluminación (410 N)
- Instalación de alumbrado en subestaciones (924-5)
- Circuitos derivados (210)

1.2 Leyes Vigentes Aplicables.

Para la correcta elaboración de los Proyectos de las Instalaciones Eléctricas de diferentes Inmuebles, es necesario consultar las siguientes Normas, leyes y reglamentos:

- ✓ NOM-001-SEDE-2012 Norma Oficial Mexicana Instalaciones Eléctricas Utilización.
- ✓ NOM-002-SEDE/ENER-2014 Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.
- ✓ NOM-007-ENER-2014 Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales.
- ✓ NOM-013-ENER-2013 Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Vialidades.
- ✓ NOM-014-ENER-2004 Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 KW a 1,500 KW Límites, método de prueba y marcado.
- ✓ NOM-016-ENER-2010 Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 KW Límites, método de prueba y marcado.
- ✓ NOM-030-ENER-2012 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (leds) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba

- ✓ NOM-031-ENER-2012 Eficiencia energética para luminarias con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba
- ✓ NOM-002-STPS-2010 Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
- ✓ NOM-022-STPS-2008 Electricidad estática en los centros de trabajo - Condiciones de seguridad.
- ✓ NOM-029-STPS-2011 Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.
- ✓ NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida.
- ✓ NMX-J-198-ANCE-2005 Iluminación - Balastros para Lámparas Fluorescentes - Métodos de Prueba
- ✓ NMX-J-294-ANCE-2008 Conductores – Resistencia de Aislamiento - Método de Prueba
- ✓ NMX-J-549-ANCE-2005 Sistema de protección contra tormentas eléctricas - especificaciones, materiales y métodos de medición.
- ✓ NMX-CC-9000-IMNC-2008 Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario.
- ✓ NMX-CC-9001-IMNC-2008 Sistemas de Gestión de Calidad – Requisitos.
- ✓ Ley de la Industria Eléctrica.
- ✓ Ley Federal Sobre Metrología y Normalización

1.2.1 Ley del Servicio Público de Energía y su reglamento.

La ley del servicio público de energía es un documento que decreta que corresponde exclusivamente a la Nación, generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público, en los términos del Artículo 27 Constitucional. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará, a través de la Comisión Federal de Electricidad, los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines. La ley del servicio público consta de 9 capítulos, en ellos se encuentran un total de 46 artículos, que describen las condiciones y sanciones de la ley del servicio público de energía.

1.2.2 Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Esta Ley tiene por objeto:

I. En materia de Metrología:

Establecer el Sistema General de Unidades de Medida; Precisar los conceptos fundamentales sobre metrología; Establecer los requisitos para la fabricación, importación, reparación, venta, verificación y uso de los instrumentos para medir y los patrones de medida; Establecer la obligatoriedad de la medición en transacciones comerciales y de indicar el contenido neto en los productos envasados; Instituir el Sistema Nacional de Calibración; Crear el Centro Nacional de Metrología, como organismo de alto nivel técnico en la materia; y Regular, en lo general, las demás materias relativas a la metrología.

II. En materia de normalización, certificación, acreditación y verificación:

Fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas; Instituir la Comisión Nacional de Normalización para que coadyuve en las actividades que sobre normalización corresponde realizar a las distintas dependencias de la administración pública federal; Establecer un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal; Promover la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas; Coordinar las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de administración pública federal; Establecer el sistema nacional de acreditación de organismos de normalización y de certificación, unidades de verificación y de laboratorios de prueba y de calibración; y En general, divulgar las acciones de normalización y demás actividades relacionadas con la materia.

1.2.3 Acuerdo que establece los requisitos que deben cumplir los proyectos de instalaciones para el uso de la energía eléctrica.

Este acuerdo dejó de estar en vigor desde que la SECOFI dejó de atender la aprobación de los proyectos eléctricos y le fue asignada la tarea a las UVIEs, esto por designación directa de la Secretaría de Energía. Los requisitos que deben satisfacer las instalaciones eléctricas, ahora están manifestados en el PEC de la NOM-001-SEDE-2012.

1.3 La figura de la U.V.I.E.

Las unidades de verificación, son personas físicas o morales, que realizan actos de verificación, esto es, llevan a cabo actividades de evaluación de la conformidad a través de la constatación ocular o comprobación, mediante muestreo, medición, pruebas de laboratorio o examen de documentos en un momento o tiempo determinado, con la confianza de que los servicios que presta son conducidos con competencia técnica, imparcialidad y confidencialidad de acuerdo con las disposiciones de las normas vigentes.

1.4 Unidades de medida a utilizar por Ley.

La NOM-008-SCFI-2002 hace referencia al sistema general de unidades de medida a utilizar en México, las cuales se mencionan a continuación.

Unidad de **longitud**. El **metro** es la longitud de trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de $1/299\,792\,458$ de segundo.

Unidad de **masa**. El **kilogramo** (kg) es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.

Unidad de **tiempo**. El **segundo** (s) es la duración de $9,192\,631,770$ periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

Unidad de **intensidad de corriente eléctrica**. El **ampere** (A) es la intensidad de una corriente constante que manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro uno de otro en el vacío, produciría una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud.

Unidad de **temperatura termodinámica**. El **kelvin** (K), unidad de temperatura termodinámica, es la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

Observación: Además de la temperatura termodinámica (símbolo T) expresada en kelvin, se utiliza también la temperatura Celsius (símbolo t) definida por la ecuación $t = T - T_0$ donde $T_0 = 273,15$ K por definición.

Unidad de **cantidad de sustancia**. El **mol** (mol) es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0.012 kilogramos de carbono 12.

Cuando se emplee el mol, deben especificarse las unidades elementales, que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas o grupos especificados de tales partículas.

Unidad de **intensidad luminosa**. La **candela** (cd) es la unidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hertz y cuya intensidad energética en dicha dirección es $1/683$ watt por estereorradián.

La tabla 1.1 se resumen las unidades mencionadas, indicando la magnitud, el nombre y el símbolo que se usa para su identificación, y que sirven para como base para la formulación de otras unidades, como lo muestra la tabla 1.2

Tabla 1.1 Unidades básicas

Nombre	Magnitud	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	Ampere	A
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	Mol	mol
Intensidad luminosa	Candela	cd

Tabla 1.2 Unidades SI derivadas con nombres y símbolos especiales.

Magnitud	Nombre	Símbolo	Unidades SI	Unidades SI básicas
Frecuencia	Hertz	Hz		s^{-1}
Fuerza	Newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Presión	Pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energía, trabajo, cantidad de calor	Joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potencia	Watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Cantidad de electricidad carga eléctrica	Coulomb	C		$s \cdot A$
Potencial eléctrico fuerza electromotriz	Volt	V	$W \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Capacidad eléctrica	Farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Flujo magnético	Weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Inducción magnética	Tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Inductancia	Henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

Unidad de **frecuencia**. Un **Hertz** (Hz) es la frecuencia de un fenómeno periódico cuyo periodo es 1 segundo.

Unidad de **fuerza**. Un **newton** (N) es la fuerza que, aplicada a un cuerpo que tiene una masa de 1 kilogramo, le comunica una aceleración de 1 metro por segundo cuadrado.

Unidad de **presión**. Un pascal (Pa) es la presión uniforme que, actuando sobre una superficie plana de 1 metro cuadrado, ejerce perpendicularmente a esta superficie una fuerza total de 1 newton.

Unidad de **energía**, trabajo, cantidad de calor. Un joule (J) es el trabajo producido por una fuerza de 1 newton, cuyo punto de aplicación se desplaza 1 metro en la dirección de la fuerza.

Unidad de **potencia**, flujo radiante. Un watt (W) es la potencia que da lugar a una producción de energía igual a 1 joule por segundo.

Unidad de cantidad de electricidad, **carga eléctrica**. Un coulomb (C) es la cantidad de electricidad transportada en 1 segundo por una corriente de intensidad 1 ampere.

Unidad de **potencial eléctrico**, fuerza electromotriz. Un volt (V) es la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos de un hilo conductor que transporta una corriente de intensidad constante de 1 ampere cuando la potencia disipada entre estos puntos es igual a 1 watt.

Unidad de **resistencia eléctrica**. Un ohm (Ω) es la resistencia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante de 1 volt aplicada entre estos dos puntos produce, en dicho conductor, una corriente de intensidad 1 ampere, cuando no haya fuerza electromotriz en el conductor.

Unidad de **capacidad eléctrica**. Un farad (F) es la capacidad de un condensador eléctrico que entre sus armaduras aparece una diferencia de potencial eléctrico de 1 volt, cuando está cargado con una cantidad de electricidad igual a 1 coulomb.

Unidad de **flujo magnético**. Un weber (Wb) es el flujo magnético que, al atravesar un circuito de una sola espira produce en la misma una fuerza electromotriz de 1 volt si se anula dicho flujo en un segundo por decaimiento uniforme.

Unidad de **inducción magnética**. Una tesla (T) es la inducción magnética uniforme que, repartida normalmente sobre una superficie de 1 metro cuadrado, produce a través de esta superficie un flujo magnético total de 1 weber.

Unidad de **inductancia**. Un Henry (H) es la inductancia eléctrica de un circuito cerrado en el que se produce una fuerza electromotriz de 1 volt, cuando la corriente eléctrica que recorre el circuito varía uniformemente a razón de un ampere por segundo.

En el uso e interpretación de unidades es muy práctico y común el expresarlas con la ayuda de múltiplos y submúltiplos para cuando se trata de unidades muy grandes o con muchos decimales, esto se logra con un numero base multiplicado por un factor a al nombre se le agrega un prefijo, los cuales son mostrados en la tabla 1.3

Tabla 1.3 Múltiplos y submúltiplos decimales.

Factor	Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo
10^{24}	Yotta	Y	10^{-1}	Deci	D
10^{21}	Zeta	Z	10^{-2}	Centi	C
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Mili	M
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Micro	M
10^{12}	Tera	T	10^{-9}	Nano	N
10^9	Giga	G	10^{-12}	Pico	P
10^6	Mega	M	10^{-15}	Femto	F
10^3	Kilo	K	10^{-18}	Atto	A
10^2	Hecto	H	10^{-21}	Zepto	Z
10^1	Deca	Da	10^{-24}	Yocto	Y

1.5 Simbología eléctrica normalizada.

En realidad la gran mayoría de símbolos utilizados en instalaciones eléctricas residenciales y comerciales no están estandarizados, por esa razón a veces encontramos diferencias entre planos eléctricos. La **Norma Oficial Mexicana** -vigente desde 1970- referente a la simbología utilizada en instalaciones eléctricas es la **NOM-J-136-1970**, la cual puedes bajar de la siguiente dirección. <http://www.economia-nmx.gob.mx>.

1.5.1 Americana.

En la actualidad son ampliamente reconocidos y utilizados dos tipos de simbología dependiendo bajo que normas internacionales se trabaje, la tabla 1.4 que se muestra a continuación, contiene las principales simbologías usadas en el sistema americano.

1.5.2 Europea.

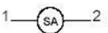
En la actualidad son ampliamente reconocidos y utilizados dos tipos de simbología dependiendo bajo que normas internacionales se trabaje, la tabla 1.4 que se muestra a continuación, contiene las principales simbologías usadas en el sistema europeo.

Tabla 1.4 Simbología europea y americana.

	Símbolo Americano	Símbolo Europeo
Interruptor NA		
Interruptor NC		
Interruptor de posición mecánica NA		
Interruptor de posición mecánica NC		
Interruptor de presión NA		
Interruptor de presión NC		
Interruptor térmico NA		
Interruptor térmico NC		
Interruptores de nivel NA		
Interruptor de nivel NC		

	Símbolo Americano	Símbolo Europeo
Resistencia		
Relé térmico de sobrecarga		
Contacto normalmente abierto		
Contacto normalmente cerrado		
Contacto temporizado a la desconexión NA		
Contacto temporizado a la desconexión NC		
Contacto temporizado a la conexión NA		
Contacto temporizado a la conexión NC		
Contacto temporizado a la desconexión y a la conexión NC		
Pulsador NA		
Pulsador NC		

Tabla 1.4 Simbología europea y americana. (Continuación)

	Símbolo Americano	Símbolo Europeo
Relé		
Relé enclavado		
Relé desenclavado		
Temporización a la desconexión		
Temporización a la conexión		
Solenoides		
Indicador luminoso		
Elemento de calefacción		
Motor monofásico		
Motor trifásico		

1.6 Costo de la energía eléctrica.

A continuación se te presenta la clasificación general de las tarifas eléctricas que tiene la Comisión Federal de Electricidad (CFE), esto es porque CFE, es la dependencia que proporciona el suministro de la energía entado el país.

Para mayor información acerca del costo de las tarifas y su respectivo campo de aplicación se recomienda visitar la siguiente dirección: <http://www.cfe.gob.mx> en la sección de conocer tu tarifa.

1.6.1 Tarifas vigentes.

La estructura actual de las tarifas de energía eléctrica se basa en los costos de suministro a los usuarios, por lo cual se han tomado en cuenta las diferencias regionales, estaciones del año, horarios de consumo, nivel de la tensión de suministro y demanda. La CFE ha dividido el territorio nacional por regiones, como se muestra en la figura 1.1.A continuación se detallan los municipios y estados de la República Mexicana que corresponden a cada zona.

1. REGION BAJA CALIFORNIA.

Todos los municipios del estado de Baja California. Municipios del estado de Sonora: San Luis Río Colorado.

2. REGION BAJA CALIFORNIA SUR.

Todos los municipios del estado de Baja California Sur.



Fig. 1.1 Territorio nacional dividido por regiones

3. REGION NOROESTE.

Todos los municipios del estado de SONORA, excepto San Luis Río Colorado. Todos los municipios del estado de SINALOA.

4. Región NORTE.

Todos los municipios de los estados de CHIHUAHUA Y DURANGO, y algunos de municipios del estado de ZACATECAS y del estado de COAHUILA.

5. REGION NORESTE.

Todos los municipios de los estados de NUEVO LEON y TAMAULIPAS. Todos los municipios del estado de COAHUILA excepto los comprendidos en la REGION NORTE, algunos municipios del estado de ZACATECAS y algunos municipios del estado de SAN LUIS POTOSI y algunos municipios del Estado de VERACRUZ.

6. REGION CENTRAL.

Todas las delegaciones de la CIUDAD DE MEXICO y algunos municipios del ESTADO DE MEXICO y algunos municipios del estado de MORELOS.

7. REGION SUR.

Todos los municipios de los estados de: NAYARIT, JALISCO, COLIMA, MICHOACAN, AGUASCALIENTES, GUANAJUATO, QUERETARO, HIDALGO, GUERRERO, TLAXCALA, PUEBLA, OAXACA, CHIAPAS, TABASCO. Todos los municipios de los estados de ZACATECAS, SAN LUIS POTOSI Y VERACRUZ no comprendidos en la REGION NORTE o en la REGION NORESTE. Todos los municipios de los estados de MEXICO y MORELOS no comprendidos en la REGION CENTRAL.

8. REGION PENINSULAR.

Todos los municipios de los estados de YUCATAN, CAMPECHE y QUINTANA ROO.

Para la aplicación e interpretación de las tarifas se considera que:

BAJA TENSIÓN es el servicio que se suministra en niveles de tensión menores o iguales a 1.0 kV.

MEDIA TENSIÓN es el servicio que se suministra en niveles de tensión mayores a 1.0 kV, pero menores o iguales a 35 kV.

ALTA TENSIÓN A NIVEL SUBTRANSMISIÓN es el servicio que se suministra a niveles de tensión mayores a 35 kV, pero menores a 220 kV.

ALTA TENSIÓN A NIVEL TRANSMISIÓN es el servicio que se suministra a niveles de tensión igual o mayores a 220 kV.

Actualmente en México existen 33 tarifas eléctricas, las cuales se pueden clasificar en:

Domésticas. 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F.

DAC (Domesticas de alto consumo).

Servicios públicos. 5, 5-A, 6.

Agrícolas. 9, 9M, 9-CU, 9-N.

Temporal. 7.

Acuícola. EA.

Tarifas generales:

En baja tensión. 2, 3.

En media tensión O-M, H-M, H-MC.

En alta tensión. HS, HS-L, HT, HT-L.

Servicio de respaldo. HM-R, HM-RF, HM-RM, HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RH.

Servicio interrumpible. I-15, I-30.

Domésticas

1 Servicio doméstico.

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso.

Tarifa DAC. Servicio doméstico de alto consumo.

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico. Se considera de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para la localidad.

El consumo mensual promedio se determinará con el promedio móvil del consumo registrado por el usuario en los últimos 12 meses. El límite de alto consumo se define en función de la tarifa doméstica: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F; que se aplique en la localidad.

Tarifa límite

1 250 KWh/mes.

1A 300 KWh/mes (Tepic). Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados centígrados.

1B 400 KWh/mes. Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 29 grados centígrados.

1C 850 KWh/mes (Monterrey, Tapachula). Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 30 grados centígrados.

1D 1,000 KW/mes. Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 31 grados centígrados.

1E 2,000 KWh/mes. Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 32 grados centígrados.

1F 2,500 KWh/mes (Mexicali).

Baja tensión

2 Servicio general hasta 25 KW de demanda.

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda hasta de 25 kilowatts, excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa.

3 Servicio general para más de 25 KW de demanda.

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda de más de 25 kilowatts, excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa.

Servicios públicos

Esta tarifa sólo se aplica al suministro de energía eléctrica para el servicio de semáforos, alumbrado y alumbrado ornamental por temporadas de calles, plazas, parques y jardines públicos.

5 Servicio para alumbrado público en las zonas conurbadas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara.

5A Servicio para alumbrado público en el resto del país (excluyendo la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y zonas con urbanas).

6 Servicio para bombeo de aguas potables o negras, de servicio público.

Esta tarifa se aplicará al suministro de energía eléctrica para servicio público de bombeo de aguas potables o negras.

Temporal

7 Servicio temporal.

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía temporalmente a cualquier uso, exclusivamente donde y cuando la capacidad de las instalaciones del suministrador lo permitan y éste tenga líneas de distribución adecuadas para dar el servicio.

Ningún servicio temporal podrá tener una vigencia mayor de 30 días excepto en los casos de personas o negociaciones que utilicen máquinas de pulir, encerar y lavar pisos, pintar y soldar, etc., cuya vigencia puede ser por un plazo mayor. El computo de la demanda y el consumo se hará de acuerdo con la carga de aparatos instalados y el número de horas que se use el servicio, el que en ningún caso será menor de 4 horas diarias, teniendo el suministrador derecho de verificar en cualquier tiempo la carga individual y el consumo de cada uno de los aparatos instalados.

Agrícola

9 Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión.

Esta tarifa se aplicará exclusivamente a los servicios en baja tensión que destinen la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.

9-M Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en media tensión.

Esta tarifa se aplicará exclusivamente a los servicios en media tensión que destinen la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.

Media tensión

O-M Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión con demanda menor a 100 KW

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kilowatts.

H-M Tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 KW o más.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más.

Alta tensión

H-S Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel sub transmisión.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel su transmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

H-T Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel transmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

H-SL Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión, para larga utilización.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel subtransmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

H-TL Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión, para larga utilización.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel subtransmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

Respaldo

HM-R Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla y mantenimiento en media tensión

HM-RF Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla en media tensión.

HM-RM Tarifa horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en media tensión.

HS-R Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla y mantenimiento en alta tensión, nivel subtransmisión.

HS-RF Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla en alta tensión, nivel subtransmisión.

HS-RM Tarifa horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en alta tensión, nivel subtransmisión.

HT-R Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla y mantenimiento en alta tensión, nivel transmisión.

HT-RF Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla en alta tensión, nivel transmisión.

HT-RM Tarifa horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en alta tensión, nivel transmisión.

Servicio interrumpible

I-15 Tarifa para servicio interrumpible, para demanda máxima medida en periodo de punta, semipunta, intermedio o base mayor o igual a 10,000 kW.

Esta tarifa será aplicable a los usuarios de las tarifas H-S, H-T, H-SL y H-TL que soliciten inscribirse adicionalmente en este servicio y que tengan una demanda máxima medida en período de punta, semipunta, intermedio o base, mayor o igual a 10,000 (diez mil) kilowatts durante los tres meses previos a la solicitud de inscripción. La inscripción a este servicio tendrá vigencia mínima de un año.

I-30 Tarifa para servicio interrumpible, para demanda máxima medida en periodo de punta, semipunta, intermedio o base mayor o igual a 20,000 kW.

Esta tarifa será aplicable a los usuarios de las tarifas H-S, H-T, H-SL y H-TL que soliciten inscribirse adicionalmente en este servicio y que tengan una demanda máxima medida en período de punta, semipunta, intermedio o base, mayor o igual a 20,000 kilowatts durante los tres meses previos a la solicitud de inscripción. La inscripción a este servicio tendrá vigencia mínima de un año.

2 Conductores Eléctricos y sus Protecciones

Desde el inicio de su recorrido en las centrales generadoras hasta llegar a los centros de consumo, la energía eléctrica es conducida a través de líneas de transmisión y redes de distribución formadas por conductores eléctricos. En lo relativo a los requisitos de seguridad que deben cumplir los conductores, alambres y cables para uso eléctrico, la norma a seguir es la NOM-063-SCFI-2001, Productos eléctricos-Conductores-Requisitos de seguridad. El propósito de esta norma es garantizar las condiciones necesarias para el uso racional y eficiente de la energía eléctrica y, más importante aún, satisfacer las características de servicio y seguridad para los usuarios, sus equipos y su patrimonio. La NOM-063-SCFI-2001 se complementa con las normas ANCE de especificaciones de productos eléctricos. Estas normas indican los elementos de seguridad que deben cumplir los productos eléctricos.

En lo que respecta a los cables para media y alta tensión (cables de energía), las norma NMX-J-142/1 ANCE 2011 establece las especificaciones y métodos de prueba aplicables a los cables de energía con aislamiento de cadena cruzada o a base de polímeros de etileno-propileno, para la distribución de energía eléctrica a tensiones de 5 a 35 kV.

Mientras que para los cables para la distribución de energía eléctrica a tensiones de 69 a 115 kV, la norma correspondiente es la NMX-J-142/2 ANCE 2011. Ambas normas entraron en vigor en enero de 2012. Por lo general, una norma se mantiene vigente sólo por cinco años. No obstante, un año antes de que se acabe su vigencia, se puede indicar en el Diario Oficial de la Federación que la norma entra en revisión para su sustitución, cancelación o refrendo, para posteriormente emitir la declaratoria respectiva en el DOF con un extracto de la NOM. El uso y observancia de las normas oficiales mexicanas son de carácter obligatorio.

En 2003, la CFE inició el proceso de creación de la normas de referencia NRF, a este respecto la especificación referente a los cables de energía es la NRF-024-CFE, en lo concerniente a los cables para baja tensión, la norma de referencia aplicable es la NRF-052-CFE. Las Normas de Referencia que utiliza la CFE están adaptadas a los requerimientos que establecen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Mexicanas (NMX) para los productos eléctricos que amparan.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE), por ser la empresa encargada de la distribución y transmisión de energía eléctrica en nuestro país, creó las normas de Distribución- Construcción de sistemas subterráneos (Normas CFE-BMT y CFE-AT). La creación de estas normas obedece a la necesidad de tener una reglamentación a nivel nacional, para uniformizar la calidad y al mismo tiempo simplificar la construcción de líneas subterráneas mediante un criterio técnico-económico.

El objetivo de esta norma es establecer, a nivel nacional, los métodos, criterios, materiales y equipos utilizados en la planeación, proyecto y construcción de redes de distribución subterránea con la finalidad de lograr con la máxima economía, instalaciones que requieran el menor mantenimiento.

2.1 Conductores.

Se aplica este concepto a los cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad. Un conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente de cobre. Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio.

Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.

El uso de uno y otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (capacidad para transportar la electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo.

Estas características llevan a preferir al cobre en la elaboración de conductores eléctricos.

El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es el cobre electrolítico de alta pureza, 99,99%.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar, este tipo de cobre se presenta en los siguientes grados de dureza o temple: duro, semi duro y blando o recocido.

La función básica de un cable es transportar la energía de un lugar a otro de manera segura y confiable.

“Los conductores eléctricos son la parte esencial de la instalación eléctrica. De ellos depende directamente el correcto funcionamiento del conjunto de la instalación”

Las partes de un cable se describen a continuación:

- Conductor, los cables están constituidos por un conductor (cables monofásicos), tres (cables trifásicos), cuatro, etc.
- Aislamiento, capa de material dieléctrico, que aísla los conductores de distintas fases, o entre fases y tierra. Puede ser de distintos tipos, tanto de material orgánico, como inorgánico.
- Capa semiconductora o barniz, se emplea para homogenizar la superficie en la distribución de los conductores.
- Blindaje o pantalla, cubierta metálica, que recubre el cable en toda su extensión y que sirve para confinar el campo eléctrico y distribuirlo uniformemente en su interior.
- Chaqueta o cubierta, de material aislante muy resistente, separa los componentes de un cable del medio exterior.

2.1.1 Niveles de voltaje.

Las limitaciones de los métodos de alambrado en instalaciones eléctricas, en cuanto a voltaje de trabajo se refiere, se aplicarán a instalaciones de 600 volts o menos. Y en circuitos de más de 600 volts se permitirán cuando esté expresamente permitido en la NOM-001-SEDE-2012.

Sólo se deben instalar conductores individuales, de los especificados en la Tabla 310-104(a) cuando formen parte de uno de los métodos de alambrado reconocidos en el Capítulo 3 de la NOM-001-SEDE-2012. Y se permitirán conductores individuales cuando se instalan como conductores aéreos separados de acuerdo con 225-6 de la misma NOM.

Todos los conductores del mismo circuito y, el conductor puesto a tierra, todos los conductores de puesta a tierra de los equipos y los conductores de unión, cuando se usen, deben estar instalados en la misma: canalización, canal auxiliar, charola cortacables, ensamble de conductores aislados en envoltentes, zanja, cable o cordón, a menos que se permita algo diferente en la mencionada NOM.

Niveles de voltaje de acuerdo a los métodos de alambrado de conductores de sistemas diferentes.

1. De 600 volts o menos. Se permitirá que los conductores de circuitos de corriente directa y corriente alterna de 600 volts o menos ocupen el mismo envolvente, cable o canalización del alambrado. Todos los conductores deben tener un aislamiento nominal igual como mínimo a la tensión máxima del circuito aplicado a cualquier conductor que se encuentre en el envolvente, cable o canalización.
2. De más de 600 volts. Los conductores de los circuitos de más de 600 volts no deben ocupar el mismo envolvente, cable o canalización del alambrado de equipos, que los conductores de circuitos de 600 volts o menos, a menos que se permita algo diferente citado en la NOM-001-SEDE-2012.

Los conductores con aislamiento no blindado y que operan a diferentes tensiones no deben ocupar el mismo envolvente, cable o canalización, a menos que se permita algo diferente citado en la NOM-001-SEDE-2012.

El tamaño mínimo de los conductores de acuerdo a su tensión nominal, debe ser como se presenta en la Tabla 2.1, que es la Tabla 310-106(a) de la NOM-001-SEDE-2012, excepto lo que se permita en otras partes de la misma NOM.

Tabla2.1.- Tamaño o designación mínimo de los conductores

Tensión nominal del conductor (volts)	Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre	
	Tamaño o designación			
	mm ²	AWG	mm ²	AWG
0–2 000	2.08	14	13.3	6
2 001–5 000	8.37	8	13.3	6
5 001–8 000	13.3	6	13.3	6
8 001–15 000	33.6	2	33.6	2
15 001–28 000	42.4	1	42.4	1
28 001–35 000	53.5	1/0	53.5	1/0

En las instalaciones eléctricas existe una gran cantidad de conductores dependiendo el nivel de tensión a conducir y el uso a emplearse, los más comunes se clasifican a continuación.

Conductores para distribución y potencia:

- a. Alambres y cables (N° de hebras: 7 a 61).
- b. Tensiones de servicio: 0.6 a 35 kV (MT) y 46 a 65 kV (AT).
- c. Uso: Instalaciones de fuerza y alumbrado (aéreas, subterráneas e interiores).
- d. Tendido fijo.

Cables armados:

- a. Cable (N° de hebras: 7 a 37).
- b. Tensión de servicio: 600 a 35.000 Volts.
- c. Uso: Instalaciones en minas subterráneas para piques y galerías (ductos, bandejas, aéreas y subterráneas).
- d. Tendido fijo.

Conductores para control e instrumentación:

- a. Cable (N° de hebras: 2 a 27).
- b. Tensión de servicio: 600 Volts.

- c. Uso: Operación e interconexión en zonas de hornos y altas temperaturas (ductos, bandejas, aéreas o directamente bajo tierra).
- d. Tendido fijo.

Cordones:

- a. Cables (N° de hebras: 26 a 104).
- b. Tensión de servicio: 300 Volts.
- c. Uso: Para servicio liviano, alimentación a: radios, lámparas, aspiradoras, jugueras, etc. Alimentación a máquinas y equipos eléctricos industriales, aparatos electrodomésticos y calefactores (lavadoras, enceradoras, refrigeradores, es tu fas, planchas, cocinillas y hornos, etc.).
- d. Tendido portátil.

Cables portátiles:

- a. Cables (N° de hebras: 266 a 2.107).
- b. Tensión de servicio: 1.000 a 5.000 Volts.
- c. Uso: En soldaduras eléctricas, locomotoras y máquinas de tracción de minas subterráneas. Grúas, palas y perforadoras de uso minero.
- d. Resistente ha: Intemperie, agentes químicos, a la llama y grandes solicitaciones mecánicas como arrastres, cortes e impactos.
- e. Tendido portátil.

Cables submarinos:

- a. Cables (N° de hebras: 7 a 37).
- b. Tensión de servicio: 5,000 y 15,000 Volts.
- c. Uso: En zonas bajo agua o totalmente sumergidos, con protección mecánica que los hacen resistentes a corrientes y fondos marinos.
- d. Tendido fijo.

Cables navales:

- a. Cables (N° de hebras: 3 a 37).
- b. Tensión de servicio: 750 Volts.
- c. Uso: Diseñados para ser instalados en barcos en circuitos de poder, distribución y alumbrado.
- d. Tendido fijo.

2.1.2 Clasificación de los conductores y sus aislamientos.

La variedad de aislamientos empleados en los conductores eléctricos es amplia para poder satisfacer las diferentes necesidades.

A manera de resumen se cita lo siguiente:

A Aislamiento de asbesto

MI Aislamiento mineral

R Aislamiento de hule

SA Aislamiento de silicio-asbesto

T Aislamiento termoplástico

V Aislamiento de cambray con barniz

X Aislamiento de polímero sintético con barniz

FEP Etileno Propileno Fluorado

RHW Polímero sintético o de cadena cruzada resistente al calor y a la flama

THW-LS Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendio

Selección del aislamiento para conductores de baja tensión

La selección del tipo de aislamiento del conductor a emplear se hará tomando en cuenta las condiciones del lugar, es decir la corrosión, exposición a la intemperie, a la radiación solar directa y humedad.

En las tablas 2.2 y 2.3, se muestran los principales tipos de aislamientos cables empleados en las instalaciones eléctricas de baja tensión y sus aplicaciones, tanto termoplástico como termo fijos.

Tabla 2.2.- Principales tipos de conductores con aislamiento termoplástico para baja tensión.

Tipo de aislamiento	Descripción	T (°C)	Aplicaciones
TW	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad y a la propagación de incendios	60	Circuitos de fuerza y alumbrado de edificaciones industriales, comerciales y domésticas.
THW	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios	75	Circuitos de fuerza y alumbrado de edificaciones industriales, comerciales y domésticas.
THW-LS	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, con baja emisión de humos y gas ácido.	75	Interior de locales con gran influencia de personas (hospitales, cines, teatros, almacenes, hoteles, instalaciones industriales y sistemas de transporte masivos).
THWN	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, con cubierta de nylon.	75	Sistemas de iluminación y distribución de baja tensión.
THHW	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama.	75 (lugares mojados) 90 (lugares secos)	Instalaciones eléctricas tanto comerciales e Industriales. Ambientes secos o húmedos, ya sea en tubo (conduit) ducto o charola.
THHW-LS	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama, con baja emisión de humos y gas ácido.	75 (lugares mojados) 90 (lugares secos)	Interior de locales con gran influencia de personas (hospitales, cines, teatros, almacenes, hoteles, instalaciones industriales y sistemas de transporte masivos).
THHN	Conductor con aislamiento de PVC y cubierta de nylon, para instalarse solo, resistente al calor y a la propagación de la flama.	90	Uso general en industrias, edificios, hoteles, bodegas y en instalaciones donde ser requiere gran resistencia a los aceites y gasolinas.

Tabla 2.3.- Principales tipos de conductores con aislamiento termo fijo para baja tensión.

Tipo de aislamiento	Descripción	Temperatura de operación (oC)	Aplicaciones
XHHW	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada, resistente a la presencia de agua y al calor.	75 seco y mojado 90 seco y mojado	Distribución de energía eléctrica en instalaciones aéreas en tubo conduit o ducto subterráneo
RHW	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, a base de etileno propileno (EP), o aislamiento combinado (de CP sobre EP) resistente a la presencia de agua y al calor. Los aislados con EP deben llevar cubierta de material termoplástico o termo fijo.	75	Pueden instalarse directamente enterrados. En sistemas de distribución de baja tensión instalado en tubo conduit, de iluminación, en edificios públicos e instalaciones industriales y en centros recreativos y comerciales.
RHH	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, a base de etileno propileno (EP), o aislamiento combinado (de CP sobre EP) resistente a la presencia de agua y al calor. Los aislados con EP deben llevar cubierta de material termoplástico o termo fijo.	90	Pueden instalarse directamente enterrados. En sistemas de distribución de baja tensión instalado en tubo conduit, de iluminación, en edificios públicos e instalaciones industriales y en centros recreativos y comerciales.

Selección del aislamiento para conductores de media y alta tensión (hasta 500 kV).

Los materiales más comunes para el aislamiento de los cables de media y alta tensión son los termo fijos, principalmente el Polietileno de Cadena Cruzada (XLPE) y el hule etileno propileno (EPR). Ambos son para operar en lugares secos, húmedos, o mojados, a una temperatura máxima del conductor de 90°C, 130°C en condiciones de sobrecarga y 250°C en condiciones de cortocircuito. El espesor del aislamiento está en función de la tensión de instalación y de la categoría del sistema eléctrico en que vaya a operar. Existen tres categorías de sistemas: 100%, 130% y 173% nivel aislamiento.

Categoría I (100% Nivel de aislamiento). Los cables de esta categoría deben emplearse en sistemas con neutro sólidamente aterrizado y que esté provisto con dispositivos de protección tales, que las fallas a tierra sean despejadas tan rápido como sea posible, pero en cualquier caso dentro de un minuto. También pueden utilizarse en otros sistemas para los cuales sean aceptables, siempre y cuando se cumpla con los requisitos antes mencionados.

Categoría II (133% Nivel de aislamiento). Los cables de esta categoría corresponden a los anteriormente designados como sistema con neutro aislado. Estos cables se utilizan cuando no puedan cumplirse con los requisitos de eliminación de la falla de la categoría I, (100% Nivel de aislamiento), pero en los que exista una seguridad razonable de que la sección que presente una falla a tierra será desenergizada en un tiempo no mayor de una hora. También pueden emplearse cuando se requiera de un esfuerzo dieléctrico mayor al de los cables con categoría I. De acuerdo

con las normas CFE-BMT-DP y CFE-AT-DP, para transiciones aéreo-subterráneas han de emplearse conductores con este nivel de aislamiento.

Categoría III (173% Nivel de aislamiento). Los cables de esta categoría deben emplearse en sistemas donde el tiempo requerido para despejar la sección que presente la falla a tierra sea indefinido.

Para mayor información consulte la Tabla 310-104(a) de la NOM-001-SEDE-2012, la cual muestra el nombre genérico, el tipo, la temperatura máxima de operación, el tamaño nominal, el espesor del aislamiento, etc., de los diversos conductores.

2.1.3 Cálculo de calibres y sus aplicaciones.

En una instalación eléctrica, es preciso efectuar los cálculos correspondientes para determinar la sección transversal de los conductores, de tal forma que la instalación eléctrica sea segura y eficiente, por lo tanto es importante considerar todos los factores que habrán de afectar a los conductores una vez que se encuentren instalados y que desempeñen su función. Los factores a tenerse en cuenta para su dimensionamiento son:

- ✓ Cálculo térmico
- ✓ Verificación de la caída tensión
- ✓ Regulación de tensión
- ✓ Verificación al cortocircuito
- ✓ Cálculo de energía de pérdidas
- ✓ Análisis técnico económico de la selección del conductor

Los primeros tres criterios se aplican a las instalaciones eléctricas en baja tensión. En las redes de distribución secundaria se consideran estos tres criterios más el de cálculo de la energía de pérdidas y el de regulación de tensión. En redes de distribución, subtransmisión y transmisión, se consideran los seis criterios.

En los albores de la ingeniería eléctrica, no existía una calibración estándar para los conductores, por lo que eran clasificados con diferentes números, nomenclaturas y símbolos, ello provocaba confusiones en los trabajadores de campo, al no tener certeza si empleaban conductores de una sección transversal adecuada.

Después de comparar y contrastar cada uno de los métodos para distinguir las áreas transversales de los conductores eléctricos, o sea su tamaño, indicado en la tabla 2.4.Y debido a la fácil interpretación de la nomenclatura utilizada por la compañía “*American Wire Gauge*” (A.W .G.). Se extendió el uso. Es por ello que en cada conductor aparece la leyenda: Calibre No. ___ AWG. Por otra parte, existen conductores de secciones transversales medidas en MCM o kcmil (mil circular mil).

Un circular mil es el área de un círculo cuyo diámetro es igual a un milésimo de pulgada. La sección transversal de los conductores debe especificarse en mm^2 , pudiendo relacionar esta designación con el calibre AWG o kcmil. *“Siendo el más grueso 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas”*

En el sistema AWG, tabla 2.5, mientras mayor es el número del conductor, menor es su diámetro, en este sistema existen definidos cuarenta (40) calibres diferentes, partiendo del número 36 (diámetro de 0.005 pulgadas) hasta llegar al calibre 0, 2/0, 3/0 y 4/0 (diámetro de 0.46 pulgada).

TAMAÑOS DE CONDUCTORES

0		00		
1		0		
2		2		
4		4		
6		6		
8		8		
10		10		
12		12		
14		14		
16		16		
18		18		
20		20		
APLICACIÓN PARA ALIMENTADORES		NÚMERO	ÁREA	

	8
	10
	12
	14
APLICACIÓN PARA CIRCUITOS DERIVADOS	
	16
	18
	20
APLICACIÓN PARA TUBERÍAS, TERMOSTATOS, Y CORDONES	

Tamaño	Sección	Diámetro	Kg./Km	Kg./Km
AWG	mm ²	Mm	Cobre	Aluminio
36	0.0127	0.127	0.1126	
30	0.0507	0.254	0.4505	
24	0.205	0.511	1.820	
16	1.31	1.29	11.63	3.53
14	2.08	1.63	18.51	5.63
12	3.31	2.05	29.41	4.94
10	5.261	2.588	46.77	14.22
8	8.367	3.264	74.38	22.62
2	33.62	6.543	298.9	90.89
1	42.41	7.7.348	377	114.6
1/0	53.49	8.252	475.5	144.6
4/0	107.2	11.68	953.2	289.8

2.1.3.1 Por corriente.

Los conductores eléctricos están forrados por material aislante, que por lo general contiene materiales orgánicos, Estos forros están clasificados de acuerdo con la temperatura de operación permisible, de tal forma que una misma sección de cobre puede tener diferente capacidad de conducción de corriente, dependiendo del tipo de aislamiento que se seleccione.

Dentro de la NOM-001-SEDE-2012 en el artículo 310 (conductores para alambrado en general) se tratan los requisitos generales de los conductores y de sus denominaciones de tipo, aislamiento, marcado, resistencia mecánica, ampacidad y usos.

Para el cálculo del calibre del conductor se aconseja considerar un factor de reserva para un posible crecimiento en años posteriores así como un factor de demanda que es la demanda máxima instalada en algún momento dado.

Una vez que se tiene la demanda de corriente que tendrá la instalación se deben considerar:

- Factor de corrección de temperatura artículo 310-15(b) (2) (a) NOM-001-SEDE-2012
- Factor de agrupamiento artículo 310-15(b) (3) (a) NOM-001-SEDE-2012
- Así como otros factores de corrección que puedan aplicar especificados dentro del artículo 310 de la NOM-001-SEDE-2012.

Una vez que se han realizado los cálculos correspondientes para la ampacidad necesaria del conductor, uno puede auxiliarse de la tabla 310-15(b) (16) NOM-001-SEDE-2012 que nos proporciona las ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 V.

Para la correcta selección de un conductor, dentro del artículo 310-104 NOM-001-SEDE-2012 podemos encontrar la tabla 310-104(a) que nos habla del tipo de aislamiento y el lugar donde puede ser utilizado este tipo de cable.

La capacidad del cable para transportar corriente eléctrica es de especial importancia al momento de decidir que conductor utilizar dentro de la instalación eléctrica. Los factores de tipo de material del conductor, calibre del conductor (área de la sección transversal), tipo de aislamiento, ambiente de operación, etc., son limitantes para determinar el conductor.

El cálculo del conductor por capacidad de corriente, lo que se pretende es ajustar el conductor, para que cuando por él circule la corriente nominal, los efectos eléctricos y físicos que se generen en él sean los que brinden eficiencia y seguridad.

Formulas a emplearse:

$$\text{Sistema monofásico a dos hilos: } I = \frac{VA}{E_n} \quad (2.1)$$

$$\text{Sistema bifásico a tres hilos: } I = \frac{VA}{2E_n} \quad (2.2)$$

$$\text{Sistema trifásico a tres hilos: } I = \frac{VA}{1.732E_f} \quad (2.3)$$

Dónde:

I - Corriente eléctrica en Amperes.

VA - Potencia aparente en Volt amperes de la carga.

E_n - Voltaje de fase a neutro en Voltios.

E_f - Voltaje entre fases en Voltios.

2.1.3.2 Por caída de tensión.

Todo conductor posee asociado características que limitan su capacidad de transporte de energía eléctrica, debido a la resistencia y la reactancia la misma que se denomina impedancia. Debido a la presencia de la impedancia cuando circula una corriente eléctrica, la tensión en el extremo de envío en el conductor es mayor que el potencial que le llega al extremo receptor.

La impedancia depende de la longitud del conductor al igual que de su calibre. Entonces es necesario que la caída de voltaje no exceda los valores preestablecidos por la norma.

La caída de voltaje para conductores en viviendas según la norma es el 2%, a continuación describimos como calcular este porcentaje:

La caída de voltaje en un conductor utilizado en un circuito eléctrico en la vivienda se puede calcular mediante la ley de Ohm;

$$\Delta V = I \times R \quad (2.4)$$

De donde:

ΔV = caída de voltaje

I= Corriente

R= Resistencia.

La resistencia la podemos expresar en función de las características del conductor.

$$R = \rho L / S \quad (2.5)$$

Siendo:

ρ = La resistividad del material, para el cobre $0.01724 \frac{\Omega \times mm^2}{m}$

L= longitud del conductor

S= Área de la sección transversal

Mediante las formulas siguientes se puede encontrar la sección o calibre del conductor asumiendo que necesito la máxima variación de voltaje y entonces la caída de voltaje en un conductor es:

$$\Delta V = \frac{0.01724 \times L \times I}{S} \quad (2.6)$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V_{nom}} \times 100 \quad (2.7)$$

El voltaje en las terminales de la carga es por lo general menor que el voltaje de alimentación, la diferencia de voltaje entre estos dos puntos se conoce como la caída de voltaje. La norma para instalaciones eléctricas recomienda que la máxima caída de voltaje (desde la alimentación hasta la carga) no debe exceder el 5%; se permite el 3% a los circuitos derivados (del tablero o interruptor a las carga) y el otro 2% se permite del tablero a la alimentación.

Una caída de voltaje excesiva (mayor del 5%) conduce a resultados indeseables debido a que el voltaje en la carga se reduce. En las lámparas incandescentes se reduce notablemente el nivel de

iluminación, en las lámparas fluorescentes se tienen problemas, como dificultad para arrancar, parpadeo, calentamiento de los balastos, etc.

En el equipo de control los relevadores no pueden operar; en los motores la reducción de voltaje se traduce en un incremento en la corriente, lo cual produce sobrecalentamiento y algunas veces causa problemas de arranque, por esta razón no es suficiente calcular los conductores por corriente, es decir seleccionar el calibre de un conductor de acuerdo con la corriente que circulara por él.

Para estar seguros de que las caídas de voltaje no excedan esos valores es necesario calcular las caídas de voltaje en los circuitos derivados y en los alimentadores, con base a las siguientes expresiones según el sistema con el que se esté trabajando, como se indica a continuación:

$$\text{Sistemas monofásicos dos hilos:} \quad S = \frac{4LI}{E_n e\%} \quad (2.8)$$

$$\text{Sistema bifásico tres hilos:} \quad S = \frac{2LI}{E_n e\%} \quad (2.9)$$

$$\text{Sistemas trifásicos tres hilos:} \quad S = \frac{2\sqrt{3}LI}{E_f e\%} \quad (2.10)$$

Dónde:

I - corriente eléctrica en Amperes.

E_n - voltaje de fase a neutro en Voltios.

S - sección transversal del conductor en mm^2 .

L - longitud del circuito considerado en metros.

E_f - voltaje entre fases en Voltios.

$e\%$ - caída de tensión en por ciento.

2.1.3.3 Por cortocircuito.

Este cálculo se realiza para determinar la máxima solicitud térmica a que se ve sometido un conductor durante la evolución de las corrientes de falla. Existirá entonces una sección transversal que será función de la potencia de cortocircuito en el circuito de alimentación, el conductor evaluado y su protección automática asociada.

Una vez determinado el calibre del conductor por los criterios de capacidad de conducción de corriente y de regulación de tensión, es necesario verificar dicho calibre en base a las condiciones de corto circuito del sistema (magnitud y tiempo).

La siguiente ecuación expresa la relación existente entre la corriente, la sección del conductor, el tiempo de operación de la protección contra cortocircuito y la temperatura, para conductores de cobre.

$$\left[\frac{I_{cc}}{A} \right]^2 t = 0.0297 \log \frac{T_2 + 234.5}{T_1 + 234.5} \quad (2.11)$$

Mientras que para conductores de aluminio la expresión está dada por:

$$\left[\frac{I_{cc}}{A}\right]^2 t = 0.0297 \log \frac{T_2 + 228}{T_1 + 228} \quad (2.12)$$

Dónde:

I_{cc} = valor eficaz de la corriente de cortocircuito, en amperes

A = sección transversal del conductor, en mm^2

t = tiempo de operación de la protección contra corto circuito, en segundos

T_2 = temperatura alcanzada al finalizar el cortocircuito (se considera que alcanza los 250 °C)

T_1 = Temperatura del conductor en condiciones normales de operación.

Se suele hacer una simplificación a las fórmulas 2.11 y 2.12, resultando en la siguiente expresión

$$A_{min} = \frac{I_{cc}\sqrt{t}}{K} [\text{mm}^2] \quad (2.13)$$

Siendo:

K = constante propia del conductor, que contempla la temperatura máxima del servicio y la temperatura alcanzada al finalizar el cortocircuito.

Los valores de **K** previstos por las normas son los siguientes:

$K = 143$, para conductores de cobre con aislamiento de etileno-propileno y polietileno de cadena cruzada.

$K = 94$, para conductores de aluminio con aislamiento de etileno-propileno y polietileno de cadena cruzada.

Estos valores de **K** se obtuvieron considerando que la temperatura del conductor alcanza los 250 °C en condiciones de cortocircuito, mientras que su temperatura en condiciones normales de operación es 90 °C.

La sección transversal calculada mediante este criterio deberá ser menor que la obtenida por cálculo térmico y verificado por caída de tensión, en caso contrario se deberá incrementar la sección del conductor hasta que sea superior a **$A_{mín}$** .

La ecuación 2.14 determina **A_c** equivalente a **$A_{mín}$** de acuerdo a la constante **C_c** que depende de **K** . El área **A_c** del conductor requerida en estas condiciones se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$A_c = C_c I \sqrt{t} \quad (2.14)$$

En donde

A_c - área efectiva de la sección transversal del conductor en kilo circular mil (kcmil).

I - corriente de corto circuito, en miles de amperes (kA).

t - duración del corto circuito, en segundos. = Número de ciclos/60.

C_c - constante que depende del tipo de material empleado en el conductor y en el aislamiento del cable. Ver tabla 2.6.

Tabla 2.6 Constante empleada en el cálculo de corriente de corto circuito permisible en el conductor, con aislamiento de EP, XLPE, PVC o EPR.

Temperatura máxima del conductor				
Aislamiento	Conductor	Operación normal	Conductor	Cc
PE o PVC	Cobre	75	105	18.89
PE o PVC	Aluminio	75	105	28.86
XLPE o EPR	Cobre	90	250	13.9
XLPE o EPR	Aluminio	90	250	21.26
XLPE o EPR	Cobre	105	250	14.76
XLPE o EPR	Aluminio	105	250	22.57

Factor de corrección por temperatura.

La temperatura ambiente alta influye desfavorablemente en la conducción de electricidad debido a que aumenta la resistencia eléctrica. Por el contrario, a menor temperatura se conduce mejor la electricidad.

Cuando se determina el calibre del conductor apropiado para una instalación eléctrica, se debe considerar también el factor de temperatura. Después que se ha determinado el calibre del conductor se multiplica la cantidad de amperes que soporta dicho conductor, por el factor correspondiente que corresponda a la temperatura de operación.

Los fabricantes de conductores suelen proveer una serie de tablas contentivas de datos referentes a la capacidad de corriente de sus conductores, indicando la capacidad de corriente del mismo, en diferentes ambientes y condiciones. Se adjunta tabla 2.7 que relacionan calibres del conductor en relación de la temperatura.

Tabla 2.7 Corriente VS Temperatura.

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CONDUCTORES DE CU BASADA EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30 °C									
CALIBRE A.W.G. R.C.P.	TIPO T.W. 60 °C				VINABEL 900 75 °C				
	1 A 3 CONDS. TUBO	4 A 6 CONDS. TUBO	6 A 9 CONDS. TUBO	1 COND. AIRE	1 A 3 CONDS. TUBO	4 A 6 CONDS. TUBO	6 A 9 CONDS. TUBO	1 COND. AIRE	
14	15	12	10	20	15	12	10	20	
12	20	16	14	25	20	16	14	25	
10	30	24	21	40	30	24	21	40	
8	40	32	28	55	45	36	31	65	
6	55	44	38	80	65	52	45	95	
4	70	56	49	105	85	68	59	125	
2	95	76	66	140	115	92	80	170	
0	125	100	87	195	150	120	105	230	
00	145	116	110	225	175	140	122	265	
000	165	132	115	260	200	160	140	310	
0000	195	156	132	300	230	184	161	360	
250	215	172	150	340	255	204	178	405	
300	240	192	168	375	285	228	199	445	
350	260	208	182	420	310	248	217	505	
400	280	224	196	455	335	268	234	545	
500	320	256	224	515	380	304	266	680	
600	355	284	248	575					
750	400	320	280	655					
1000	455	364	318	780					
1250	495	396	346	890					
1500	520	416	364	980					
1750	545	436	382	1070					
2000	560	448	392	1135					
TEMP.	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA AMBIENTE MAYOR DE 30 °C								
40	0.82	0.82	0.82	0.82	0.88	0.88	0.88	0.88	
45	0.71	0.71	0.71	0.71	0.82	0.82	0.82	0.82	
50	0.58	0.58	0.58	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75	
55	0.41	0.41	0.41	0.41	0.67	0.67	0.67	0.67	
60					0.58	0.58	0.58	0.58	

Las ampacidades para temperaturas ambientes diferentes a las mostradas en la tablas de ampacidad se deberán corregir de acuerdo con la tabla 310-15(b)(2)(a) o la Tabla 310-15(b)(2)(b) de la NOM-001-SEDE-2012.

Por ejemplo, supóngase que la corriente corregida determinada para una instalación eléctrica residencial es de 28 amperes (*I_c*).

Si eligiéramos alambre tipo THW para los alimentadores generales, entonces el calibre del conductor sería número 10 (Alambre THW en tubo conduit de 1-3 conductores 75 °C). Dicho conductor soporta hasta 40 amperes.

Si la temperatura ambiente es de 38 °C, se observa en la tabla de temperaturas de operación que le corresponde un factor de corrección de 0.88 (con temperatura máxima de operación de 75 °C).

Entonces, lo que debe hacerse es multiplicar la capacidad de conducción del conductor por 0.88, quedando: $(40A) (0.88) = 35.2 A$.

De aquí se deduce que en realidad el conductor solo puede soportar hasta 35.2 amperes (en lugar de los 40 que muestra la tabla correspondiente), esto, considerando que la temperatura del medio ambiente fuera de 38 °C, por lo que, en conclusión, debido a que la I_c es de 28 amperes, se comprueba que el conductor si soporta esa cantidad de corriente.

Factor de corrección por agrupamiento.

Cuando se introducen varios conductores en una tubería (sobre todo metálica) se presentan fenómenos de inducción hacia las mismas ya sea de calor como vimos anteriormente y de inductancia (algo similar en sus efectos a la resistencia óhmica).

Esta capacidad de circulación de corriente del conductor viene determinada por el tipo de material, del aislante y el grado de sobrecalentamiento. Tal como el factor de relleno con el número de conductores dentro de un solo tubo, ver tabla 2.8.

Tabla 2.8 Número de conductores por tubo.

**NÚMERO DE CONDUCTORES TIPO TW Y VINAHIL 900 NORMAL QUE
PUEDEN INSTALARSE DENTRO DE UN TUBO CONDUIT
DE ACUERDO CON LOS FACTORES DE RELLENO ESTABLECIDOS**

CALIBRE A.W.G. K.C.M.	TAMANO DEL TUBO CONDUIT											
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/4"	3"	3 1/2"	4"	5"	6"
	13mm	19mm	25mm	31mm	38mm	51mm	64mm	75mm	89mm	101mm	127mm	152mm
18	13	24	39	68	92							
16	11	19	31	54	74							
14	9	13	25	44	60	99						
12	7	12	20	34	47	78						
10	5	9	15	26	36	60	85					
8	3	5	8	14	20	32	46	72				
6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62		
4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	46	63	
2	1	1	1	4	5	9	12	20	26	34	54	78
1	0	1	1	2	4	6	8	14	19	25	39	57
0	0	1	1	2	3	5	8	12	16	21	33	45
00	0	1	1	1	3	4	6	10	14	18	28	41
000	0	0	1	1	1	4	4	9	12	15	24	35
0000	0	0	1	1	1	3	4	7	10	13	20	29
250				1	1	2	3	6	8	10	16	23
300				1	1	1	2	5	7	9	14	20
350					1	1	1	1	6	8	12	18
400						1	1	1	5	7	11	16
500						1	1	1	4	6	9	13
600							1	1	3	5	7	11
700							1	1	3	4	6	10
750							1	1	3	4	6	9
800							1	1	3	4	6	8
900							1	1	3	3	5	8
1000							1	1	2	3	5	7
1250									2	2	3	5
1500									1	2	3	5
1750									1	1	3	4
2000									1	1	2	3

En estos casos debe considerarse una disminución de la corriente eléctrica que soporta cualquier conductor de la siguiente manera, según los factores de ajuste 310-15 de la NOM-001-SEDE-2012;

Cuando el número de conductores activos en un cable o canalización sea mayor a tres, la capacidad de conducción de corriente se debe reducir como se indica en la tabla 2.9., que es la Tabla 310-15(b) (3) (a) de la NOM-001-SEDE-2012.

Tabla. 2.9 Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o un cable.

Número de conductores ¹	Porcentaje de los valores en las tablas 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19), ajustadas para temperatura ambiente, si es necesario.
4-6	80
7-9	70
10-20	50
21-30	45
31-40	40
41 y más	35

¹Es el número total de conductores en la canalización o cable ajustado de acuerdo con 310-15(b)(5) y (6).

Nota. De 1 a 3 conductores en la misma tubería 100% = 1

Ejemplo.

Supóngase que la capacidad de conducción de corriente en un conductor es de 25 amperes. Si en la misma tubería (o tramo de tubería) están 5 conductores del mismo calibre entonces se tendría que efectuar la siguiente operación aritmética:

$$(25 A)(0.8) = 20 A$$

En realidad el conductor (en estas condiciones) solo estaría capacitado para conducir hasta 20 amperes.

Los factores de temperatura y de corrección por agrupamiento se utilizan en forma acumulada cuando ambos intervienen en una instalación eléctrica.

Por ejemplo, supóngase que un conductor está capacitado (de acuerdo a sus características) para conducir 30 amperes (75°C instalación oculta). Si en una tubería van 5 conductores y además la temperatura de operación es de 41°C, entonces tendremos:

$$(30 A)(0.82)(0.8)=19.68 A$$

De acuerdo a las condiciones anteriores (temperatura y agrupamiento) se concluye que el conductor en realidad solo puede conducir 19.68 amperes.

2.2 Cálculo y selección de instalaciones y protecciones.

Para distribuir la energía eléctrica a todos los lugares de un edificio industrial o comercial, es necesario hacer uso de los diferentes equipos y materiales eléctricos que ofrecen los fabricantes.

Además el propósito principal es distribuir la energía a los dispositivos de utilización que la requieran para desarrollar sus funciones, pero sin exponer al personal o equipo a los daños que puedan ocasionar los conductores de altas corrientes y tensiones elevadas.

Por lo tanto, en la construcción de instalaciones eléctricas es importante proteger a los conductores eléctricos contra posibles daños mecánicos a los que puedan estar sometidos, así como a las condiciones ambientales que se deriven de los diferentes procesos productivos donde se localicen dichas instalaciones. Por lo tanto, las canalizaciones en una instalación eléctrica representan el medio seguro de protección mecánica de los conductores.

2.2.1 Conocimiento y selección accesorios de equipos de baja tensión.

Una instalación eléctrica de baja tensión, debe de contar con los materiales y equipos necesarios para dar el servicio de energía eléctrica requerido, que pueden ser divididos en los siguientes subsistemas:

- Alimentador: todos los conductores de un circuito formado entre el equipo de acometida o la fuente de un sistema derivado separado y el dispositivo final de protección contra sobre corriente del circuito derivado.
- Circuito derivado: conductores de un circuito desde el dispositivo final de sobre corriente que protege a ese circuito hasta la(s) salida(s) finales de utilización.
- Transmisión: es el conjunto de líneas, subestaciones y demás elementos que manejan voltajes iguales o mayores a 230 kV. En México se manejan dos voltajes de transmisión: 230 y 400 kV.
- Subtransmisión: un sistema de subtransmisión es un conglomerado formado por líneas, subestaciones y grandes consumidores de energía eléctrica que manejan voltajes superiores a 35 KV y menores a 230 KV. Puede considerarse a la subtransmisión como un punto intermedio entre las etapas de transmisión y distribución de un sistema eléctrico de potencia.
- Distribución primaria: es aquella destinada a transportar la energía eléctrica producida por un sistema de generación, utilizando eventualmente un sistema de transmisión, y/o un subsistema de subtransmisión, a un subsistema de distribución secundaria, a las instalaciones de alumbrado público o a las conexiones para los usuarios, comprendiendo tanto las redes como las subestaciones intermediarias y/o finales de transformación.
- Distribución secundaria: es aquella destinada a transportar la energía eléctrica suministrada normalmente a bajas tensiones, desde un sistema de generación, eventualmente a través de un sistema de transmisión y un subsistema de distribución primaria, a las acometidas.

Una instalación eléctrica correctamente diseñada emplea normalmente materiales aprobados o certificados por las normas nacionales o internacionales en algunos casos. Estos materiales incluyen varios tipos de canalizaciones, tuberías, tableros de distribución, centros de carga, dispositivos de protección, motores, transformadores, etc.

2.2.1.1 Canalizaciones, tuberías.

Las canalizaciones son un conjunto constituido por los elementos que aseguran la fijación, protección mecánica y contra contaminación de uno o más conductores eléctricos, y que además proporcionan a las instalaciones un medio de protección contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en situaciones de cortocircuito.

Una canalización es un canal cerrado diseñado para contener a los conductores. La aplicación de las canalizaciones en las instalaciones eléctricas de utilización, ya sean industriales o comerciales, se encuentran regidas por la NOM-001-SEDE-2012.

Las canalizaciones han de seleccionarse tomando en cuenta las condiciones del lugar donde serán instaladas, además del tipo de paredes y otras estructuras del edificio que soporten el alambrado. Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son los tubos (conduit),

desde luego que existen otros tipos de canalizaciones que en ciertas circunstancias son requeridos, estos son los ductos, canaletas y los soportes tipo charola.

Canalizaciones superficiales metálicas y no metálicas.

Mejor conocidas como canaletas. Como su nombre lo indica, son canalizaciones para ser instaladas de manera superficial. Generalmente son requeridas para modificaciones menores en las instalaciones eléctricas ya existentes, por ejemplo para alimentar alguna carga adicional. Ofrecen como ventaja una fácil y rápida colocación. Los artículos 386 y 388 de la NOM dan las especificaciones a seguir al instalar este tipo de canalizaciones.

Ductos cuadrados.

Otro medio empleado para la canalización de conductores eléctricos es el ducto cuadrado. Se usan solamente en las instalaciones eléctricas visibles ya que no pueden montarse embutidos en pared, ni dentro de lozas de concreto. Los ductos se fabrican en lámina de acero acanalada de sección cuadrada o rectangular. Las tapas se montan atornilladas. Su aplicación más común se encuentra en instalaciones industriales y laboratorios.

Los conductores se colocan dentro de los ductos en forma similar a los tubos conduit. Pueden utilizarse tanto para circuitos alimentadores como para circuitos derivados. Su uso no está restringido a los que se mencionaron en el párrafo anterior, ya que también pueden emplearse en edificios multifamiliares y oficinas, por ejemplo. La instalación de ductos debe hacerse tomando algunas precauciones, como evitar su cercanía con tuberías transportadoras de agua o cualquier otro fluido. Su uso se restringe para áreas consideradas como peligrosas. Los ductos ofrecen muchas ventajas en comparación con la tubería (conduit): ofrecen mayor espacio para el alojamiento de conductores, también son más fáciles de cablear.

En un mismo ducto se pueden tener circuitos múltiples, así se aprovecha mejor la capacidad conductiva de los cables al tenerse una mayor disipación de calor. La desventaja es que necesitan mayor mantenimiento. Se los fabrica en tramos de 1.5 metros y con dimensiones normalizadas (63.5 x 63.5, 101.3 x 101.3 milímetros, etc.).

Para las curvas se utilizan codos de las mismas dimensiones. Se pueden acoplar tubos (conduit) metálicos a estos ductos, para lo cual se deben remover segmentos circulares del mismo material dispuestos para este fin (chiqueadores). El empleo de ductos en instalaciones industriales, de laboratorios, edificios de viviendas o edificios de oficinas tienen ciertas ventajas como:

- Facilidad de instalación.
- Se vende en tramos de diferentes medidas, lo que hace su instalación más versátil.
- Facilidad y versatilidad para la instalación de conductores dentro del ducto, teniéndose la posibilidad de agregar más circuitos a las instalaciones ya existentes.
- Son 100% recuperables: al modificarse una instalación se desmontan y pueden ser usados nuevamente.
- Fáciles de abrir y conectar derivaciones.
- Ahorro en herramienta y en mano de obra para la instalación.
- Facilitan la ampliación de las instalaciones.

Se permite hacer empalmes de conductores en el interior del ducto. Otra ventaja es que se puede instalar un solo conductor de puesta a tierra, con base en el dispositivo más grande protección contra sobre corriente de los circuitos cuyos conductores se encuentran alojados en el ducto.

Alojamiento de conductores en ductos cuadrados o viguetas.

El artículo 384 de la NOM 001-SEDE-2012 indica los lineamientos a seguir en caso de que se requiera instalar ductos cuadrados. Al alojar conductores en este tipo de ducto, se debe ocupar únicamente el 20 % del área transversal. En otras palabras, el 80 % de su sección transversal debe quedar libre para que se tenga circulación de aire. Se pueden colocar hasta 30 conductores en un

ducto cuadrado sin aplicar factores de corrección por agrupamiento. Si el número de conductores es de 31 a 40, el factor de agrupamiento a aplicar será 0.4. Al introducir más de 40 conductores portadores de corriente, el factor de corrección por agrupamiento será 0.31.

Ejemplo:

En una instalación industrial se empleará un ducto cuadrado para alojar a los conductores de 5 circuitos, de los cuales el área total de los conductores es 485.2 mm², el área del conductor de puesta a tierra (conductor desnudo) es 8.37 mm². Determinar las dimensiones del ducto cuadrado a utilizar.

Solución:

El área total es El 20% del área total de un ducto de 2.5 x 2.5 pulgadas es 800 mm², por lo que se deduce que este ducto resulta adecuado para este fin.

Soporte tipo charola.

En el uso de charolas se tienen aplicaciones parecidas a las de los ductos con algunas limitantes propias de los lugares en los que se hace la instalación. En cuanto a la utilización de charolas se dan las siguientes recomendaciones:

Procurar alinear los conductores de manera que queden siempre en posición relativa en todo el trayecto, especialmente los de grueso calibre.

En el caso de tenerse un gran número de conductores delgados, es conveniente realizar amarres a intervalos de 1.5 a 2 metros aproximadamente, procurando colocar etiquetas cuando se trate de conductores pertenecientes a varios circuitos. En el caso de conductores de grueso calibre, los amarres pueden hacerse cada 2 ó 3 metros.

En la fijación de conductores que viajan a través de charolas por trayectorias verticales largas es recomendable que los amarres sean hechos con abrazaderas especiales.

Al igual que en los ductos, se permite hacer empalme de conductores dentro del soporte tipo charola, siempre y cuando sean accesibles y no sobresalgan de los rieles. En cuanto a la superficie máxima admisible de cables mono conductores, la tabla a consultar es la 392-22 de la NOM 001-SEDE-2012. El artículo 392 de la NOM explica cómo se deben alojar los conductores dentro de los soportes tipo charola.

Tubería (conduit).

Los tubos (conduit) se fabrican en una gran diversidad para emplearlos en cada caso del que se trate. Los hay de acero galvanizado de pared gruesa y delgada, de acero esmaltado de pared gruesa, de aluminio, tubo flexible y tubo de plástico rígido (PVC).

Tubo (conduit) tipo pesado (de acero de pared gruesa).

Los hay de acero galvanizado o acabado en color negro esmaltado, se los fabrica en tramos de 3.05 metros de longitud con rosca en ambos extremos. Para la adecuada conexión mecánica se utilizan conectores (coples y niples) y codos, ambos están fabricados con cuerda interior, por lo cual se requiere una herramienta espacial para formar una rosca exterior en el tubo que asegure su fijación. Los diámetros normalizados de estos tubos abarcan desde 16 hasta 155 mm (desde 0.5 hasta 6 pulgadas).

La superficie interior de estos tubos como en cualquiera de los otros tipos debe ser lisa para evitar daños al aislamiento o a la cubierta de los conductores. En los extremos de los tubos cortados, es necesario retirar con sumo cuidado la rebaba, para evitar que al introducir los conductores se les dañe el aislamiento. Los tubos rígidos de pared gruesa tipo pesado y semipesado pueden ser utilizados en instalaciones visibles u ocultas. Encofrado en concreto o embebido en mampostería.

También se los puede instalar directamente enterrados, para lo cual se les aplica un recubrimiento externo debido a las condiciones severas a que estarán sometidos.

Cuando resulte necesario realizar el doblado de este tipo de tubo, debe emplearse la herramienta apropiada, con el propósito de que no se reduzca su diámetro interno, además de evitar que se produzcan grietas en su parte interna. Para conductores con aislamiento normal alojados en este tipo de tubo, el radio exterior mínimo de las curvas debe ser el establecido en la tabla 2 Capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012. El número de curvas en un tramo de tubería colocado entre dos cajas de conexiones consecutivas o entre una caja y un accesorio, o bien, entre dos accesorios, se recomienda que no exceda a dos de 90° (180° en total). El artículo 344 de la NOM-001-SEDE-2012 indica las especificaciones que se deben seguir al instalar este tipo de tubo.

Tubo (conduit) metálico tipo ligero.

Conocido también como tubo (conduit) de pared delgada. Es una tubería de acero esmaltado o galvanizado flexible. Su uso es permitido en instalaciones ocultas o visibles, ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería. No debe utilizarse en lugares sometidos a grandes esfuerzos mecánicos y corrosión. Si la tubería es directamente enterrada la distancia mínima a la superficie es de 50 cm, si la distancia es menor, la tubería debe ser recubierta con concreto.

Los diámetros mínimo y máximo aprobados para esta tubería son 16 y 103 mm, respectivamente. Debido a que la pared es muy delgada, las uniones o empalmes no pueden ser roscados sino atornillados, por lo que deben emplearse accesorios especiales. La instalación de este tipo de tubo debe realizarse en conformidad con el artículo 358 de la NOM-001-SEDE-2012.

Tubo (conduit) metálico flexible.

Se construyen con chapa metálica y pueden ser recubiertos con una envoltura de material plástico (tubo flexible hermético a los líquidos). La cubierta puede ser lisa o corrugada y están diseñados para soportar sin deterioros un número elevado de flexiones. Son fabricados por rollos de 50 metros y se les pueden realizar cortes con herramienta especial para utilizar la cantidad deseada. Esta cualidad los hace idóneos para instalaciones de superficie móviles, por ejemplo para alimentar los cabezales de muchas máquinas herramientas. Se recomienda su uso en lugares secos y donde no se encuentre expuesto a corrosión o daño mecánico. Puede instalarse embutido en muro o ladrillo, así como en ranuras.

No se recomienda su aplicación en lugares en los cuales se encuentre directamente enterrado o embebido en concreto. Tampoco se debe utilizar en lugares expuestos a ambientes corrosivos, en caso de tratarse de tubo metálico.

El tubo licuatite, debido a las propiedades de su revestimiento, es idóneo para lugares que presentan altos niveles de corrosión. En el uso de tubo flexible, el acoplamiento a cajas, ductos y gabinetes se debe hacer utilizando los accesorios apropiados para tal objeto. Asimismo, cuando este tubo se utilice como canalización fija a un muro o estructura, deberá sujetarse con abrazaderas que no dañen al tubo, debiendo colocarse a intervalos no mayores a 1.40 metros. El artículo 348 de la NOM-001-SEDE-2012 especifica los requisitos mínimos que se deben cumplir al instalar tubo (conduit) metálico flexible; En el caso del tubo (conduit) flexible hermético a los líquidos, el artículo a cumplir es el 350.

Tubo (conduit) de plástico rígido.

Este tubo está fabricado de cloruro de polivinilo (PVC), junto con las tuberías de polietileno se clasifican como tubos conduit no metálicos. Este tubo debe ser auto extingible, resistente a la compresión, a la humedad y a ciertos agentes químicos. Su uso se permite en:

- Instalaciones ocultas.
- Instalaciones visibles donde el tubo no se encuentre expuesto a daño mecánico.

- Ciertos lugares donde se encuentren agentes químicos que no afecten al tubo y a sus accesorios.
- Locales húmedos o mojados instalados de manera que no les penetren los líquidos y en lugares donde no les afecte la corrosión que pudiera existir.
- Directamente enterrados a una profundidad no menor de 0.50 metros, a menos que se proteja con un recubrimiento de concreto de 5 centímetros de espesor como mínimo.

El tubo rígido de PVC no debe ser usado en las siguientes condiciones:

- Locales o áreas considerados como peligrosos.
- Soportando luminarias y otros equipos.
- En lugares en donde la temperatura del medio ambiente más la producida por los conductores exceda los 70 °C.

A continuación se presenta en la tabla 2.10, la sección de la tabla 392-10(a) Métodos de alambrado, referente a tubos conduit y los artículos que los norman en la NOM-001-SEDE-2012.

Tabla 2.10 Tubo conduit vs artículo NOM-001-SEDE-2012

Tubo Conduit	Artículo
Tubo conduit metálico ligero tipo EMT	358
Tubo conduit no metálico tipo ENT	362
Tubo conduit metálico flexible ligero tipo FMT	360
Tubo conduit de policloruro de vinilo PVC	352
Tubo conduit de resina termofija reforzada tipo RTRC	356
Tubo conduit metálico flexible tipo FMC	348
Tubo conduit metálico flexible hermético a los líquidos tipo LFMC	350
Tubo conduit metálico semipesado tipo IMC	342
Tubo conduit metálico pesado tipo RMC	344
Tubo conduit no metálico flexible hermético a los líquidos tipo LFNC	358
Tubo conduit no metálico pesado tipo ENT	362

Alojamiento de conductores en tubería (conduit).

El factor de relleno permite calcular el diámetro de la tubería posible de utilizarse en una instalación eléctrica. En instalaciones eléctricas residenciales de pequeña y mediana capacidad entre 2500 y 5500 Watts hasta con 8 conductores combinados de calibres números 10, 12 y 14 en tubería conduit, puede utilizarse tubo de 21 mm de diámetro. Menores de 2500 Watts hasta con 6 conductores combinados de calibre números 12 y 14 en la tubería conduit, puede utilizarse tubo de 16 mm.

La tabla 2.11 muestra el factor de relleno para determinar el número de conductores posibles de alojarse en una tubería, según la tabla 1 del Capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012.

Tabla 2.11 Factores de relleno en tubo (conduit).

Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores

Número de conductores	Todos los tipos de conductores
1	53
2	31
Más de 2	40

NOTA: Esta Tabla 2.11 Se basa en las condiciones más comunes de cableado y alineación de los conductores, cuando la longitud de los tramos y el número de curvas de los cables están dentro de límites razonables. Sin embargo, en determinadas condiciones se podrá ocupar una parte mayor o

menor de los conductos, teniendo como limitación las dimensiones de las aéreas de los tubos, Tabla 4 del Capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012, ver tabla 2.12.

Tabla 2.12 Dimensiones de tubo (conducir) y área disponible para los conductores, se presenta solo una sección de la Tabla 4 del Capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012.

Designación	Diámetro interior mm	Area interior total mm ²	Area disponible para conductores mm ²		
			Uno conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de dos conductores fr = 40%
16 (1/2)	15,8	196	103	60	78
21 (3/4)	20,9	344	181	106	137
27 (1)	26,6	557	294	172	222
35 (1-1/4)	35,1	965	513	299	387
41 (1-1/2)	40,9	1313	697	407	526
53 (2)	52,5	2165	1149	671	867
63 (2-1/2)	62,7	3089	1638	956	1236
78 (3)	77,9	4761	2523	1476	1904
91 (3-1/2)	90,1	6379	3385	1977	2555
103 (4)	102,3	8213	4349	2456	3282
129 (5)	128,2	12907	6440	4001	5163
155 (6)	154,1	18639	9879	5778	7456

Ejemplo:

Determinar el diámetro de la tubería conduit requerida para alojar un total de 5 conductores (alambre). 2 calibre 10 AWG y 3 calibre 12 AWG.

Solución:

Todo se reduce a una suma de áreas de los conductores dependiendo de la marca del mismo. Para el caso de conductores calibre 10 AWG. Su diámetro total exterior es: 4.19 mm, por lo que el área resulta:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3.1416)(4.19^2)}{4} = 13.78 \text{ mm}^2$$

Puesto que son dos conductores calibre No. 10 AWG entonces resultan: 27.57 mm².

Para el caso de conductores calibre 12 AWG su diámetro total exterior es: 3.65 mm, por lo que el área resulta:

$$A = \frac{(3.1416)(3.65^2)}{4} = 10.46 \text{ mm}^2$$

Puesto que son tres conductores calibre No. 12 AWG entonces resultan: 31.39 mm².

Sumando ambos totales resulta un área global de 58.96 mm².

Debido a que son más de dos conductores alojados en la tubería el factor de relleno es del 40% de acuerdo a las tablas mostradas aquí.

Al observar la tabla 2.12 en la columna correspondiente a: *más de dos conductores fr=40%* puede verse 78 mm² para la tubería de media pulgada (dato ubicado a la izquierda de la misma tabla) con lo que se deduce que dicha tubería (de 16 mm.) es la correcta para alojar a los cinco conductores mencionados.

Aunque a últimas fechas la tubería de 21 mm es la que se está utilizando como mínimo diámetro en instalaciones eléctricas residenciales.

Al estar los conductores alojados en cualquier tipo de canalización, el calentamiento restringe la capacidad de conducción de corriente de estos, ya que se tienen limitaciones para la disipación del calor y también porque el propio aislamiento representa limitaciones de tipo térmico.

A causa de estas restricciones térmicas, el número de conductores dentro de un tubo (conduit) se limita de manera tal que permita un arreglo físico de conductores de acuerdo con la sección del tubo o de la canalización, facilitando su alojamiento y manipulación durante la instalación. Para disponer de la cantidad de aire necesaria para disipar el calor, se debe establecer la relación adecuada entre la sección del tubo y la sección ocupada por los conductores. Podemos entonces establecer la siguiente ecuación:

$$F = \frac{A_c}{A} \quad (2.15)$$

Donde

F representa el factor de relleno;

A, el área transversal del tubo,

Y **A_c** es el área del tubo disponible para los conductores.

La tabla 2.11 indica los valores, en por ciento, del factor de relleno para uno, dos o más conductores en un tubo. En el cálculo del por ciento de la sección transversal que ocuparán los cables en un tubo (conduit) debe considerarse el área del conductor de puesta a tierra, también debe contemplarse el área completa de los conductores estén o no aislados.

La tabla 2.12 indica las dimensiones de los tubos metálicos de un tipo, además indica el área disponible para conductores. Estos factores de relleno deben respetarse incluso si se utiliza tubo metálico flexible o tubo (conduit) no metálico. En caso de que se emplee tubo metálico flexible, se deben consultar las tablas proporcionadas por los fabricantes para conocer las áreas internas disponibles exactas para alojamiento de conductores. La tabla 5 Capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012 indica las áreas de los conductores con aislamiento para cada sección transversal.

Ejemplo:

Para cierto circuito derivado, se requieren tres conductores cuya sección transversal de cada uno es igual a 28.2 mm², mientras que el área del conductor de puesta a tierra tiene una sección transversal de 5.6 mm². Determinar el diámetro de la tubería requerida, si se empleará tubo (conduit) pared delgada.

Solución:

De la tabla 2.11, tabla 1 capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012, podemos establecer que el factor de relleno es $F = 40\%$ (más de dos conductores en un tubo). El área que ocuparán los conductores será la suma de las áreas individuales de los conductores empleados. A continuación se hace uso de la tabla 4 capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012, donde encontramos que el área inmediata superior para este caso es $A_c = 137 \text{ mm}^2$, la cual corresponde a un tubo cuyo diámetro es 19 milímetros (3/4 in).

A continuación se muestra un ejemplo para efectuar el cálculo del calibre de los conductores utilizados en una instalación eléctrica para alimentar motores.

Ejemplo:

Calcular el calibre de los conductores con aislamiento THW, para alimentar 6 motores trifásicos a 220 V con un factor de potencia (fp). Y una eficiencia (η) igual a 0.9 y capacidades de 3, 5, 10, 15 y 25 HP.

Presentar las siguientes opciones:

- a) Un solo alimentador para los 6 motores en un solo tubo.
- b) Alimentador independiente para cada motor y todo en un solo tubo.
- c) Alimentador en tubo independiente para cada motor considerando una temperatura ambiente a 32°.

Datos a emplear:

V= 220 volts

fp= 0.9

η= 0.9

Hp= 3, 5, 10, 15, 20 y 25 Hp

Con el uso de la expresión (2.3), convirtiendo los Hp's en Volt amperes (HP*746) y el voltaje entre fases igual al voltaje nominal afectado por los factores de potencia y eficiencia ($\sqrt{3}V_Lfp\eta$), calculamos la corriente total de los motores alimentados.

$$I = \frac{HP * 746}{\sqrt{3}V_Lfp\eta}$$

$$I = \frac{78*746}{\sqrt{3}*220*0.9*0.9} = 188.52 A$$

La tabla 2.13 muestra el resumen de los cálculos realizados.

Tabla 2.13 Calculo de calibre de conductores por corriente.

Motor	Voltaje (V)	fp	η	HP's	I (A)	I x 1.25 (A)	Calibre alimentador	Cantidad.	Área (mm2)
1	220	0.9	0.9	3	7.25	9.06	12 AWG	3	9.92
2	220	0.9	0.9	5	12.08	15.10	12 AWG	3	9.92
3	220	0.9	0.9	10	24.16	30.21	10 AWG	3	15.78
4	220	0.9	0.9	15	36.25	45.31	8 AWG	3	25.10
5	220	0.9	0.9	20	48.33	60.42	6 AWG	3	38.90
6	220	0.9	0.9	25	60.42	75.53	4 AWG	3	63.45
Tierra física			4 AWG		1			21.15	
Total		78		188.5233		235.6542		184.22	

a) Calcularemos el conductor para un solo cable que alimente los seis motores dentro de una sola tubería.

Para obtener la corriente del conductor

$$I_a = 1.25 * I_{M_{Mayor}} + \sum I_{M_{Menores}}$$

$$I_{M_{Menores}} = \frac{53 * 746}{\sqrt{3} * 220 * 0.9 * 0.9} = 128.09 A$$

$$I_a = 1.25 * 60.42 + 128.09$$

$$I_a = 203.62 A$$

De acuerdo a la tabla 310-15(b) 16 de la NOM-001-SEDE-2012 se escogen 3 conductores de 4/0 THW AWG y un cable 4/0 AWG para el conductor de tierra física.

Como el área del calibre 4/0 es de $A=107.2 \text{ mm}^2$ y con un $fr=53\%$ el diámetro de la tubería es de 63 mm.

b) Alimentador independiente para cada motor y todo en un solo tubo, tabla 2.14.

Tabla 2.14 Cálculo de alimentadores contenidos en un solo tubo.

Motor	$I \text{ (A)}$	Calibre alimentador	Área (mm^2)	cantidad de conductores	Área total (mm^2)
1	1.25	12 AWG	3.30	3	9.90
2	2.50	12 AWG	3.30	3	9.90
3	3.75	10 AWG	5.26	3	15.78
4	5.00	8 AWG	8.36	3	25.08
5	6.25	6 AWG	13.30	3	39.90
6	7.50	4 AWG	21.15	3	63.45
Tierra física		21.15	1		21.15
Total			185.16		

El tubo para alojar a los 19 conductores de acuerdo a la Tabla 4 del Capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2012, se selecciona el tubo conduit pared delgada de 27 mm.

c) Un alimentador en tubo independiente para cada motor considerando una temperatura ambiente a 32° , tabla 2.15.

Tabla 2.15 Cálculo de tubería para alojar conductores independientes por motor.

Motor	$I \text{ (A)}$	Corrección a 32°C	Área (mm^2)	Calibre AWG	Tubería (mm)
1	9.06	0.94	8.52	12	16
2	15.10	0.94	3.30	12	16
3	30.21	0.94	5.26	10	16
4	45.31	0.94	8.36	8	21
5	60.42	0.94	13.30	6	27
6	75.53	0.94	21.15	4	35

Calcular la caída de tensión que se tiene al alimentar un motor monofásico de 5 HP a 127 V y que el alimentador tiene una longitud de 32 m, considere un factor de potencia de 0.9 con un aislamiento THW-LS. Tomando la ecuación 2.1

$$I = \frac{5 * 746}{127 * 0.9} * 1.25 = 40.7917 \text{ A}$$

De la tabla 310-15(b) 16 de la NOM-001-SEDE-2012 se escoge el conductor 8 AWG por ser el correspondiente a la capacidad de corriente.

Ahora realizaremos el cálculo por caída de tensión, ecuación 2.8.

$$\%e = \frac{4LI}{E_f S} = \frac{4 * 32 * 40.7917}{127 * 8.367} = 4.9$$

$$\%e = 4.9$$

Calcular el calibre de los conductores THW-LS para alimentar un motor trifásico de 30 HP que se encuentra a una distancia de 75 m de la fuente de alimentación de 220 V. se permite una caída de tensión máxima del 3%, el motor tiene un $\text{fp}=0.87$.

Calculamos la corriente del motor, ecuación 2.1

$$I = \frac{30 * 746}{\sqrt{3} * 220 * 0.87} = 84.3854 \text{ A}$$

De la tabal 310-15(b) 16 de la NOM-001-SEDE-2012 se escogen tres conductores 4 AWG, para el cálculo por caída de tensión tenemos, ecuación 2.10:

$$\%e = \frac{2\sqrt{3}LI}{E_f S} = \frac{2 * \sqrt{3} * 75 * 84.3854}{220 * 21.15} = 4.71\%$$

Por ser $\%e=4.71$ y como el motor tiene permitido trabajar con no más del 3% de caída de tensión, se calcula el porcentaje de caída de tensión con un calibre mayor, se tiene, ecuación 2.10:

$$\%e = \frac{2\sqrt{3}LI}{E_f S} = \frac{2 * \sqrt{3} * 75 * 84.3854}{220 * 33.62} = 2.96\%$$

Por lo tanto el calibre a usar será 3 AWG.

Conductores aislados sobre aisladores

Estas instalaciones podrán ejecutarse en locales donde no existen emanaciones de gases corrosivos. El recorrido de estos conductores debe ser tal que queden resguardados de golpes, roturas, alejados de estibas, estanterías, materiales inflamables o combustibles, zonas de alta temperatura, etc.

En presencia o posibilidad de inconvenientes, como los indicados en el párrafo anterior, así como en los casos de bajadas o colgantes, los conductores deberán resultar totalmente protegidos por conductos metálicos o aislantes, según sea el caso. Cuando la instalación se efectúe en muros, de modo que los conductores queden dispuestos en un plano horizontal, la separación entre dos soportes consecutivos será de 8 m. como máximo, para líneas de sección igual o mayor a 50 mm² y de 5 metros, para líneas de secciones iguales o menores de 35 mm². Tratándose de conductores de aluminio la separación entre dos soportes consecutivos de aisladores no podrá ser superior a 5 m.

Conductores aislados fijados directamente en paredes

Los conductores a emplear en este tipo de instalación deberán estar revestidos por una cubierta protectora. La fijación de estos conductores se puede llevar a cabo mediante bridas o abrazaderas, pero siempre evitando dañar la cubierta de los cables. Una limitante es que los conductores podrían doblarse por su propio peso, es por ello que la máxima distancia entre abrazaderas no debe exceder los 0.4 metros. Cuando estos cables están en contacto con materiales de

construcción (yeso, cal, cemento, etc.), se han de elegir conductores con aislamiento termoplástico. Los empalmes se realizan en cajas o dispositivos equivalentes.

Ductos subterráneos

Los ductos subterráneos pueden ser tubos no metálicos para usos subterráneos o ductos de polietileno de alta densidad. El tubo (conduit) no metálico con cables pre ensamblados para usos subterráneos es un ensamble hecho en fábrica de conductores o cables dentro de un tubo no metálico de sección circular y paredes lisas. Se lo fabrica con materiales resistentes a la humedad y a la corrosión. Se permite su uso en instalaciones directamente enterradas, encofrado en concreto y en instalaciones subterráneas sometidas a condiciones severas de corrosión.

El tipo de ducto a emplear en las redes subterráneas de distribución es el ducto de polietileno de alta densidad (PAD) y el ducto de polietileno de alta densidad corrugado (PADC). El PAD es un ducto plástico con acabado exterior e interior liso de doble capa, disponible en colores naranja, rojo y negro con franjas rojas para las bajadas de transición. El ducto de polietileno de alta densidad corrugado (PADC) es un tubo plástico con acabado exterior e interior corrugado en una sola capa. Estos tipos de ductos tienen además las mismas aplicaciones que los no metálicos con cables pre ensamblados para usos subterráneos. El PAD se fabrica en tramos de 6 metros o en rollos de 35 hasta 350 metros; el PADC, en rollos de 50 a 100 metros.

Como se mencionó anteriormente, se utiliza para alojar y proteger conductores bajo tierra. Se emplea en urbanización para redes de electrificación subterránea, redes de acometidas, bajadas de transición y alumbrado público de acuerdo con especificaciones de CFE. Al estar fabricado en rollos, no genera desperdicio al ser instalado porque se coloca un solo tramo entre registros. Posee una gran resistencia a la tensión, deflexión, aplastamiento e impacto. Otras ventajas que ofrece son óptima durabilidad y resistencia a la intemperie.

Para el ducto de polietileno de alta densidad liso, en trayectorias donde existan curvas se emplean codos de 90°, mientras que el PADC ofrece la ventaja de que, al ser corrugado, se le pueden hacer curvas manualmente. Las tablas 2.4.5 de la norma CFE-BMT-DP indican las capacidades de conducción de corriente de los conductores dependiendo del número de circuitos, del calibre de los conductores y del diámetro del ducto. La tabla 2.4.5- BT de la norma CFE-BMT-DP indica las dimensiones normalizadas mínimas que han de tener los tubos PAD Y PADC para la distribución en baja tensión. Al alojar conductores dentro de este tipo de ducto, se deben respetar los factores de relleno del artículo 10 de la NOM-001-SEDE-2012.

En el caso de las redes subterráneas de alta tensión, se deberá alojar un conductor por ducto, las dimensiones mínimas de los ductos se especifican en la tabla 5.2.2 de la norma CFE-AT-DP. Otro aspecto a considerar es el del terreno en que se instalarán los ductos, es decir, si éste es terreno blando, terreno con nivel freático muy alto o terreno rocoso (Ver artículo 2.4.2 de la Norma CFE BMT- DP).

2.2.1.2 Dispositivos de sujeción para cables y electro ductos.

El sistema de soportería unicanal permite con sus canales, abrazaderas, Conexiones y tuercas, armar fácil y adecuadamente cualquier soporte colgante a muro o a piso que su proyecto requiera. Varilla roscada galvanizada, figura 2.1, sus principales aplicaciones son: Colgar equipo, tuberías de agua y vapor, ductos, lámparas, tubería eléctrica, transformadores, tornillos especiales, fijar motores, para juntas de tuberías, fijación de cajas eléctricas, abrazaderas y tensores. Tamaño: Largos normales de un metro. Material: Acero 10-10 Terminado: Galvanizado electrolítico



Fig. 2.1 Varilla roscada galvanizada

Abrazadera conduit galvanizada de listón de colocación rápida que adhiere los tubos conduit y cobre en una eficaz y pronta colocación. Se puede colocar con herramienta de fijación.



Fig. 2.2 Abrazadera conduit galvanizada de listón.

Abrazadera U, figura 2.3. Se recomienda como soporte anclaje o guías de tuberías de gas líquido, vapor, etc. Se emplea en plantas de procesos químicos, mecánicos, petroquímicos, etc. Su facilidad de aplicación hace de esta abrazadera la predilecta del constructor. Se sujeta a tubos y postes.



Fig. 2.3 Abrazadera U.

Abrazadera forjada ajustable, figura 2.4. Diseñada para suspender cargas ligeras de tubería conduit, esta abrazadera se puede ajustar verticalmente a la altura adecuada, el ajuste varía según el tamaño de la abrazadera, permite la inclinación de la tubería así como el giro a los grados de colocación adecuados y deseados.



Fig. 2.4 Abrazadera forjada ajustable.

Coples, figura 2.5. Diseñados con cuerda interior y acabado galvanizado, su principal función es unir tramos de varilla roscada. Indispensable en la fijación de soportaría en techos cuando se emplea herramienta de fijación y un largo mayor de cuerdas, sistemas de colgado como la abrazadera trapecio cuando se utilizan los pernos de disparo.



Fig. 2.5 Coples.

Unicanal figura 2.6. Ideal para soportes de tubería, aire acondicionado, estanterías, bastidores de carga, columnas de soportes para alumbrado, líneas de agua, vapor o producto, barras de conducción, reflectores subestaciones. Es ajustable a la altura deseada, reutilizable, puede cambiarse de lugar, forma, estructura, altura, cargas, sin desperdicio, sólo basta con desarmar; una llave española es suficiente.



Fig. 2.6 Unicanal.

Abrazadera trapecio, figura 2.7. Se recomienda colocar la abrazadera trapecio atornillada en la loza cielo o bajo plafón de las construcciones. Su función es soportar la varilla roscada, birlo o cualquier otro tipo de anclaje para recibir las abrazaderas forjadas ajustables, perno, doble perno, etc. y hacer de sus instalaciones el ajuste y nivel que se requiera para la tubería a soportar.



Fig. 2.7 Abrazadera trapecio A 252.

Abrazaderas omega galvanizada, figura 2.8. Diseñada para el soporte de tubería conduit y cobre. Tiene muy buena resistencia a la vibración en techos, y para instalaciones de tubería galvanizada estándar.



Fig. 2.8 Abrazadera omega galvanizada.

Abrazadera pera, figura 2.9. Es una abrazadera muy versátil, permite el giro de la tubería a los grados deseados. Se recomienda para la suspensión de tubería sin aislamiento y tubería conduit o cobre. Se coloca al techo con abrazadera pera y varilla roscada para el ajuste de nivel y giro.



Fig. 2.9 Abrazadera pera.

Tuerca para canal, figura 2.10. Es colocada dentro del unicanal, siendo el dispositivo que permite sujetar a la varilla roscada.



Fig. 2.10 tuerca para unicanal.

Abrazadera ajustable para unicanal, figura 2.11. Esta abrazadera es muy práctica pues solo es necesario colocarla dentro del unicanal con la ayuda de sus muescas especialmente diseñadas para eso.



Fig. 2.11 Abrazadera ajustable para unicanal.

2.2.1.3 Tableros de distribución y centros de carga.

El termino tablero es aplicable tanto a los llamados de pared, como a los tableros de piso, para los propósitos prácticos, ambos sirven para la misma función: recibir la energía eléctrica en forma concentrada y distribuirla por medio de conductores eléctricos, por lo general barras, a las cargas de los circuitos derivados.

Los tableros de pared y de piso difieren únicamente en su accesibilidad, los tableros de pared como su nombre lo indica están diseñados para ser montados en pared o columna de manera que son accesibles por el frente únicamente. Los tableros de piso están diseñados para ser instalados retirados de las paredes de manera tal que son accesibles por el frente o por la parte trasera.

Los tableros de distribución deben estar debidamente rotulados por el fabricante con:

1. El nombre del fabricante o la marca comercial.
2. La tensión nominal.
3. La corriente nominal.
4. El número de fases.

La construcción del tablero de distribución debe permitir la identificación clara y duradera de cada uno de los circuitos.

Los tableros de distribución se clasifican en dos grupos:

1. Tableros de distribución para circuitos de alumbrado.
2. Tableros de distribución para circuitos ramales de fuerza.

En los tableros de distribución se debe instalar un barraje equipotencial de conexión a tierra. Este barraje se debe conectar equipotencialmente con la caja y la estructura de soporte del tablero y con el conductor de puesta a tierra.

Los circuitos derivados se protegen individualmente para sobrecorrientes y cortocircuito por medio de fusibles o interruptores termomagnéticos, montados en los tableros, algunas veces junto con los instrumentos de medición, tales como voltímetros, amperímetros, medidores de demanda, etc. Un fusible, si es débil, se funde y si es fuerte evita que la instalación se queme.

Una selección adecuada de los centros de cargas y sus elementos de protección evitarán accidentes y costosos gastos.

La longitud de los centros de carga se calcula de dos maneras:

1. Cuando todas las cargas parciales están en una misma dirección.
2. Cuando las cargas parciales se encuentran en varias direcciones con respecto de la toma de energía.

1. Cuando todas las cargas parciales están en una misma dirección.

En este caso, con la fórmula 2.16, se hace el cálculo de la distancia para colocar el centro de carga:

$$L = (L_1W_1 + L_2W_2 + \dots + L_nW_n) / (W_1 + W_2 + \dots + W_n) \quad (2.16)$$

Dónde:

L es la longitud en metros, y

W es la carga en watts.

Al encontrar la longitud para el centro de carga, en este lugar se coloca el conductor de mayor sección transversal. Consecuentemente de acuerdo con la longitud se calculan los conductores eléctricos que serán utilizados. Una vez calculado el centro de carga se colocará el tablero de distribución para la alimentación de las cargas parciales.

2. Cuando las cargas parciales se encuentran en varias direcciones con respecto de la toma de energía, se utiliza un sistema de coordenadas cartesianas para calcular el centro de carga.

a) Calcula el centro de carga respecto de los ejes coordenados, con la distancia media respecto del eje Y.

$$L_y = (L_{y1}W_1 + L_{y2}W_2 + \dots + L_{y\infty}W_{\infty}) / (W_1 + W_2 + \dots + W_{\infty}) \quad (2.17)$$

Y la distancia media respecto al eje X.

$$L_x = (L_{x1}W_1 + L_{x2}W_2 + \dots + L_{x\infty}W_{\infty}) / (W_1 + W_2 + \dots + W_{\infty}) \quad (2.18)$$

Y calcula la distancia resultante.

b) La intersección de estas distancias del centro de carga.

c) Calcular el centro de carga y la distancia de este al punto de alimentación.

Nota: Si las condiciones físicas del local no permiten la colocación del centro de carga, en el lugar destinado, se deberá recorrer hasta el muro o columna más cercana.

2.2.2 Selección y cálculo de dispositivos de protección, por sobrecarga y cortocircuito para motores.

Los motores eléctricos de inducción en corriente alterna, son los dispositivos más usados cotidianamente para la ejecución de trabajos mecánicos. Los encontramos en todo tipo de aplicación: ventilación, refrigeración, aire acondicionado, bombeo, molinos, medios transportadores, etc., etc.

Las principales causas por las que estos dispositivos sufren daños irreparables, se deben a las alteraciones del suministro eléctrico, exceso de trabajo mecánico asociado y problemas en la instalación eléctrica que alimenta al motor. En un segundo plano se encuentran los problemas asociados al deterioro de las partes que componen el motor. Tanto los motores monofásicos como los trifásicos son susceptibles a desperfectos debido a las causas antes mencionadas.

Desbalance de voltaje

El desbalance de voltaje, la pérdida de una fase, la inversión de secuencia, el bajo voltaje y alto voltaje son alteraciones del suministro eléctrico que causan daños irreversibles a los motores eléctricos.

Estas alteraciones dañan los motores y reducen su tiempo de vida. Incluso, pueden ocasionar accidentes que involucren al personal humano que interactúen con ellos.

El desbalance de voltaje es la alteración del suministro eléctrico más dañina a la que puede estar sometido un motor eléctrico. Aparece con la incorporación desbalanceada de cargas monofásicas a las líneas, provocando que unas tengan más o menos carga que otras. Esta incorporación asimétrica de cargas monofásicas, provocará valores de voltaje distintos entre las fases.

El principal problema que provocará el desbalance de voltaje a un motor eléctrico en marcha, es el aumento de la temperatura del motor. Ello, debido a la aparición de corrientes de secuencia negativa en sus devanados. Estas corrientes, producirán un campo electromagnético contrario al que impulsa el sentido de giro que posee el motor. Este campo electromagnético contrario, provocará una pérdida de la potencia relativa del motor y dicha pérdida se convertirá en más calor para los devanados.

Un desbalance de voltaje del 5% provocará una pérdida de la potencia relativa del 25% y un aumento del calor presente en los devanados del motor. El aumento del calor deteriorará de manera progresiva y acumulativa dichos devanados y en consecuencia disminuirá la vida útil del motor. El porcentaje de sobrecalentamiento del motor será directamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje de desbalance de voltaje.

Pérdida de una Fase

La pérdida de una fase se considera como el caso extremo de un desbalance de voltaje. Un motor trifásico en marcha que pierda una fase (VSP), continuará girando obteniendo la energía que requiere de las dos fases restantes, esto se traduce en un aumento significativo de las corrientes en las fases restantes y en consecuencia de la temperatura de los devanados del motor. En muchos casos, dependiendo de la carga asociada, el motor es capaz de regenerar la fase perdida.

Al poner en marcha un motor trifásico en ausencia de una fase, este consumirá en las dos fases restantes, una corriente equivalente a la denominada como rotor trancado. Dicha corriente generará un sobrecalentamiento de tal magnitud, que en pocos segundos destruirán completamente los devanados del motor.

Inversión de Secuencia

La inversión de dos de las tres fases, puede causar daños a máquinas o producir accidentes personales al hacer girar los motores en sentido inverso. Una inversión en la secuencia de las fases, suele ocurrir cuando se modifican las instalaciones eléctricas y durante las labores de mantenimiento del cableado.

Bajo Voltaje y Sobre voltaje

Las condiciones de bajo voltaje y sobre voltaje se deben principalmente a sobrecarga de los circuitos y/o regulación defectuosa.

Un motor eléctrico que opere en presencia de bajo voltaje, aumentará las corrientes de trabajo y en consecuencia se sobrecalentarán sus devanados. Una combinación de voltaje bajo y desbalance de voltaje producirá un mayor sobrecalentamiento del que producen estas alteraciones por separado.

Una variación del -10% del voltaje de operación especificado por el fabricante del motor, se traducirá en un peligroso incremento de las corrientes y un sobrecalentamiento de los devanados del mismo.

Un motor eléctrico que opere en presencia de sobre voltaje se sobrecalentará innecesariamente. Esta condición es especialmente peligrosa si el motor se encuentra a rotor trancado, la corriente que consumirá será superior a la corriente a rotor trancado.

Una variación $+10\%$, del voltaje especificado por el fabricante del motor, se traducirá en un peligroso e innecesario sobrecalentamiento de los devanados. Si el motor, bajo esta condición de sobre voltaje, llegase a encontrarse mecánicamente trancado, incrementará el valor de su corriente de rotor trancado.

Proteger los motores trifásicos, se ha vuelto una necesidad imperativa para los usuarios y/o propietarios de los mismos. Ello debido a las pérdidas económicas que implican la reparación o reposición del motor dañado y las asociadas al servicio que dejaron de prestar estando fuera de operación. La protección de un motor trifásico debe de contemplar problemas asociados a voltajes y al consumo de corriente. Para ello, se requieren de dispositivos que estén en capacidad de supervisar los valores de voltaje y de las corrientes, con que opera el motor.

Muchos dispositivos en el mercado ofrecen protección de motores trifásicos, la oferta es amplia y contempla desde los clásicos relés térmicos de sobrecarga, los supervisores electrónicos de voltaje, los relés electrónicos de sobrecarga, hasta las últimas tecnologías de protecciones integrales y las protecciones totales para motores trifásicos. Las dos últimas ofrecen protección al motor procesando digitalmente los valores de las corrientes, de los voltajes y de la temperatura del motor simultáneamente.

El objetivo es evitar incendios de origen eléctrico en dichos circuitos y en los conductores de alimentación al motor. En caso de cortocircuito en el interior del motor el sistema de protección contra cortocircuitos del circuito auxiliar evitara que se dañe, además del propio motor, el arrancador y el equipo de control del mismo. El sistema de protección del circuito auxiliar contra sobrecargas, determinado en parte por la corriente en el arranque y en el tipo de motor, está proyectado para proteger a los conductores de alimentación contra sobrecargas continuadas. Esta protección en la línea es, sin embargo, más elevada que la necesaria para la protección del motor contra sobrecargas constantes en funcionamiento.

Relés térmicos bimetálicos

Los relés térmicos bimetálicos constituyen el sistema más simple y conocido de la protección térmica por control indirecto, es decir, por calentamiento del motor a través de su consumo.

Los bimetales están formados por la soldadura al vacío de dos láminas de materiales de muy diferente coeficiente de dilatación (generalmente invar y ferroniquel). Al pasar la corriente eléctrica, los bimetales se calientan y se curvan, con un grado de curvatura que depende del valor de la corriente y del tiempo.

En caso de sobrecarga, al cabo de un determinado tiempo definido por su curva característica, los bimetales accionan un mecanismo de disparo y provocan la apertura de un contacto, a través del cual se alimenta la bobina del contactor de maniobra. Este abre y desconecta el motor.

En los relés térmicos diferenciales se dispone de un sistema mecánico diferencial para la protección contra fallos de fase. Si durante la marcha del motor se interrumpe una fase, el bimetálico de esta fase se enfría y desplaza hacia la izquierda la regleta superior. Con ello se consigue una carrera adicional en el extremo de la palanca, de forma que con una menor deformación de los otros dos bimetales se produce el disparo. En la figura 2.12 se muestra la estructura interna un relé térmico bimetálico.

El efecto resultante es un desplazamiento de la curva de disparo según la línea de trazos de la curva característica, de forma que éste se produce con una intensidad inferior a la nominal (generalmente a 0.85 de la nominal).

Se trata, pues, de una protección contra fallos de fase muy relativa, ya que el tiempo de disparo depende de la intensidad que esté consumiendo el motor. Si en el momento del fallo de fase esta intensidad fuera inferior al valor ajustado en el relé, éste no dispararía o lo haría en un tiempo muy grande. En cualquier caso se trata de un disparo lento, ya que incluso con la intensidad nominal habría que esperar un tiempo de aproximadamente 100 segundos.

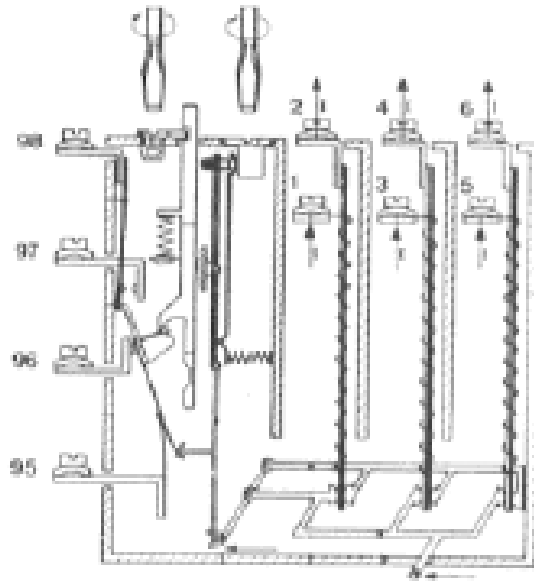
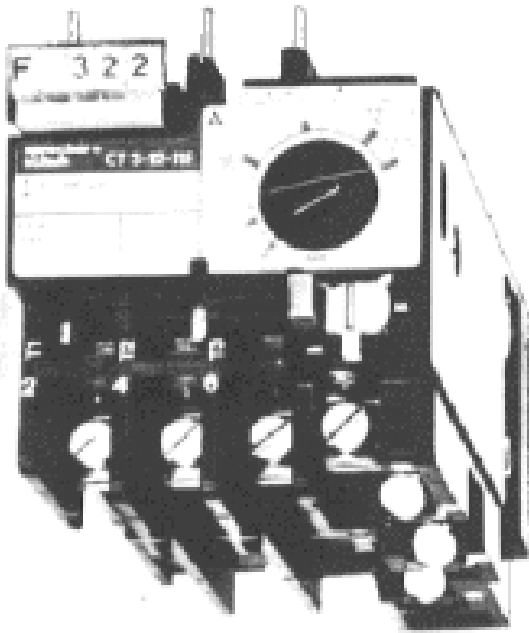


Fig. 2.12 Relé térmico bimetalico.

Por otra parte, los relés térmicos tienen una curva de disparo fija y está prevista para motores con arranque normal, es decir, con tiempos de arranque del orden de 5 a 10 segundos, ver figura 2.13.

En los casos de arranque difícil (en centrifugadoras, molinos, grandes ventiladores, etc.), que tienen un mayor tiempo de arranque, la curva de disparo resulta demasiado rápida y el relé térmico dispararía durante el arranque.

Para evitar esto hay que recurrir a algún procedimiento especial como puentear el térmico durante el arranque o alimentarlo a través de transformadores saturables. Esto además de encarecer considerablemente el arrancador, supone emplear procedimientos sin fundamento físico porque en realidad lo que se hace es engañar a la protección.

Así pues, el sistema de protección por relés térmicos bimetalicos es generalmente utilizado por ser, con mucho, el más simple y económico, pero no por ello se deben dejar de considerar sus limitaciones, entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- Curva de disparo fija, no apta para arranques difíciles.
- Ajuste impreciso de la intensidad del motor.
- Protección lenta o nula contra fallos de fase, dependiendo de la carga del motor.
- Ninguna señalización selectiva de la causa de disparo.
- Imposibilidad de auto controlar la curva de disparo.

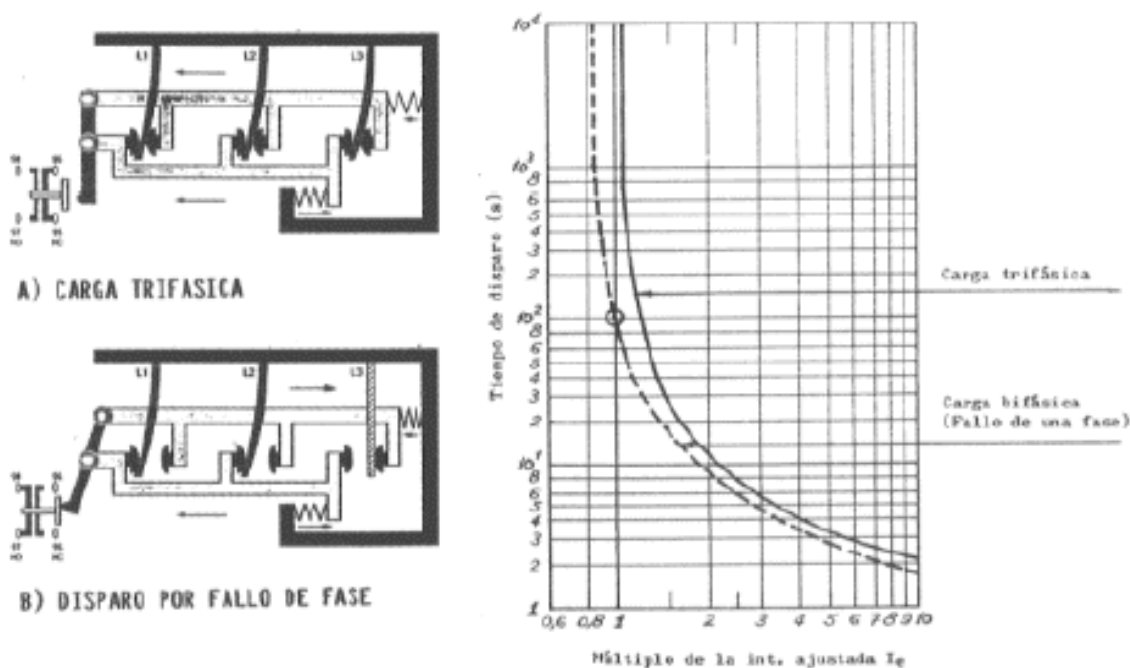


Fig. 2.13 Curva característica de disparo de un relé térmico bimetalico.

Protección con sondas térmicas

La protección con sondas térmicas constituye un magnífico sistema de protección contra las sobrecargas térmicas suaves y prolongadas. La sonda es como un termómetro que mide de forma directa la temperatura del arrollamiento del motor, acusando también la influencia de otros factores externos, tales como una temperatura ambiente excesiva o una ventilación insuficiente, ver figura 2.14.

Aunque hay varios tipos de sondas, las más utilizadas son las de coeficiente de temperatura positivo (CTP) o termistancias, las cuales se caracterizan por provocar un aumento brusco de su resistencia cuando la temperatura llega a un valor determinado, llamado "temperatura nominal de funcionamiento" (TNF). Para este valor, la termistancia, conectada a un relé electrónico especial, provoca el disparo del contactor de maniobra.

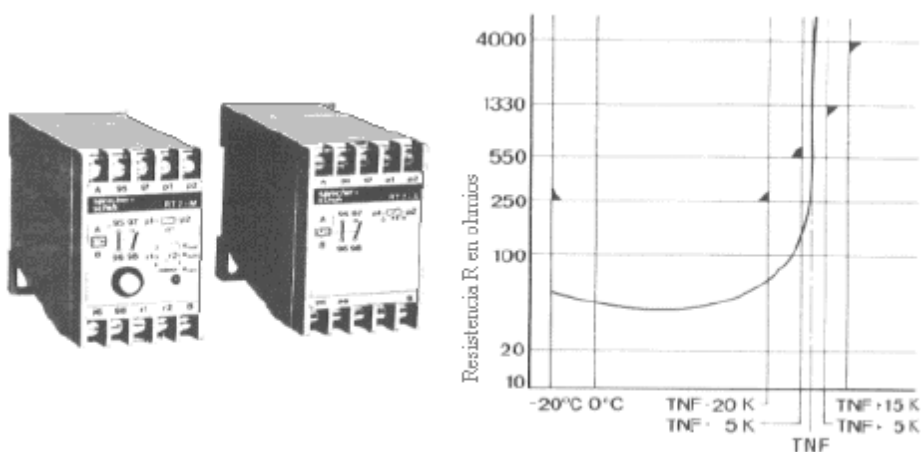


Fig. 2.14 Relé activado por sonda térmica y curva de disparo característica.

Como las sondas miden exclusivamente la temperatura del punto en que hacen contacto, es necesario colocarlas en los puntos más críticos del arrollamiento del motor; generalmente en el fondo de las ranuras o en las cabezas de bobina del lado de salida del aire. Esto obliga a efectuar su montaje de forma cuidadosa durante la fase de bobinado del motor para asegurar un buen contacto térmico.

Además de los problemas que lleva la colocación de la sonda hay otro factor que condiciona decisivamente este sistema de protección. A pesar de su pequeña masa (como una cabeza de cerillo), la sonda reacciona con un cierto retardo definido por su constante de tiempo térmica, que en la práctica suele ser del orden de 8 a 10 segundos. Esta inercia térmica, normalmente olvidada, es un factor muy importante a tener en cuenta sobre todo en casos de sobrecargas bruscas o bloqueo del rotor.

Así, en la figura 2.15 representamos la variación de temperatura en función del tiempo, en un motor hipotético M1 sometido a una densidad de corriente de 20 A/mm², y la correspondiente curva de temperatura de su sensor CTP.

Igualmente representamos la de un motor M2 sometido a una densidad de corriente de 50 A/mm², y la de su sensor. En ambos motores suponemos que sus aislantes son del tipo B.

Supongamos ahora que el motor M1 se halla trabajando a una temperatura normal de funcionamiento TNF de 110 °C y sufre una brusca sobrecarga. Como la sonda no reaccionará hasta pasados 10 segundos, esto dará tiempo a que el motor llegue a alcanzar la temperatura de 140°C, es decir, $140 - 120 = 20$ °C por encima de la temperatura máxima admitida por el aislante clase B.

Si ahora el motor M2 es el que sufre una brusca sobrecarga, y suponemos que también está trabajando a una temperatura normal de funcionamiento de 110 °C, la sobrecarga hará que la inercia de 10 segundos permita alcanzar al bobinado los 210 °C, lo cual produciría serios daños.

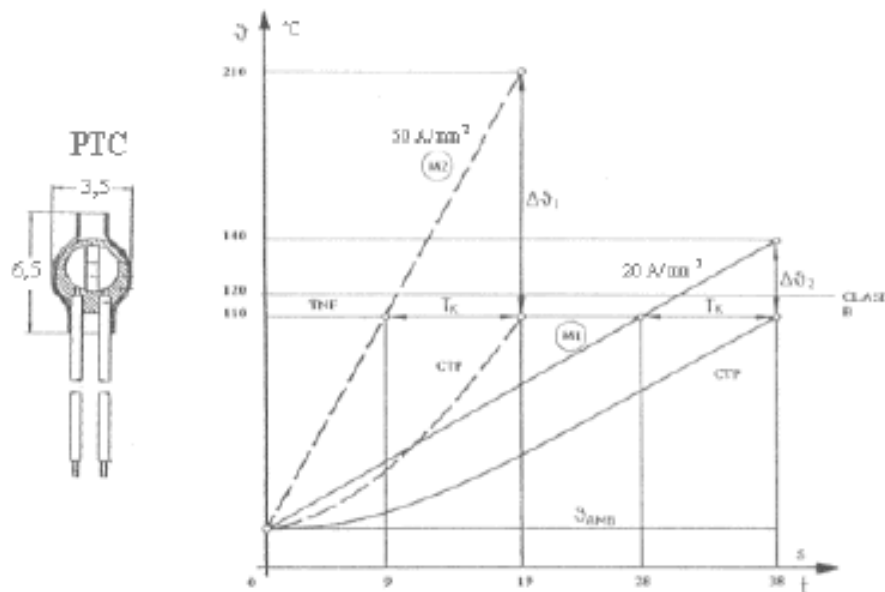


Fig. 2.15 Curva de temperatura de un sensor CTP.

Como las sondas térmicas sólo pueden detectar calentamientos con un cierto retardo, no suministran una protección rápida, como sería de desear, en los casos contra fallos de fase, bloqueo del motor, cortocircuito entre fases, y defectos o derivaciones con respecto a tierra.

Tampoco protegen a los conductores de alimentación, por lo que su empleo sólo es aconsejable en combinación con otros sistemas de protección.

Interrupor automático de motor

Los interruptores automáticos de motor, mostrados en la figura 2.16, utilizan el mismo principio de protección que los interruptores termomagnéticos. Son aparatos diseñados para ejercer hasta 4 funciones: Protección contra sobrecargas, Protección contra cortocircuitos, Maniobras normales manuales de cierre-apertura y Señalización.

Este tipo de interruptores, en combinación con un contactor, constituye una solución excelente para la maniobra de motores, sin necesidad de fusibles de protección.

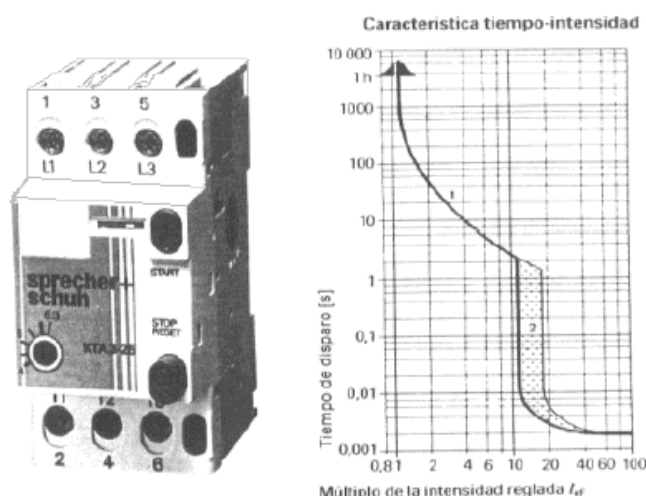


Fig. 2.16 Interruptor automático y curva característica.

En la figura 2.17 podemos ver dos circuitos diferentes de alimentación de un motor según dos procedimientos; el primero utiliza los fusibles de protección de líneas, el imprescindible contactor y su relé térmico; el segundo solamente utiliza un interruptor automático de motor y un contactor.

Las diferencias son notables, así que veamos los inconvenientes y ventajas estudiando la composición del interruptor automático de motor.

Como ya hemos dicho, estos interruptores disponen de una protección térmica. Cada uno de los tres polos del interruptor automático dispone de un disparador térmico de sobrecarga consistente en unos bimetales por los cuales circula la corriente del motor. En caso de una sobrecarga el disparo se produce en un tiempo definido por su curva característica. La intensidad de disparo térmico es regulable dentro de ciertos límites.

La protección magnética o disparador magnético de cortocircuito consiste en un electroimán por cuyo arrollamiento circula la corriente del motor y cuando esta alcanza un valor determinado se acciona bruscamente un núcleo percutor que libera la retención del mecanismo de disparo, obteniéndose la apertura de contactos en un tiempo inferior a 1 ms. La intensidad de funcionamiento del disparador magnético es de 11 a 18 veces la intensidad de reglaje, correspondiente a los valores máximo y mínimo del campo de reglaje.

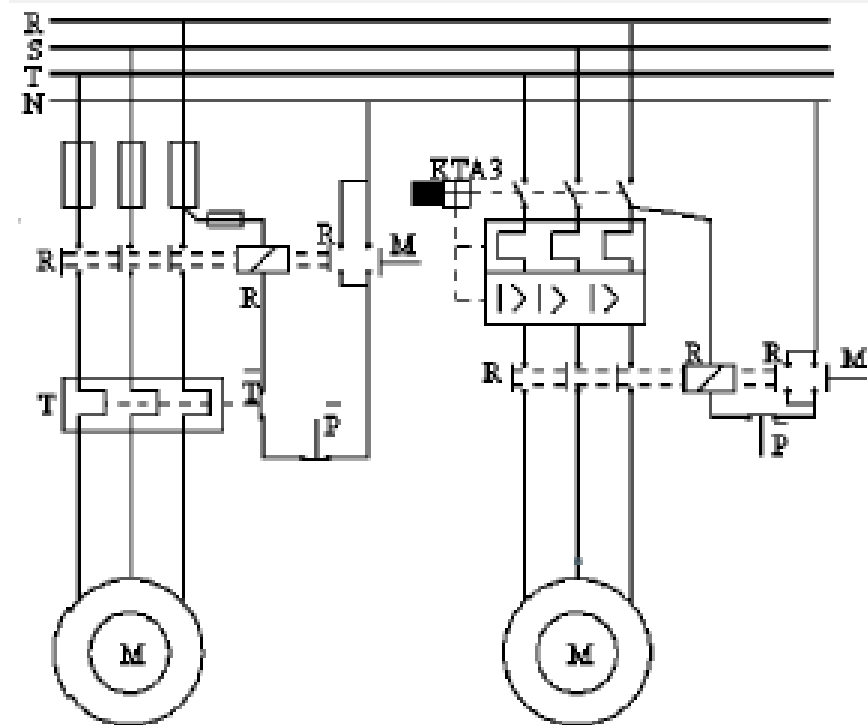


Fig. 2.17 Ejemplo de aplicación de un interruptor automático.

Otra característica interesante en este tipo de aparatos es la limitación de la corriente de cortocircuito por la propia resistencia interna del interruptor, correspondiente a los bimetales, disparadores magnéticos y contactos. Este efecto disminuye a medida que aumenta la intensidad nominal del aparato.

Gracias al diseño optimizado de las piezas de los contactos y de las cámaras de extinción, estos aparatos tienen un poder de corte muy elevado. Así, por ejemplo, a 380V, el poder de corte es de 100 kA.

Para los aparatos de hasta 6.3 A; de 6.3 - 10 A. el poder de corte es de 10 kA, y de 10 - 25 A. el poder de corte es de 6 kA.

Una tecla de conexión START y otra de desconexión STOP o RESET permiten el mando manual del interruptor, lo cual le faculta para que en ciertos circuitos se pueda prescindir del contactor.

Un botón giratorio, situado a un costado del interruptor, permite seleccionar la función T "TRIP", de disparo con señalización y bloqueo de la re conexión directa.

Esta función tiene la misión de que en el caso de disparo por sobrecarga o cortocircuito la tecla STOP se desplace a una posición intermedia, aproximadamente a la mitad de su carrera total, indicando con ello el motivo de la desconexión. Para efectuar la nueva conexión manual es necesario pulsar a fondo la tecla STOP.

Estos interruptores, en su lateral izquierdo, disponen de un alojamiento para la colocación de un bloque de contactos auxiliares, figura 2.18. Un contacto normalmente cerrado y otro normalmente abierto pueden servirnos para todas aquellas funciones de señalización que deseemos.

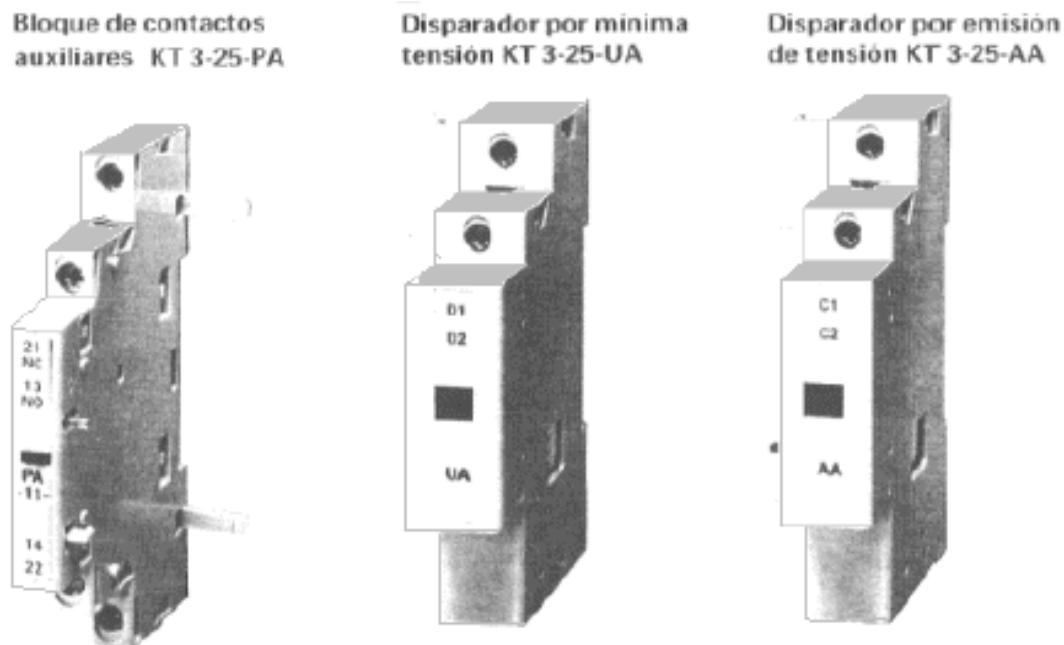


Fig. 2.18 Bloques auxiliares.

También es posible desconectar a distancia estos interruptores, ya que se dispone, en su lateral derecho, de alojamiento para colocar una bobina de disparo por emisión de tensión, o una bobina de disparo por mínima tensión.

Con todo lo dicho sobre los interruptores automáticos de motores, es posible llegar a la conclusión de que aunque estos interruptores no supongan el sistema ideal de protección, pueden sustituir ventajosamente a los grupos fusibles/relés térmicos utilizados para la protección de motores.

Interruptores diferenciales

Son interruptores automáticos que evitan el paso de corriente de intensidad peligrosa por el cuerpo humano. La peligrosidad de los efectos que se pueden producir depende de la intensidad de la corriente y de su duración, tal como se determina en el gráfico de la figura 2.19.

En dicho gráfico, si fijamos una intensidad circulante en mA, y un tiempo de duración en ms., se nos determina un punto. Si este punto se halla en la zona A, los efectos que se producirán serán inofensivos para personas normales. Si se halla en la zona B, ocasionará molestias que pueden ser peligrosas, y si se halla en la zona C podrá resultar mortal, ya que puede ocasionar inconsciencia o fibrilación ventricular.

Por ejemplo, vemos en el gráfico que una intensidad de 310 mA, según actúe durante 40, 80 o 400 ms. está situada en la zona A, B o C.

La intensidad circulante por el cuerpo humano viene limitada por una parte, por la resistencia propia del cuerpo (unos 550 Ω mínimo) y por otra, por la resistencia del contacto con las zonas en tensión. Para el caso más desfavorable de resistencia del cuerpo y suponiendo un contacto perfecto, la intensidad circulante será máxima.

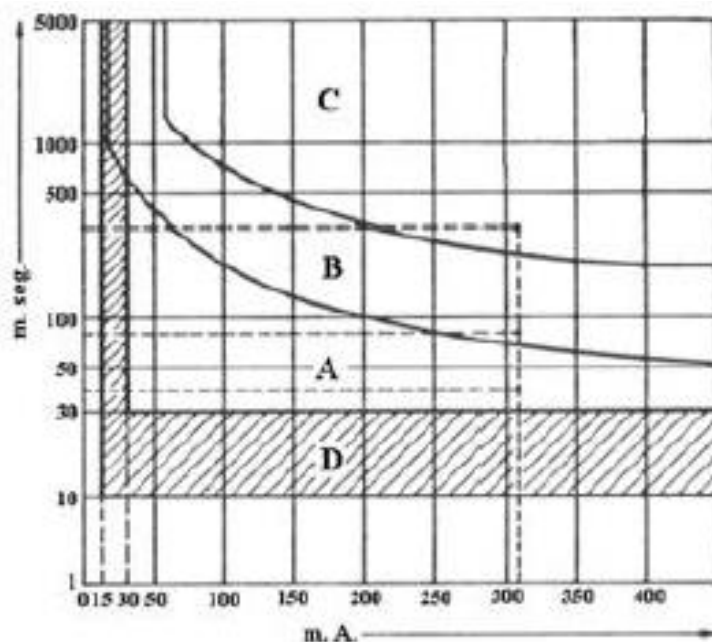


Fig. 2.19 Curva característica de un interruptor diferencial.

En el supuesto de una tensión de 220V., la intensidad alcanzará un valor de 400 mA. Si trasladamos esta intensidad al gráfico, veremos que para que no se produzcan más efectos que los inofensivos de la zona A, debe ser cortado en un tiempo máximo de 60 ms.

Esta desconexión la garantizan los interruptores diferenciales, ya que su curva característica (señalada con D en la figura 2.19) delimita debajo de ella un campo de trabajo donde no se desconecta por hallarse en la zona de seguridad A. No obstante, cuando los valores corriente-tiempo tiendan a crecer, alcanzado las zonas peligrosas B o C, deben cruzar la banda de desconexión D y en este instante el interruptor se abrirá.

Los diferenciales se basan en una característica de los circuitos bifásicos o trifásicos, en los que la suma de las intensidades debe ser cero cuando no existen fugas. Cuando por algún motivo la suma de intensidades no es cero, en la bobina auxiliar aparece una tensión que aplicada a una pequeña bobina, acciona un pivote que a su vez acciona el dispositivo mecánico que abre los contactos principales del circuito. Según sea el valor de la intensidad de desequilibrio que acciona el diferencial, así se definirá su sensibilidad. Normalmente se fabrican de dos sensibilidades, 30 y 300 mA.

Referente al dispositivo de disparo automático es del tipo llamado de "libre mecanismo", es decir, que aun reteniendo el correspondiente mando en la posición de circuito cerrado, éste se abre si aparece el defecto correspondiente.

La intensidad nominal que puede controlar un diferencial, depende de las dimensiones de los contactos principales, y se fabrican con intensidades comprendidas entre 25 y 63 A, siendo el más corriente el de 40A., por ser el que se suele utilizar en viviendas.

Se fabrican dos modelos de diferenciales, uno de dos polos para suministros bifásicos y otro de cuatro polos para los suministros trifásicos con neutro, los diagramas de conexión se muestran en la figura 2.20. Los diferenciales deben de disponer de un botón de prueba (figura 2.21), mediante el cual se provoca una fuga igual a la sensibilidad del aparato y por tanto su desconexión inmediata. La finalidad de este pulsador es la de permitir al usuario comprobar periódicamente el correcto funcionamiento del interruptor diferencial.

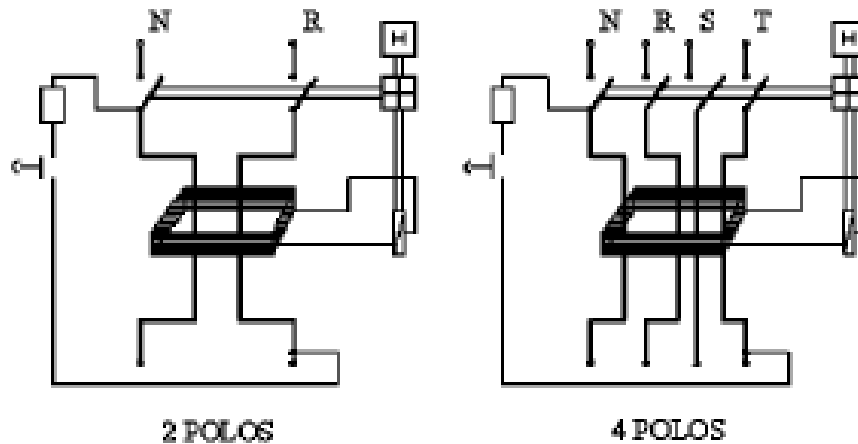


Fig. 2.20 Diagramas para interruptores diferenciales de dos y cuatro polos.

Para intensidades superiores a los 63A., los diferenciales suelen utilizarse de forma indirecta, es decir, la señal diferencial obtenida de un toroidal es utilizada para accionar un contacto conmutado, encargado de accionar la bobina de emisión o la de mínima tensión del termomagnético de línea.

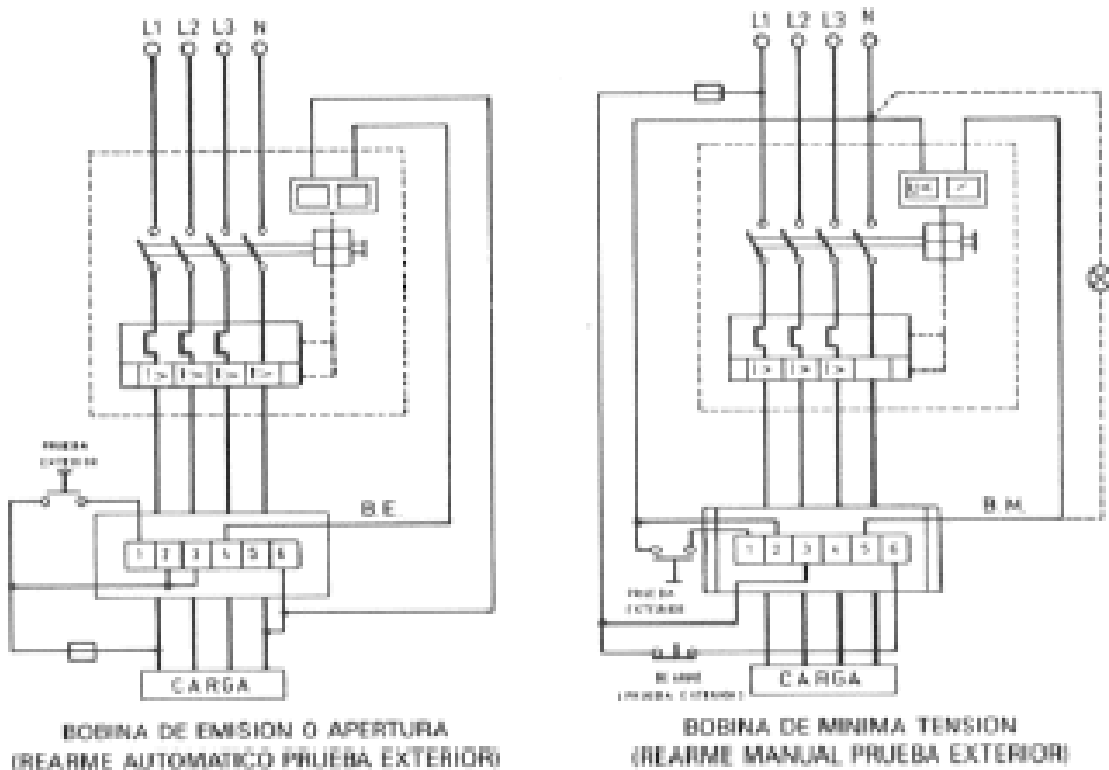


Fig. 2.21 Diagrama de conexión del botón de prueba.

Para la selección del interruptor que ha de proteger a un motor, se recomienda multiplicar la corriente nominal por 3, si el interruptor es de navajas con fusibles, o bien por 2.5 si el interruptor es termomagnético. Es decir, a la corriente nominal, se le agregará al 200 % para fusibles y 150 % para termomagnético, según Artículo 430-6 NOM-001-SEDE-2012, con estos datos obtenidos, se

procede a buscar el fusible o interruptor inmediato superior. El cálculo anterior, es una recomendación generalizada, para casos conflictivos, deberá hacerse el cálculo en base a los KVA por C.P., con rotor bloqueado, según su letra de código, ver tabla 430-7 (b) NOM-001-SEDE-2012.

En el caso de seleccionar la capacidad de un interruptor para circuitos de alumbrado, este no debe ser menor a la capacidad de corriente total que se esté demandando.

Para seleccionar el interruptor que ha de proteger a varios motores se suma la corriente obtenida en el cálculo indicado anteriormente, del motor mayor, más la corriente nominal de los demás motores del grupo. O lo que es lo mismo: se suman todas las corrientes de los motores del grupo y se le agrega la corriente del motor mayor multiplicado por 2, si es interruptor de navajas o por 1.5 si el interruptor es termomagnético. Esto se representa con la siguiente fórmula:

Interruptor de navajas:

$$I_{int} = \text{suma } I + 2 IM \quad (2.19)$$

Interruptor termomagnético:

$$I_{int} = \text{suma } I + 1.5 IM \quad (2.20)$$

Dónde:

I_{int} = corriente para seleccionar el interruptor derivado

$\text{suma } I$ = suma de las corrientes de los motores del grupo.

IM = Corriente del motor mayor

Con la corriente así obtenida, se procede a seleccionar el fusible o interruptor de capacidad inmediata superior.

Capacidades comerciales de interruptores

Interruptores de navajas

2 polos - 30 y 60 A

3 polos - 30, 60, 100, 200, 400, 600, 800 y 1200 A

Los fusibles los fabrican para los siguientes rangos en amperes:

3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30/35, 40, 45, 50, 60/70, 75, 80, 90, 100/110, 125, 150, 175, 200/225, 250, 300, 350, 400 amperes.

Interruptores termomagnéticos (para fuerza)

15, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 amperes.

Ejemplo:

Calcular las características principales de los circuitos derivados y el alimentador para un centro de control de motores que alimentará a los siguientes motores:

- Un motor trifásico de inducción 25 HP a 220 V, tipo jaula de ardilla con letra de código G.

- Un motor trifásico de inducción de 20 HP a 220 V, tipo jaula de ardilla con letra de código C.

Se considera que se usaran interruptores termomagnéticos, elementos térmicos y conductores THW. Se supone también que se trata de motores estándar con una elevación de temperatura no mayor de 40 °C.

Determinar:

1. La protección del alimentador.

2. El conductor del alimentador.

3. La protección del circuito derivado de cada motor.

4. El conductor del circuito derivado de cada motor
5. Los elementos térmicos de cada motor.
6. Las capacidades de los medios de desconexión de cada motor.

Solución:

1. Para un motor de 25 HP a 220 V, la corriente nominal es de 71 A, para motores de inducción con letra de código G y corriente de plena carga mayor de 30 A se puede usar un factor de 2.5 veces la corriente nominal a plena carga, por lo que la protección del alimentador se calcula como:

$$\text{Proteccion del alimentador} = 2.5 * I_{pc \text{ motor mayor}} + \sum I_{pc \text{ otros motores}} \quad (2.21)$$

Para el motor de 20 HP a 220 V, la corriente a plena carga es:

$$I_{pc} = 56 \text{ A}$$

Por lo tanto, la protección del alimentador se calcula como:

$$\text{Proteccion del alimentador} = 2.5 * 71 + 56$$

233.5 A máximos.

Por lo tanto, se puede usar un interruptor termomagnético de 225 A.

2. Calibre del conductor del alimentador.

La capacidad de conducción de corriente del alimentador (ampacidad) es:

$$I = 1.25 * I_{pc \text{ motor mayor}} + \sum I_{pc \text{ otros motores}}$$

$$I = 1.25 * 71 + 56 = 144.75 \text{ A} \quad (2.22)$$

Se requieren 3 conductores THW calibre 2/0 AWG en una tubería conduit como alimentadores del centro de control de motores, esto basado en las tablas de la NOM 001-SEDE-2012, como se vio en temas anteriores.

3. Protección del circuito derivado de cada motor.

a. Por lo que se puede emplear un interruptor termomagnético de 175 A

$$I = 2.5 * I_{pc} = 2.5 * 71 = 177.5 \text{ A}$$

b. Para el motor de 20 HP a 220 V, con $I_{pc}=56$ A. y con letra de código C, se puede usar un factor de $2 \times I_{pc}$ por lo que:

$$I = 2 * 56 = 112 \text{ A}$$

Se puede emplear un interruptor termomagnético de 110 A.

4. Conductores de los circuitos derivados.

a. Para el motor de 25 HP

$$I = 1.25 * I_{pc} = 1.2 * 71 = 88.75 \text{ A}$$

Con conductor THW calibre no. 2 AWG en un tubo conduit.

b. Para el motor de 20 HP

$$I = 1.25 * I_{pc} = 1.2 * 56 = 70 A$$

5. Elementos térmicos

Para motores estándar con elevación de temperatura no superior a 40 °C, la capacidad de los elementos térmicos es $1.25I_{pc}$.

a. Para el motor de 25 HP a 220 V con $I_{pc}=71 A$.

$$I_{\text{elemento termico}} = 1.25 * I_{pc} = 1.2 * 71 = 88.75 A$$

b. Para el motor de 20 HP a 220 V con $I_{pc}=56 A$

$$I_{\text{elemento termico}} = 1.25 * I_{pc} = 1.2 * 56 = 70 A$$

6. Dado que los motores no estarán a un lado del centro de control de motores, es necesario proporcionar un interruptor por separado, por lo que se deben usar interruptores de 25 HP y 20 HP. O bien interruptores termomagnéticos de $2.5 * I_{pc}$ para el motor de 25 HP, es decir: $2.5 \times 71 = 177.5 A$ (175 A) y de $2.5 \times I_{pc}$ para el motor de 20 HP o sea $2.5 \times 56 = 140 A$.

2.3 Consideraciones de planeación.

Antes de entrar en materia de la planeación de un proyecto eléctrico, es importante repasar y tener claros los siguientes conceptos:

- Instalación eléctrica: sistema de conductos (tuberías, mangueras y/o ductos), conductores, dispositivos de protección y de control, accesorios y equipos, instalados en un edificio para la alimentación, distribución y utilización de la energía eléctrica de manera eficiente, funcional y segura.
- Conductos: Canalizaciones aprobadas para dar alojamiento, soporte y protección a los conductores en todo su recorrido. La clasificación más general los agrupa en:
 - Metálicos: tubo conduit metálico, conduit flexible, tubo licuatite, ducto cuadrado y charolas.
 - No metálicos: manguera poliducto, manguera flexible corrugada Poliflex y tubo conduit de PVC.
- Conductores: cables (varios hilos), alambres (un solo hilo) y cordones debidamente aprobados como conductores con sus diferentes clases de aislamientos (temperatura de operación máxima), sección transversal nominal en mm² o su equivalente en el sistema AWG (American Wire Gauge).
- Accesorios: incluye todos los elementos de salida, derivación y cambio de trayectoria, tales como lámparas, contactos, condulets, apagadores, fotocontroles, sensores de presencia, etc.
- Equipos: los equipos eléctricos pueden ser motores, transformadores, centros de carga, interruptores de seguridad, lámparas de emergencia, No Break o respaldo UPS (sistemas ininterrumpidos de potencia), etc.
- Acometida: es el conjunto de conductores con los que la compañía suministradora nos proporciona el servicio de abastecimiento de energía eléctrica.

Los requisitos que debe reunir una instalación eléctrica para garantizar una buena eficiencia y seguridad, se indican en el reglamento de instalaciones eléctricas, entre los cuales se mencionan los siguientes: Protección contra corto circuito y fallas a tierra, Medio de desconexión, Conductores, Controlador y Protección contra sobrecarga.

a) Protección contra corto circuito y fallas a tierra.

En toda instalación eléctrica de fuerza, se debe de contar con un dispositivo de protección contra sobrecorrientes debidas a cortocircuito y fallas a tierra. Este dispositivo podrá ser un interruptor de seguridad o un interruptor termomagnético, donde el criterio para la selección del fusible o la capacidad del ITM, será: Que sean capaces de soportar la corriente nominal del motor de mayor capacidad, más la suma de las corrientes de motores más pequeños o de otras cargas, en caso de que las hubiera.

b) Medio de desconexión.

Toda instalación eléctrica de fuerza requiere de un medio de desconexión de motores y controles de los circuitos que los alimentan.

Los medios de desconexión deberán ser de los siguientes tipos: Un interruptor de navajas con capacidad nominal en caballos de potencia o un interruptor termomagnético abierto o en caja, con o sin protección térmica y magnética.

En motores fraccionarios de 1/8 C.P. o menos, y en circuitos que alimenten a un solo motor, el dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra, puede servir como el medio de desconexión.

El medio de desconexión debe tener capacidad para conducir continuamente por lo menos 115 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

c) Conductores.

Una buena selección de los conductores que alimenten uno o varios motores, nos dará como resultado una instalación eléctrica segura y confiable.

En la determinación del calibre del conductor se tomaran en cuenta entre otros factores, la longitud del motor al centro de carga, la capacidad del motor, la temperatura del local, el tipo de instalación, etc.

Dicho de otra manera, los conductores que alimenten motores deben ser capaces de conducir la corriente requerida, sin sobrecalentamiento, bajo las condiciones particulares de que se trate.

d) Controlador.

El término controlador comprende cualquier interruptor o dispositivo que se use normalmente para arrancar y parar un motor. Cualquier instalación eléctrica de fuerza debe de contar con controles adecuados para todos los motores.

Como anteriormente se mencionó, un interruptor de navajas y un interruptor automático de tiempo inverso, pueden servir como controladores, sin embargo los controladores diseñados especialmente para este fin, son los “arrancadores”, sea cual sea el controlador, deberá tener una capacidad en KW o en C.P. no menor que la potencia nominal del motor que controlen.

e) Protección contra sobrecarga.

Una sobrecarga en un aparato eléctrico, origina una sobre corriente de funcionamiento que, cuando dura un tiempo suficientemente prolongado, puede dañar o recalentar peligrosamente el aparato, esto no incluye los cortocircuitos o fallas a tierra.

Entonces, resulta necesario disponer de un dispositivo de protección contra sobrecarga, siendo estos, bobinas de disparo o relevadores de sobrecarga, estos dispositivos actúan desconectando el motor cuando cortan una corriente superior a la cual se han calibrado previamente, protegiéndonos con ello la instalación.

El número y ubicación de unidades de sobrecarga está en función del sistema de alimentación y del tipo de motor, a continuación se presenta una tabla para determinar el número de unidades de sobrecarga.

Los requisitos descritos anteriormente no deben descuidarse en una instalación eléctrica de fuerza, y algo que tampoco debe descuidarse es el tener siempre presente el verificar los datos de placa de los aparatos, ya que es ahí donde nos enteraremos de las características propias de cada aparato, tales como: voltaje de operación, tipo de conexión, frecuencia de operación, corriente nominal, letra de código, etc. Si no descuidamos estos datos, difícilmente se presentarán problemas en la instalación eléctrica.

Por otro lado, el tipo de instalación de que se trate, influye bastante para la selección de los materiales, ya que con ello sabremos qué tipo de accesorios son los adecuados para instalar.

Antes de iniciar con los cálculos de un proyecto, debemos tener la siguiente información:

- Tipo de instalación eléctrica: residencial, comercial o industrial, etc.
- Carga total instalada o relación de cargas. Es la suma de todas y cada una de las cargas a alimentar como lámparas, contactos y aparatos de alto consumo expresadas en Volts Amperes (VA) o en Watt.

2.3.1 Sistemas de distribución.

La energía eléctrica suministrada desde las fuentes hasta los circuitos que alimentan las cargas se lleva a cabo mediante un sistema de distribución. Este sistema es una disposición del equipo en varias configuraciones diseñadas para proporcionar la cantidad correcta de corriente y la tensión apropiada en cada salida de utilización. El sistema de distribución lleva la energía mediante alimentadores generales a los tableros sub-generales y a los tableros derivados.

Los objetivos que deben de cubrir los sistemas de distribución eléctricos son:

- Se debe determinar la magnitud de la carga y en función de ésta, se debe realizar el cálculo de los alimentadores.
- Los Tableros de distribución se deben ubicar lo más cercano posible a los tableros derivados y/o centros de carga a alimentar.
- La trayectoria de los alimentadores debe ser lo más recta posible y se debe proyectar invariablemente sobre circulaciones principales, pasillos, corredores y ductos de instalaciones.
- Se deben identificar los diferentes sistemas de alimentación eléctrica por el tipo de servicio (tensión normal, tensión regulada, emergencia, etc.)
- Los alimentadores generales se deben seleccionar con una capacidad de reserva para futuro crecimiento del 25% de la carga instalada.
- Se deben especificar equipos de línea comercial con números de catálogo actualizados y sus especificaciones deben corresponder tanto en planos como en catálogo de conceptos.
- En los cálculos de diseño se deben observar los valores mínimo y máximo de la norma NOM- 001-SEDE-2012 para conductores, tubería conduit, dispositivos de protección, interruptores y equipo de control.

Tensiones para sistemas de distribución.

Media tensión. Por requerimientos de los proyectos, por ejemplo se pueden utilizar una o más de las tensiones que se mencionan a continuación: 13.2, 23 Y 34.5 kV.

Baja tensión. Por requerimientos de los proyectos se pueden utilizar una o más de las tensiones que se mencionan a continuación: 220/127 V. y 480/277 V.

Requerimientos para canalizaciones y registros en Media Tensión.

- a) Los alimentadores deben proyectarse en canalizaciones subterráneas y su trayectoria debe ir sobre circulaciones exteriores o paralelo a ellas.
- b) Las bóvedas, pozos y registros deben ser diseñados de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012, artículos 314-29, 314-30, 314-70 apartado C, 923-15, 923-16, 923-19. Sus dimensiones serán las que la CFE solicite para Media tensión de paso y Media tensión de pozo seccionador.
- c) Las bóvedas, pozos y registros deben diseñarse con un cárcamo relleno de grava a nivel de piso para desalojar el agua que llegue a filtrarse. En el caso de nivel freático alto el proyecto debe prever el sellador de las canalizaciones y la tapa del registro.
- d) Las cubiertas de los registros deben tener 1% de pendiente para evitar acumulación o entrada de agua.
- e) Las tapas de registros deben contener un logotipo o marca de identificación que indique de manera visible la función del envoltorio, se debe de requerir de herramientas para abrirla y cumplir con lo descrito en la NOM-001-SEDE-2012 en sus artículos 314-30 y 923-19, así como en el artículo 314-30 inciso d) en el caso de tapas metálicas.

Requerimientos para conductores en Media tensión.

- a) Instalaciones exteriores de Media Tensión se debe de especificar.
 - En ambientes húmedos deben instalarse conductores con aislamiento de Etileno Propileno Rubber (EPR) y en ambientes secos de Polietileno Vulcanizado de Cadena Cruzada (XLP), con pantalla electrostática a base de una cinta de cobre distribuida helicoidalmente a todo lo largo del conductor. Además deben ser unipolares y de cobre; se debe aplicar lo descrito en la NOM-001-SEDE-2012 en los artículos 300, 310, 312-2.
 - El nivel de aislamiento para líneas principales debe ser categoría II (nivel 133%) y en líneas radiales o secundarias debe ser categoría I (nivel 100%).
 - Selección del conductor. Se debe elegir en función de la capacidad del transformador de la subestación a alimentar, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEDE-2012.
 - Los alimentadores deben seleccionarse considerando los siguientes factores que intervienen en el diseño:
 - Factor de diversidad. El factor de diversidad máximo permitido en la UNAM para alimentadores generales es de 1.3.
 - Factor de potencia. Para alimentadores generales el proyectista debe considerar este factor igual a 0.9.
- b) En instalaciones interiores de Media Tensión se recomienda especificar:
 - Cable de 25 kV aislamiento XLP-RA calibre 4/0 AWG de cobre.
 - Cable tipo mono conductor nivel 133% N.A.
 - El conductor deberá cumplir con lo especificado en la NOM-001-SEDE-2012, por ejemplo "Cable 25 kVXLP-RS 4/0 AWG Cu".

2.3.2 Instalación baja tensión.

Requerimientos para canalizaciones y registros en Baja Tensión.

- a) Las canalizaciones para alimentadores no deben proyectarse ahogadas en la estructura.
- b) Cuando exista plafón, las canalizaciones deben ser aparentes entre plafón y losa.
- c) Las canalizaciones y registros deben proyectarse independientes para servicio normal, servicio de emergencia y tensión regulada.
- d) Cada uno de los tableros derivados debe ser alimentado por separado desde el tablero general o sub-general.
- e) Los alimentadores que salen de un edificio y entran a otro deben diseñarse en canalizaciones subterráneas.
- f) Los alimentadores para alumbrado exterior deben proyectarse en canalizaciones subterráneas.
- g) Los registros deben ser diseñados de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 en sus artículos 314-29, 314-30, 923-15, 923-16, 923-19. Sus dimensiones deben ser las que la CFE solicite en su caso para registro y tapa.
- h) Los registros deberán diseñarse con un cárcamo relleno de grava a nivel del piso para desalojar el agua que llegue a filtrarse. En el caso de nivel freático alto el proyecto debe prever el sellado de las canalizaciones y la tapa del registro.
- i) Las cubiertas de los registros deben tener 1% de pendiente para evitar acumulación o entrada de agua.
- j) Las tapas de registros deben cumplir con lo descrito en la NOM-001-SEDE-2012 en sus artículos 314-30 y 923-19.

Requerimientos para conductores en Baja tensión.

- a) Independientemente de la carga instalada y la demanda máxima, el calibre de conductores alimentadores no debe ser menor del calibre 8 AWG.
- b) La caída de tensión en conductores alimentadores debe ser del 3% máximo y la suma de las caídas de tensión del tablero general al último punto de alimentación será máximo del 5%.
- c) Cada circuito alimentador debe llevar su propio neutro y ser del mismo calibre que el de la fase.
- d) No se permite hacer derivaciones de un circuito alimentador.
- e) El servicio a un inmueble debe abastecerse por medio de un solo alimentador.
- f) Los alimentadores generales instalados en una canalización no deben contener a otros conductores, excepto los de puesta a tierra.
- g) En canalizaciones subterráneas para alimentadores se proyectará un tubo de reserva.
- h) Los conductores alimentadores a un edificio no deben pasar a través de otro edificio o estructura.

i) Los alimentadores deben calcularse considerando los siguientes factores que intervienen en el diseño:

- Factor de reserva. En carga eléctrica debe preverse una reserva de 25% en los alimentadores.
- Factor de demanda. Los alimentadores a tableros se deben calcular con los factores que se mencionan a continuación:
 - Alumbrado interior y exterior 100%. Para otros casos consultar NOM-001-SEDE-2012
 - Contactos de uso general 60%.
 - Elevadores 100%, según grupo y control de elevador.
 - Fuerza general, aire acondicionado y equipos de bombeo 100%
- Factor de corrección por temperatura ambiente. Debe calcularse con base en lo dispuesto en la NOM-001-SEDE-2012 en su artículo 315.
- Factor de corrección por agrupamiento en tubo conduit:
 - Hasta tres conductores 100%
 - De 4 a 6 conductores 80%
 - De 7 a 9 conductores 70%
 - De 10 a 20 conductores 50%

j) Para alimentación en interiores se debe utilizar conductores de cobre tipo cable con aislamiento THW-LS de 75°C y de acuerdo al ambiente en que se instale.

k) Los calibres de los conductores para los alimentadores de los tableros generales a los tableros subgenerales y derivados deben ser hasta calibre 500 kCM.

Requerimientos de diseño de circuitos derivados.

a) Todos los circuitos derivados deben estar etiquetados para su identificación desde su tablero de distribución o centro de carga, por circuito, destino de aplicación o cargas que alimenta.

b) Los circuitos de alimentación de equipos electrónicos con tensión regulada, deben ser independientes a los circuitos de iluminación, contactos a tensión normal y fuerza y deben ir en tableros exclusivos.

c) Asimismo los circuitos de los sistemas de fuerza deben estar separados y ser independientes de los circuitos de alumbrado, contactos a tensión normal y contactos a tensión regulada.

d) Se deben considerar tableros exclusivos para equipos de laboratorio con tensión regulada e independiente a los tableros de iluminación o fuerza, preferentemente los circuitos de contactos a tensión normal irán en un tablero independiente al interior del laboratorio.

e) Se deben emplear sistemas de potencia de 3 fases - 4 hilos para alimentar laboratorios de investigación y laboratorios de cómputo y diseñarse para tener la capacidad de soportar corrientes armónicas altas en el neutro, se deben dimensionar los 4 hilos (3 fases y neutro este último estará calculado al doble de capacidad de las fases) de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012.

f) Como máximo se permiten 10 conductores en cada canalización. Se debe dimensionar la canalización con base en los calibres de los cables, considerando el factor de relleno al 40% de vacío en el diámetro de la tubería.

g) Por ningún motivo deben proyectarse neutros comunes a dos o más circuitos derivados, invariablemente se utilizará un neutro por circuito.

h) Para las protecciones de circuitos de alumbrado fluorescente, se debe considerar un factor de potencia superior a 0.9 incluyendo la pérdida por uso de balastro y un factor de demanda del 100%.

i) Se recomienda que la carga en los circuitos de alumbrado no exceda de los 1200 Watts. Y para contactos 1800 Watts. En casos especiales se permitirá la carga máxima establecida en la NOM-001-SEDE-2012.

j) La protección para circuitos derivados de contactos debe ser a través de un interruptor termomagnético de 20 amperes, aun cuando la carga teórica proyectada se encuentre por debajo de los 1800 Watts.

k) En tensión regulada se recomienda un máximo de cuatro contactos por circuito y en tensión normal un máximo de cinco contactos por circuito.

Artículos mínimos requeridos de la NOM-001-SEDE-2012 relacionados con circuitos derivados.

- Clasificación (210-3)
- Circuitos derivados multiconductores (210-4)
- Identificación de tensión de los circuitos derivados (210-5)
- Limitaciones de tensión de los circuitos derivados (210-6)
- Circuitos derivados múltiples (210-7)
- Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra (210-8)
- Conductores de fase derivados de sistemas puestos a tierra (210-10)
- Protección con interruptor de circuito por falla de arco (210-12)
- Conductores, ampacidad y tamaño mínimos (210-19)
- Protección contra sobre corriente (210-20)
- Dispositivos de salida (210-21)
- Cargas permisibles (210-23)
- Requisitos para los circuitos derivados-Resumen (210-24)
- Cálculo de cargas de circuitos derivados (220-B)
- Circuitos derivados y alimentadores exteriores (225)
- Áreas peligrosas (clasificadas), clases I, II, y III, divisiones 1 y 2 (500)

2.3.3 Acometidas.

Se llama acometida en las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora hacia la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica. Las acometidas en baja tensión finalizan en la denominada caja general de protección mientras que las acometidas en alta tensión finalizan en un centro de transformación del usuario, donde se define como el comienzo de las instalaciones internas o del usuario. El diseño de las acometidas depende de la tensión de alimentación de la red de distribución y la tensión de alimentación del usuario, las figuras 2.22 y 2.23 muestran ejemplos de acometidas aéreas y subterráneas normalizadas por la Comisión Federal de Electricidad.

La acometida normal para una vivienda unifamiliar es monofásica, a tres hilos, uno para la fase o activo, otro para el neutro y el tercero para la tierra, a 230 V. En el caso de un edificio de varias viviendas la acometida normal será trifásica, de cuatro hilos, tres para las fases y uno para el neutro, la tierra debe tenerse en la misma instalación del usuario, siendo en este caso la tensión entre las fases 220/400 V y de 127/230 V entre fase y neutro. Si la acometida es para una industria o una gran zona comercial esta será normalmente en Media o Alta tensión, por ejemplo a 5 kV o mayor según la zona, a tres hilos, uno para cada fase, el neutro se obtiene del secundario del transformador del usuario y la tierra de su instalación.

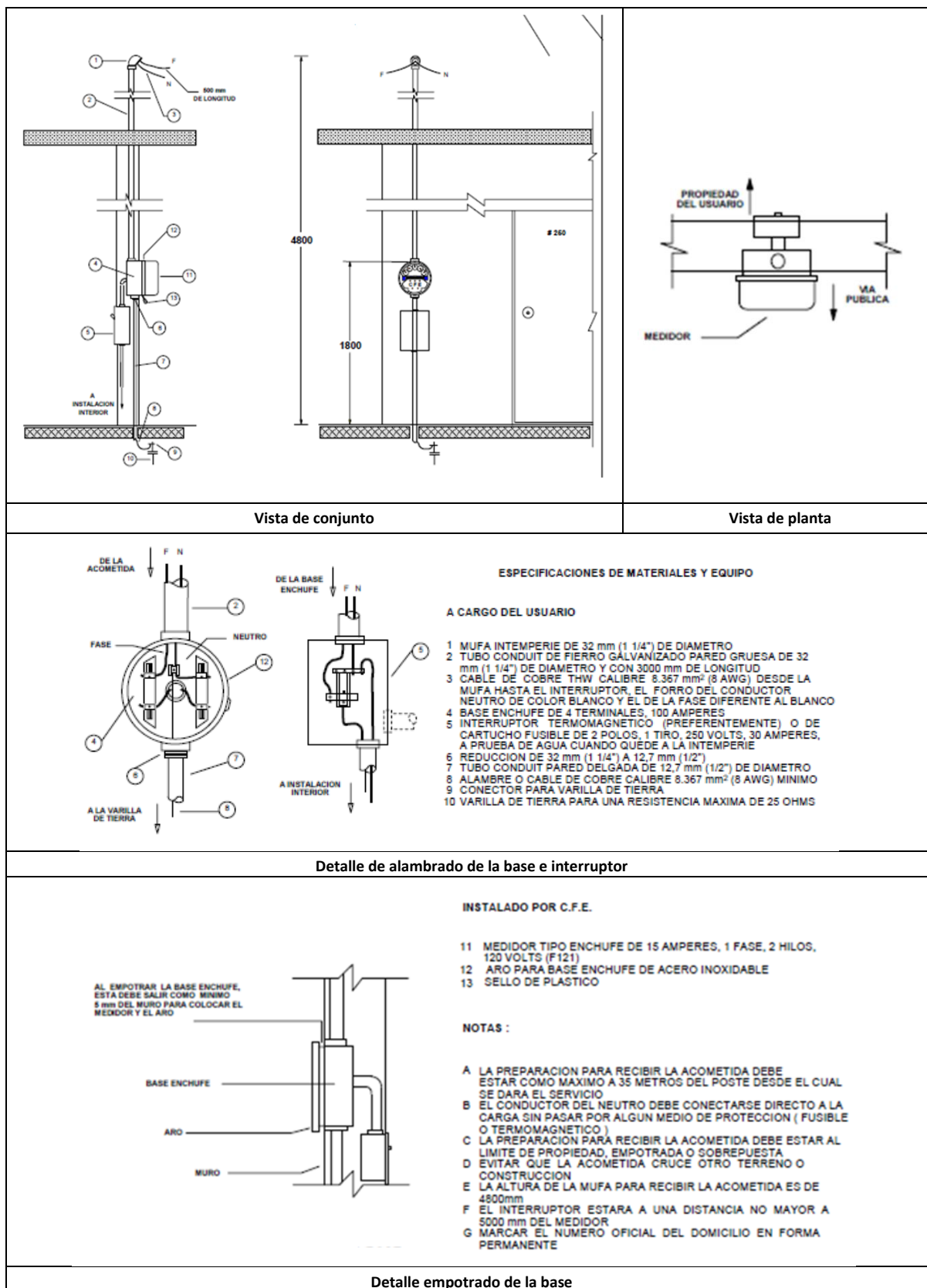


Fig. 2.22. Especificación para servicio monofásico con carga hasta 5 kW en baja tensión, área urbana, red aérea, con barda frontal CFE EM-BT101.

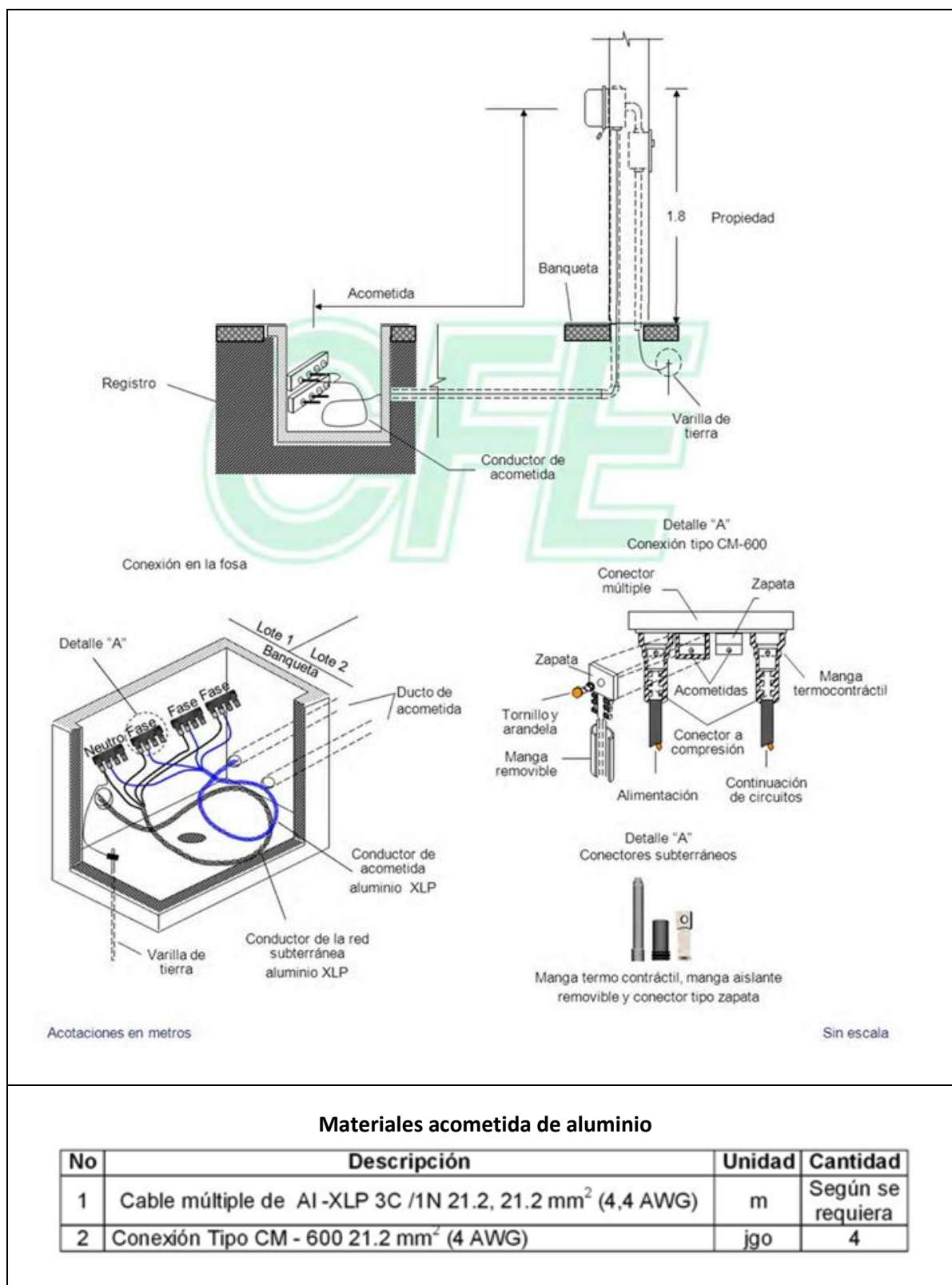


Fig. 2.23. Acometida para servicio trifásico con carga hasta 15 kW en baja tensión red subterránea CFE DCABT303.

Artículos mínimos requeridos de la NOM-001-SEDE-2012 para acometidas.

- Alcance (230-1)
- Número de acometidas (230-2)
- Aislamiento (230-30)
- Tamaño y ampacidad del conductor (230-31)
- Protección contra daños (230-32)
- Métodos de alambrado para 600 Volts o menos (230-43)
- Conductores individuales que entran en inmuebles o en otras estructuras (230-52)
- F. Equipo de acometida - medios de desconexión. Generalidades (230-70)
- Apertura simultánea de los polos (230-74)
- Capacidad del equipo de desconexión (230-79)
- Conexión a las terminales (230-81)
- G. Equipo de acometida-Protección contra sobre corriente. Cuándo es necesario (230-90)
- Ubicación (230-91)
- Dispositivos de protección contra sobre corriente de los conductores de la recepción del suministro bajo llave (230-92)
- Protección de circuitos específicos (230-93)
- Ubicación relativa del dispositivo de protección contra sobre corriente y otros equipos de los conductores de recepción del suministro (230-94)
- Equipo de Protección contra falla a tierra (230-95)
- H. Acometidas de más de 600 volts. Generalidades (230-200)
- Interruptores de aislamiento (230-204)
- Medios de desconexión (230-205)
- Dispositivos de protección contra sobre corriente utilizados como medio de desconexión (230-206)
- Requisitos de protección contra sobre corriente (230-208)
- Puesta a tierra de sistemas de corriente alterna alimentados por una acometida (250-24)

2.3.4 Cálculo de carga y capacidad del transformador.

En una instalación eléctrica la carga total expresada en kilo voltamperes, es la suma de todas las cargas individuales del sistema completo, o sea de las lámparas, contactos, motores, etc., y determina la capacidad del transformador eléctrico.

Una forma de calcular la carga total que deberá soportar el transformador, es a través de sumar las cargas individuales de todos los centros de carga, con el procedimiento citado en la sección 2.2.1.3.

El transformador eléctrico es un equipo que se utiliza para cambiar el voltaje de suministro al voltaje requerido, figura 2.24. En instalaciones grandes (o complejas) pueden necesitarse varios niveles de voltaje, lo que se logra instalando varios transformadores (normalmente agrupados en subestaciones eléctricas), y la referencia para Transformadores: Artículo 450 Transformadores y Bóvedas para transformadores (incluidos los enlaces del Secundario) de la NOM-001 SEDE 2012.

Todos los transformadores deben tener una placa de características Artículo 450-11 de la NOM-001-SEDE-2012, figura 2.25., en la que conste el nombre del fabricante, el valor nominal en kilo voltamperes, la frecuencia, la tensión del primario y del secundario, la impedancia para los transformadores de 25 kilo voltamperes en adelante, las distancias necesarias para los transformadores con aberturas de ventilación y la cantidad y el tipo del líquido de aislamiento, cuando se use. Además, en la placa de características de todos los transformadores de tipo seco se debe incluir la clase de temperatura del sistema de aislamiento.



Fig. 2.24. Ejemplos de Transformadores de diversas capacidades

DATOS DE PLACA

GENERAL ELECTRIC				CAUTION: BEFORE OPERATING READ INSTRUCTIONS		ADDITIVE POLARITY													
S/N E424314-62P				TYPE 152		2.4 % IMP													
KVA	5	550 RISE	SINGLE PHASE 60 CYCLES CLASS 0A	VT	LD														
VOLTAGE RATING 2400/4160Y-120/240																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>% RATED VOLT</th> <th>TAP/ANGER POSITION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>9.7 1/2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>9.5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>9.2 1/2</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>9.0</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		% RATED VOLT	TAP/ANGER POSITION	10.0	1	9.7 1/2	2	9.5	3	9.2 1/2	4	9.0	5					10 CA OIL	
% RATED VOLT	TAP/ANGER POSITION																		
10.0	1																		
9.7 1/2	2																		
9.5	3																		
9.2 1/2	4																		
9.0	5																		
DISTRIBUTION TRANSFORMER																			

Placa de un transformador de distribución, Línea de 4160 v. (Clesa).

Fig. 2.25. Placa de características de un transformador

El transformador se debe de indicar en el proyecto, por ejemplo, se especificará transformador tipo pedestal con operación radial de la capacidad requerida, $Z=5.75\%$, primario en conexión delta, 23 kV, 3fases, 3 hilos, 60 Hz y capacidad requerida en kVA, de nivel básico de aislamiento al impulso(BIL), con cambiador de derivaciones de ± 2 de 2.5% C.U., equipado con boquillas tipo pozo para recibir insertos tipo bushing y conectores tipo codo pre moldeado de operación con carga, secundario en conexión estrella 220Y/127V auto enfriado en líquido biodegradable de alto punto de ignición, para operar a 2400 m.s.n.m. Este equipo debe cumplir con la ficha técnica del Sistema de Distribución en Media Tensión en 23 kV para la zona geográfica, además:

- El transformador debe protegerse contra sobre corriente de acuerdo al artículo 450-3 de la NOM-001-SEDE-2012.
- Deben resguardarse de acuerdo al artículo 450-8 de la NOM-001-SEDE-2012.
- Deben conectarse a tierra de acuerdo al artículo 450-10 de la NOM-001-SEDE-2012 y a lo indicado en el Capítulo 10 Sistemas de tierra, de estas Disposiciones.
- Deben tener las condiciones de accesibilidad indicadas en el artículo 450-13 de la NOM-001-SEDE-2012.

- Se deben seleccionar con una capacidad igual al producto de la carga instalada por un factor de demanda del 0.6, más un 25% por incremento de cargas a futuro. La selección deberá ser de acuerdo a capacidades comerciales.
- La capacidad máxima de los transformadores será la requerida. En caso de que el proyecto lo requiera se separaran las cargas en varios transformadores.

Artículos mínimos requeridos de la NOM-001-SEDE-2012 para transformadores.

- Subestaciones (924)
- Medio de desconexión general (924-2)
- Resguardos de locales y espacios (924-3)
- Condiciones de los locales y espacios (924-4)
- Pisos, barreras y escaleras (924-6)
- Accesos y salidas (924-7)
- Protección contra incendio (924-8)
- Localización y accesibilidad (924-9)
- Dispositivo general de protección contra sobre corriente (924-10)
- Requisitos generales del sistema de protección del usuario (924-11)
- Instalación y mantenimiento del equipo eléctrico (924-14)
- Identificación del equipo eléctrico (924-16)
- Instalación de transformadores de potencia y distribución (924-19)
- Medio aislante (924-20)
- Ajuste de la protección contra sobre corriente (924-21)
- Puesta a tierra (924-23)
- Tarimas y tapetes aislantes (924-24)
- Transformadores y bóvedas de transformadores (incluidos los enlaces del secundario) (450)
- Generalidades. (450 A)
- Protección contra sobre corriente (450-3)
- Funcionamiento en paralelo (450-7)
- Resguardo (450-8)
- Puesta a tierra (450-10)
- Marcado (450-11)
- Espacio para el alambrado de las terminales (450-12)
- Accesibilidad (450-13)
- Disposiciones específicas aplicables a los diferentes tipos de transformadores (450 B)
- Bóvedas para transformadores (450 C)
- Ubicación (450-41)
- Paredes, techos y piso (450-42)
- Entradas (450-43)
- Abertura de ventilación (450-45)
- Drenaje (450-46)
- Tuberías de agua y accesorios (450-47)
- Almacenamiento dentro de las bóvedas (450-48)
- Capacitores (460)
- Alcance (460-1)
- Gabinetes y resguardo (460-2)
- Descarga de la energía almacenada (460-6)
- Conductores (460-8)
- Valor nominal o ajuste del dispositivo de protección contra sobrecarga del motor (460-9)
- Puesta a tierra (460-10)

2.4 Distancias mínimas en espacios de trabajo según normas.

El Proyecto Arquitectónico debe prever un local específico para alojar la subestación eléctrica. Cuando así lo requiera el proyecto se deberá prever también el espacio necesario para alojar una planta generadora para servicio de emergencia.

- El local que alojará a la subestación eléctrica debe cumplir con lo indicado en los artículos 924-3 y 924-4 de la NOM-001-SEDE-2012, bajo las siguientes consideraciones:
 - Debe de tener un acceso y salida libre de obstáculos.
 - No debe emplearse como almacén, taller o para otra actividad que no esté relacionada con el funcionamiento y operación de la subestación eléctrica.
 - En los pasos de muros o losa a través de ducto de instalaciones se deben aplicar barreras contra incendio de acuerdo a lo requerido por la sección 300-12 de la NOM-001-SEDE-2012.
 - Se debe evitar la acumulación de polvo o pelusas combustibles en cantidades peligrosas y de gases inflamables o corrosivos dentro del local, el cual debe mantenerse seco.
- Se debe considerar espacio suficiente para maniobras, operación y mantenimiento del equipo de acuerdo a lo siguiente: se tendrá una separación mínima, con respecto a muros, de 1.00 m. en los costados y en la parte posterior del equipo; al frente se tendrá una separación mínima de 2.00 m.; y la altura del local será la altura de equipo de la subestación más un metro como mínimo.
- El local debe ubicarse en el nivel del acceso vehicular al edificio y al menos uno de sus muros debe quedar al exterior
- La localización del local de la subestación será tal que permita incluir en el proyecto un patio de maniobras de fácil acceso desde las vialidades existentes.
- En el piso se deben marcar zonas de seguridad con pintura epóxica conforme a lo siguiente: una franja alrededor de los equipos que integran la subestación eléctrica de 0.60 m. de ancho en color rojo y a continuación una franja de 0.10 m de ancho de color amarillo.
- El local deberá contar con los niveles de iluminación requeridos de acuerdo al capítulo 2 de la NOM-001-SEDE-2012.
- El encendido y apagado de la iluminación deberá ser mediante un interruptor manual.
- Las luminarias deben instalarse en el espacio comprendido entre el equipo y su perímetro. En ningún caso deben quedar sobre los gabinetes.
- Las luminarias deben ser tipo sobreponer y cuando exista sistema de emergencia deberán quedar conectados a éste. En caso contrario se deberá contar con luminarias de emergencia a baterías.
- Cuando el proyecto lo determine, la instalación eléctrica del local incluirá las preparaciones requeridas para la conexión de una planta generadora portátil.
- Se debe proveer un espacio de trabajo suficiente cercano al equipo de acometida que permita una operación segura, inspección y reparación, artículo 230-64. En ningún caso este espacio debe ser menor que el especificado en 110-16 y debe cumplir con lo establecido en 110-18, de la NOM-001-SEDE-2012.

Artículos mínimos requeridos de la NOM-001-SEDE-2012 para conductores eléctricos y sus protecciones.

- a) Requisitos de las instalaciones eléctricas (110)
 - Conductores (110-5)
 - Corriente de interrupción (110-9)
 - Impedancia del circuito, capacidades de corto circuito y otras características (110-10)
 - Conexiones eléctricas (110-14)
- b) Alimentadores (215)
 - Alcance (215-1)
 - Capacidad y tamaño mínimo del conductor (215-2)

- Protección contra sobre corriente (215-3)
 - Alimentadores con neutro común (215-4)
 - Diagrama de alimentadores (215-5)
 - Conductor de puesta a tierra de equipos del alimentador (215-6)
 - Conductores de fase derivados de sistemas puestos a tierra (215-7)
 - Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra (215-9)
 - Protección de equipos contra fallas a tierra (215-10)
 - Identificación de los alimentadores (215-12)
- c) Cálculo de los circuitos derivados, alimentadores y acometidas (220)
- Generalidades (220-10)
 - Alumbrado general (220-42)
 - Carga del neutro del alimentador o de la acometida (220-61)
 - Cálculos opcionales para cargas de alimentadores y acometidas (220 D.)
- d) Circuitos derivados y alimentadores exteriores (225)
- Equipo de alumbrado instalado en el exterior (225-7)
 - Desconexión (225-30 e), 225-31, 225-32, 225-33, 225-34, 225-37, 225-52)
 - Protección contra sobre corriente (215-3, 225-40, 240)
 - Edificios u otras estructuras alimentados por alimentadores o circuitos derivados (225 B)
- e) Protección contra sobre corriente (240)
- Alcance (240-1)
 - Protección de los conductores (240-4)
 - Protección de los cordones flexibles, cables flexibles y cables para artefactos (240-5)
 - Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos (240-6)
 - Fusibles o interruptores automáticos en paralelo (240-8)
 - Dispositivos térmicos (240-9)
 - Protección suplementaria contra sobre corriente (240-10)
 - Coordinación del sistema eléctrico (240-12)
 - Protección de los equipos contra fallas a tierra (240-13)
 - Ubicación del circuito (240-21)
 - Conductor puesto a tierra (240-22)
 - Ubicación en o sobre los Inmuebles (240-24)
 - C. Envolventes. Generalidades (240-30)
 - Sitios húmedos o mojados (240-32)
 - Posición vertical (240-33)
 - D. Desconexión y resguardo. Medios de desconexión para fusibles (240-40)
 - Partes que formar arco eléctrico o se mueven repentinamente (240-41)
 - E. Fusibles de tapón, porta fusibles y adaptadores. Generalidades (240-50)
 - Fusibles con base Edison (240-51)
 - Fusibles de Tipo S (240-53)
 - Fusibles, adaptadores y porta fusibles de Tipo S (240-54)
 - F. Fusible tipo cartucho y porta fusibles. Generalidades (240-60)
 - Clasificación. (240-61)
 - G. Interruptores automáticos. Método de operación (240-80)
 - Indicación (240-81)
 - No alterables (240-82)
 - Marcado (240-83)
 - I. Protección contra sobre corriente a más de 600 volts. Alimentadores y circuitos derivados (240-100)
 - Requisitos adicionales para los alimentadores (240-101)

Ejemplo de un proyecto eléctrico

Supongamos que se tiene una instalación residencial con la siguiente carga total instalada:

- 20 salidas para lámpara incandescente de 100 W.
- 24 contactos de uso general de 180 VA cada uno, según el Artículo 406 de la NOM-001-SEDE-2012.
- Una bomba de agua de 3/4 HP ,127 V, 11.5 A
- Una lavadora de ropa con motor de 3/4 HP, 127 V, 11.5 A
- Horno de microondas de 1524 W, 127 V, 12 A.

1. Relación de cargas.

Con la información anterior armamos la siguiente relación de cargas:

Cargas	Focos 100 W	Contactos 180 VA	Bomba de agua	Lavadora	Horno de microondas	Totales
Cantidad	20	24	1	1	1	
Potencia	2000 W	4320 VA	1460.5 VA	1460.5 VA	1524 W	10,765 VA
Corriente	15.74 A	34.02 A	11.50 A	11.50 A	12 A	84.76 A

Los 20 focos de 100 W dan una potencia de 2000 W, ya que es el resultado de multiplicar 20 X 100.

En cargas resistivas como los focos, la corriente se obtiene de dividir la potencia (W) entre el voltaje, por ejemplo $2000 \text{ W} / 127 \text{ V} = 15.74 \text{ A}$.

En el caso de motores, artículo 430 de la NOM-001-SEDE-2012 nos proporciona las corrientes según potencias. La potencia de cargas desconocidas o de motores se especifica en VA en lugar de watts.

2. Determinación de la demanda máxima.

De la carga total instalada, que son los 10,765 VA obtenidos en el paso anterior, aplicamos los Factores de demanda indicados en la Tabla 220-42 de la NOM-001-SEDE-2012, que indica que para unidades de vivienda se deben de considerar los primeros 3000 VA al 100% y los restantes al 35%, es decir:

Carga total 10,765 VA.

Primeros 3000 VA	100%	3000 VA
Restantes 7765 VA	35%	2,717.75 VA
Demanda máxima		5,717.75 VA

Por lo tanto: $5717.75 \text{ VA} / 1000 = 5.72 \text{ KVA}$.

3. Acometidas

Con base en el cálculo de la Demanda Máxima correspondiente, la CFE determinará el tipo de alimentación o acometida para uso doméstico, pudiendo ser:

- Monofásico: para instalaciones de hasta 5 KW.
- Bifásico: para instalaciones de hasta 10 KW.
- Trifásico: para instalaciones hasta de 25 kW, y de 26 a 50 kW.

Conclusión: por rebasar 5 kW la acometida debe ser bifásica.

4. Determinación del alimentador y del conductor de puesta a tierra.

La corriente total la determinamos dividiendo 5,717.75 VA entre 127 V, de lo que obtenemos 45.02 A. La acometida es a 2 fases, si la carga está balanceada cada fase aportaría aprox. la mitad, es decir 22.51A.

Según este cálculo, bastaría con un calibre 14 AWG, sin embargo, para cumplir con las especificaciones de CFE, los 3 conductores del alimentador, desde la mufa hasta el interruptor general de la acometida bifásica, deberán ser calibre 8 AWG, el neutro deberá ser de color blanco y los de fase de cualquier otro color distinto al blanco.

El conductor del neutro deberá aterrizar al electrodo del equipo de medición mediante el conductor de puesta a tierra. Deberá ser calibre 8 AWG y podrá ser desnudo o tener forro en color verde o verde con franjas amarillas.

5. Interruptor principal

Según especificaciones de la CFE, para un servicio bifásico se debe utilizar preferentemente un interruptor termomagnético (ITM) de 2 polos*, 30 A, (2 X 30 A) para proteger los conductores de fase, mientras que el hilo neutro pasa directo, pues en caso de sobrecarga los conductores de fase son los que deben ser interrumpidos mediante el disparo del ITM. El interruptor deberá instalarse a una distancia menor a 5 m del medidor.

Tradicionalmente se utilizaban interruptores de seguridad (de cartuchos fusibles), pero en la actualidad es preferible utilizar interruptores ITM de la capacidad adecuada por su mayor confiabilidad y ventajas (compacto, resistencia, no se funde, libre de mantenimiento, mayor vida útil).

Nota: La CFE especifica para un servicio monofásico un ITM de 2 polos, 30 Amperes, 250V; mientras que para un servicio bifásico, especifica un ITM de 2 polos, 30 Amperes, 250V; por último, para un servicio trifásico, la CFE especifica un ITM de 3 polos, 100 ó 200 Amperes, 250 V y, en todos los casos, a prueba de agua si se instala a la intemperie.

3 Cálculo de corto-circuito

Un aspecto muy importante a considerar, en la planeación y operación de los sistemas eléctricos de protección, es su comportamiento en operaciones transitorias, y en caso de interés especial, lo representa el comportamiento en condiciones de corto – circuito. La condición normal de operación de un sistema eléctrico es sin falla, no obstante, esto no es posible evitar la presencia de fallas en las instalaciones por distintas causas, muchas de ellas, fuera de control humano.

La determinación de las corrientes de corto – circuito en un sistema de distribución de fuerza es fundamental para seleccionar los aparatos de protección por sobre corriente, tales como interruptores y fusibles, los cuales deben poder aislar la parte del circuito en falla con un mínimo daño en los circuitos y equipos del sistema y para afectar lo menos posible la continuidad del servicio eléctrico. Se entenderá por corto – circuito a una falla que se presenta en una instalación y que demanda una corriente excesiva denominada corriente de corto-circuito en el punto de ocurrencia.

La falla puede ser de los tipos siguientes:

- Falla de línea a tierra (fase a tierra)
- Falla de línea a línea (fase a fase)
- Falla de dos líneas a tierra (fase a fase a tierra)
- Trifásica (tres fases entre sí)

La magnitud de la corriente de corto-circuito está directamente relacionada con el tamaño o capacidad de las fuentes de energía. Entre más grandes son los aparatos que suministran potencia eléctrica, mayores serán las corrientes de corto-circuito.

Las corrientes de corto-circuito producen esfuerzos mecánicos y sobre calentamientos en los aparatos y equipos sujetos a ellas, a la vez provocan fallas del aislamiento en otros puntos del circuito. Por lo tanto, en el punto de falla se produce un arco altamente destructivo que si no es interrumpido inmediatamente, ocasiona daños considerables en el equipo.

Un sistema eléctrico está constituido básicamente por fuentes productoras de energía, elementos de transformación, líneas de transmisión y redes de distribución, así como los elementos de consumo (cargas) los cuales se dividen en los elementos activos (fuentes) y elementos pasivos (En general las impedancias de los distintos elementos), es decir; se consideran como elementos activos o fuentes suministradoras de las corrientes de corto circuito a:

- Generadores.
- Motores de Inducción.
- Motores Síncronos.
- Compañía Suministradora.

El criterio de la intensidad de corto circuito, indica que la temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un corto-circuito o sobre-intensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable.

La temperatura máxima admisible se especifica en las normas particulares de los cables y suele ser de 160 °C para cables con aislamiento termoplásticos y de 250 °C para cables con aislamientos termoestables. Este criterio, aunque es determinante en instalaciones de alta y media tensión no lo es en instalaciones de baja tensión ya que por una parte las protecciones de sobre-intensidad limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves, y además las impedancias de los cables hasta el punto de cortocircuito limitan la intensidad de cortocircuito.

3.1 Introducción a los dispositivos de protección.

Todo sistema eléctrico debe conservarse en condiciones de operación para satisfacer las necesidades de demanda de energía eléctrica para el cual fue diseñado. Las causas más comunes de funcionamiento anormal de las instalaciones y equipos eléctricos son debidas principalmente a fallas de sobre corriente.

La sobre corriente se define como: toda corriente que excede a la corriente nominal o de plena carga, y es originada por dos causas muy comunes de fallas en las instalaciones y equipos eléctricos:

- Sobrecarga.
- Cortocircuito.

Los dispositivos de protección contra sobre corriente utilizados en instalaciones eléctricas de baja tensión son:

1. Fusibles.
2. Relevadores de sobre carga.
3. Interruptores automáticos.

3.1.1 Dispositivos de protección.

Fusibles

El fusible es un dispositivo de protección contra sobre corriente que brinda mejores condiciones de protección a las instalaciones eléctricas, ya que sus capacidades interruptivas alcanzan valores de hasta 300 kA, además no cuenta con elementos mecánicos que propicien un tiempo largo en su apertura bajo condiciones de fallas de cortocircuito, ver figura 3.1 Clasificación de los Fusibles, esto no quiere decir que los interruptores automáticos en caja moldeada, también llamados interruptores termomagnéticos, sean menos precisos o malos en la protección, lo cierto es que sus capacidades interruptivas no alcanzan valores superiores a los 65v kA, lo que representa una limitante en cuanto a capacidad interruptiva se refiere.

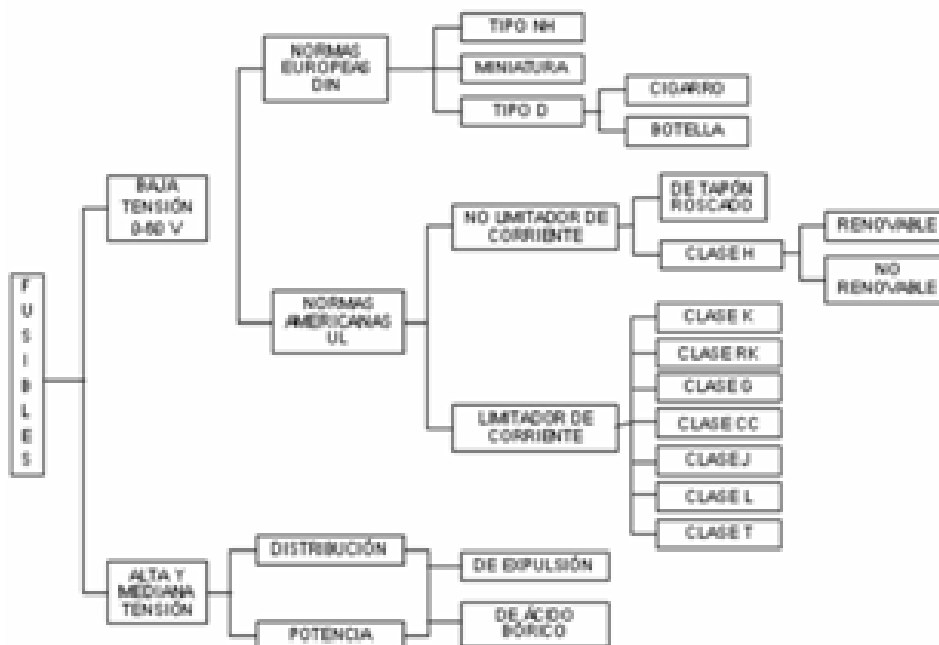


Fig. 3.1 Clasificación de fusibles

Relevadores

El relevador de sobrecarga es un dispositivo que tiene características de tiempo inverso en el disparo o apertura, permitiendo mantener la conducción durante el periodo de aceleración, cuando se demanda la corriente de arranque, pero dando protección a las pequeñas sobrecargas de la corriente de plena carga cuando el motor está operando. El relevador de sobrecarga no provee protección contra cortocircuito, según lo indica el Artículo 240-9 de la NOM-001-SEDE-2012. Los relevadores de sobrecarga se clasifican en magnéticos y térmicos, los térmicos puede ser de aleación fusible o bimetálicos.

Interruptores

Un interruptor es un dispositivo que está diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico por el cual está circulando una corriente. Puede utilizarse como medio de desconexión o conexión y, si está provisto de los dispositivos necesarios, también puede cubrir la función de protección contra sobrecargas y/o cortocircuitos.

3.1.2 Comparación entre fusibles e interruptores termo-magnéticos.

Fusibles

El corta circuito fusible, o simplemente fusible, básicamente está formado por una lámina o alambre calibrado, que se denomina elemento fusible, contenido en un cartucho fusible removible y emplazado en una base o soporte porta fusible, que lo permite conectar en serie con el circuito a proteger.

El elemento fusible tiene un menor punto de fusión que los restantes conductores de la instalación protegida, y se coloca a la entrada del circuito a proteger, de manera que al aumentar la corriente por efecto de un cortocircuito, sea la primera parte en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufrirá daño alguno.

Antiguamente los fusibles eran simples hilos finos de cobre o plomo, colocados al aire, lo cual tenía el inconveniente de que al fundirse saltaban pequeñas partículas incandescentes, dando lugar a otras averías en el circuito.

Actualmente el elemento fusible suele estar formado por un hilo fino de cobre o aleación de plata, o bien una lámina del mismo metal para fusibles de gran corriente, colocados dentro de unos cartuchos cerámicos llenos de arena de cuarzo, con lo cual se evita la dispersión del material fundido. Los cartuchos fusibles son protecciones desechables, pues cuando uno se funde, se lo debe cambiar manualmente por otro en buen estado.

Como la operación de los fusibles depende de la generación de calor por efecto Joule, se obtiene una característica de fusión intensidad-tiempo del tipo inversamente proporcional, de manera que ante una elevada corriente opera en un tiempo muy reducido, y ante una corriente ligeramente superior a la nominal opera en un tiempo más prolongado.

Para la mejor protección de los diferentes tipos de circuitos que puede haber en una instalación, los cartuchos fusibles se construyen con distintas técnicas de enfriamiento o rapidez de fusión. Así, para definir la clase de utilización de los fusibles se utiliza una abreviatura básica de dos letras.

La primera es minúscula y determina la función. Así la clase "g" es para propósitos generales y puede operar tanto ante sobrecargas como ante cortocircuitos. La clase "a" se utiliza para tareas de protección de respaldo y sólo opera ante corrientes de cortocircuito; por lo que se debe instalar en conjunto con otros dispositivos de protección.

La segunda letra básica es mayúscula y determina el objeto de la protección. Así la clase "L" es para líneas y cables, la "G" es para aplicaciones generales, la "M" es para motores, la "C" es para capacitores, la "R" es para rectificadores a semiconductores y la "Tr" es para transformadores.

Cabe señalar que para los casos en los que durante el servicio normal se producen sobrecargas de breve duración, como en el caso del arranque directo de motores asíncronos con rotor en jaula, se deben construir con una característica especialmente "retardada".

Los fusibles de respaldo (aM) se usan especialmente para la protección de motores, debido a que soportan los picos de corriente que estos absorben en el arranque. Su nombre proviene de qué van acompañados de otros elementos de protección, como por ejemplo los relés térmicos, su curva característica se muestra en la figura 3.2.

Los fusibles lentos generalmente se usan para la protección de redes aéreas de distribución, pues no son afectados por los cortocircuitos momentáneos que los árboles o el viento pueden hacer entre los conductores, mientras que los fusibles rápidos se utilizan habitualmente para la protección de redes de distribución con cables subterráneos.

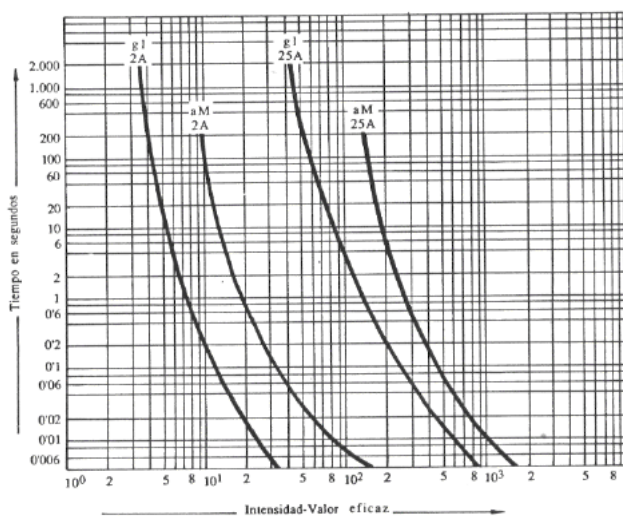


Fig. 3.2 Curva de respuesta del fusible gL y aM.

Hay que enfatizar que nunca debe de emplearse el tipo aM como protección contra sobrecargas, ya que éstos, como se dijo, están diseñados especialmente para la protección contra cortocircuitos de los motores eléctricos. Un aspecto que no debe olvidarse al seleccionar un fusible para una instalación determinada, es que su capacidad de ruptura no debe ser inferior a la calculada en su punto de utilización a la tensión nominal.

La intensidad nominal mínima del fusible de protección aM de un motor se determina a partir de la intensidad de arranque y del tiempo de arranque del mismo. En un arranque normal un fusible no debe fundir ni envejecer.

En los motores de jaula (arranque directo) la intensidad de arranque es aproximadamente de 4 a 8 veces la intensidad nominal. El tiempo de arranque depende del par de giro del motor y del momento de inercia de todas las masas a acelerar; este tiempo suele estar comprendido entre 0.2 y 4 segundos, pudiendo ser mayor en casos especiales de "arranque difícil".

En los motores de anillos rasantes y motores de jaula con arranque estrella-delta, la intensidad de arranque suele estar comprendida entre 1.1 y 2.8 veces la intensidad nominal. El tiempo de

arranque en estos casos varía muy ampliamente. Para tiempos de arranque de hasta 5 segundos, la intensidad nominal del fusible puede ser igual a la intensidad nominal de empleo del motor, pero para valores iguales o superiores es conveniente determinar la intensidad nominal del fusible, teniendo en cuenta las curvas características corriente contra tiempo de arranque del motor y del relé térmico de protección.

El caso de un motor, figura 3.3, cuya intensidad de arranque es seis veces el valor nominal y el tiempo es de cinco segundos.

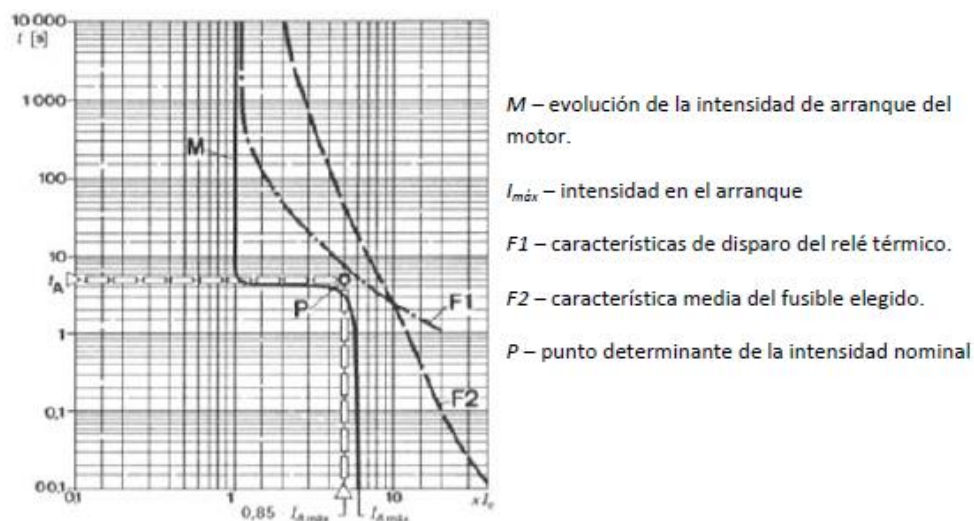


Fig. 3.3 Curva característica de un motor estrella-delta junto con la curva característica de disparo del relé térmico y fusible.

La intensidad nominal mínima del fusible la podemos obtener mediante la intersección de dos líneas, la determinada por el tiempo de arranque t_A y la correspondiente a 0.85 de la intensidad nominal I_A . El punto así determinado nos marca el límite inferior de la banda de dispersión del fusible, por lo tanto el fusible elegido deberá pasar por encima de este punto.

Observando la curva característica de la protección térmica F1 y la curva característica del fusible elegido F2, podremos observar cómo la actuación de relé térmico se extiende hasta diez veces la intensidad nominal (intersección de F1 con F2), y a partir de este valor será el fusible el encargado de proteger el motor.

Interruptores magnéticos

Son interruptores automáticos que reaccionan ante intensidades de alto valor, cortándolas en tiempos lo suficientemente cortos como para no perjudicar ni a la red ni a los aparatos asociados a ella.

Para iniciar la desconexión se sirven del movimiento de un núcleo de hierro dentro de un campo magnético proporcional al valor de la intensidad que circula.

La curva característica de un disparo magnético es la representada en la figura 3.4. El dispositivo permite trabajar en la zona A pero no en la B. La desconexión se efectúa cuando las condiciones del circuito llegan a la zona rayada de separación entre ambas.

Así pues, para la curva de la figura 3.4, cualquier intensidad menor de 4,25 A, no provocaría la desconexión, por más tiempo que estuviera circulando. En cambio, para cualquier intensidad mayor de 4,75 A, provocaría la desconexión inmediata.

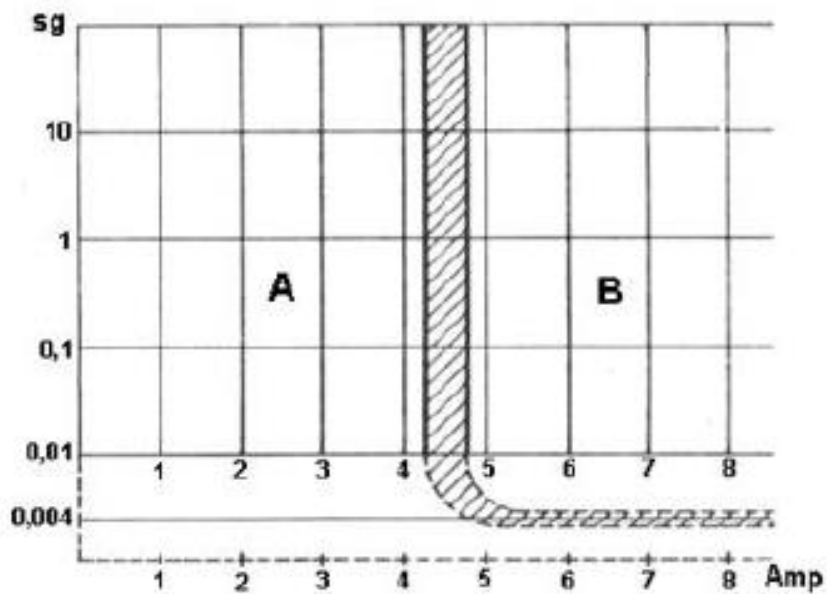


Fig. 3.4 Curva característica de un disparo magnético.

El límite inferior de la curva (unos 4 milisegundos), viene determinado por el tiempo que transcurre desde el instante de establecimiento de la intensidad, hasta la extinción del arco. Este tiempo marca la inercia mecánica y eléctrica propia de estos aparatos.

Interruptores térmicos

Son interruptores automáticos que reaccionan ante intensidades ligeramente superiores a la nominal, asegurando una desconexión en un tiempo lo suficientemente corto para no perjudicar ni a la red ni a los receptores asociados con él.

Para provocar la desconexión, aprovechan la deformación de una lámina bimetálica, figura 3.5, que se curva en función del calor producido por la corriente al pasar a través de ella.

La curva característica de un disparo térmico es la representada en la figura 3.6. El dispositivo térmico permite trabajar en la zona A pero no llegar a la zona B. La interrupción del circuito se efectúa siempre cuando las condiciones de trabajo llegan a la zona rayada que marca la separación entre ambas. Esta zona rayada marca las tolerancias lógicas que tendrá la fabricación de este tipo de aparatos.

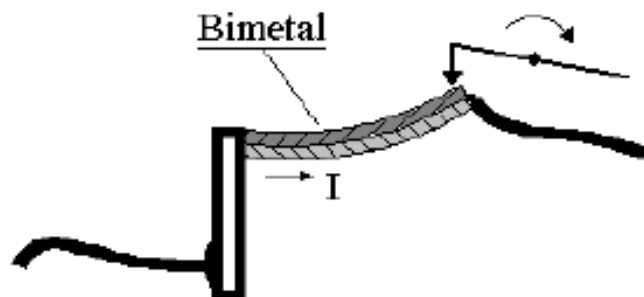


Fig. 3.5 Elemento bimetálico.

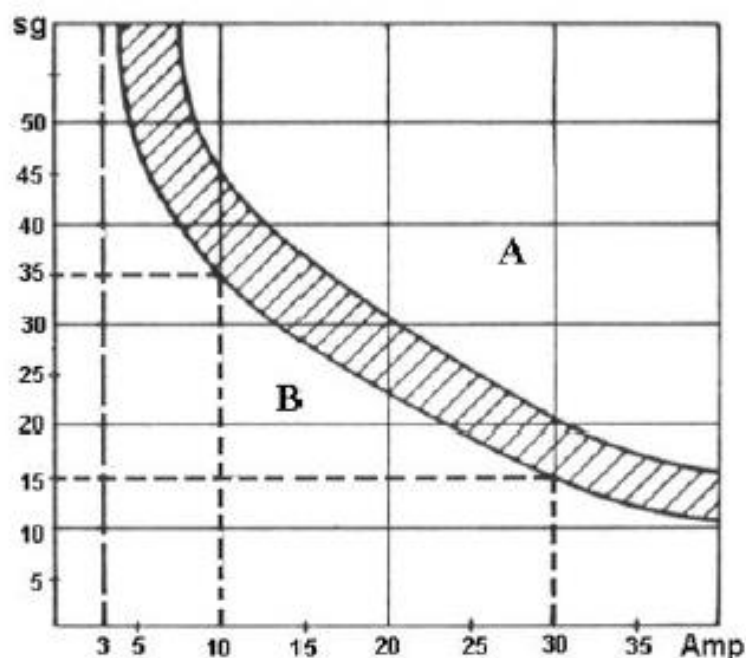


Fig. 3.6 curva característica de un disparo térmico.

Así, pues, en la curva de la figura 3.6, circulando una intensidad de 3A., el interruptor no desconectaría nunca.

Con 10A iniciaría la desconexión a los 35 segundos, y con 30 A. la desconexión se iniciará a los 15 segundos.

La forma y límites de la curva característica de un interruptor térmico varían según la técnica empleada en el sistema de caldeo de la bilámina.

Interruptores termomagnéticos

Estos dispositivos combinan características de maniobra y protección en un solo aparato, brindando protección tanto contra cortocircuitos como contra sobrecargas, pudiendo reemplazar a los fusibles, con la ventaja de que no hay que cambiarlos; pues cuando se desconectan debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se pueden reponer manual o eléctricamente y seguir funcionando.

En estos interruptores, la desconexión por corrientes de cortocircuito se realiza a través de un disparador electromagnético prácticamente instantáneo cuando las corrientes son de muy elevada intensidad frente a los valores nominales.

Para esta acción se utiliza un electroimán que libera el mecanismo de desconexión ante la circulación de la corriente de falla, debiéndose disponer cámaras de extinción de arco de diseño muy estudiado para el manejo y control del arco derivado de tales intensidades, ver figura 3.7.

La desconexión por corrientes de sobrecarga se efectúa mediante un disparador térmico formado por un bimetálico, que se deforma al calentarse durante cierto lapso por la circulación de una corriente superior a la nominal y hace accionar el mecanismo de desconexión.

Por lo tanto su operación depende de la generación de calor por efecto Joule, respondiendo a la integral en el tiempo de la intensidad elevada al cuadrado. Así se obtiene una respuesta intensidad-tiempo del tipo inversamente proporcional, de manera que ante una elevada corriente opera en un tiempo muy reducido, y ante una corriente ligeramente superior a la nominal opera en un tiempo más prolongado.

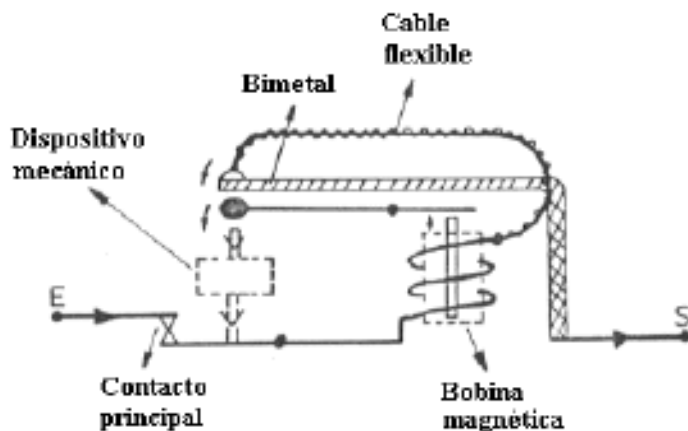


Fig. 3.7 Elementos de un interruptor termomagnético.

Como consecuencia de la influencia de la temperatura ambiente y las operaciones previas, la actuación de la protección térmica presenta una banda de dispersión de funcionamiento, limitada por una curva de trabajo "en frío" y otra de trabajo "en caliente".

En el gráfico de la figura 3.8 puede verse la curva de desconexión de un termomagnético, en la que se aprecia una zona A, claramente térmica, una zona B que corresponde a la reacción magnética, y la zona de solape C, en donde el disparo puede ser provocado por el elemento magnético o térmico indistintamente. Normalmente, en los gráficos en que se ilustra la curva característica de los termomagnéticos, se concede el eje vertical a la escala de tiempos, graduada logarítmicamente, y el eje horizontal a la escala de corrientes, graduada también a escala logarítmica, y en múltiplos de la intensidad nominal.

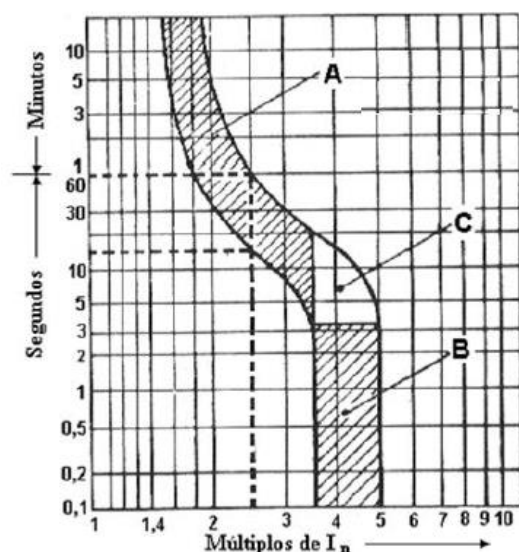


Fig. 3.8 Curva de desconexión de un termomagnético.

Así, por ejemplo, un punto $3 I_n$ corresponderá a 30A, si el aparato es de 10A, o bien a 75A, si el aparato es de 25A, etc.

Los interruptores automáticos termomagnéticos de baja tensión son de amplia utilización tanto en instalaciones domiciliarias e industriales; y suelen fabricarse para corrientes entre 5 y 125 A, capacidad de cortocircuito nominal menor a 25 kA, de forma modular y calibración fija, sin posibilidad de regulación. En instalaciones industriales con corrientes elevadas, de hasta 1.000 A, suelen estar provistos de una regulación externa, al menos para el elemento magnético de protección contra cortocircuitos. Además, según el número de polos, se clasifican en: unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares, figura 3.9. Estos últimos se utilizan para redes trifásicas con neutro.

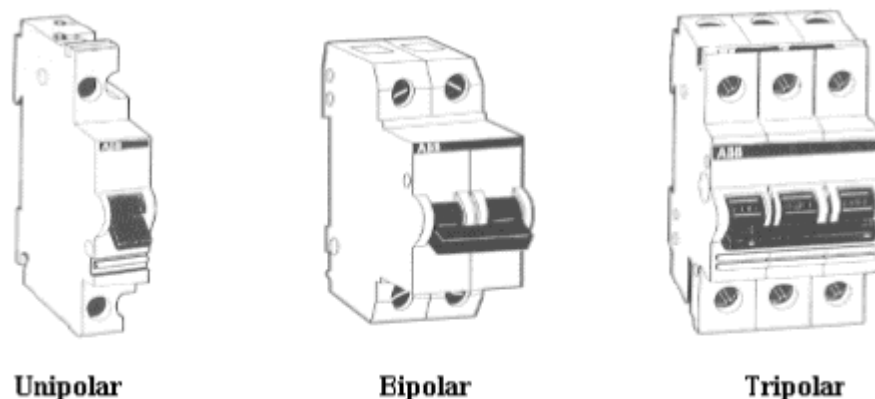


Fig. 3.9 Interruptores termomagnéticos unipolares, bipolares y tripolares.

Cuando se trata de termomagnéticos tripolares, si una fase sufre perturbaciones, al disparar su polo arrastra a los otros dos y desconecta completamente el sistema. Si este circuito se hubiera protegido sólo con tres fusibles, se fundiría el correspondiente a la fase perjudicada y dejaría a todo el sistema en marcha con sólo dos fases, con los consiguientes peligros de averías que tal estado acarrea en determinados circuitos.

Naturalmente los fusibles son imprescindibles en cuadros generales de protección y en todos aquellos casos en que se desee una protección adicional.

3.2 Cálculo de la corriente de cortocircuito en baja tensión en los puntos críticos de la instalación.

Supongamos un cortocircuito producido a la salida de un transformador para baja tensión, es decir, el cortocircuito más desfavorable que puede producirse. Para determinar esta intensidad dispondremos de un método práctico basado en unas gráficas que representan las variaciones de la intensidad de cortocircuito en función de la potencia del transformador y de la resistencia de la línea intercalada hasta el lugar del cortocircuito.

Basándonos en las gráficas de la figura 3.10, el procedimiento a seguir será el siguiente:

1. Se calcula la resistencia del conductor intercalado desde el transformador hasta el cortocircuito.
2. Al valor de resistencia que resulte deberá sumarse el valor del hilo neutro, cuando el cortocircuito sea entre fase y neutro, y multiplicarlo por raíz de 3 cuando el cortocircuito sea entre dos fases.
3. El resultado obtenido se traslada a la gráfica de la figura 3.10, donde en función de la potencia del transformador, se determinará el valor de la intensidad de cortocircuito en amperios.

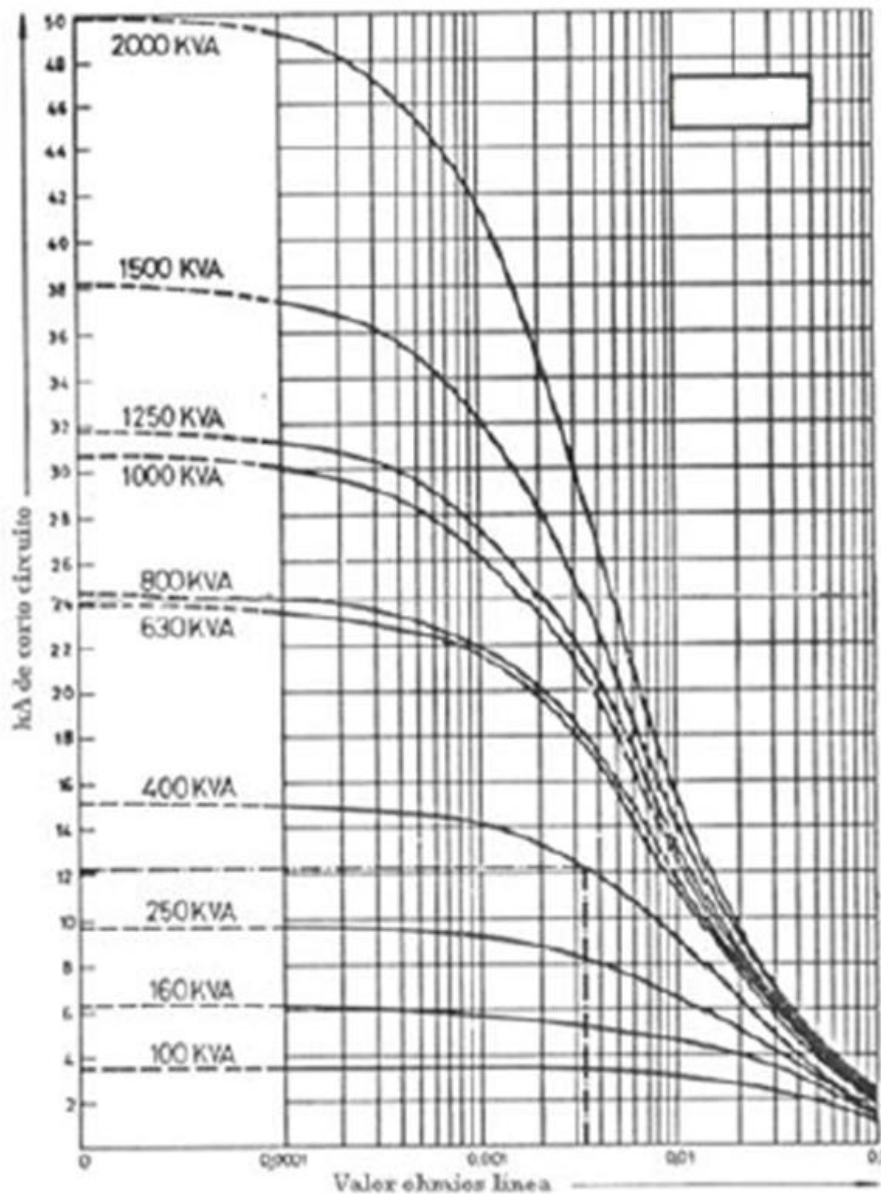


Fig. 3.10 Curva de cortocircuito del transformador.

Mediante este procedimiento obtenemos la intensidad de cortocircuito en el punto elegido, y con él tendremos el poder de corte mínimo del fusible o interruptor automático que vayamos a colocar. El valor obtenido será en exceso ya que no tenemos en cuenta la reactancia de la línea.

Así, según vemos en la figura 3.11, inmediatamente después del transformador tenemos un interruptor automático, dividiéndose el circuito en dos ramales, con derivaciones a motores y resistencias de calefacción.

Hasta llegar a los receptores, existen una serie de protecciones selectivas y en cada uno de estos puntos deberemos calcular la intensidad de cortocircuito para poder dimensionar correctamente cada una de las protecciones.

Estas curvas solamente son válidas para transformadores cuya tensión de salida sea de 220/127 V.

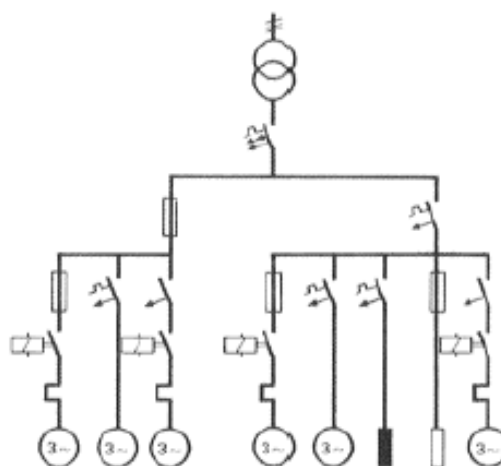


Fig. 3.11 Diagrama unifilar.

Ejemplo

Sea una nave industrial alimentada a 220/127 V. mediante un transformador de 400 kVA. Suponiendo que el cable de salida del transformador es de cobre de sección $3,5 \times 200 \text{ mm}^2$ y de 23 metros de longitud, calculemos el poder de corte del interruptor automático en ese punto. La resistencia óhmica del cable utilizado, será:

$$R = \rho \frac{L}{s} = 0.018 \, \Omega \cdot \text{m} \frac{23 \text{ m}}{200 \text{ mm}^2} = 0.002 \, \Omega$$

Puesto que el cortocircuito se supone entre dos fases, este resultado hay que multiplicarlo por $\sqrt{3}$.

$$0.002 \, \Omega \times \sqrt{3} = 0.0034 \, \Omega$$

Las curvas características determinan para una resistencia de la línea de $0.0034 \, \Omega$ y un transformador de 400 kVA., una intensidad de cortocircuito de 12.000 A.

Según esto, elegiremos un interruptor automático con un poder de corte de 12.000 A y si este valor no existe comercialmente deberemos elegir el inmediatamente mayor que encontremos.

Cualquier cortocircuito que se produzca después será de intensidad menor, ya que la resistencia intercalada será mayor, debiendo seguir el mismo criterio de cálculo para los sucesivos puntos.

3.2.1 Selección de dispositivos de protección de en base a su capacidad interruptiva.

Dispositivos de protección termomagnéticos

Según sean los límites que posea la curva característica de un dispositivo de protección termomagnético, así será su comportamiento, debiendo adaptar en cada caso el aparato correspondiente a las peculiaridades del circuito que se pretenda proteger.

A continuación se exponen cada una de las curvas características por separado, estudiando para cada una de ellas la forma que presentan y las aplicaciones en las que se utilizan.

Curva B

Estos termomagnéticos actúan entre 1.1 y 1.4 veces la intensidad nominal I_n en la zona térmica y en su zona magnética entre un $3 I_n$ y $5 I_n$, o $3.2 I_n$ y $4.8 I_n$, según el tipo de aparato. Permiten realizar la protección de las personas para longitudes mayores que con la curva C, siendo indicado para instalaciones de líneas y generadores. Así, por ejemplo, un termomagnético de intensidad nominal 10A, para una intensidad de 20A., la desconexión la efectuará el elemento térmico en un tiempo comprendido entre 20 s. y 200 s, figura 3.12. Para una intensidad de 50A, la desconexión la efectuará el elemento magnético en un tiempo del orden de comprendo entre 0.01 y 0.009 s.

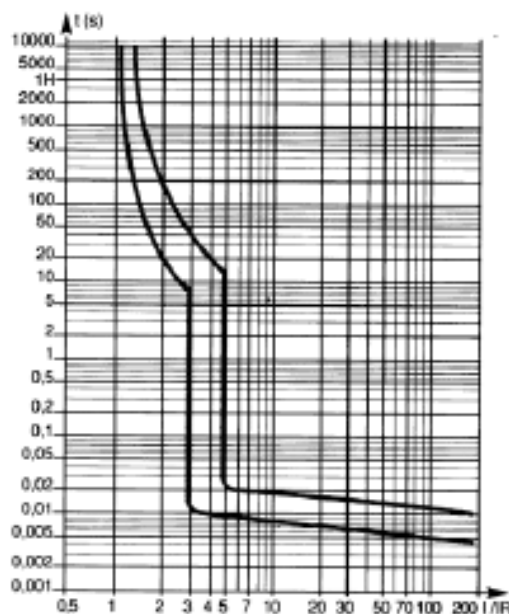


Fig. 3.12 Curva de disparo B.

Curva C

Estos termomagnéticos actúan entre 1,13 y 1,45 veces la intensidad nominal en su zona térmica y en su zona magnética entre $5 I_n$ y $10 I_n$, o $7 I_n$ y $10 I_n$, según el tipo de aparato. Se aplican para evitar los disparos intempestivos, en el caso de la protección de receptores, que presentan, una vez en servicio, puntas de corriente de cierta consideración. Se utilizan en las instalaciones de líneas-receptores.

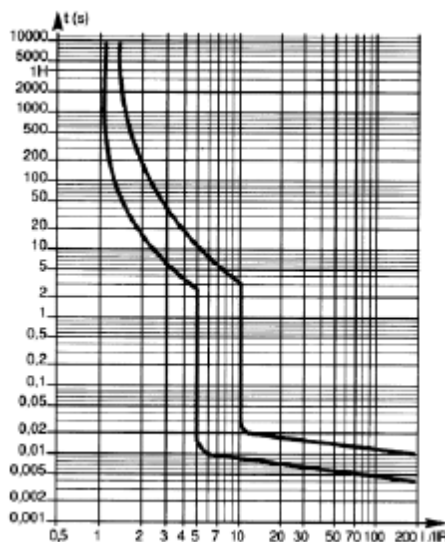


Fig. 3.13 Curva de disparo C.

Curva D

Estos termomagnéticos actúan en la zona térmica con sobrecargas comprendidas entre 1,1 y 1,4 In y en su zona magnética actúan entre 10 In y 14In. Son adecuados para instalaciones que alimentan receptores con fuertes puntas de arranque.

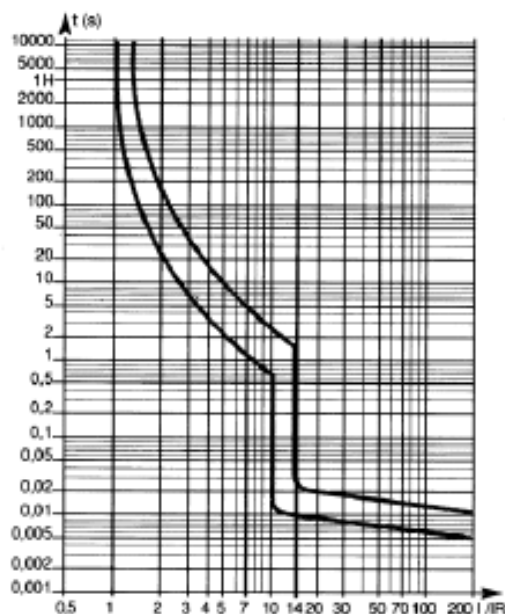


Fig. 3.14 Curva de disparo D.

Curva MA

Curva de disparo magnético exclusivamente, con un valor de 12 In. Se utilizan para la protección de motores. Los interruptores automáticos equipados con esta curva no son interruptores termomagnéticos, ya que carecen de protección térmica.

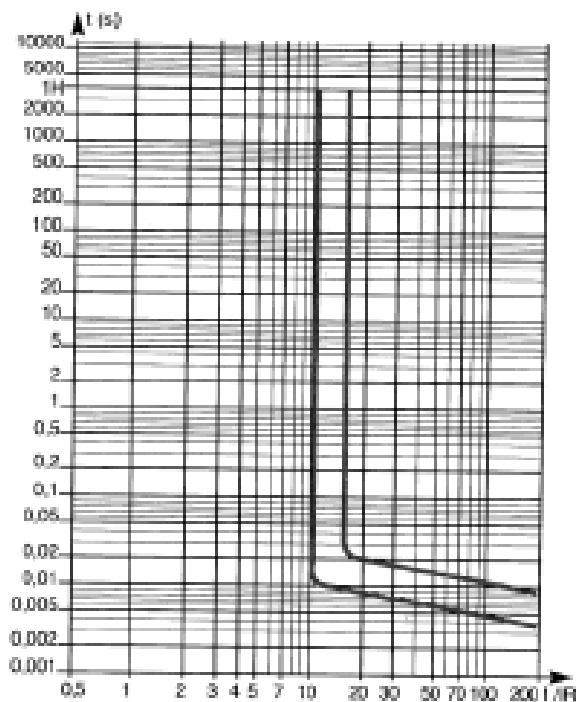


Fig. 3.15 Curva de disparo MA.

Curva Z

Estos magnéticos actúan entre 2,4 In y 3,6 In. Se utilizan para proteger instalaciones con receptores electrónicos.

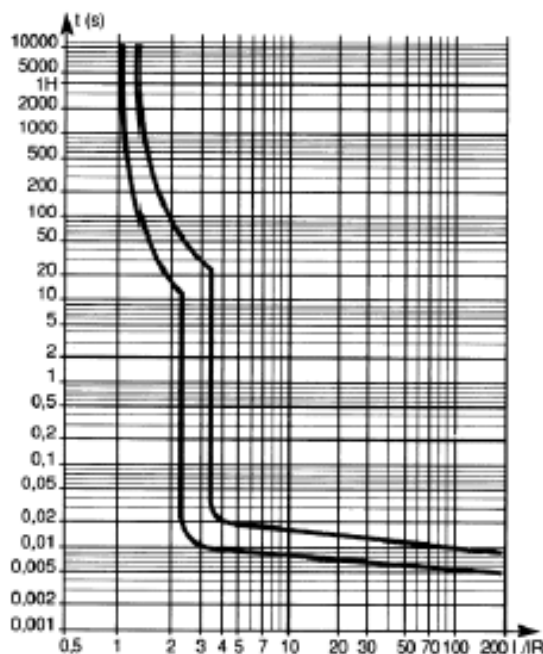


Fig. 3.16 Curva de disparo Z.

Una característica a tener en cuenta, para seleccionar un interruptor termomagnético, es su capacidad de ruptura, que puede ser distinto dentro de un mismo tipo de curva de desconexión. Los valores de fabricación más normales de la corriente máxima que pueden cortar, ante un cortocircuito, son: 1,5; 3; 4,5; 6; 10; 20; y 25 kA.

3.2.2 Coordinación de protecciones.

Coordinación de protecciones eléctricas es como se le llama a la rama de la electricidad que se encarga de estudiar, seleccionar, manipular y analizar los elementos y dispositivos eléctricos responsables de mitigar, reducir y aislar los efectos de un corto circuito.

Cuando un corto circuito se presenta en un sistema eléctrico la magnitud de la corriente de falla varía dependiendo de varios factores, tales como:

- La impedancia del punto donde ocurre la falla.
- La impedancia del sistema.
- La magnitud de aportación del alimentador.
- Los equipos eléctricos apartadores momentáneos de energía al corto circuito son: generadores, motores síncronos, motores de inducción.
- El tiempo de liberación de la falla.

Los cortos circuitos son eventos esporádicos originados por una condición de falla de aislamiento o contacto directo de una línea con un conductor, permitiendo el flujo de corriente a tierra, o, a otra fase. De esta forma una corriente de magnitud mucho mayor a la nominal fluye desde la fuente hacia la zona afectada. La corriente de alta magnitud de la falla fluirá hasta la misma, hasta que algún elemento parte del sistema sea destruido por la gran cantidad de energía o hasta que alguno

de los dispositivos de protección eléctrica liberen la falla, los más comunes son: Fusibles, Relevadores de protección e Interruptores.

Al presentarse un corto circuito, se origina una corriente de gran magnitud. Los fusibles son producidos para soportar una corriente definida por su diseñador. Cuando una corriente superior a su valor de diseño pasa a través del fusible, la parte conductora del fusible se funde e impide el flujo de corriente eléctrica.

Los relevadores de protección son elementos que se diseñan para enviar señales de control cuando la corriente que pasa a través de ellos supera sus valores de ajuste. Por lo regular, son rearmables, ya sea, en forma manual o remota.

Por otra parte, los interruptores son los elementos de protección más robustos que existen. Son fabricados para soportar potencias menores de baja tensión hasta corrientes muy elevadas de media o alta tensión. Se producen en formas muy versátiles, pues existen tecnologías muy novedosas que van desde utilizar cámaras de arqueo cuyo elemento de supresión de arco sea el aire hasta los de tipo vacío o SF6.

Cuando se presenta un cortocircuito en un sistema eléctrico, el elemento protector que debe abrir en primera instancia es el que se encuentre inmediatamente aguas arriba de la falla. A esto se le denomina comúnmente selectividad en la coordinación. Si no ocurre de esta forma, entonces el elemento que debería actuar o proteger el sistema es el inmediato superior al que debió abrir en primer lugar.

En principio suena muy fácil el concepto de la coordinación eléctrica de protecciones. Sin embargo, es muy común que en las fábricas y sistemas eléctricos industriales no exista ni una correcta selección de protecciones ni tampoco que los elementos se encuentren bien ajustados para abrir en el momento más oportuno.

El concepto sencillo de selectividad y coordinación se llega a complicar debido a la gran cantidad de variables que intervienen en los esquemas eléctricos industriales. Situaciones como la amplia gama de fabricantes de dispositivos de protección, diferentes tipos de curvas de falla derivados de distintos estándares o equipos eléctricos difíciles de coordinar por su funcionamiento bajo sobre corrientes. Hacen que la tarea del ingeniero eléctrico de protecciones tenga que recurrir a programas de computadora para hacer más eficiente el estudio de la coordinación eléctrica de algún sistema. Existen múltiples desarrolladores que ofrecen su software para facilitar los estudios eléctricos: Mitsubishi, SKM, Easy Power, Etap, Copper industries, son algunos de ellos.

En general, los conceptos básicos de coordinación de los elementos de protección en alimentadores, pueden resumirse en dos:

- El dispositivo de protección más próximo a la falla (local) debe despejarla, sea ésta permanente o transitoria, antes que el dispositivo de respaldo opere si este no tiene re conexión automática o antes que agote las re conexiones en caso de tenerlas.
- Las interrupciones deben restringirse al mínimo en fallas permanentes, tanto en el tramo de la línea conectada como en el tiempo de duración.

Coordinación de fusibles

Como se dijo, el fusible es normalmente usado en la protección de transformadores, por este motivo interesa su coordinación en este caso. Al proteger un transformador, el fusible podría estar coordinado con otros fusibles o con relés de tiempo extremadamente inverso, dado que para una buena coordinación, las curvas tiempo corriente deben ser similares. En este caso, es necesario trabajar con las curvas características tiempo-corriente tanto para los relés como para los fusibles, con el fin de realizar el proceso de coordinación.

Cuando se trata de coordinar solamente fusibles, entre sí, se pueden utilizar sus curvas de tiempo corriente, tal como las que se muestran en las figuras 3.17 y 3.18, para los fusibles de tipo K y T respectivamente.

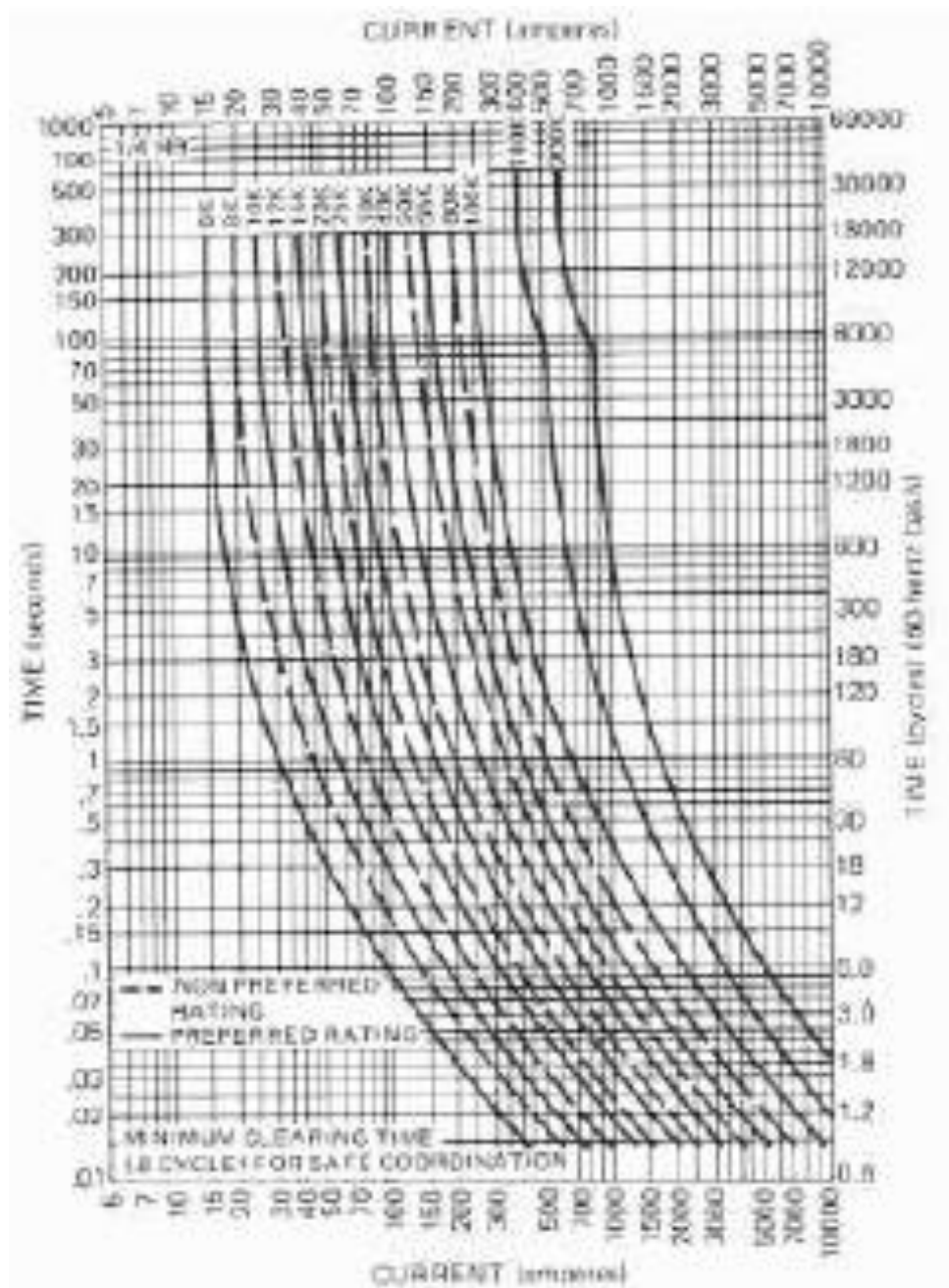


Fig. 3.17Curvas de tiempo máximo de aclaramiento para fusibles tipo K

Sin embargo, es más cómodo trabajar con tablas de coordinación como las que se indican en las Tablas 3.1 entre fusibles tipo K y 3.2 entre fusibles tipo T. Estas tablas indican el valor máximo de la corriente de falla a la cual coordinan los fusibles respectivos y ellas están basadas en las curvas de máximo tiempo de aclaramiento del fusible local y el 75% de la curva de tiempo mínimo de fusión del fusible de respaldo; es decir, se exige que el 75% del tiempo mínimo de fusión del fusible del lado fuente (de respaldo o protegido) sea mayor que el tiempo total de aclaramiento del fusible del lado carga (local o de protección).

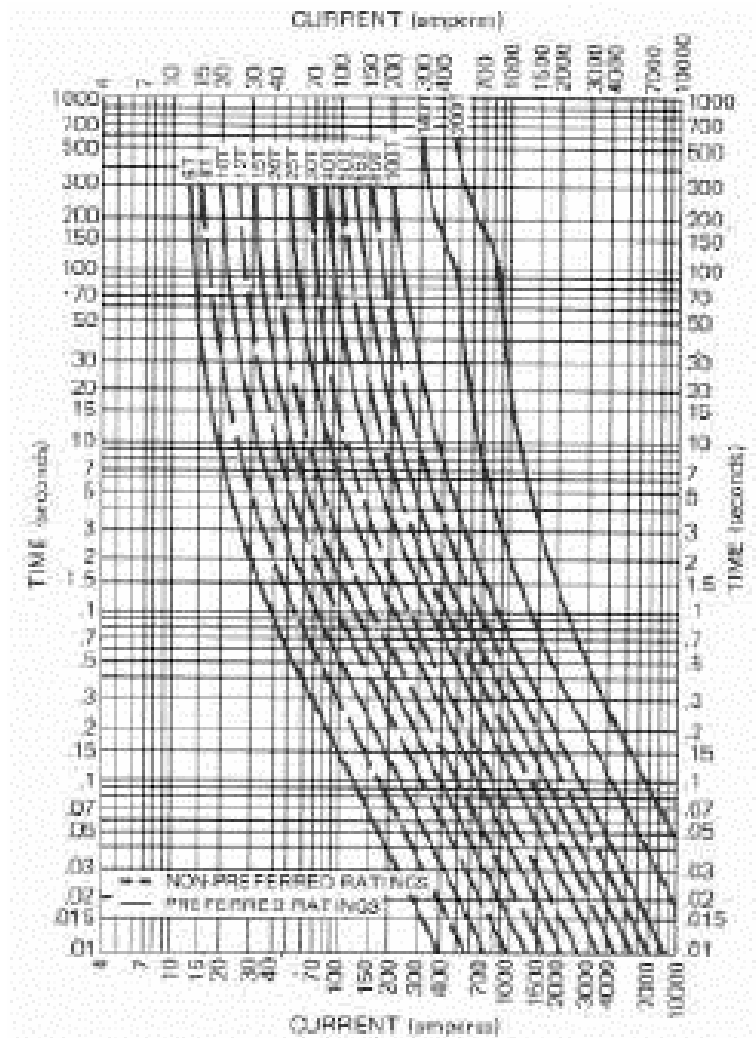


Fig. 3.18 Curvas de tiempo máximo de aclaramiento para fusibles tipo T

Se considerará a manera de ejemplo, el sistema que se muestra en la figura 3.19, donde se indican las corrientes de carga de cada alimentador y el nivel de cortocircuito en cada punto de ubicación de un fusible (barra).

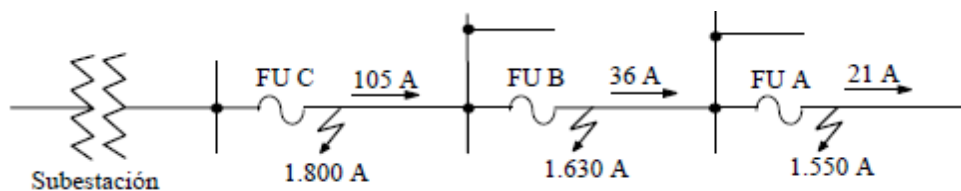


Fig. 6.19. Sistema ejemplo de coordinación de fusibles.

A partir de la tabla 3.3, considerando fusibles de tipo T se tiene que: En A se puede elegir un fusible 15T que soporta en forma permanente hasta 23 A, mayor que la corriente de carga de ese tramo. Por lo mismo, en B se elige un fusible 25T (38 A máximo) y en C un 80T (120 A máximo).

Según la tabla 3.2, los fusibles 15T y 25T coordinan hasta una corriente de falla máxima de 730 A, por lo tanto en B se debe elegir un fusible 30T que coordina con el 15T hasta 1.700 A (mayor que los 1.550 A de falla). Los fusibles 30T y 80T coordinan hasta 5.000 A, mayor que los 1.800 A de falla y por lo tanto en C queda el 80T.

Tabla 3.1 Coordinación entre fusibles tipo K

FUSIBLES DE PROTECCION	FUSIBLES PROTEGIDOS (RESPALDO)												
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K
	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MAXIMA DE COORDINACION (AMPERES)												
6K		190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800
8K			210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800
10K				300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800
12K					320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800
15K						430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800
20K							500	1100	1700	2200	2800	3900	5800
25K								660	1350	2200	2800	3900	5800
30K									850	1700	2800	3900	5800
40K										1100	2200	3900	5800
50K											1450	3500	5800
65K												2400	5800
80K													4500
100K													2000
140K													4000

Tabla 3.2 Coordinación entre fusibles tipo T

FUSIBLES DE PROTECCION	FUSIBLES PROTEGIDOS (RESPALDO)												
	8T	10T	12T	15T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T
	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MAXIMA DE COORDINACION (AMPERES)												
6T		350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
8T			375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
10T				530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
12T					680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700
15T						730	1700	2500	3200	4100	5000	6100	9700
20T							990	2100	3200	4100	5000	6100	9700
25T								1400	2600	4100	5000	6100	9700
30T									1500	3100	5000	6100	9700
40T										1700	3800	6100	9700
50T											1750	4400	9700
65T												2200	9700
80T													7200
100T													4000
140T													7500

Tabla 3.3.Capacidad de corriente permanente de diversos fusibles.

H Rating	Continuous Current (A)	N Rating	Continuous Current (A)	EEI-NEMA K or T Rating	Continuous Current (A)	EEI-NEMA K or T Rating	Continuous Current (A)
1H	1	25	25	6	9	40	60*
2H	2	30	30	8	12	50	75*
3H	3	40	40	10	15	65	95
5H	5	50	50	12	18	80	120+
8H	8	60	60	15	23	100	150+
		75	75	20	30	140	190
N Rating		85	85	25	38	200	200
5	5	100	100	30	45		
8	8	125	125				
10	10	150	150	* Only when used in a 100- or 200-ampere cutout.			
15	15	200	200	+ Only when used in a 200-ampere cutout.			
20	20			Limited by continuous current rating of cutout.			

El resultado gráfico de la coordinación se muestra en la figura 3.20, donde las curvas con línea continua corresponden a las de tiempo mínimo de fusión y las segmentadas al tiempo máximo de aclaramiento.

En la figura 3.20 se puede apreciar que, por ejemplo, para 1.630 A., el tiempo mínimo de fusión del 80T es de 0,16 segundos y el tiempo máximo de aclaramiento del fusible 30T es de 0,051 segundos, entonces, resulta que este tiempo es el 32% del tiempo de fusión del fusible 80T, por lo tanto, existe una buena coordinación entre estos fusibles para esta corriente de falla máxima.

Continuando en la figura 3.20, para la falla de 1.550 A, se aprecia que la curva de tiempo máximo de aclaramiento del 15T se ha cruzado con la de tiempo mínimo de fusión del 25T. Los tiempos correspondientes son: 0,021 y 0,0165 segundos; es decir, el tiempo máximo de aclaramiento del 15T corresponde al 127,3 % del tiempo mínimo de fusión del 25T y por lo tanto no hay coordinación entre ellos. Al elegir el 30T en lugar del 25T, los tiempos son: 0,021 y 0,031 segundos, respectivamente (67,7 %).

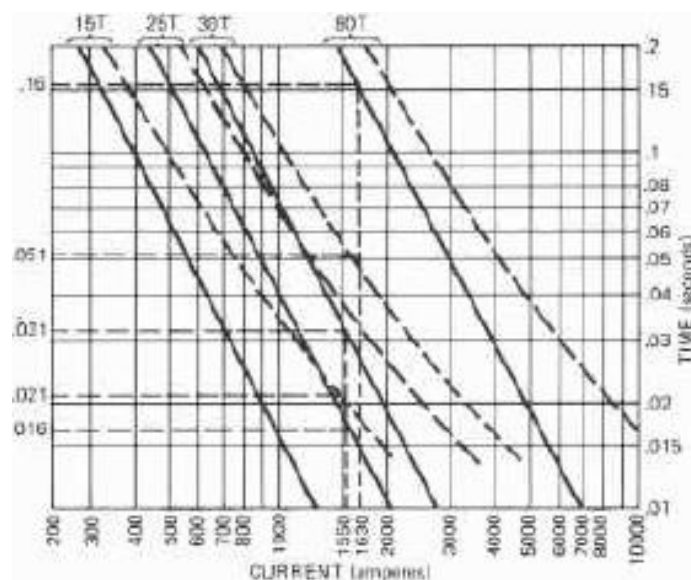


Figura 3.20 Curvas tiempo-corriente para el ejemplo de coordinación

Coordinación entre relevadores y fusibles.

Se pueden distinguir dos casos, relevador-fusible y fusible-relevador. En ambos, se usa el método de trazado de curvas del relevador y del fusible, con el fin de obtener el rango de corrientes de cortocircuito en que existe coordinación.

Coordinación de relevador con fusible en el lado carga (relevador-fusible).

En este caso el relevador deberá detectar las fallas ocurridas en su zona y también las de la zona del fusible. Por lo tanto, el fusible debe operar después de la característica rápida y antes de la lenta del relevador, como se muestra en la figura 3.21. Para ello se debe cumplir lo siguiente:

1. Para todo el rango de corriente de falla de la zona protegida por el fusible, su tiempo mínimo de fusión debe ser mayor que el tiempo de operación del relevador en su característica rápida, multiplicada por el factor K1, dado por el fabricante, que se indica en la tabla 3.4 y su valor depende de la secuencia de operación y del tiempo de la primera re conexión. La intersección de esta curva con la de tiempo mínimo de fusión del fusible determina el punto de corriente máxima de coordinación.

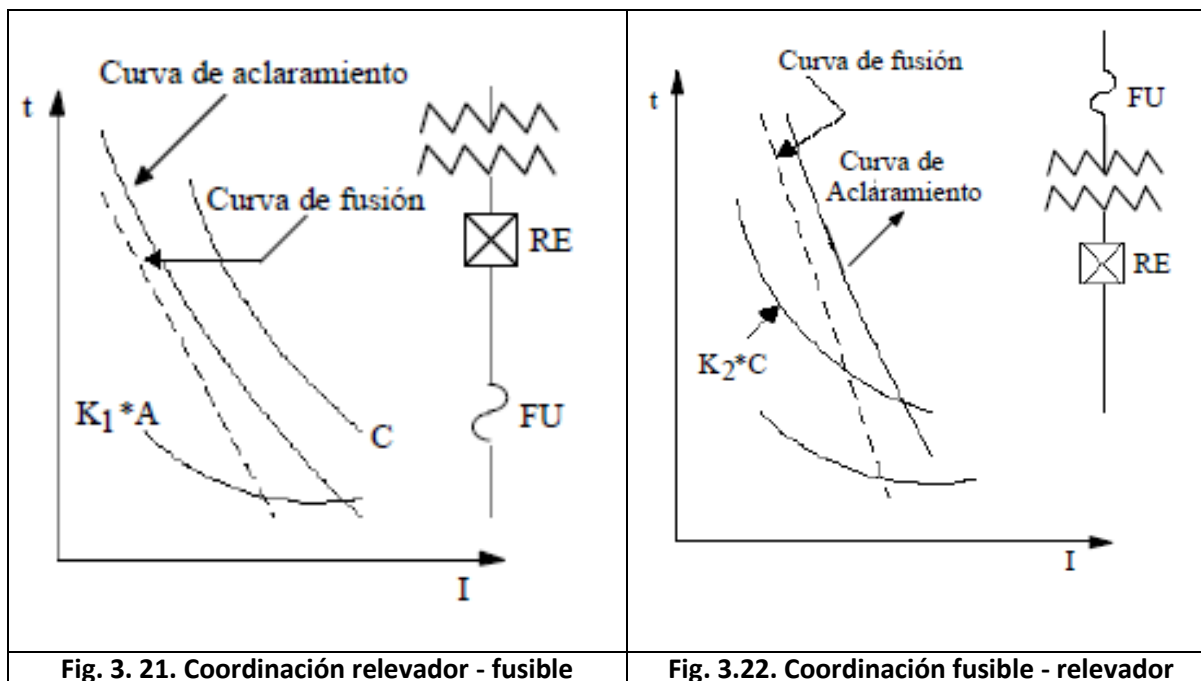


Tabla 3.4 Valores del Factor de corrección K1

Tiempo de Reconexión (ciclos)	Una operación rápida		Dos operaciones rápidas	
	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo
25-30	1,3	1,2	2,0	1,80
60	1,3	1,2	1,5	1,35
90	1,3	1,2	1,5	1,35
120	1,3	1,2	1,5	1,35

Los valores de la columna “promedio” se aplican cuando las curvas rápidas son dibujadas para valores promedio y la columna “máximo”, cuando la curva rápida se grafica para valores máximos.

2. Para todo el rango de corriente de falla de la zona protegida por el fusible, su tiempo máximo de aclaramiento, debe ser menor que el tiempo de operación del relevador en su característica lenta. Si estas curvas pasan muy cerca, el relevador deberá dejarse con a lo menos 2 operaciones lentas, para que pueda operar simultáneamente con el fusible. De esta forma, el relevador podrá reponer el servicio al resto del sistema. Determina el punto de corriente mínima de coordinación.

Coordinación de relevador con fusible en el lado fuente (fusible-relevador).

En la Figura 3.22 se muestra un caso típico de coordinación entre fusible y relevador. El fusible en este caso, protege el sistema de fallas internas en el transformador, o en la barra de la subestación, que no pueden ser detectadas por el relevador.

Para el estudio de coordinación en este caso, es necesario considerar las fallas en el lado carga del relevador, para lo cual se deben referir las curvas de tiempo mínimo de fusión del fusible ubicado en el lado de alta del transformador, al voltaje del lado de baja tensión, donde está ubicado el relevador. Para una adecuada coordinación se debe cumplir que:

La curva de tiempo mínimo de fusión del fusible debe estar por sobre la curva de operación lenta del relevador en todo el rango de corriente de cortocircuito. Esta última debe ser modificada, por

un factor de corrección K2, dada en la tabla 3.5, antes de comparar ambas curvas ya referidas a una tensión base común. El factor K2 depende de la secuencia de operaciones elegidas en el relevador y los tiempos de calentamiento y enfriamiento del fusible.

Tabla 3.5. Valores del Factor de corrección K2

Tiempo de Reconexión (ciclos)	Secuencia de operación		
	22	13	04
20	2,70	3,20	3,70
25	2,60	3,10	3,50
50	2,10	2,50	2,70
75	1,85	2,10	2,20
100	1,70	1,80	1,90
200	1,40	1,40	1,45
500	1,35	1,35	1,35

Coordinación entre relevador e interruptor.

Esta coordinación es muy común en subestaciones donde el nivel de cortocircuito en la barra de alimentadores primarios es de 250 kVA o mayor, cuando se usan interruptores en el origen de alimentadores, con relevadores en el troncal o en arranques importantes.

Los alimentadores son protegidos mediante interruptores, comandados por relés de sobre corriente de tiempo extremadamente inverso. El relé debe ser ajustado de manera que detecte y de orden de aclaramiento para todas las fallas que ocurran dentro de la zona del alimentador, hasta la ubicación del primer relevador, pero, no obstante, debe tener un retardo suficiente de manera que no operen simultáneamente.

El factor crucial para coordinar la operación entre estos elementos de protección, es el tiempo de reposición del relé de sobre corriente durante la secuencia de operación de relevador. Si se utiliza un relé electromecánico en lugar de uno de estado sólido, sucede que mientras se cumple el tiempo de operación del relevador durante una falla, el relé comienza a integrar el tiempo, avanzando su disco en el sentido de disparo.

Si la reposición del disco es lenta, cuando el relevador está en el período de re conexión (abierto), el relé irá acumulando avance en la dirección de disparo, de manera que puede suceder una orden de apertura falsa durante las sucesivas operaciones de apertura y cierre de relevador.

Los tiempos típicos de reposición de los relés de sobre corriente electromecánicos, para la curva de operación de mayor nivel, son de alrededor de 6 segundos para relés de características extremadamente inversas.

Una regla práctica que se puede aplicar para determinar si hay o no coordinación entre estos elementos, es la siguiente: Es posible que no se logre una selectividad adecuada, si para un valor cualquiera de corriente de falla, el tiempo de operación del relé, es menor que dos veces el tiempo de operación del relevador en curva lenta, suponiendo que la secuencia de operación del relevador incluye dos operaciones en este tipo de curva.

Coordinación entre relevador e interruptor.

Para coordinar un relevador con un interruptor no se requiere hacer análisis de curvas de tiempo-corriente debido a que el interruptor no tiene este tipo de curvas; sólo cuenta pulsos de corriente de falla y se ajusta para que abra luego de un determinado número de pulsos, como máximo, uno menos que el número de operaciones del relevador ubicado aguas arriba y en el momento en que éste está abierto.

Coordinación entre relevadores.

Se plantean tres métodos: Por corrientes nominales, Combinando el número de aperturas y Combinando en curvas de operación retardadas.

a. Por corrientes nominales.

En este método se coordina de acuerdo a las corrientes nominales de los equipos, considerando que dichas corrientes disminuyen a medida que se aleja de la fuente. Con este método, existirá coordinación aun cuando los relevadores tengan el mismo ajuste, que normalmente corresponde a 2 operaciones rápidas y 2 retardadas. Es prácticamente imposible que no haya operación simultánea cuando operan en curva rápida, sin embargo se debe mantener una diferencia de a lo menos 12 ciclos, entre las operaciones en curvas retardadas para asegurar en estos casos una buena selectividad, ver figura 3.23.

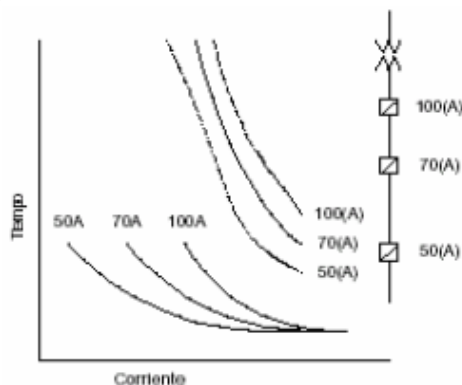


Fig. 3.23. Coordinación entre relevadores por corriente nominal

b. Combinando el número de aperturas.

Es posible coordinar relevadores en serie, que tengan la misma corriente nominal, siempre que sus secuencia de operación sean diferentes, de tal manera que el relevador ubicado más cercano a la falla, tenga una operación menos en curva lenta que el relevador ubicado aguas arriba, de tal manera que se produzca el despeje de la falla selectivamente, ver figura 3.24. Con esto se logra que ambos operen simultáneamente, pero uno de ellos agotará su secuencia de operación antes, cuando aún al otro le quede una operación más.

c. Combinando en curvas de operación retardadas.

En este método las corrientes de operación son idénticas, sólo que además de tener programadas diferentes secuencias de operación, también realizan las aperturas con retardo en curvas diferentes. Esto se puede apreciar en el sistema mostrado en la figura 3.25.

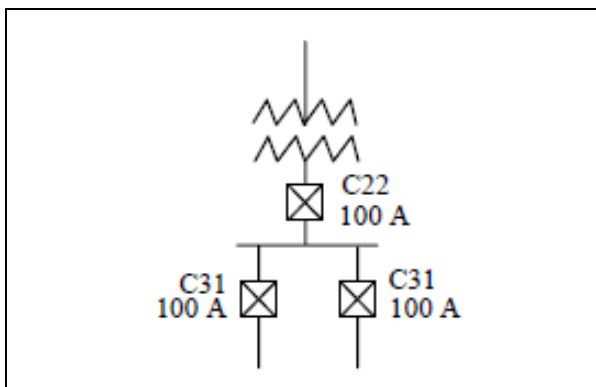


Fig. 3.24. Coordinación entre relevadores combinando el número de aperturas.

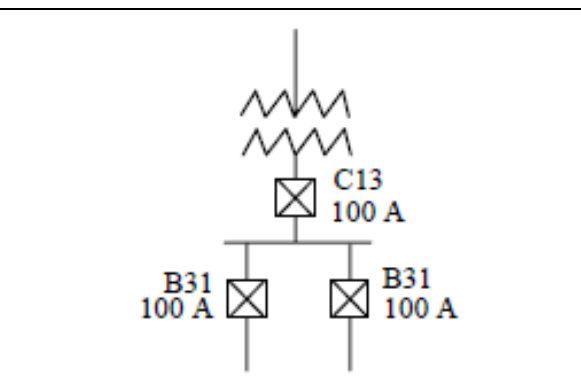


Fig. 3.25 Coordinación entre relevadores combinando curvas de operación retardada.

4 Sistemas de tierra

Cualquier instrumento conectado a una alimentación eléctrica está expuesto a descargas electrostáticas, interferencia electromagnética, descargas atmosféricas y errores humanos. Dichos sucesos ponen en riesgo principalmente la integridad humana y a los equipos e instalaciones eléctricas.

Tierra Física es una conexión real a la tierra. La puesta a tierra física es la unión eléctrica directa de parte del circuito eléctrico y partes no conductoras no pertenecientes al mismo, a una toma de tierra, mediante conductores eléctricos.

La Tierra Física es un elemento o conjunto de elementos conductivos que se instalan bajo el suelo brindando una conexión eficiente entre el elemento y el planeta tierra.

El sistema de tierra física funciona poniendo al mismo potencial la instalación eléctrica y el planeta tierra, mediante elementos conductivos logrando así un camino para descarga de energía no deseada al igual que una referencia de potencial estable.

4.1 Sistemas de tierra.

Existen dos parámetros importantes a la hora de diseñar un sistema de puesta a tierra: resistividad del suelo y resistencia del sistema de puesta a tierra (electrodo, malla, etc.)

La medición de resistividad del suelo es útil para los siguientes propósitos:

- Estimación de la resistencia de Puesta a Tierra de una estructura o un sistema.
- Estimación de gradientes de potencial incluyendo voltajes de toque y paso.
- Cálculo del acoplamiento inductivo entre circuitos de potencia y comunicación cercanos.
- Diseño de sistemas de protección catódica.

La medición de la resistencia o impedancia de puesta a tierra así como los gradientes de potencial en la superficie de la tierra debido a corrientes de tierra es necesaria por diferentes razones, entre ellas:

- Determinar la resistencia actual de las conexiones a tierra
- Verificar la necesidad de un nuevo sistema de Puesta a Tierra
- Determinar cambios en el sistema de Puesta a Tierra actual. Se verifica si es posible o no incorporar nuevos equipos o utilizar el mismo sistema de puesta a tierra para protección contra descargas atmosféricas y otros
- Determinar los valores de voltajes de paso y toque y su posible aumento que resulta de una corriente de falla en el sistema
- Diseñar protecciones para el personal y los circuitos de potencia y comunicación.

El método de los cuatro electrodos o método de Wenner se usa para la medición de la resistividad de un terreno, considerando que es homogéneo.

En la figura 4.1 se describe gráficamente el método de Wenner. Estos electrodos deben ser colocados en línea recta a una misma distancia entre ellos, **a**, y a una misma profundidad, **b**.

Las mediciones dependerán de la distancia entre electrodos y del contacto de estos con la tierra. La distancia **b** no debe exceder un décimo de la distancia **a**.

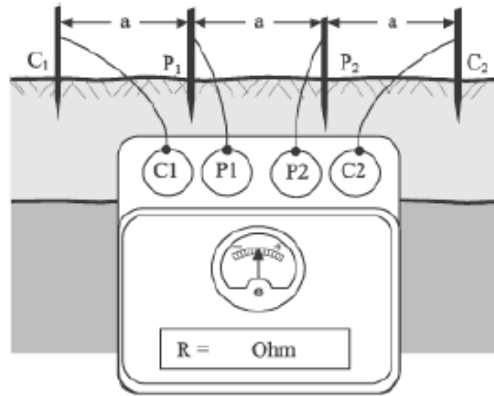


Fig. 4.1 Método de los cuatro electrodos.

El método consiste en inyectar una corriente conocida por los electrodos de prueba **C1** y **C2**. Entre los electrodos de prueba **P1** y **P2** se mide la diferencia de potencial resultante de la inyección de corriente anterior. Con estos datos se puede calcular la resistencia y el valor de la resistividad del terreno, a una profundidad, b , será:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R \quad (4.1)$$

Donde:

ρ - Resistividad promedio a la profundidad b en (Ohm - cm)

π - constante 3.1416

a - distancia entre los electrodos (cm)

R - Resistencia medida por el Megger (Ohm)

4.1.1 Importancia de un sistema de tierras.

En toda instalación eléctrica es necesario garantizar la seguridad de las personas que harán uso de ella. Para tal efecto es necesaria de dotarla de los mecanismos de protección que corresponda.

Respecto al concepto de alta o baja tensión, se debe de tener en cuenta que la corriente eléctrica provoca la muerte por fibrilación ventricular, al contrario de la de alta tensión, que lo hace por la destrucción de los órganos o por asfixia, debido al bloqueo del sistema nervioso.

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen del valor de la intensidad de la corriente, tiempo de duración del contacto, callosidad, sexo, estado de epidermis, peso, altura, estado de ánimo, estado del punto de contacto a tierra. Estos efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano varían en función del valor de la intensidad, de acuerdo a la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica.

INTENSIDAD	EFFECTOS FISIOLÓGICOS
1 a 3 mA	Prácticamente imperceptibles. No hay riesgo
De 5 a 10 mA	Contracciones involuntarias de músculos y pequeñas alteraciones del sistema nervioso
De 10 a 15 mA	Principio de tetanización muscular, contracciones violentas e incluso permanentes de las extremidades
De 15 a 30 mA	Contracciones violentas e incluso permanentes de la caja torácica. Alteración del ritmo cardiaco
Mayor de 30 mA	Fibrilación ventricular cardiaca

Los valores y efectos pueden variar según el tiempo que dure el paso de la corriente eléctrica. Los valores máximos de intensidad y corriente son:

- Para tiempos inferiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 300 mA.
- Para tiempos superiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 30 mA.

La fibrilación ventricular del corazón es una acción independiente de las fibras musculares cardíacas, que produce una contracción sin coordinación y que entraña la supresión inmediata de la actividad fisiológica del corazón. Al no poder circular la sangre oxigenada, y en particular, no llegar al cerebro, se producen lesiones cerebro bulbares graves.

Existen otros fenómenos fisiológicos producidos por la intensidad de la corriente eléctrica o por el trayecto seguido por ésta que pueden conducir a la muerte; lesiones encefálicas, bloqueo de la epiglotis, laringe espasmo, espasmo coronario, y shock global.

Otra manifestación que puede provocar la corriente eléctrica en el cuerpo humano es la quemadura, generada de dos formas distintas:

- Accidentes producidos por cortocircuitos: provocan radiaciones originadas por el arco eléctrico que dan lugar a lesiones por quemaduras.
- Accidentes producidos por diferentes acoplamientos eléctricos: provocan quemaduras internas y externas en el cuerpo.

Factores que intervienen en el accidente eléctrico:

- Valor de la intensidad de la corriente eléctrica
- Valor de la tensión
- Tiempo de paso de la corriente eléctrica
- Valor de la resistencia óhmica que presenta el organismo
- La trayectoria que siga la corriente por el organismo
- Naturaleza de la corriente
- Valor de la frecuencia en el caso de c.a.
- Capacidad de reacción del organismo

De estos factores se destacan:

Valor de la intensidad de la corriente eléctrica

Se suele llamar también “umbral absoluto de intensidad” y representa la máxima intensidad que puede soportar una persona sin peligro, independientemente del tiempo que dure su exposición a la corriente. Se fija para la corriente eléctrica alterna de frecuencia 60 Hz entre 10 y 30 mA, según el sexo y edad de la persona.

Valor de la resistencia óhmica del cuerpo

Diversos estudios experimentales demuestran que la impedancia del cuerpo humano es siempre resistiva pura. Sea comprobado que para corriente alterna cuya frecuencia sea superior a 10kHz. No provoca más efectos que el de calentar los tejidos por donde paso la corriente.

En lo que a baja tensión respecta se puede considerar el comportamiento de los dipolos del cuerpo humano aproximadamente lineal. El valor de la resistencia en cada uno de ellos depende de diversas circunstancias. La más importante es la humedad de la piel, que llega a valores de 100000 ohms cuando está seca y desciende considerablemente en estado de humedad.

Tiempo de paso de la corriente eléctrica

Se denomina “umbral absoluto de tiempo” y representa el tiempo en que una persona puede soportar el paso de la corriente eléctrica sin peligro, en baja tensión, de intensidad por su cuerpo.

La fórmula 4.2 puede usarse para calcular la cantidad de corriente que pasa a través del cuerpo:

$$I = K/t \quad (4.2)$$

En donde:

K es una constante para hombres y mujeres y sus valores son los siguientes

K=0.116 para mujeres (50Kg)

K=0.157 para hombres (70Kg)

t es el tiempo en segundos

Son por estos motivos que resulta necesario tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar este tipo de accidentes y contar con un sistema de puesta a tierra eficiente podemos evitar muchas lesiones ocasionadas por la corriente eléctrica, ya que en la actualidad casi todas nuestras actividades están vinculadas con el uso de la electricidad.

4.1.2 Elementos de un sistema de tierras.

La puesta a tierra del equipo está compuesta por los siguientes elementos, ver figura 4.2.

1. Electrodo de puesta a tierra
2. Conductor del electrodo de puesta a tierra
3. Conductor de puesta a tierra del equipo
4. Puentes de unión

Definiciones:

Electrodo de puesta a tierra.

El término electrodo se utiliza para identificar las terminales de una batería, las cuales indican la trayectoria para la circulación de los electrones dentro y fuera de una batería. El electrodo de tierra de una instalación eléctrica es el medio por el cual los electrones entran a la tierra. Por tanto es la instalación de una terminal para facilitar la entrada de los electrones a tierra.

Conductor del electrodo de puesta a tierra.

El conductor del electrodo de tierra se define como: El conductor (cable) que conecta directamente al electrodo de puesta a tierra. Uno muy importante es el Xo del transformador al electrodo de puesta a tierra. El propósito primario del conductor del electrodo de tierra es conectar el electrodo de puesta a tierra, este está definido por la normatividad vigente.

Conductor de puesta a tierra del equipo.

El conductor de puesta a tierra del equipo es el que se conecta del tablero de servicio hasta los elementos finales como receptáculos, armazón de lámparas etc.

Puentes de unión.

Se considera puente de unión aquel que sea necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica que pudiera producirse por falla a tierra.

Puente de Unión Principal.

La unión o conexión del conductor puesto a tierra con el conductor de puesta a tierra en el equipo de desconexión principal.

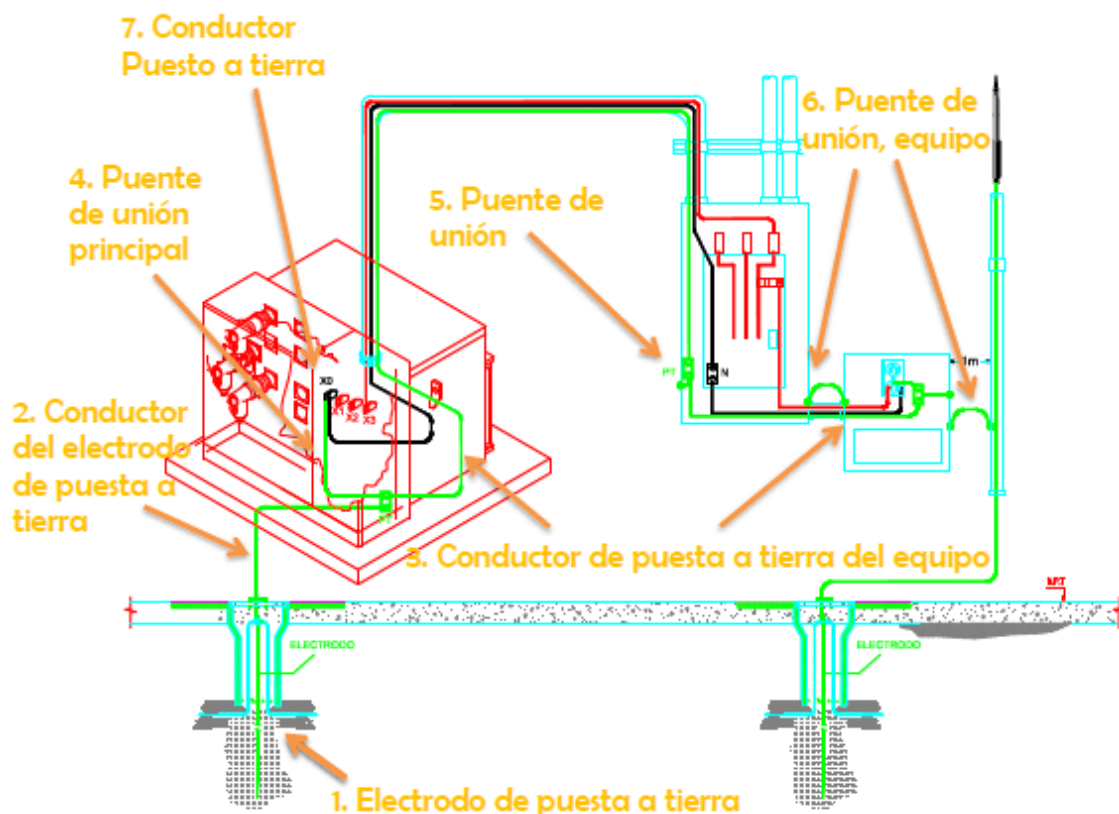


Fig. 4.2 Elementos de un sistema de puesta a tierra.

4.2 Puesta a tierra de equipos según normas.

Uso e identificación de los conductores puestos a tierra según la NOM-001-SEDE-2012.

200-1. Alcance.

Este Artículo establece los requisitos para:

- (1) Identificación de las terminales;
- (2) Conductores puestos a tierra en el sistema de alambrado de las edificaciones; y
- (3) Identificación de los conductores puestos a tierra.

200-2. General.

Los conductores puestos a tierra deben cumplir con (a) y (b).

a) Aislamiento. El conductor puesto a tierra, cuando esté aislado, debe tener un aislamiento:

- (1) Que sea adecuado, de color diferente, a cualquier conductor no puesto a tierra del mismo circuito en circuitos de menos de 1000 volts o para sistemas de 1000 volts o más con neutro puesto a tierra a través de impedancia, o
- (2) Que la tensión nominal no sea menor a 600 volts para sistemas de 1 kilovolt y más, con neutro sólidamente puesto a tierra, tal como se describe en 250-184(a).

b) Continuidad. La continuidad de un conductor puesto a tierra no debe depender de una conexión a una envolvente metálica, a una canalización o a un cable armado.

200-3. Conexión a sistemas puestos a tierra.

Las instalaciones de los inmuebles no se deben conectar eléctricamente a la red de suministro a menos que esta última tenga, para cualquier conductor puesto a tierra de la instalación interior, el correspondiente conductor puesto a tierra. Para los fines de esta sección, "conectado

eléctricamente” quiere decir que está conectado de modo que es capaz de transportar corriente, a diferencia de la conexión por inducción electromagnética.

200-4. Conductores neutros.

No debe usarse un conductor neutro para más de un circuito derivado, para más de un circuito derivado multi conductor o para más de un conjunto de conductores de fase de un alimentador, a menos que se permita en alguna parte de la NOM.

200-10. Identificación de las terminales.

a) Terminales de dispositivos. Todos los dispositivos, excluyendo los tableros de distribución, dotados de terminales para la conexión de conductores y destinados para conectarlos a más de un lado del circuito, deben tener terminales debidamente marcadas para su identificación, a menos que la conexión eléctrica de la terminal destinada para conectarse al conductor puesto a tierra sea evidente.

Excepción: No se requiere la identificación de las terminales para dispositivos que tengan una capacidad normal de corriente mayor que 30 amperes, diferentes a las clavijas polarizadas y los contactos polarizados para clavijas, como se exige en (b) siguiente:

b) Contactos, clavijas y conectores. En los contactos, clavijas polarizadas y conectores de cordones para clavijas polarizadas, debe identificarse la terminal destinada para la conexión del conductor puesto a tierra como sigue:

(1) La identificación debe hacerse por un metal o recubrimiento metálico de color similar al blanco o con la palabra "Blanco" o cualquiera de las letras "B", "N" o "W" situada cerca de la terminal identificada.

(2) Si la terminal no es visible, el orificio de entrada del conductor para la conexión debe pintarse de blanco o señalarse con la palabra "Blanco" o cualquiera de las letras "B", "N" o "W".

c) Casquillos roscados. En los dispositivos con casquillo roscado, la terminal del conductor puesto a tierra debe ser la que está conectada al casquillo.

d) Casquillos roscados con terminales. En los dispositivos con casquillo roscado con cables terminales, el conductor unido al casquillo roscado, debe tener un acabado blanco o gris. El acabado exterior del otro conductor debe ser de un color sólido que no se confunda con el acabado blanco o gris usado para identificar el conductor puesto a tierra.

Nota: Se recomienda tomar precauciones cuando se trabaje en sistemas existentes, dado que en el pasado se pudo haber utilizado el color gris para un conductor no puesto a tierra.

e) Aparatos. Los aparatos con un interruptor unipolar o un dispositivo unipolar de protección contra sobre corriente en el circuito o casquillos roscados conectados en el circuito, y que se tengan que conectar por:

(1) un método de alambrado permanente, o

(2) por medio de cordones con clavija con tres o más conductores (incluido el conductor de puesta a tierra de equipos), instalados en sitio.

200-11. Polaridad de las conexiones.

No debe conectarse a ninguna terminal o cable algún conductor puesto a tierra que pueda invertir la polaridad designada.

Algunas consideraciones de un sistema de tierras.

Para el sistema de tierras, todas las uniones entre varilla copper weld y conductor de cobre serán por medio de soldadura cadweld de acuerdo al tipo de unión a elaborar. Los sistemas de tierras deberán dar una resistencia menor a 5 Ohm, de acuerdo a la NOM-001- SEDE-2012 artículo 921-25 inciso (b).

Se recomienda realizar una medición de la red establecida una vez que esté instalada y, de ser necesario, se deberán instalar una cantidad suficiente de varillas de tierra, con el objetivo de mantener en un rango dentro de 5 Ohms el valor de la misma. Las conexiones del sistema de tierras a los equipos con vibraciones o movimiento (como son motores o bombas), deberán efectuarse mediante conectores mecánicos para este uso.

La metodología de cálculo del sistema de tierras se extrae de la IEEE std. 80-2000 Guide For Safety In Ac Substation Grounding.

4.2.1 Tierra física.

La Tierra física es un sistema de conexión de seguridad que se diseña para la protección de equipo eléctrico y electrónico de disturbios y transitorios imponderables por lo cual sus equipos pueden ser dañados. Dichas descargas surgen de imprevisto, tales como fenómenos naturales (rayos), o artificiales (sobre cargas), descargas electrostáticas, interferencia electromagnética y errores humanos. La NOM-001-SEDE-2012 nos indica que el electrodo de tierra física debe cumplir con los artículos 250 y 921. Sin embargo, existen cuatro variables que afectan la resistencia de la conexión a tierra física de un sistema de conexión a tierra física:

1. Longitud y profundidad del electrodo de tierra física;
2. Diámetro del electrodo de tierra física;
3. Número de electrodos de tierra física;
4. Diseño del sistema de conexión a tierra física.

1. Longitud y profundidad del electrodo de tierra física

Una manera muy eficaz de disminuir la resistencia de la conexión a tierra física es logrando que los electrodos a conexión a tierra física tengan una mayor profundidad. El terreno no tiene una resistividad constante, y puede ser muy impredecible. Resulta crítico al instalar el electrodo de tierra física que éste se encuentre debajo de la línea de congelamiento. Esto se hace para que la resistencia a la tierra física no se vea demasiado influenciada por el congelamiento del terreno circundante. Por lo general, al duplicar la longitud del electrodo de tierra física, es posible reducir el nivel de resistencia en un 40 % adicional.

2. Diámetro del electrodo de tierra física

El aumento del diámetro del electrodo de tierra física tiene muy poco efecto en disminuir la resistencia. Por ejemplo, es posible duplicar el diámetro de un electrodo de tierra física, y la resistencia sólo disminuiría en un 10 %.

3. Número de electrodos de tierra física

Otra manera de disminuir la resistencia de conexión a tierra física es utilizar varios electrodos de tierra física. En este diseño, se coloca más de un electrodo en la tierra, y se lo conecta en paralelo, a fin de reducir la resistencia. Para que los electrodos adicionales resulten eficaces, el espaciado de las varillas adicionales debe ser al menos igual a la profundidad de la varilla colocada. Sin un espaciado correcto de los electrodos de tierra física, sus esferas de influencia (figura 4.3) se interceptarán, y no se disminuirá la resistencia.

4. Diseño del sistema de conexión a tierra física

Los sistemas simples de conexión a tierra física constan de un único electrodo de tierra física colocado en el terreno. El uso de un único electrodo de tierra física es la forma más común de realizar dicha conexión a tierra física.



Fig. 4.3 Esfera de influencia

Los sistemas complejos de conexión a tierra física constan de varias varillas de conexión a tierra física conectadas entre sí, de redes en malla o retícula, de placas de conexión a tierra física, y de bucles de conexión a tierra física. Estos sistemas típicamente se instalan en las subestaciones de generación de energía eléctrica, oficinas centrales y sitios de torres celulares. Las redes complejas aumentan drásticamente la cantidad de contacto con la tierra circundante, y disminuyen las resistencias de conexión a tierra física. En la Figura 4.4 se pueden ver algunos ejemplos de estos sistemas de puesta a tierra.

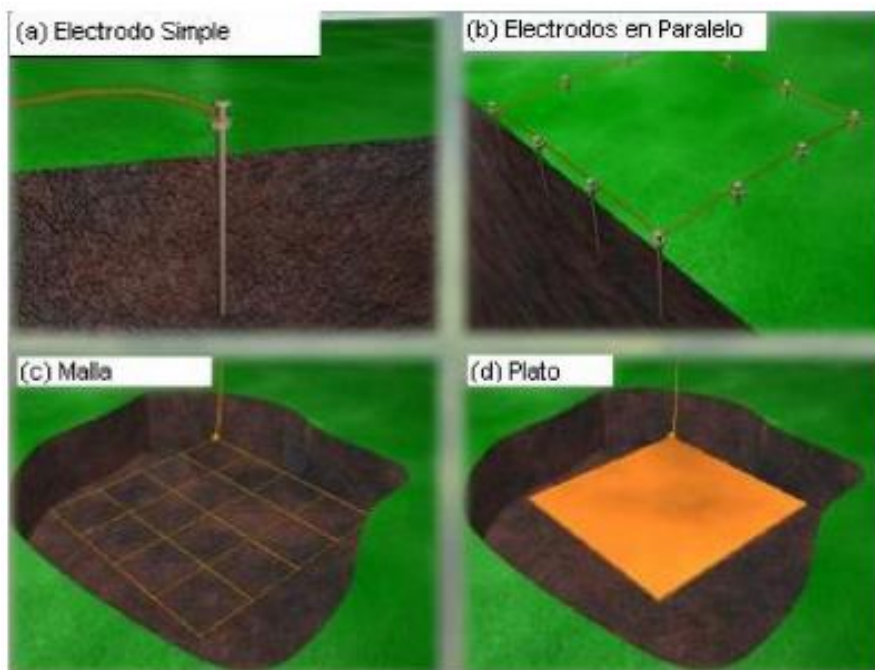


Fig. 4.4 Electrodos de Puesta a tierra. A) Barra o jabalina; b) Arreglo de electrodos en paralelo; c) Malla; d) Plato.

4.2.2 Equipos de potencia.

En sistemas de potencia la puesta a tierra mantiene la referencia necesaria. La forma en que el sistema se conecta a tierra puede tener un gran efecto en la magnitud de los voltajes de línea a tierra que deben ser mantenidos en condiciones normales y bajo condiciones transitorias.

En sistemas no puestos a tierra, algunas tensiones pueden provocar fallas en el aislamiento de los equipos y sistemas. La puesta a tierra del neutro del sistema permite la operación de sistemas de protección basados en la detección de corrientes que circulan por la misma, despejándose así el circuito bajo falla.

La puesta a tierra de los equipos se refiere a la conexión intencional de las carcasas, bastidores o estructuras metálicas no portadores o transmisores de corriente de los mismos, para lograr los siguientes propósitos:

1. Mantener una diferencia de voltaje baja entre las diferentes estructuras metálicas con lo que se busca resguardar al personal de cualquier choque eléctrico. En el momento de una falla de un elemento energizado a un bastidor, por ejemplo, el voltaje de dicho bastidor tiende a igualarse al del conductor energizado, si el primero no está debidamente conectado a tierra; constituyendo un serio peligro para el personal del área. Por supuesto, esto debe combinarse con buenos relés de protección de falla a tierra.
2. Contribuir a un mejor desempeño de los sistemas de protección
3. Evitar incendios provocados por materiales volátiles o la combustión de gases al proveer un camino efectivo y seguro para la circulación de corrientes de falla y descargas atmosféricas y estáticas y así eliminar los arcos y elevadas temperaturas en los equipos eléctricos, que pueden provocar tales incendios.

4.2.3 Equipos electrónicos.

Existen cuatro esquemas de aterrizado de equipos electrónicos. Estos son:

1. El convencional.
2. El esquema de tierra aislada.
3. Esquema de tierra aislada total.
4. Esquema de malla de referencia.

Esquema convencional.

El esquema convencional utiliza únicamente las recomendaciones de la NOM-001-SEDE-2012 artículo 250 pero no incluye el uso de los contactos de tierra aislada de la sección 250-146. Este esquema encuentra su uso en las instalaciones de PCs y de PLCs, donde sus alambrados están distribuidos en áreas muy pequeñas. No es recomendado para muchas instalaciones de sistemas electrónicos distribuidos, porque:

- Puede resultar excesivamente ruidoso el sistema de tierras.
- Los transitorios pueden sobrepasar el nivel de aislamiento.
- No es compatible con las recomendaciones de la mayoría de los fabricantes de equipos electrónicos.
- No puede ser fácilmente realambrado para cumplir con esquemas de aterrizado de redes de cómputo.
- El alambrado puede ser obsoleto cuando se cambien las tarjetas y equipos por otros de una tecnología de mayor velocidad.

Esquema de tierra aislada.

Este esquema es el más socorrido en la industria y por la mayoría de los proveedores de equipos electrónicos.

En esta configuración se tiene una tierra relativamente libre de ruido e interferencia para la referencia lógica de los aparatos y, es complementada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Pero, tiene las siguientes limitaciones:

- a) En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra es demasiado alta para servir de buena conexión.
- b) El acoplamiento de las tierras dentro de los aparatos puede causar lazos de corriente, resultando en ruidos electrónicos.

Un arreglo de este esquema es hacer un anillo de tierras alrededor de los pisos de un edificio o un cuarto de cómputo. Y de este anillo se hacen varias conexiones al sistema perimetral de tierras, siempre que tengan las mismas longitudes y estén acomodadas simétricamente. Y a este sistema interno se conectan los equipos.

Esquema de tierra aislada total.

Este esquema consiste en conectar todos los aparatos e instrumentos a tierra usando una configuración de estrella a partir de un solo punto físico, el cual es un cabezal o placa de conexión, el o la cual a su vez está conectada mediante un conductor apropiado a la red general de tierras.

Sin embargo, también tiene sus limitaciones:

- a) Esta configuración puede ser difícil de crear en un ambiente industrial.
- b) Todos los equipos cercanos deben conectarse de esta manera a tierra o, se pueden tener lazos de corrientes.
- c) Puede tener una impedancia en alta frecuencia muy alta, que en términos prácticos, la puesta a tierra sea ineficaz.

Este problema es posible que no se tenga en la mayoría de equipos industriales, porque no emplean muy altas frecuencias

Esquema de malla de referencia.

No importa cuál de los tres últimos métodos se emplee para la puesta a tierra de los equipos electrónicos, la trayectoria es crucial.

No coloque puentes de unión a través de otro equipo.

Siempre conecte a tierra cada aparato por separado.

Sus limitantes son:

- a) Muchos fabricantes de equipos electrónicos industriales no están de acuerdo con su empleo.
- b) En ambientes industriales, es difícil su implementación.

Los equipos en *racks* deben conectarse a tierra no obstante se supondría que los perfiles del *rack* los pondrían a tierra, lo que no siempre es real porque existen problemas de pintura y de montaje. Para ellos, es mejor la conexión mediante un solo cable y, la punta sobrante conectarla al sistema interno de tierras ya descrito. Este cable es mejor que sea aislado para que no se corto circuite otros cables que puedan aterrizar el equipo.

El aterrizado de blindajes y el de cables de señal deben ser parte integral del diseño de sistemas de tierras.

Donde sea posible aislar galvánicamente los cables de las señales, se prefiere el mismo punto de aterrizamiento de los equipos para todas las pantallas de los cables de señal. Y este punto, aunque tenga sus propios electrodos, debe ser aterrizado al sistema de tierras de potencia, de acuerdo con las normas NOM-001-SEDE-2012 800 y 820.

4.2.4 Electrodos de tierra.

El conductor del electrodo de puesta a tierra NOM-001-SEDE-2012 Sección 250 es el encargado de unir dos masas, la primera compuesta por los circuitos eléctricos y cargas conectadas y la segunda por el suelo de nuestro planeta.

Para realizar un sistema de puesta a tierra se necesitan electrodos de tierra, los cuales existen de muchos tipos, algunos mejores que otros en ciertas características como el costo, entre otras. Los electrodos de puesta a tierra constituyen el medio de contacto o empalme entre la instalación eléctrica y la tierra física o suelo.

a) Varilla Coperweld. Esta varilla es una de las más usadas, ya que es de bajo costo de material. Este tipo de electrodo esta hecho de acero y recubierto de una capa de cobre, su longitud es de 3.05 metros y un diámetro de 16 milímetros. Esta varilla se debe enterrar en forma vertical y a una profundidad de por lo menos 2.4 metros, esto por norma. También por norma se acepta que la varilla vaya enterrada en forma horizontal, siempre y cuando sea en una zanja de mínimo 80cm de profundidad, pero no es muy recomendable. La varilla Coperweld no tiene mucha área de contacto, pero sí una longitud considerable, con la cual es posible un contacto con capas de tierra húmedas, lo cual se obtiene un valor de resistencia bajo.

b) Varilla. Este tipo de electrodo de tierra tiene un área de contacto más grande que la varilla coperweld, por lo que no necesita mucha longitud. Este electrodo se forma por un perfil de acero galvanizado, y puede ser en forma de cruz, de ángulo recto o en te.

c) Rehilete. Este electrodo se forma de dos placas de cobre cruzadas, las cuales van soldadas. Este tipo de electrodo es bueno para terrenos donde es difícil excavar, ya que tiene mucha área de contacto.

d) Placa. Debido a que este electrodo tiene una gran área de contacto es recomendado en terrenos que tengan alta resistividad. Según el artículo 250-52 debe tener un área de por lo menos 2000 cm² y un espesor mínimo de 6.4 mm en materiales ferrosos y mínimo de 1.52 mm en materiales no ferrosos.

e) Electrodo en estrella. Este tipo de electrodo se puede hacer con cable de cobre desnudo con ramificaciones de 60° de ángulo. Estos electrodos se utilizan en el campo, ya que por la longitud del cable se obtiene un valor de resistencia menor.

f) Electrodo de anillos. Este electrodo consiste en una espira de cable de cobre desnudo, con un diámetro mínimo de 33.6 mm² y una longitud mínima de 6 m en contacto con la tierra, también el artículo 250-52 establece que debe tener una profundidad de por lo menos 80 cm, así como también dice que se le pueden conectar electrodos.

g) Malla. La malla se hace armando una red de conductores de cobre desnudos, esta malla se puede mejorar con algunos electrodos. Esta malla es muy utilizada en las subestaciones eléctricas, ya que reduce el riesgo de descargas.

h) Placa estrellada. Este tipo de electrodo es una placa que tiene varias puntas en su contorno, esta se conecta por medio de una barra atornillable. Su principal ventaja es que ayuda a que se disipe la energía a través de sus puntas.

i) Electrodo de varillas de hierro o acero. Prácticamente este electrodo son las varillas que se aprovechan en la construcción de algún edificio, las varillas deben tener por lo menos 16mm de diámetro.

j) Electrodo de tubo metálico. Este tipo de electrodo puede ser la tubería metálica del agua. El diámetro debe ser de mínimo 19mm, si el tubo es de acero o hierro tiene que tener una cubierta de otro metal para que lo proteja de la corrosión, la tubería debe estar enterrada por lo menos 3m.

k) Electrodo empotrado en concreto. Este electrodo consiste en una espira de cable de cobre desnudo, con un diámetro mínimo de 33.6mm² y una longitud mínima de 6m en contacto con la tierra, también el artículo 250-52 establece que debe tener una profundidad de por lo menos 80cm, así como también dice que se le pueden conectar electrodos.

l) Electrodo de aluminio. Los electrodos de aluminio según el artículo 250-52 no están permitidos, ya que el aluminio se corroe rápidamente al estar en contacto con la tierra.

m) Electrodo horizontal o contra-antena. El electrodo horizontal es un conductor de cobre desnudo enterrado de forma horizontal en una zanja de 50cm mínimo de profundidad, se pueden hacer varias configuraciones, pero la más utilizada es la línea recta. Su principal inconveniente es que la excavación es muy costosa.

n) Electrodo profundo. Este tipo de electrodo no es más que una varilla Coperweld unida a un conductor de cobre desnudo de gran longitud. Este electrodo es utilizado en terrenos donde haya mucha roca, se hace una perforación vertical profunda hasta encontrar las capas húmedas de la tierra, ya que la humedad aumenta la conductividad.

o) Electrodo en espiral. El electrodo en espiral es un cable de cobre desnudo en espiral de diferentes diámetros y enterrados a diferentes profundidades para hacer contacto con las diferentes capas de la tierra.

p) Electrodos químicos. Los electrodos químicos son aquellos electrodos a los que se les adiciona algún compuesto químico para aumentar la conductividad y de esta forma disminuir el valor de resistencia.

Cuando se instala un electrodo de tierra, es común tener un registro, el cual puede ser de un pedazo de un tubo de albañal o bien, construir un registro. El objetivo de tener este registro es para poder ubicar el lugar donde se encuentra con facilidad y para que después de un cierto tiempo se le pueda dar mantenimiento. (El uso de un registro es opcional).

5 Proyectos de alumbrado

Aunque el progreso tecnológico ha permitido producir diferentes lámparas, los principales factores que han influido en su desarrollo han sido fuerzas externas al mercado. Por ejemplo, la producción de las lámparas incandescentes de filamentos que se utilizaban a principios de siglo sólo fue posible cuando se dispuso de buenas bombas de vacío y del proceso de trefilado del tungsteno. Con todo, fue la generación y distribución de electricidad a gran escala, para satisfacer la demanda de iluminación eléctrica, la que determinó el crecimiento del mercado.

La iluminación eléctrica ofrecía muchas ventajas en comparación con la luz generada por gas o aceite, como la estabilidad de la luz, el escaso mantenimiento, la mayor seguridad que supone no tener una llama desnuda y la ausencia de subproductos locales de combustión.

Durante el período de recuperación que siguió a la segunda Guerra Mundial, lo importante era la productividad. La lámpara de descarga fluorescente tubular se convirtió en la fuente de luz dominante porque con ella era posible iluminar fábricas y oficinas sin sombras y comparativamente sin calor, aprovechando al máximo el espacio disponible.

Los requisitos que un sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son los siguientes:

- Iluminación uniforme;
- Luminancia óptima;
- Ausencia de brillos deslumbrantes;
- Condiciones de contraste adecuadas;
- Colores correctos,
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.

Es importante examinar la luz en el lugar de trabajo no sólo con criterios cuantitativos, sino también cualitativos. El primer paso es estudiar el puesto de trabajo, la precisión que requieren las tareas realizadas, la cantidad de trabajo, la movilidad del trabajador, etcétera. La luz debe incluir componentes de radiación difusa y directa. El resultado de la combinación de ambos producirá sombras de mayor o menor intensidad, que permitirán al trabajador percibir la forma y posición de los objetos situados en el puesto de trabajo. Deben eliminarse los reflejos molestos, que dificultan la percepción de los detalles, así como los brillos excesivos o las sombras oscuras.

El mantenimiento periódico de la instalación de alumbrado es muy importante. El objetivo es prevenir el envejecimiento de las lámparas y la acumulación de polvo en las luminarias, cuya consecuencia será una pérdida constante de luz. Por esta razón, es importante elegir lámparas y sistemas fáciles de mantener.

Factores como el mejor aprovechamiento de las materias primas escasas, el reciclaje o la seguridad en el vertido de los productos y la continua preocupación por el consumo de energía (sobre todo de la generada a partir de combustibles fósiles) influyen en el diseño de las lámparas actuales. El mercado demandaba lámparas fluorescentes que produjesen la misma cantidad de luz con un menor consumo eléctrico, por lo que se perfeccionó el diseño de la lámpara de varias maneras. A medida que se aproxima el fin de siglo, aumenta la conciencia de los problemas ambientales globales.

5.1 Introducción a la iluminación.

Los seres humanos poseen una capacidad extraordinaria para adaptarse a su ambiente y a su entorno inmediato. De todos los tipos de energía que pueden utilizar los humanos, la luz es la más

importante. La luz es un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean en nuestra vida diaria.

La mayor parte de la información que obtenemos a través de nuestros sentidos la obtenemos por la vista (cerca del 80 %). Y al estar tan acostumbrados a disponer de ella, damos por supuesta su labor.

Ahora bien, no debemos olvidar que ciertos aspectos del bienestar humano, como nuestro estado mental o nuestro nivel de fatiga, se ven afectados por la iluminación y por el color de las cosas que nos rodean.

Desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visuales son extraordinariamente importantes, ya que muchos accidentes se deben, entre otras razones, a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el trabajador, a quien le resulta difícil identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, los transportes, los recipientes peligrosos, etcétera.

Los trastornos visuales asociados con deficiencias del sistema de iluminación son habituales en los lugares de trabajo. Dado que la vista es capaz de adaptarse a situaciones de iluminación deficiente, a veces no se tienen estos aspectos en cuenta con la seriedad que se debería.

El correcto diseño de un sistema de iluminación debe ofrecer las condiciones óptimas para el confort visual. Para conseguir este objetivo, debe establecerse una primera línea de colaboración entre arquitectos, diseñadores de iluminación y los responsables de higiene en el trabajo, que debe ser anterior al inicio del proyecto, con el fin de evitar errores que pueda ser difícil corregir una vez terminado.

Entre los aspectos más importantes que es preciso tener en cuenta cabe citar el tipo de lámpara y el sistema de alumbrado que se va a instalar, la distribución de la luminancia, la eficiencia de la iluminación y la composición espectral de la luz.

El hecho de que la luz y el color afectan a la productividad y al bienestar psicofisiológico del trabajador debe animar a los técnicos en iluminación, fisiólogos y ergonomistas a tomar iniciativas destinadas a estudiar y determinar las condiciones más favorables de luz y color en cada puesto de trabajo. La combinación de iluminación, el contraste de luminancias, el color de la luz, la reproducción del color o la elección de los colores son los elementos que determinan el clima del colorido y el confort visual.

5.1.1 Definición de términos de unidades de medición de los parámetros de iluminación.

Los criterios de rendimiento que miden los parámetros de iluminación, varían según la aplicación. En general, no existe una jerarquía concreta de importancia de estos criterios, empezando por distinguir entre los procesos o tipos de luminiscencia, que son fotoluminiscencia y electroluminiscencia.

Fotoluminiscencia.

Se produce cuando la radiación es absorbida por un sólido y remitida en una longitud de onda diferente. Cuando la radiación remitida está dentro del espectro visible, el proceso se denomina fluorescencia o fosforescencia.

Electroluminiscencia.

Se produce cuando la luz es generada por una corriente eléctrica que pasa a través de ciertos sólidos, como los materiales fosfóricos. Se utiliza en cuadros de instrumentos y letreros luminosos, pero no ha demostrado ser una fuente de luz práctica para la iluminación de edificios o exteriores.

Rendimiento lumínico.

La emisión de lúmenes de una lámpara determinará su idoneidad en relación con la escala de la instalación y la cantidad de iluminación necesaria.

Coloración y reproducción del color.

Se aplican escalas y valores numéricos independientes a la coloración y a la reproducción del color. Es importante recordar que las cifras sólo son orientativas y que algunas sólo son aproximaciones. Siempre que sea posible, deberán realizarse valoraciones de idoneidad con lámparas reales y con los colores o materiales aplicables a la situación.

Vida útil de la lámpara.

La mayoría de las lámparas tienen que ser reemplazadas varias veces durante la pervivencia de la instalación de alumbrado y los diseñadores deben reducir al mínimo los inconvenientes para los ocupantes como consecuencia de las averías esporádicas y del mantenimiento. Las lámparas tienen muy diversas aplicaciones.

La previsión de vida útil media suele ser un compromiso entre costo y rendimiento. Por ejemplo, la lámpara de un proyector de diapositivas durará unos cuantos cientos de horas, porque es importante que alcance el máximo rendimiento lumínico para conseguir una imagen de buena calidad. Por el contrario, algunas lámparas de alumbrado de carreteras pueden durar hasta dos años, lo que representa unas 8.000 horas de encendido.

Además, la vida útil de la lámpara se ve afectada por las condiciones de trabajo, por lo que no existe una cifra válida para todas las situaciones. De igual manera, la duración efectiva de la lámpara puede venir determinada por diferentes formas de deterioro. El fallo físico, como la rotura del filamento o de la propia lámpara, puede venir precedido de una reducción del rendimiento lumínico o de cambios en la coloración.

La duración de la lámpara resulta afectada por condiciones ambientales externas como la temperatura, la vibración, la frecuencia de encendido, las fluctuaciones de la tensión de alimentación, la orientación, etcétera.

Es preciso observar que la vida media establecida para un tipo de lámpara es el tiempo que tardan en fallar el 50 % de las lámparas de una partida de pruebas. No es probable que esta definición de vida útil sea aplicable a muchas instalaciones comerciales o industriales, por lo que la duración de una lámpara suele ser inferior en la práctica a los valores publicados, que sólo deberán utilizarse a efectos de comparación.

Eficiencia.

Como norma general, la eficiencia de un tipo determinado de lámpara será mejor cuanto mayor sea el régimen de potencia, porque la mayoría de las lámparas tienen cierta pérdida fija. Ahora bien, comparando diferentes tipos de lámparas se observan marcadas variaciones de eficiencia. Es conveniente utilizar las lámparas de mayor eficiencia, siempre que se cumplan al mismo tiempo los criterios de tamaño, color y vida útil.

No debe ahorrarse energía a expensas del confort visual o del rendimiento de los ocupantes. En la Tabla 5.1 se ofrecen algunos valores típicos de eficiencia.

Tabla 5.1 Rendimientos típicos de las lámparas.

Eficiencia de las lámparas	
Lámpara de filamento de 100 W	14 lúmenes/vatio
Tubo fluorescente de 58 W	89 lúmenes/vatio
Lámpara de sodio de alta presión de 400 W	125 lúmenes/vatio
Lámpara de sodio de baja presión de 131 W	198 lúmenes/vatio

Unidades y magnitudes de iluminación.

En el campo de la iluminación se utilizan habitualmente varias magnitudes. Las más básicas son las siguientes:

Flujo luminoso: energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad: lumen (lm).

Intensidad luminosa: flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme. Unidad: candela (cd).

Nivel de iluminación: nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen. Unidad: lux = lm/m².

Luminancia o brillo fotométrico: se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por un observador situado en la misma dirección (superficie aparente). Unidad: cd/m².

Contraste: diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de un objeto.

Reflectancia: proporción de la luz que es reflejada por una superficie. Es una cantidad no dimensional. Su valor varía entre 0 y 1.

5.1.2 Fundamentos de lámparas.

Una lámpara es un convertidor de energía. Aunque pueda realizar funciones secundarias, su principal propósito es la transformación de energía eléctrica en radiación electromagnética visible. Hay muchas maneras de crear luz, pero el método normalmente utilizado en la iluminación general es la conversión de energía eléctrica en luz.

A lo largo de los años, se han ido desarrollando varios sistemas de nomenclatura en los registros y normas nacionales e internacionales. En 1993, la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) publicó un nuevo Sistema Internacional de Codificación de Lámparas (SICL) pensado para sustituir a los sistemas de codificación nacionales y regionales ya existentes.

En la Tabla 5.2 figuran algunos códigos SICL en formato abreviado para diversas lámparas.

Tabla 5.2 Sistema Internacional de Codificación de Lámparas (SICL), sistema de codificación en formato abreviado para algunos tipos de lámparas.

Tipo (código)	Potencia normal (vatios)	Reproducción del color	Temperatura colorimétrica (K)	Vida útil (horas)
Lámparas fluorescentes de tamaño reducido (FS)	5–55	buena	2.700–5.000	5.000–10.000
Lámparas de mercurio de alta presión (QE)	80–750	correcta	3.300–3.800	20.000
Lámparas de sodio de alta presión (S-)	50–1.000	de incorrecta a buena	2.000–2.500	6.000–24.000
Lámparas incandescentes (I)	5–500	buena	2.700	1.000–3.000
Lámparas de inducción (XF)	23–85	buena	3.000–4.000	10.000–60.000
Lámparas de sodio de baja presión (LS)	26–180	color amarillo monocromático	1.800	16.000
Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión (HS)	12–100	buena	3.000	2.000–5.000
Lámparas de haluro metálico (M-)	35–2.000	de buena a excelente	3.000–5.000	6.000–20.000
Lámparas fluorescentes tubulares (FD)	4–100	de correcta a buena	2.700–6.500	10.000–15.000
Lámparas halógenas de tungsteno (HS)	100–2.000	buena	3.000	2.000–4.000

5.1.2.1 Incandescentes.

Los materiales sólidos y líquidos, al calentarse, emiten radiación visible a temperaturas superiores a 1.000 K; este fenómeno recibe el nombre de incandescencia. Las lámparas de filamentos se basan en este calentamiento para generar luz: una corriente eléctrica pasa a través de un fino hilo de tungsteno, cuya temperatura se eleva hasta alcanzar entre 2.500 y 3.200 K, en función del tipo de lámpara y su aplicación.

Existe un límite para este método, que viene descrito por la Ley de Planck para el comportamiento de un radiador de cuerpo negro, de acuerdo con la cual, la distribución espectral de la energía radiada aumenta con la temperatura. A unos 3.600 K o más, se produce un marcado aumento en la emisión de radiación visible y la longitud de onda de la máxima energía se desplaza hacia la banda visible.

Como es una temperatura cercana al punto de fusión del tungsteno, que es el material utilizado como filamento, de modo que, en la práctica, el límite de temperatura es de unos 2.700 K, por encima del cual la evaporación del filamento resulta excesiva.

Una consecuencia de los desplazamientos espectrales es que una gran parte de la radiación desprendida no se emite en forma de luz, sino en forma de calor en la región de infrarrojos. Por consiguiente, las bombillas de filamentos pueden ser dispositivos de calefacción eficaces y se utilizan en lámparas diseñadas para secar materiales impresos, preparar alimentos y criar animales.

Lámparas incandescentes.

Utilizan un filamento de tungsteno dentro de un globo de vidrio al vacío o lleno de un gas inerte que evite la evaporación del tungsteno y reduzca el ennegrecimiento del globo. Existen lámparas de muy diversas formas, que pueden resultar muy decorativas. En la Figura 5.1 se muestran los componentes de una lámpara típica de iluminación general (General Lighting Service, GLS).

Las lámparas incandescentes también se presentan en una amplia gama de colores y acabados. En la Tabla 5.3 aparecen algunas formas típicas y los códigos SICL. Se trata de unas lámparas que siguen teniendo aceptación en la iluminación doméstica debido a su bajo costo y pequeño tamaño.

Tabla 5.3 Colores y formas comunes a las lámparas incandescentes, con sus códigos del SICL.

Color/Forma	Código
Transparente	/C
Esmerilado	/F
Blanco	/W
Rojo	/R
Azul	/B
Verde	/G
Amarillo	/Y
Forma de pera (GLS)	IA
Forma cilíndrica	IB
Forma cónica	IC
Forma de globo	IG
Forma de seta	IM

Con todo, su baja eficiencia genera costos de explotación muy altos en la iluminación comercial e industrial, por lo que normalmente se prefieren las lámparas de descarga. Una lámpara de 100 W tiene una eficiencia típica de 14 lúmenes/vatio en comparación con los 96 lúmenes/vatio de una lámpara fluorescente de 36 W.

Las lámparas incandescentes todavía se utilizan cuando la atenuación de la luz es una característica de control conveniente, ya que resulta fácil atenuarlas reduciendo la tensión de alimentación.

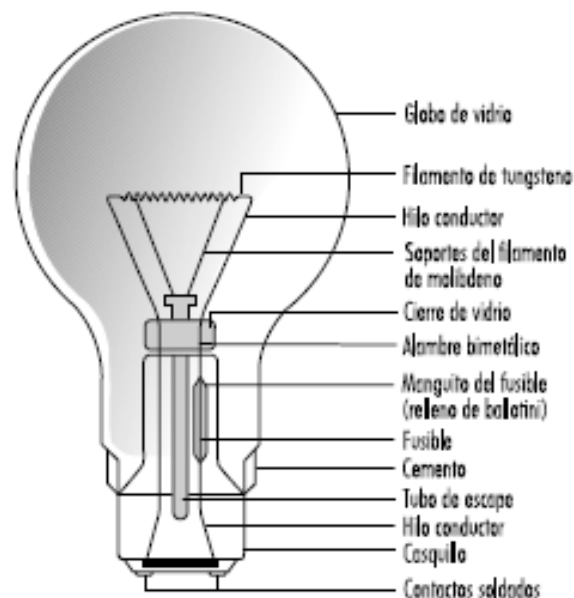


Fig. 5.1 Construcción de una lámpara GLS.

El filamento de tungsteno es una fuente de luz de tamaño reducido, que puede enfocarse fácilmente con reflectores o lentes. Las lámparas incandescentes son útiles en la iluminación de expositores, donde se requiere control direccional.

Una bombilla incandescente mantiene su eficiencia hasta los momentos previos al fallo, pero no ocurre lo mismo con los tubos fluorescentes, cuyo rendimiento puede sufrir una reducción del 75 % después de mil horas de uso.

Lámparas halógenas de tungsteno.

Son parecidas a las lámparas incandescentes y producen luz de la misma manera, a partir de un filamento de tungsteno. Ahora bien, el globo contiene gas halógeno (bromo o yodo) que actúa controlando la evaporación del tungsteno (véase la figura 5.2).

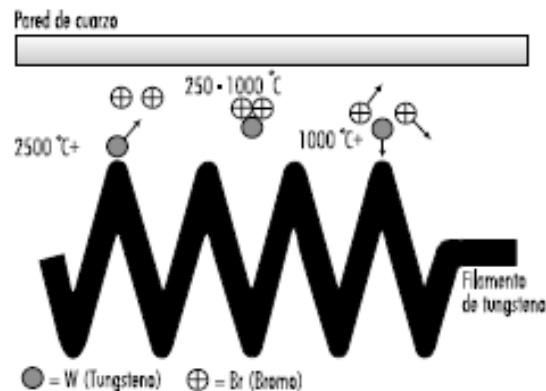


Fig. 5.2 El ciclo halógeno.

Es fundamental para el ciclo del halógeno que la bombilla se mantenga a una temperatura mínima de 250 °C para que el haluro de tungsteno permanezca en estado gaseoso y no se condense sobre la superficie del globo. Tal temperatura da lugar a que las bombillas se fabriquen con cuarzo en lugar de vidrio.

El cuarzo permite reducir el tamaño de la bombilla.

La mayoría de las lámparas halógenas de tungsteno duran más tiempo que sus equivalentes incandescentes y el filamento alcanza una temperatura más alta, creando más luz y un color más blanco.

Las lámparas halógenas de tungsteno han encontrado aceptación en situaciones cuyos principales requisitos son un tamaño reducido y un alto rendimiento. Como ejemplo típico cabe citar la iluminación de escenarios, incluyendo el cine y la televisión, donde el control direccional y la atenuación son requisitos habituales.

Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión.

Fueron diseñadas originalmente para proyectores de diapositivas y películas. A 12 V, un filamento diseñado para los mismos vatios que en el caso de una corriente de 230 V se hace más pequeño y grueso. Puede enfocarse más eficazmente, y la mayor masa del filamento permite una temperatura de trabajo más alta, aumentando el rendimiento lumínico.

El filamento grueso es más robusto. Son características que se han considerado ventajosas en el mercado de los expositores comerciales y, aunque es necesario incorporar un transformador reductor, estas lámparas dominan actualmente la iluminación de escaparates (véase la Figura 5.3).

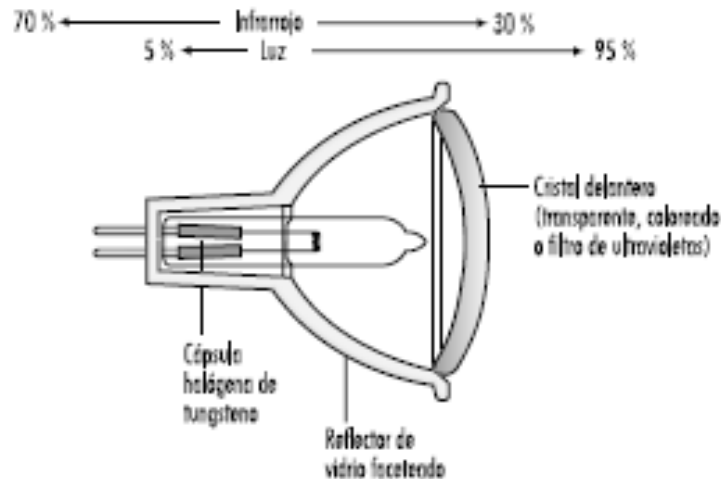


Fig. 5.3 Lámpara reflectora dicróica de baja tensión.

Aunque los usuarios de proyectores cinematográficos desean el máximo de luz posible, un exceso de calor deteriora el medio de la transparencia. Se ha desarrollado un tipo especial de reflector que sólo refleja la radiación visible, permitiendo que la radiación de infrarrojos (calor) pase a través de la parte trasera de la lámpara. En la actualidad, esta característica está incorporada en muchas lámparas de reflectores de baja tensión para la iluminación de expositores, así como en equipos de proyección.

Sensibilidad a la tensión.

Todas las lámparas de filamentos son sensibles a las variaciones de tensión, viéndose afectadas en términos de rendimiento lumínico y vida útil. Se está consiguiendo “armonizar” la tensión de alimentación a 230 V en toda Europa ampliando las tolerancias de trabajo de las autoridades que regulan la generación de electricidad. Se tiende a un 10 %, que es una gama de tensiones de 207 a 253 V. En esta gama no es razonable trabajar con lámparas incandescentes ni con lámparas halógenas de tungsteno, por lo que será necesario adaptar la tensión de alimentación efectiva a la potencia de las lámparas (véase la Figura 5.4).

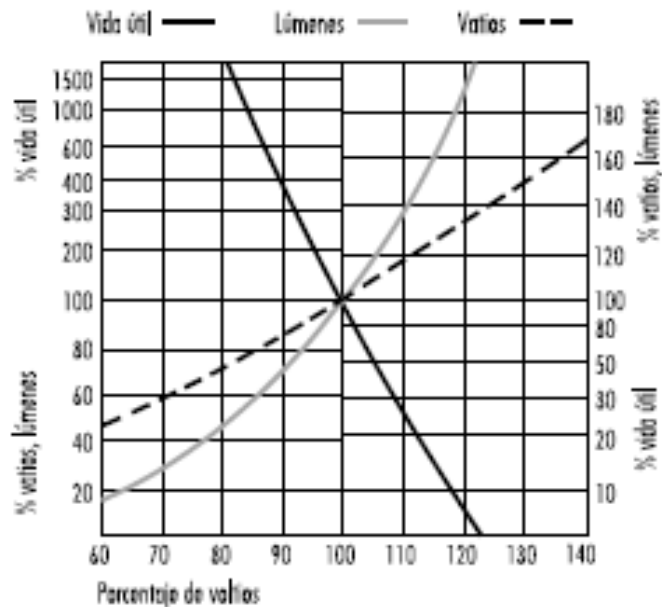


Fig. 5.4 Lámparas de filamento GLS y tensión de alimentación.

5.1.2.2 De descarga.

La descarga eléctrica es una técnica utilizada en las modernas fuentes de luz para el comercio y la industria, debido a que la producción de luz es más eficaz. Algunos tipos de lámparas combinan la descarga eléctrica con la fotoluminiscencia. Una corriente eléctrica que pasa a través de un gas excita los átomos y moléculas para emitir radiación con un espectro característico de los elementos presentes.

Normalmente se utilizan dos metales, sodio y mercurio, porque sus características dan lugar a radiaciones útiles en el espectro visible. Ninguno de estos metales emite un espectro continuo y las lámparas de descarga tienen espectros selectivos. La reproducción del color nunca será idéntica a la obtenida con espectros continuos. Las lámparas de descarga suelen dividirse en las categorías de baja o alta presión, aunque estos términos sólo son relativos, y una lámpara de sodio de alta presión funciona a menos de una atmósfera.

Lámparas fluorescentes tubulares.

Son lámparas de mercurio de baja presión que están disponibles en versiones de “cátodo caliente” y “cátodo frío”. La primera versión es el tubo fluorescente convencional para fábricas y oficinas; “cátodo caliente” se refiere al cebado de la lámpara por precalentamiento de los electrodos para que la ionización del gas y del vapor de mercurio sea suficiente para realizar la descarga.

Las lámparas de cátodo frío se utilizan principalmente en letreros y anuncios publicitarios (véase la Figura 5.5).

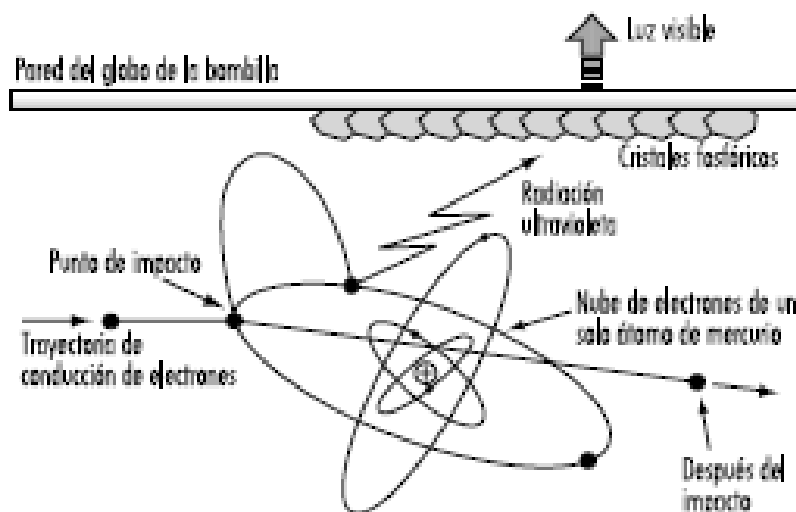


Fig. 5.5 Principio de la lámpara fluorescente.

Las lámparas fluorescentes necesitan equipo de control externo para efectuar el cebado y para regular la corriente de la lámpara. Además de la pequeña cantidad de vapor de mercurio, hay un gas de cebado (argón o criptón).

La baja presión del mercurio genera una descarga de luz de color azul pálido. La mayor parte de la radiación está en la región ultravioleta a 254 nm, una frecuencia de radiación característica del mercurio. En el interior de la pared del tubo hay un fino revestimiento fosfórico, que absorbe los rayos ultravioleta e irradia la energía en forma de luz visible. El color de la luz viene determinado por el revestimiento fosfórico. Existe toda una gama de materiales fosfóricos con diversas características de coloración y reproducción del color.

Durante el decenio de 1950 los materiales fosfóricos disponibles ofrecían la posibilidad de elegir entre una eficiencia razonable (60 lúmenes/vatio) con una luz deficiente en rojos y azules, o una mejor reproducción del color a partir de materiales fosfóricos “de lujo” pero de menor eficiencia (40 lúmenes/vatio).

En el decenio de 1970 ya se habían desarrollado nuevos materiales fosfóricos de banda estrecha que irradiaban luz roja, azul y verde por separado, pero que, en combinación, producían luz blanca. El ajuste de las proporciones dio lugar a toda una gama de coloraciones diferentes, todas ellas con similares y excelentes propiedades de reproducción del color. Se trata de materiales trifosfóricos más eficaces que los primeros tipos y representan la solución de iluminación más económica, aunque las lámparas sean más caras. La mayor eficiencia reduce los costos de explotación e instalación.

El principio del material trifosfórico ha venido a ampliarse con las lámparas multifosfóricas en situaciones donde la reproducción del color es esencial, como en galerías de arte y en la comparación de colores en la industria.

Los modernos materiales fosfóricos de banda estrecha son más duraderos, mejoran la constancia del flujo luminoso y aumentan la vida útil de la lámpara.

En la Tabla 5.4 se indican los requisitos de wataje y rendimiento lumínico de una lámpara fluorescente tubular típica de 1.500 mm. En el decenio de 1970 aumentó el precio del petróleo y los costos energéticos se convirtieron en una parte importante de los costos de explotación.

Tabla 5.4 Mejora de los requisitos de rendimiento lumínico y wataje de algunas lámparas de tubo fluorescente de 1.500 mm

Potencia (W)	Diámetro (mm)	Gas interior	Eficiencia lumínica (lúmenes)
80	38	argón	4.800
65	38	argón	4.900
58	25	criptón	5.100
50	25	argón	5.100 (equipo de alta frecuencia)

Lámparas fluorescentes de tamaño reducido.

El tubo fluorescente no es un sustituto práctico para la lámpara incandescente debido a su forma alargada. Pueden hacerse tubos cortos y estrechos de aproximadamente el mismo tamaño que la lámpara incandescente, pero esto impone una carga eléctrica muy superior al material fosfórico.

Para que la lámpara tenga una vida útil aceptable es esencial utilizar trifosfóricos (véase la Figura 5.6).

En todas las lámparas fluorescentes de tamaño reducido se utilizan trifosfóricos, de modo que, si se utilizan junto con las alargadas, también deberán utilizarse en estas últimas, para mantener la coherencia de los colores. Algunas lámparas de tamaño reducido incluyen el equipo de control necesario para crear dispositivos de conversión para lámparas incandescentes.

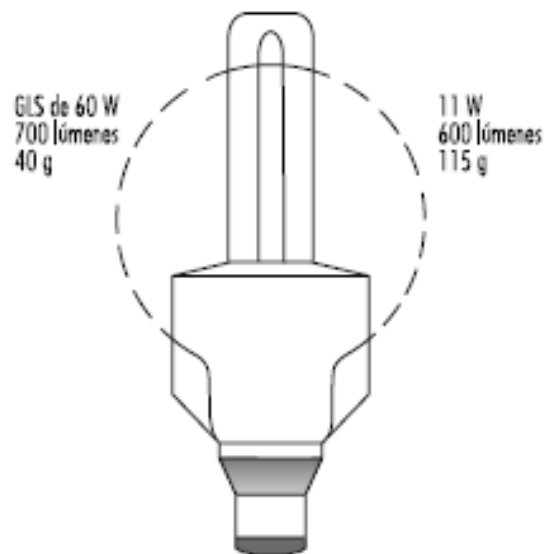


Fig. 5.6 Fluorescente de tamaño reducido de cuatro patas.

La gama va en aumento y permite actualizar fácilmente las instalaciones de alumbrado ya existentes para utilizar más eficazmente la energía. En el caso de que los controles originales lo permitieran, estas unidades integradas no serían adecuadas para el efecto de atenuación.

Equipo electrónico de control de alta frecuencia.

Si la frecuencia normal de alimentación de 50 o 60 Hz aumenta a 30 kHz, se produce un 10 % de aumento en la eficiencia de los tubos fluorescentes.

Los circuitos electrónicos pueden manejar las lámparas individualmente a tales frecuencias. El circuito electrónico está diseñado para proporcionar el mismo rendimiento lumínico que el equipo de control de hilo bobinado, con menor potencia en la lámpara. Con ello es posible compatibilizar el paquete luménico, con la ventaja de que la menor carga en la lámpara aumentará notablemente la vida útil de ésta. El equipo de control electrónico puede trabajar en toda una gama de tensiones de alimentación.

No existe una norma común para el equipo de control electrónico y el rendimiento de las lámparas puede diferir de la información publicada por los fabricantes.

El uso de equipo electrónico de alta frecuencia elimina el problema normal de parpadeo de la luz, al que algunos ocupantes pueden ser sensibles.

Lámparas de inducción.

Recientemente han aparecido en el mercado lámparas que utilizan el principio de inducción. Son lámparas de mercurio de baja presión con revestimientos trifosfóricos y cuya producción de luz es similar a la de las lámparas fluorescentes. La energía se transmite a la lámpara por radiación de alta frecuencia, aproximadamente a 2,5 MHz, desde una antena situada en el centro de la lámpara. No existe conexión física entre la bombilla y la bobina. Sin electrodos u otras conexiones alámbricas, la construcción del recipiente de descarga es más sencilla y duradera. La vida útil de la lámpara se determina principalmente por la fiabilidad de los componentes electrónicos y la constancia del flujo luminoso del revestimiento fosfórico.

Lámparas de mercurio de alta presión.

Las descargas de alta presión son más compactas y tienen mayores cargas eléctricas; por consiguiente, requieren tubos de descarga de arco hechos de cuarzo para soportar la presión y la temperatura. El tubo de descarga de arco va dentro de una envoltura exterior de vidrio con una atmósfera de nitrógeno o argónnitrógeno para reducir la oxidación y el chisporroteo. La bombilla filtra eficazmente la radiación ultravioleta del tubo de descarga de arco (véase la Figura 5.7).

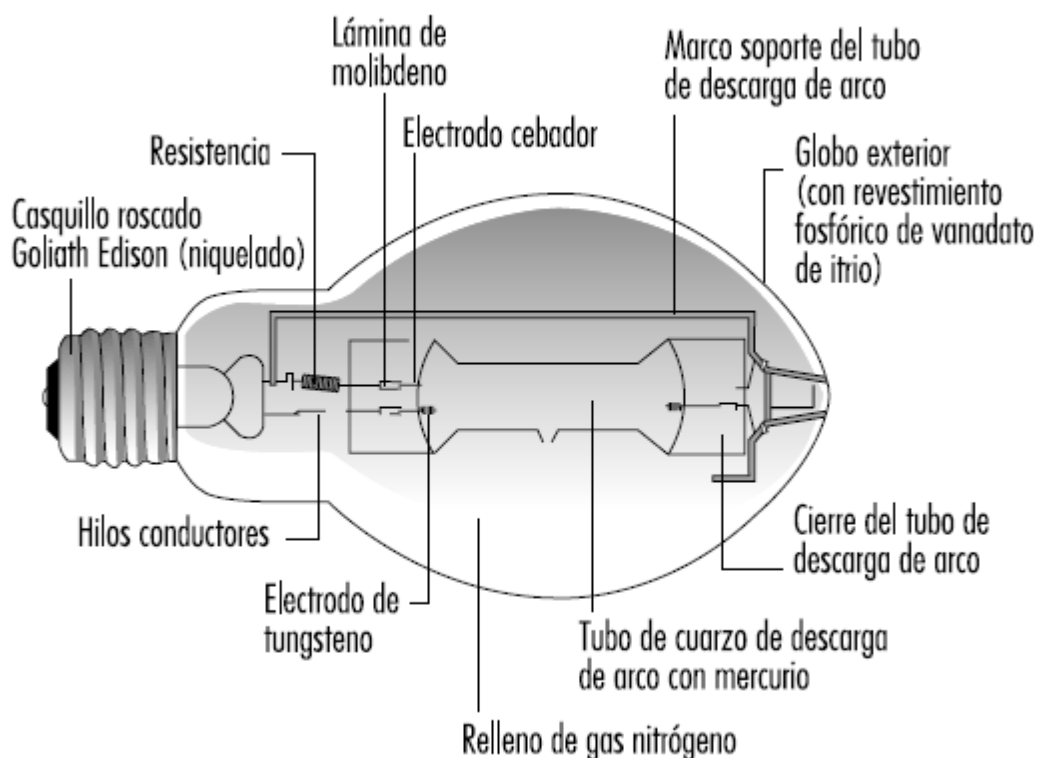


Fig. 5.7 Componentes de una lámpara de mercurio.

A alta presión, la descarga de mercurio es principalmente radiación azul y verde. Para mejorar el color, un revestimiento fosfórico aplicado a la bombilla añade luz roja. Existen versiones de lujo con mayor contenido de rojo, que proporcionan un mayor rendimiento lumínico y reproducen mejor el color.

A todas las lámparas de descarga de alta presión les cuesta alcanzar su pleno rendimiento. La descarga inicial se realiza a través del gas conductor interior y el metal se evapora a medida que aumenta la temperatura de la lámpara. A presión estable, la lámpara no se vuelve a cebar inmediatamente sin un equipo de control especial. Se produce una demora mientras la lámpara se enfría suficientemente y se reduce la presión, de modo que basta la tensión de alimentación normal o el circuito de ignición para restablecer el arco.

Las lámparas de descarga tienen una característica de resistencia negativa, por lo que es necesario el equipo de control externo para regular la corriente. Existen pérdidas debidas a los componentes de estos equipos de control, de modo que el usuario deberá tener en cuenta el wataje total al estudiar los costos de explotación y la instalación eléctrica. Las lámparas de mercurio de alta

presión constituyen una excepción, y uno de sus tipos contiene un filamento de tungsteno que actúa como dispositivo limitador de corriente y además agrega colores cálidos a la descarga verde/azul. Con lo cual, las lámparas incandescentes pueden reemplazarse directamente.

Aunque las lámparas de mercurio tienen una larga vida útil, de alrededor de 20.000 horas, su rendimiento lumínico disminuye hasta aproximadamente el 55 % del inicial al final de este período y, por consiguiente, su vida económica puede ser menor.

Lámparas de haluro metálico.

Es posible mejorar el color y el rendimiento lumínico de las lámparas de descarga de mercurio añadiendo diferentes metales al arco de mercurio. La dosis es pequeña en cada lámpara y, a efectos de precisión en la aplicación, es más conveniente manejar los metales en polvo, en forma de haluros, que se disgrega cuando la lámpara se calienta y libera el metal.

Una lámpara de haluro metálico puede utilizar varios metales diferentes, cada uno de los cuales emite un color característico específico. Entre ellos cabe citar:

- disprosio — verde-azul de banda ancha
- indio — azul de banda estrecha
- litio — rojo de banda estrecha
- escandio — verde-azul de banda ancha
- sodio — amarillo de banda estrecha
- talio — verde de banda estrecha
- estaño — rojo-naranja de banda ancha

No existe una mezcla estándar de metales, por lo que puede ser que las lámparas de haluro metálico de diferentes fabricantes no sean compatibles en aspecto o funcionamiento. En las lámparas de menor vataje, de 35 a 150 W, existe una compatibilidad física y eléctrica más próxima a una norma común.

Las lámparas de haluro metálico necesitan equipo de control, pero la falta de compatibilidad significa que es necesario combinar bien cada lámpara con su equipo para que las condiciones de cebado y funcionamiento sean correctas.

Lámparas de sodio de baja presión.

El tubo de descarga de arco tiene un tamaño similar al tubo fluorescente, pero está hecho de un vidrio contrachapado especial con una capa interior resistente al sodio. El tubo de descarga de arco tiene forma de “U” estrecha y va dentro de una envoltura exterior al vacío para asegurar la estabilidad térmica. Durante el cebado, el gas neón del interior de la lámpara produce un intenso resplandor rojo.

La radiación característica del vapor de sodio a baja presión es de un amarillo monocromático. Es un color próximo a la sensibilidad máxima del ojo humano y las lámparas de sodio de baja presión son las más eficaces que existen, a casi 200 lúmenes/vatio. Ahora bien, su aplicación viene limitada por la condición de que la discriminación de los colores no tenga importancia visual, como en el caso de las carreteras principales, los pasos subterráneos y las calles residenciales.

En muchas situaciones estas lámparas están siendo reemplazadas por lámparas de sodio de alta presión. Su menor tamaño ofrece mejor control óptico, particularmente en el alumbrado de carreteras, donde existe cada vez mayor preocupación por el excesivo resplandor del cielo.

Lámparas de sodio de alta presión.

Son parecidas a las de mercurio de alta presión, pero ofrecen mejor eficiencia (más de 100 lúmenes/vatio) y una excelente constancia del flujo luminoso. La naturaleza reactiva del sodio

requiere que el tubo de descarga de arco se fabrique con alúmina policristalina translúcida, ya que el vidrio o el cuarzo son inadecuados.

El globo de vidrio exterior contiene un vacío para evitar el chisporroteo y la oxidación. La descarga de sodio no emite radiación ultravioleta, por lo que los revestimientos fosfóricos no tienen ninguna utilidad. Algunas bombillas son esmeriladas o revestidas para difuminar la fuente de luz (véase la Figura 5.8).

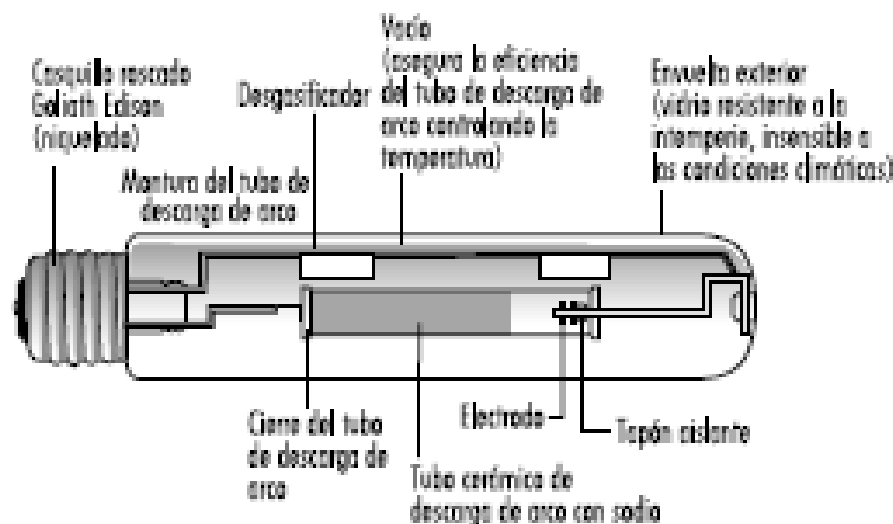


Fig. 5.8 Componentes de una lámpara de sodio de alta presión.

Al aumentar la presión del sodio, la radiación se convierte en una banda ancha alrededor del pico amarillo y su coloración es de un blanco dorado. Ahora bien, al aumentar la presión, disminuye la eficiencia.

Actualmente existen tres tipos independientes de lámparas de sodio de alta presión, como se ilustra en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Tipos de lámparas de sodio de alta presión.

Tipo de lámpara (Código)	Color (K)	Rendimiento (lúmenes/vatio)	Vida útil (horas)
Normal	2.000	110	24.000
De lujo	2.200	80	14.000
Blanca (SON)	2.500	50	

Generalmente, se utilizan las lámparas normales para el alumbrado exterior, las lámparas de lujo para los interiores industriales y las blancas son para aplicaciones comerciales y de exposición.

Atenuación de las lámparas de descarga.

Las lámparas de alta presión no pueden atenuarse satisfactoriamente, ya que al cambiar la potencia de la lámpara cambia la presión y, por consiguiente, las características fundamentales de la lámpara.

Las lámparas fluorescentes pueden atenuarse utilizando suministros eléctricos de alta frecuencia generados normalmente con el equipo de control electrónico. La coloración permanece muy constante.

Además, el rendimiento lumínico es aproximadamente proporcional a la potencia de la lámpara, con el consiguiente ahorro de energía eléctrica cuando se reduce dicho rendimiento. La integración del rendimiento lumínico de la lámpara con el nivel predominante de luz natural puede dar lugar a un nivel de iluminancia casi constante en un interior.

5.1.2.3 De última tecnología.

Los Diodos Emisores de Luz (LED: Lighting Emitting Diode) están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. No poseen filamento, por lo que tienen una elevada vida (hasta 50.000 horas) y son muy resistentes a los golpes. Además, son un 80 % más eficiente que las lámparas incandescentes. Por estas razones están empezando a sustituir a las bombillas incandescentes y a las lámparas de bajo consumo en un gran número de aplicaciones, como escaparates, señalización luminosa, iluminación decorativa, etc. (ver figura 5.9).



Fig. 5.9 Diodo emisor de luz.

5.1.3 Fundamentos de luminarias.

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras, ver figura 5.10.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios.

Otros requisitos que deben cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.

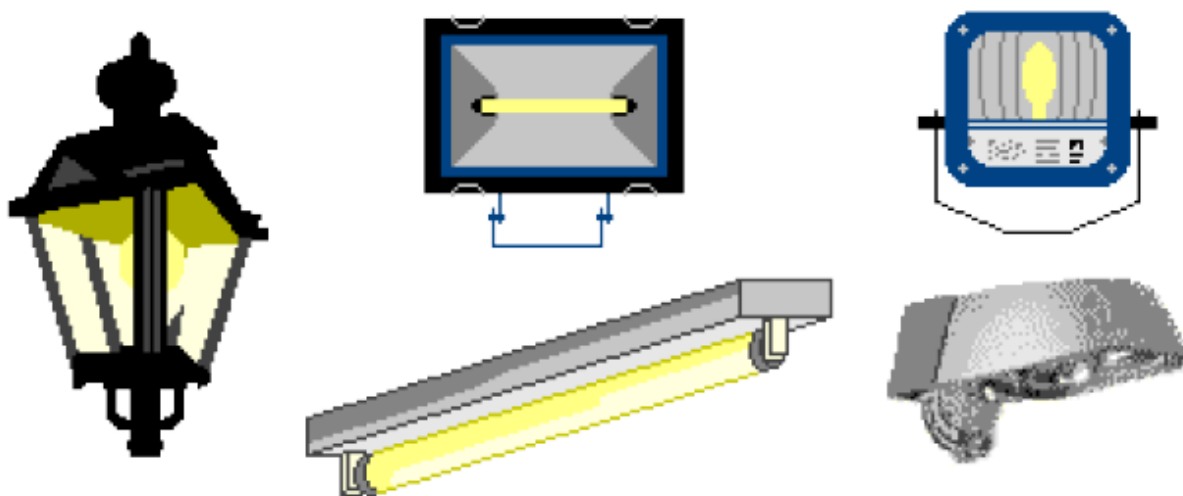


Fig. 5.10 Tipos de luminarias.

Las luminarias pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos.

Clasificación según las características ópticas de la lámpara

Una primera manera de clasificar las luminarias es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo. Según esta clasificación se distinguen seis clases (ver figura 5.11).

Directa		Semi-directa	
General difusa		Directa-indirecta	
Semi-directa		Indirecta	

Fig. 5.11 Clasificación CIE según la distribución de la luz.

Otra clasificación posible es atendiendo al número de planos de simetría que tenga el sólido fotométrico. Así, podemos tener luminarias con simetría de revolución que tienen infinitos planos de simetría y por tanto nos basta con uno de ellos para conocer lo que pasa en el resto de planos (por ejemplo un proyector o una lámpara tipo globo), con dos planos de simetría (transversal y longitudinal) como los fluorescentes y con un plano de simetría (el longitudinal) como ocurre en las luminarias de alumbrado viario (ver figura 5.12).

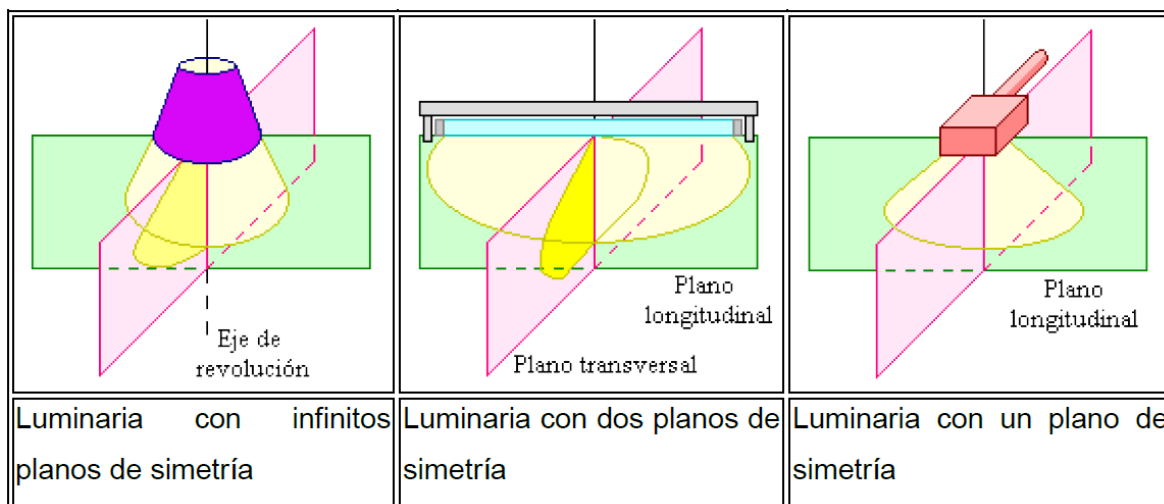


Fig. 5.12 Clasificación según los planos de simetría.

Para las luminarias destinadas al alumbrado público se utilizan otras clasificaciones.

Clasificación según las características mecánicas de la lámpara

Las luminarias se clasifican según el grado de protección contra el polvo, los líquidos y los golpes. En estas clasificaciones, según las normas nacionales e internacionales, las luminarias se designan por las letras **IP** seguidas de tres dígitos. El primer número va de 0 (sin protección) a 6 (máxima protección) e indica la protección contra la entrada de polvo y cuerpos sólidos en la luminaria. El segundo va de 0 a 8 e indica el grado de protección contra la penetración de líquidos. Por último, el tercero da el grado de resistencia a los choques (ver figura 5.13).

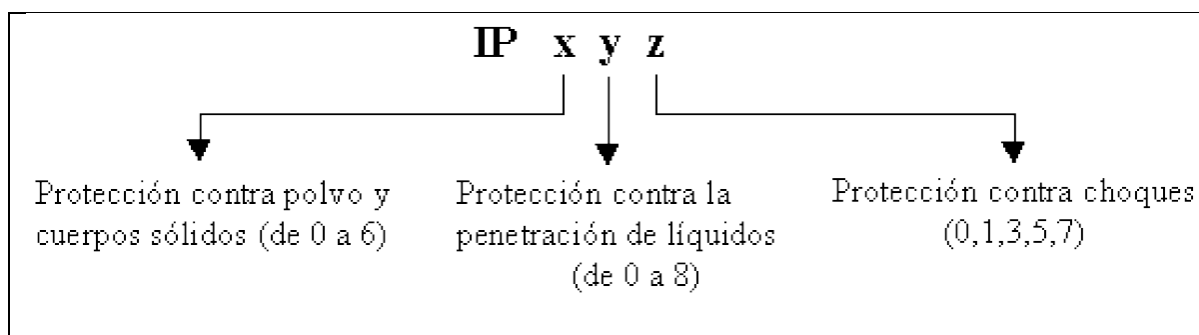


Fig. 5.13 Clasificación internacional.

Clasificación según las características eléctricas de la lámpara

Según el grado de protección eléctrica que ofrezcan las luminarias se dividen en cuatro clases (0, I, II, III), como se muestra en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Clases de protección.

Clase	Protección eléctrica
0	Aislamiento normal sin toma de tierra
I	Aislamiento normal y toma de tierra
II	Doble aislamiento sin toma de tierra.
III	Luminarias para conectar a circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas a la mencionada.

Otras clasificaciones

Otras clasificaciones posibles son según la aplicación a la que esté destinada la luminaria (alumbrado viario, alumbrado peatonal, proyección, industrial, comercial, oficinas, doméstico...) o según el tipo de lámparas empleado (para lámparas incandescentes o fluorescentes).

Las lámparas empleadas en iluminación de interiores abarcan casi todos los tipos existentes en el mercado (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etc.). Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características (fotométricas, cromáticas, consumo energético, economía de instalación y mantenimiento, etc.) mejor se adapte a las necesidades y características de cada instalación (nivel de iluminación, dimensiones del local, ámbito de uso, potencia de la instalación...)

La elección de las luminarias está condicionada por la lámpara utilizada y el entorno de trabajo de esta. Hay muchos tipos de luminarias y sería difícil hacer una clasificación exhaustiva. La forma y tipo de las luminarias oscilará entre las más funcionales donde lo más importante es dirigir el haz de luz de forma eficiente como pasa en el alumbrado industrial a las más formales donde lo que prima es la función decorativa como ocurre en el alumbrado doméstico (ver tabla 5.7) .

Las luminarias para lámparas incandescentes tienen su ámbito de aplicación básico en la iluminación doméstica. Por lo tanto, predomina la estética sobre la eficiencia luminosa. Sólo en aplicaciones comerciales o en luminarias para iluminación suplementaria se buscará un compromiso entre ambas funciones. Son aparatos que necesitan apantallamiento pues el filamento de estas lámparas tiene una luminancia muy elevada y pueden producir deslumbramientos.

En segundo lugar tenemos las luminarias para lámparas fluorescentes. Se utilizan mucho en oficinas, comercios, centros educativos, almacenes, industrias con techos bajos, etc. por su economía y eficiencia luminosa. Así pues, nos encontramos con una gran variedad de modelos que van de los más simples a los más sofisticados con sistemas de orientación de la luz y apantallamiento (modelos con rejillas cuadradas o transversales y modelos con difusores).

Por último tenemos las luminarias para lámparas de descarga a alta presión. Estas se utilizan principalmente para colgar a gran altura (industrias y grandes naves con techos altos) o en iluminación de pabellones deportivos, aunque también hay modelos para pequeñas alturas.

En el primer caso se utilizan las luminarias intensivas y los proyectores y en el segundo las extensivas.

Tabla 5.7 Clasificación de lámparas según su uso.

Ámbito de uso	Tipos de lámparas más utilizados
Doméstico	• Incandescente • Fluorescente • Halógenas de baja potencia • Fluorescentes compactas
Oficinas	• Alumbrado general: fluorescentes • Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión
Comercial (Depende de las dimensiones y características del comercio)	• Incandescentes • Halógenas • Fluorescentes • Grandes superficies con techos altos: mercurio a alta presión y halogenuros metálicos
Industrial	• Todos los tipos • Luminarias situadas a baja altura $h(h \leq 6 \text{ m})$: fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura $h (h > 6 \text{ m})$: lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores • Alumbrado localizado: incandescentes
Deportivo	• Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión

5.2 Introducción al diseño de alumbrado.

La iluminación de los ambientes interiores tiene por objeto satisfacer las siguientes necesidades:

- Contribuir a crear un ambiente de trabajo seguro;
- Ayudar a realizar tareas visuales,
- Crear un ambiente visual apropiado.

La creación de un ambiente de trabajo seguro tiene que estar en el primer lugar de la lista de prioridades y, en general, se aumenta la seguridad haciendo que los peligros sean claramente visibles. El orden de prioridad de las otras dos necesidades dependerá en gran medida del uso dado al ambiente interior. La realización de la tarea puede mejorarse haciendo que sea más fácil ver todos sus detalles, mientras que se crean ambientes visuales apropiados variando el énfasis de iluminación dado a los objetos y superficies existentes dentro del ambiente interior.

La luz y el color influyen en nuestra sensación general de bienestar, incluyendo la moral y la fatiga. Con bajos niveles de iluminación, los objetos tienen poco o ningún color o forma y se produce una pérdida de perspectiva. A la inversa, el exceso de luz puede ser tan incómodo como su escasez.

En general, la gente prefiere una habitación con luz diurna a una habitación sin ventanas. Además, se considera que el contacto con el mundo exterior contribuye a la sensación de bienestar. La introducción de controles de iluminación automáticos junto con la atenuación de altas frecuencias en las lámparas fluorescentes, ha permitido proporcionar a los ambientes interiores una combinación controlada de luz natural y luz artificial. A ello se añade la reducción de los costes energéticos.

En la percepción del carácter de un ambiente interior influyen el brillo y el color de sus superficies visibles, tanto interiores como exteriores. Las condiciones de iluminación general de un ambiente interior pueden conseguirse utilizando luz natural o iluminación artificial, o lo que es más probable, con una combinación de ambas.

5.2.1 Niveles de iluminación.

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación.

En varias publicaciones se ofrecen directrices de niveles mínimos de iluminación asociados a diferentes tareas. En concreto, los recogidos en la Figura 46.9 se han tomado de las normas europeas CEN 170 y se basan más en la experiencia que en el conocimiento científico.

El nivel de iluminación se mide con un luxómetro que convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, que posteriormente se amplifica y permite una fácil lectura en una escala de lux calibrada. Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos:

- La naturaleza del trabajo;
- La reflectancia del objeto y de su entorno inmediato;
- Las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna,
- La edad del trabajador.

5.2.2 Sistemas de alumbrado.

El interés por la iluminación natural ha aumentado recientemente. Y no se debe tanto a la calidad de este tipo de iluminación como al bienestar que proporciona. Pero como el nivel de iluminación de las fuentes naturales no es uniforme, se necesita un sistema de iluminación artificial. Los sistemas de iluminación más utilizados son los siguientes (ver figura 5.14):

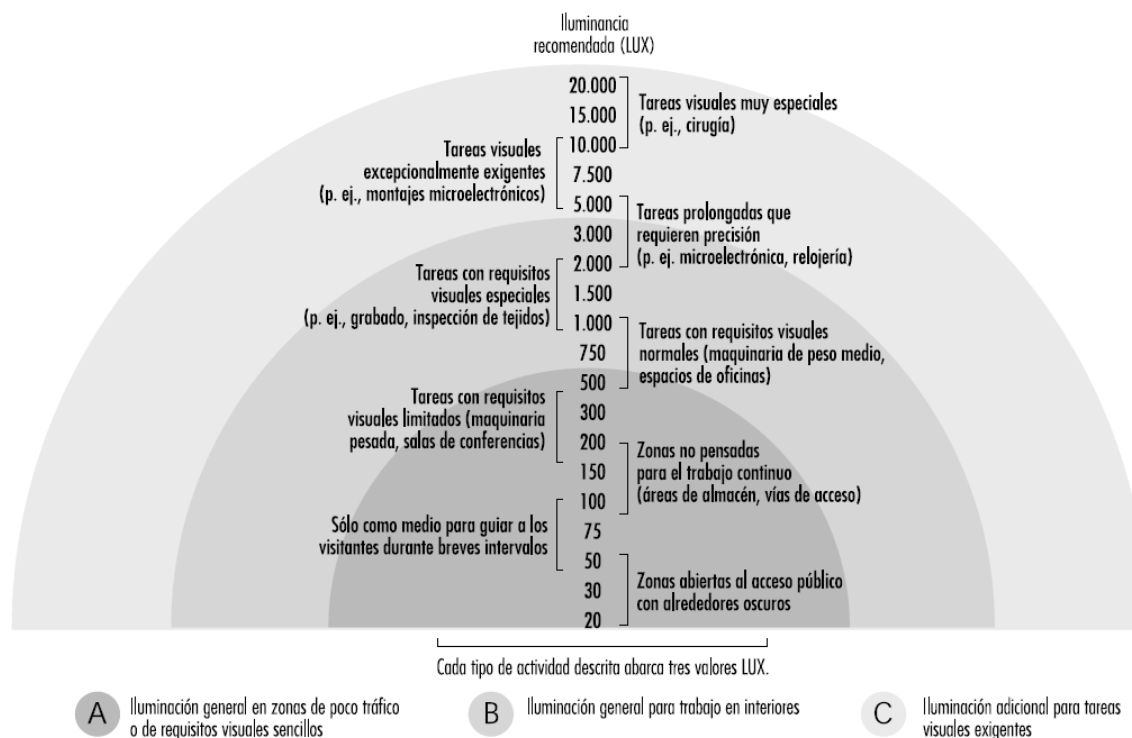


Fig. 5.14 Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas.

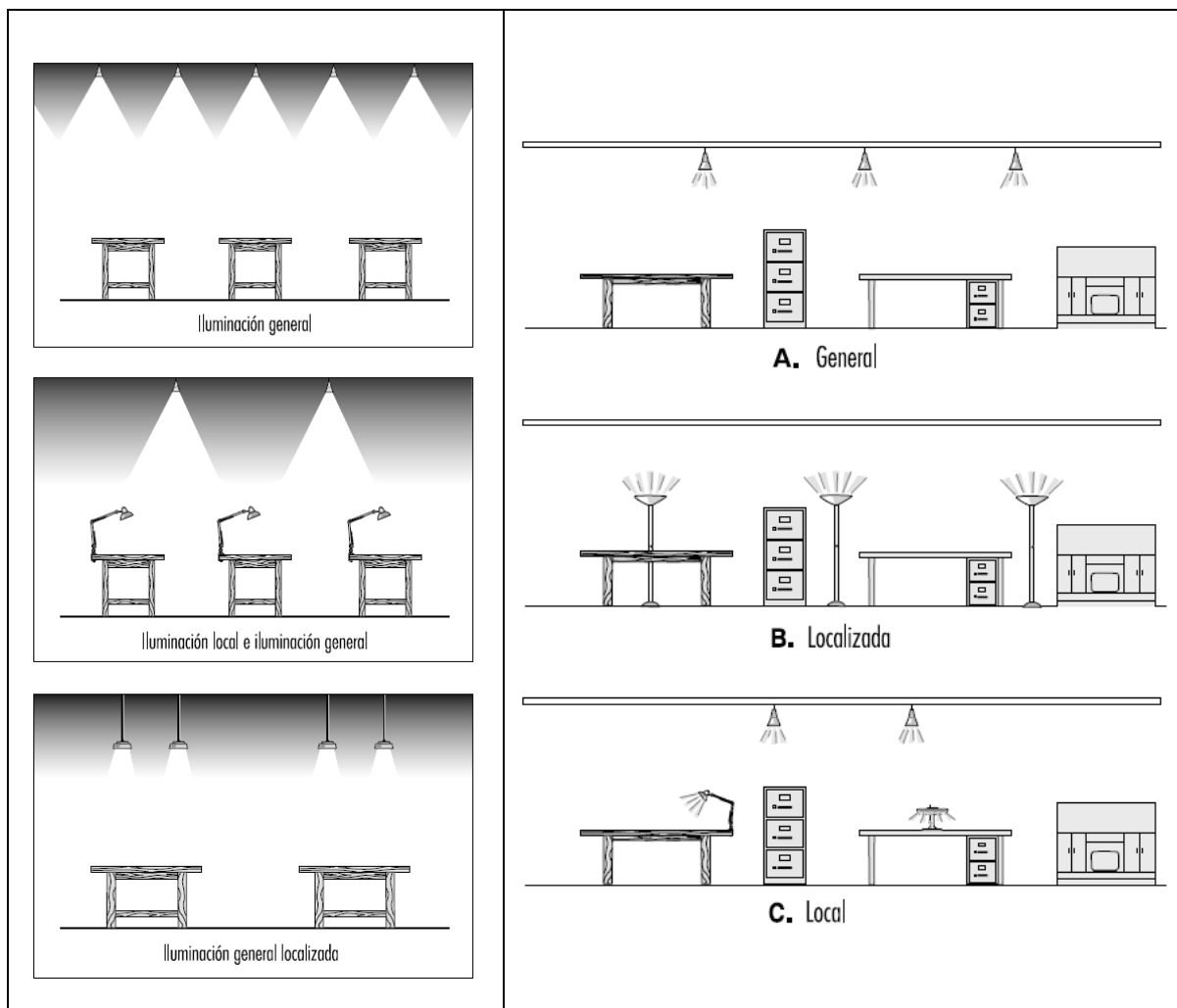
Iluminación general uniforme.

En este sistema, las fuentes de luz se distribuyen uniformemente sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo. El nivel medio de iluminación debe ser igual al nivel de iluminación necesario para la tarea que se va a realizar. Son sistemas utilizados principalmente en lugares de trabajo donde no existen puestos fijos. Debe tener tres características fundamentales: primero, estar equipado con dispositivos antibrillos (rejillas, difusores, reflectores, etcétera); segundo, debe distribuir una fracción de la luz hacia el techo y la parte superior de las paredes, y tercero, las fuentes de luz deben instalarse a la mayor altura posible, para minimizar los brillos y conseguir una iluminación lo más homogénea posible (véase la Figura 5.15).

Iluminación general e iluminación localizada de apoyo.

Se trata de un sistema que intenta reforzar el esquema de la iluminación general situando lámparas junto a las superficies de trabajo. Las lámparas suelen producir deslumbramiento y los reflectores deberán situarse de modo que impidan que la fuente de luz quede en la línea directa de visión del trabajador. Se recomienda utilizar iluminación localizada cuando las exigencias visuales sean cruciales, como en el caso de los niveles de iluminación de 1.000 lux o más.

Generalmente, la capacidad visual del trabajador se deteriora con la edad, lo que obliga a aumentar el nivel de iluminación general o a complementarlo con iluminación localizada. En la Figura 5.16 se aprecia claramente este fenómeno.



Figuras 5.15 Sistemas de iluminación.

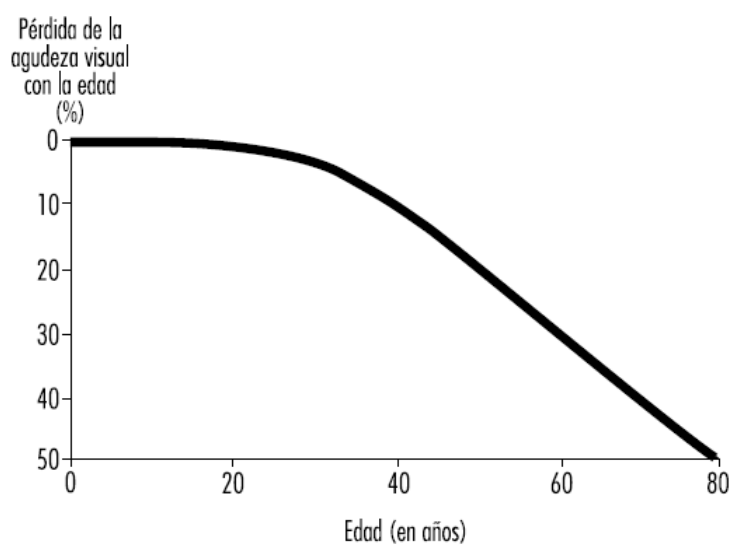


Figura 5.16 Pérdida de la agudeza visual con la edad.

Iluminación general localizada.

Es un tipo de iluminación con fuentes de luz instalado en el techo y distribuido teniendo en cuenta dos aspectos: las características de iluminación del equipo y las necesidades de iluminación de cada puesto de trabajo. Está indicado para aquellos espacios o áreas de trabajo que necesitan un alto nivel de iluminación y requiere conocer la ubicación futura de cada puesto de trabajo con antelación a la fase de diseño.

Los sistemas de iluminación utilizados en interiores comerciales pueden subdividirse en tres categorías principales: iluminación general, iluminación localizada e iluminación local.

Normalmente, las instalaciones de iluminación general proporcionan una iluminancia aproximadamente uniforme en todo el plano de trabajo. Son sistemas que suelen estar basados en el método luménico de diseño, donde una iluminancia media es:

$$\text{Iluminancia media (lux)} = \frac{\text{Flujo luminoso (lúmenes)} \times \text{factor de utilizacion} \times \text{factor de mantenimiento}}{\text{Area (m}^2\text{)}} \quad (5.1)$$

Los sistemas de iluminación localizada proporcionan iluminancia en áreas de trabajo generales con un nivel reducido de iluminancia simultáneo en áreas adyacentes.

Los sistemas de iluminación locales proporcionan iluminancia para áreas relativamente pequeñas que incorporan tareas visuales. Normalmente, estos sistemas se complementan con un nivel especificado de iluminación general. En la Figura 5.15 se recogen las diferencias típicas entre los sistemas descritos.

Cuando hay que realizar tareas visuales, es esencial alcanzar el nivel exigido de iluminancia y estudiar las circunstancias que afectan a su calidad.

El uso de luz natural para iluminar tareas tiene tanto ventajas como limitaciones. Las ventanas por las que entra la luz natural a un ambiente interior favorecen la realización de tareas de modelado tridimensional y, aunque la distribución espectral de la luz natural varía a lo largo del día, se considera que, en general, su reproducción del color es excelente.

Con todo, no es posible proporcionar una iluminancia constante para una tarea utilizando sólo la luz natural, debido a su gran variabilidad, y si la tarea está dentro del mismo campo de visión que un cielo brillante, es probable que se produzcan brillos deslumbrantes que entorpecen la realización de la tarea.

La utilidad de la luz natural para iluminar tareas es sólo parcial, por lo que la iluminación artificial, sobre la que puede ejercerse un mayor control, tiene un papel importante que desempeñar.

Como el ojo humano sólo percibe superficies y objetos a través de la luz que reflejan, de ello se deduce que el aspecto del ambiente se verá afectado por las características de la superficie y los valores de reflectancia, junto con la cantidad y calidad de la luz.

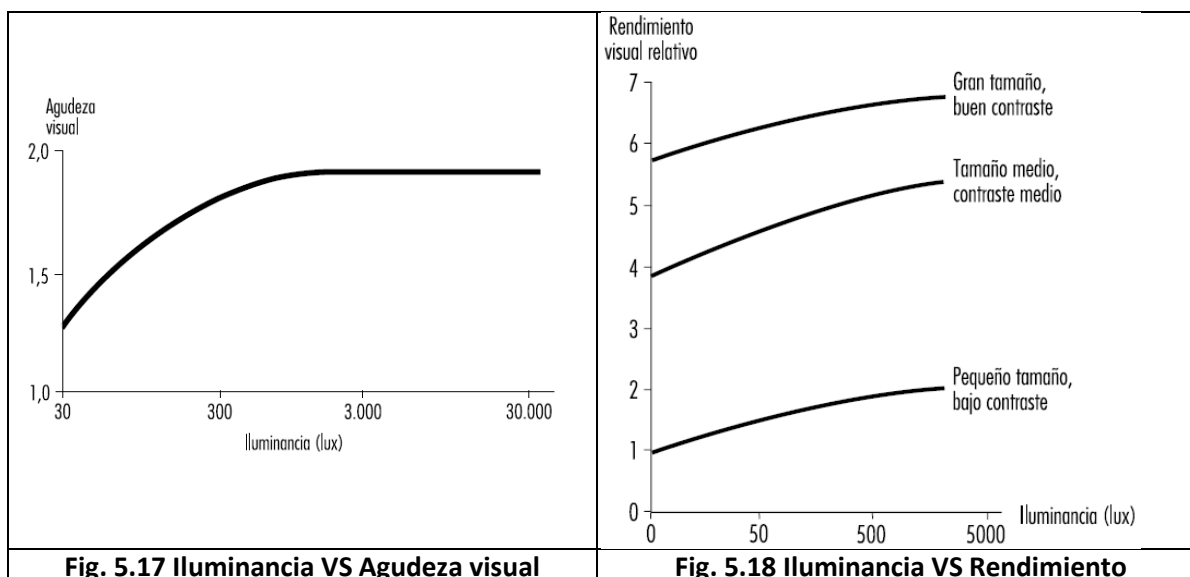
A la hora de estudiar la iluminación de un ambiente interior, es esencial determinar el nivel de *iluminancia* y compararlo con los niveles recomendados para diferentes tareas (véase la Tabla 5.8).

Tabla 5.8 Niveles típicos recomendados de iluminancia mantenida para diferentes ubicaciones o tareas visuales.

Ubicación/Tarea	Valor típico recomendado de iluminancia mantenida (lux)
Oficinas generales	500
Puestos de trabajo informatizados	500
Áreas de montaje en fábrica	
Trabajo de poca precisión	300
Trabajo medio	500
Trabajo de precisión	750
Trabajo de alta precisión	
Montaje de instrumentos	1.000
Montaje/reparaciones de joyería	1.500
Quirófanos de hospital	50.000

En la capacidad del ojo humano para distinguir los detalles —*agudeza visual*— influyen significativamente el tamaño de la tarea, el contraste y el rendimiento visual del observador. El aumento de la cantidad y calidad de la iluminación también mejorará significativamente el *rendimiento visual*. Los detalles cruciales de la tarea y el contraste entre ésta y su entorno circundante influyen en cómo afecta la iluminación a su realización.

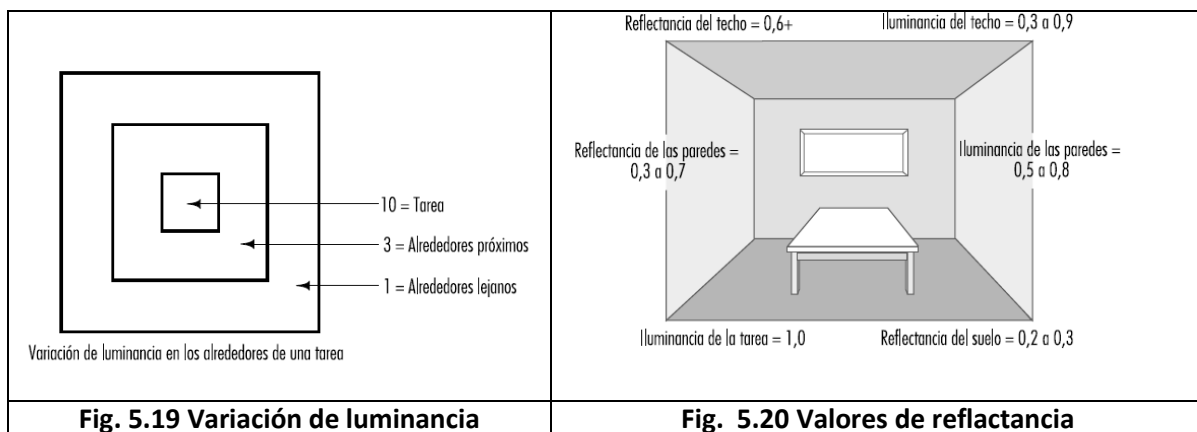
En la Figura 5.17 se muestran los efectos de la iluminancia sobre la agudeza visual. A la hora de estudiar la iluminación de las tareas visuales, es importante tener en cuenta la capacidad del ojo humano para realizar la tarea con rapidez y precisión, lo que se conoce como *rendimiento visual*. En la Figura 5.18 se muestran los efectos típicos de la iluminancia sobre el rendimiento visual de una tarea determinada.



La predicción de la iluminancia que alcanzará una superficie de trabajo es de suma importancia para el diseño de la iluminación.

Ahora bien, el sistema visual humano responde a la distribución de la luminancia dentro del campo de visión. La escena existente dentro de un campo visual se interpreta diferenciando entre el color superficial, la reflectancia y la iluminación. La luminancia depende tanto de la iluminancia sobre una superficie como de la reflectancia de la misma. Tanto la luminancia como la iluminancia son cantidades objetivas. Sin embargo, la respuesta al brillo es subjetiva.

Con el fin de producir un ambiente que proporcione satisfacción, confort y rendimiento visual, es preciso equilibrar las luminancias existentes dentro del campo de visión. Lo ideal es que las luminancias existentes alrededor de una tarea disminuyan gradualmente, evitándose así fuertes contrastes. La Figura 5.19 ilustra la variación de luminancia recomendada en los alrededores de una tarea.



El método luménico de diseño de la iluminación da lugar a una iluminancia media en el plano horizontal de trabajo y es posible utilizar un método de establecer valores de iluminancia media en los techos y paredes de un interior, que pueden convertirse en valores de luminancia media a partir de los detalles del valor de reflectancia media de las superficies de la habitación (ver figura 5.20).

La ecuación que relaciona la luminancia y la iluminancia es la siguiente:

$$Luminancia \text{ (cd} \cdot \text{m}^{-2}\text{)} = \frac{Iluminancia \text{ (lux)} \times Reflectancia}{\pi} \quad (5.2)$$

En la Figura 5.20 se ilustra una oficina típica con valores relativos de iluminancia (de un sistema de iluminación general de techo) sobre las superficies principales de la habitación, junto con recomendaciones de reflectancia.

El ojo humano tiende a ser atraído a la parte más brillante de la escena visual. De ello se deduce que habitualmente se producen valores superiores de luminancia en las áreas de realización de tareas visuales. El ojo humano reconoce los detalles de una tarea visual distinguiendo entre las partes más claras y más oscuras de la misma. La variación en el brillo de una tarea visual se determina calculando el *contraste de luminancias*:

$$\text{Contraste de luminancias (C)} = \frac{|L_t - L_b|}{|L_b|}$$

(5.3)

Donde:

L_t = luminancia de la tarea;

L_b = luminancia del fondo;

y ambas luminancias se miden en $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Las líneas verticales de esta ecuación significan que todos los valores de contraste de luminancias han de considerarse positivos.

En el contraste de una tarea visual influyen las propiedades de reflectancia de la propia tarea (véase la Figura 5.20).

5.2.3 Introducción al método de Lúmenes.

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques, figura 5.21:

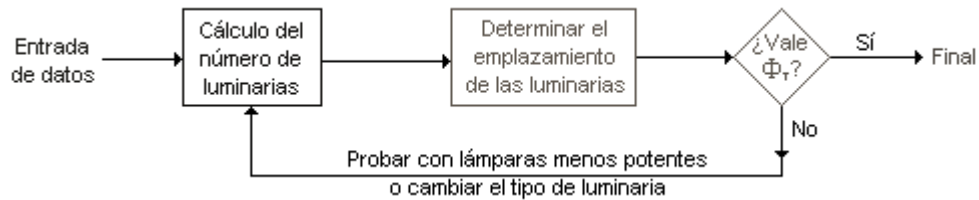


Fig. 5.21 Método para calcular el valor medio en servicio de la iluminancia.

Datos de entrada

- En la figura 5.22 se dan la dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0.85 m.

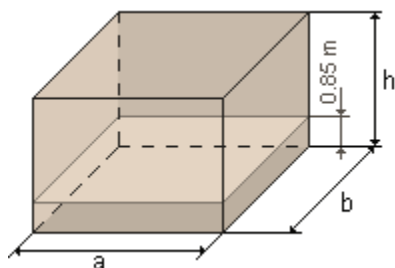


Fig. 5.22 Dimensiones del local.

- Determinar el nivel de iluminancia media (E_m). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen en la bibliografía.
- Escoger el tipo de lámpara (incandescente, fluorescente,...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- Escoger el sistema de alumbrado que mejor se adapte a nuestras necesidades y las luminarias correspondientes.
- Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.

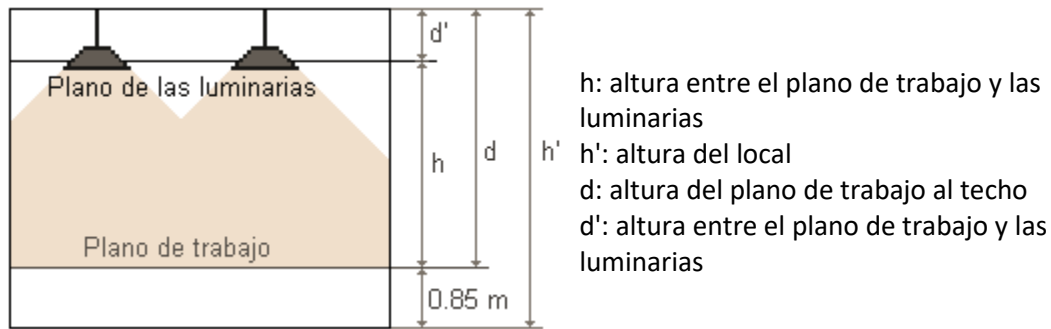


Fig. 5.23 Ubicación de las luminarias.

Tabla 5.9 Altura de luminarias.

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (h' - 0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (h' - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{4} \cdot (h' - 0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} \cdot (h' - 0.85)$

- Calcular el índice del local (k) a partir de la geometría de este. En el caso del método europeo se calcula como:

Tabla 5.10 Índices k.

	Sistema de iluminación	Índice del local
	Iluminación directa, semi directa, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
	Iluminación indirecta y semi indirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

Donde **k** es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

- Determinar los **coeficientes de reflexión** de techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos, podemos tomarlos de la siguiente tabla.

Tabla 5.11 Factores de reflexión.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

En su defecto podemos tomar 0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

- Determinar el **factor de utilización** (η , CU) a partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

Tabla 5.12 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)									
		Factor de reflexión del techo									
		Factor de reflexión de las paredes									
		0.7	0.5	0.3	0.7	0.5	0.3	0.7	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16	
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20	
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26	
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35	
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41	
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45	
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52	
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56	
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60	
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64	
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67	

- Determinar el **factor de mantenimiento** (f_m) o **conservación** de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Tabla 5.13 Factor de mantenimiento.

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Cálculos

- Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula

$$\Phi_{\tau} = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m} \quad (5.4)$$

Donde:

- Φ_{τ} es el flujo luminoso total
- E es la iluminancia media deseada
- S es la superficie del plano de trabajo
- η es el factor de utilización
- f_m es el factor de mantenimiento
- Cálculo del número de luminarias.

$$N = \frac{\Phi_{\tau}}{n \cdot \Phi_L} \quad (5.5)$$

Redondeado por exceso

Donde:

- N es el número de luminarias
- Φ_{τ} es el flujo luminoso total
- Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara
- n es el número de lámparas por luminaria

Emplazamiento de las luminarias

Una vez hemos calculado el número mínimo de lámparas y luminarias procederemos a distribuirlas sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}}}{\text{largo}}} \times \text{ancho}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right)$$

donde N es el número de luminarias

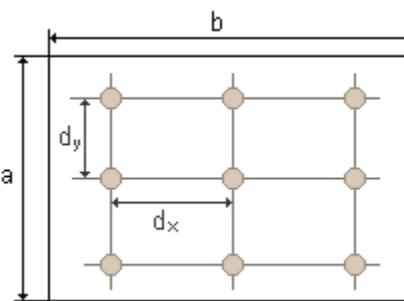


Fig. 5.24 Emplazamiento de las luminarias.

A distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo. Veámoslo mejor con un dibujo:

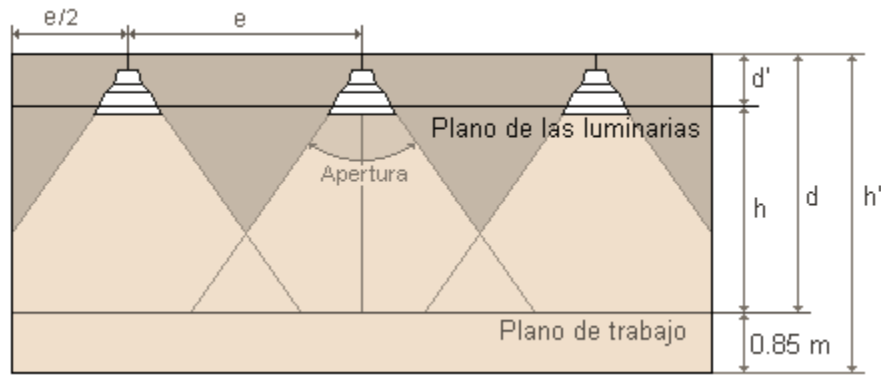


Fig. 5.25 Distribución de las luminarias.

Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados. De la misma manera, vemos que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir como sigue:

Tabla 5.14 Distancias entre luminarias.

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	≤ 4 m	$e \leq 1.6 h$
distancia pared-luminaria: $e/2$		

Si después de calcular la posición de las luminarias nos encontramos que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

Comprobación de los resultados

Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas.

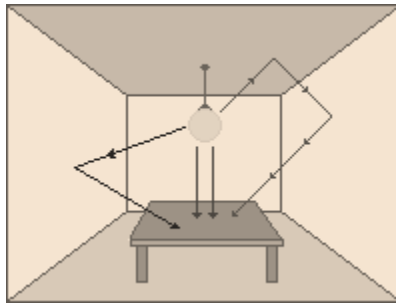
$$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{\text{tablas}}$$

(5.6)

5.2.4 Introducción al método punto por punto.

El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Pero, ¿qué pasa si queremos conocer cómo es la distribución de la iluminación en instalaciones de alumbrado general localizado o individual donde la luz no se distribuye uniformemente o cómo es exactamente la distribución en el alumbrado general. En estos casos emplearemos el método del punto por punto que nos permite conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

Consideraremos que la iluminancia en un punto es la suma de la luz proveniente de dos fuentes: una componente directa, producida por la luz que llega al plano de trabajo directamente de las luminarias, y otra indirecta o reflejada procedente de la reflexión de la luz de las luminarias en el techo, paredes y demás superficies del local.



- ↓ Luz directa
- ↘ Luz indirecta proveniente del techo
- ↘ Luz indirecta proveniente de las paredes

Fig. 5.26 Iluminancia.

En el ejemplo anterior podemos ver que sólo unos pocos rayos de luz serán perpendiculares al plano de trabajo mientras que el resto serán oblicuos. Esto quiere decir que de la luz incidente sobre un punto, sólo una parte servirá para iluminar el plano de trabajo y el resto iluminará el plano vertical a la dirección incidente en dicho punto.

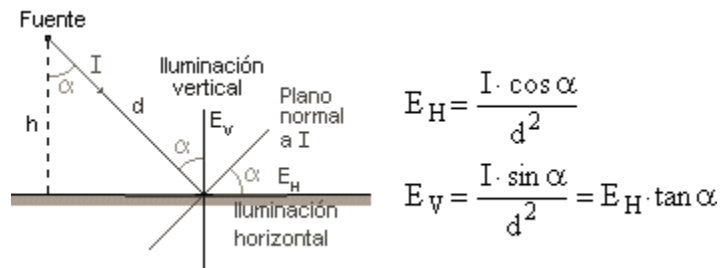


Fig. 5.27 Componentes de la iluminancia en un punto.

En general, para hacernos una idea de la distribución de la iluminancia nos bastará con conocer los valores de la iluminancia sobre el plano de trabajo; es decir, la iluminancia horizontal. Sólo nos interesará conocer la iluminancia vertical en casos en que se necesite tener un buen modelado de la forma de los objetos (deportes de competición, escaparates, estudios de televisión y cine, retransmisiones deportivas...) o iluminar objetos en posición vertical (obras de arte, cuadros, esculturas, pizarras, fachadas...)

Para utilizar el método del punto por punto necesitamos conocer previamente las características fotométricas de las lámparas y luminarias empleadas, la disposición de las mismas sobre la planta del local y la altura de estas sobre el plano de trabajo. Una vez conocidos todos estos elementos podemos empezar a calcular las iluminancias. Mientras más puntos calculemos más información tendremos sobre la distribución de la luz. Esto es particularmente importante si trazamos los diagramas isolux de la instalación.

Como ya hemos mencionado, la iluminancia horizontal en un punto se calcula como la suma de la componente de la iluminación directa más la de la iluminación indirecta. Por lo tanto:

$$E = E_{\text{directa}} + E_{\text{indirecta}} \quad (5.7)$$

Componente directa en un punto

- **Fuentes de luz puntuales.** Podemos considerar fuentes de luz puntuales las lámparas incandescentes y de descarga que no sean los tubos fluorescentes. En este caso las componentes de la iluminancia se calculan usando las fórmulas.

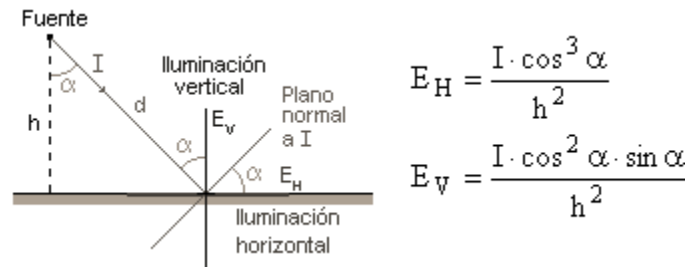


Fig. 5.28 Fuentes de luz.

Donde I es la intensidad luminosa de la lámpara en la dirección del punto que puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria o de la matriz de intensidades y h la altura del plano de trabajo a la lámpara.

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^3 \alpha_i}{h_i^2}$$

$$E_v = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot \sin \alpha_i}{h_i^2}$$

(5.8)

- **Fuentes de luz lineales de longitud infinita.** Se considera que una fuente de luz lineal es infinita si su longitud es mucho mayor que la altura de montaje; por ejemplo una línea continua de fluorescentes. En este caso se puede demostrar por cálculo diferencial que la iluminancia en un punto para una fuente de luz difusa se puede expresar como:

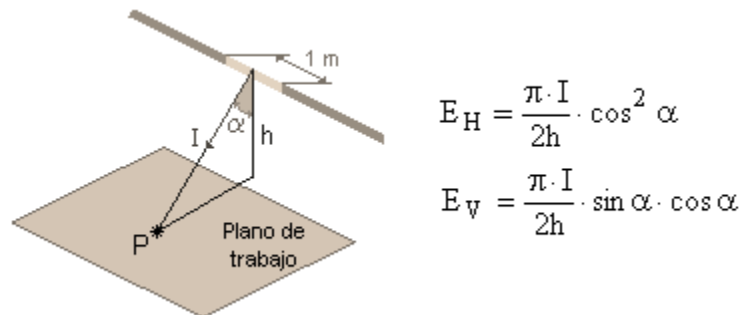


Fig. 5.29 Fuentes de luz lineales.

- En los extremos de la hilera de las luminarias el valor de la iluminancia será la mitad. El valor de I se puede obtener del diagrama de intensidad luminosa de la luminaria referido a un metro de longitud de la fuente de luz. En el caso de un tubo fluorescente desnudo I puede calcularse a partir del flujo luminoso por metro, según la fórmula:

$$I = \frac{\Phi}{9.25} \quad (5.9)$$

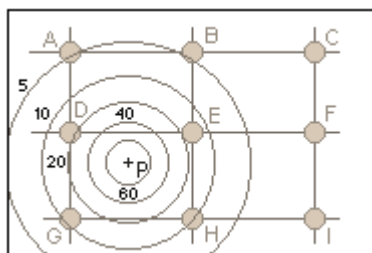
- **Cálculo de las iluminancias horizontales empleando curvas isolux.** Este método gráfico permite obtener las iluminancias horizontales en cualquier punto del plano de trabajo de forma rápida y directa. Para ello necesitaremos:

2. Las curvas isolux de la luminaria suministradas por el fabricante (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias).

Si no disponemos de ellas, podemos trazarlas a partir de la matriz de intensidades o de las curvas polares, aunque esta solución es poco recomendable si el número de puntos que nos interesa calcular es pequeño o no disponemos de un programa informático que lo haga por nosotros.

3. La planta del local con la disposición de las luminarias dibujada con la misma escala que la curva isolux.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos el punto o los puntos en los que queremos calcular la iluminancia. A continuación colocamos el diagrama isolux sobre el plano, haciendo que el centro coincida con el punto, y se suman los valores relativos de las iluminancias debidos a cada una de las luminarias que hemos obtenido a partir de la intersección de las curvas isolux con las luminarias.



Luminaria	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total
Iluminancia (lux)	4	4	0	19	19	0	12	10	0	$E_T = 68 \text{ lx}$

Fig. 5.30 Plano iluminancia.

Finalmente, los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos obtenidos de las curvas aplicando la fórmula:

$$E_r = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{\Phi_c} \cdot \left(\frac{h_c}{h_r} \right)^2 = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{h_r^2} \cdot \frac{1}{1000} \quad (5.10)$$

Componente indirecta o reflejada en un punto

Para calcular la componente indirecta se supone que la distribución luminosa de la luz reflejada es uniforme en todas las superficies del local incluido el plano de trabajo. De esta manera, la componente indirecta de la iluminación de una fuente de luz para un punto cualquiera de las superficies que forman el local se calcula como:

$$E_{\text{indirecta}} = E_{\text{ind}_H} = E_{\text{ind}_V} = \frac{\Phi}{F_T} \cdot \frac{\rho_m}{1 - \rho_m} \quad (5.11)$$

Donde:

- $F_T = \sum_n F_i$ es la suma del área de todas las superficies del local
- ρ_m es la reflectancia media de las superficies del local calculada como

$$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i \cdot F_i}{\sum_n F_i} \quad (5.12)$$

- Siendo Φ es el flujo de la lámpara
- Y ρ_i la reflectancia de la superficie F_i

Ejemplo

Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una nave industrial de 100 m de largo por 30 m de ancho y 6 m de altura. Para ello utilizaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W de potencia con un flujo luminoso de 50000 lm. Respecto a las luminarias, nos planteamos escoger entre los tipos 1, 2 y 3 cuyas tablas del factor de utilización, suministradas por el fabricante, se adjuntan a continuación.

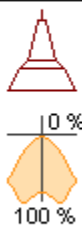
Luminarias disponibles (todas son de tipo industrial suspendido):

Tabla 5.15 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																									
		Factor de reflexión del techo																									
		0.8				0.7				0.5				0.3				0.1									
		Factor de reflexión de las paredes																									
		0.5				0.3				0.1				0.5				0.3				0.1				0	
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30														
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37														
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41														
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45														
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48														
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52														
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54														
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56														
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58														
f_m	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59														

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.16 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
 10 % 100 %	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58	
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67	
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72	
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77	
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81	
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85	
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88	
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89	
	$D_{max} = 0.7 H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92
	f_m	.70	.75	.80	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.94

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.17 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)													
		Factor de reflexión del techo													
		0.8			0.7			0.5			0.3			0	
		Factor de reflexión de las paredes													
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0		
 0 %  85 %	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28		
	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37		
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43		
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50		
	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55		
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62		
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65		
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69		
	$D_{max} = 1.1 H_m$	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73	
	f_m	.55	.60	.65	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.77	

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Otros datos:

- Los coeficientes de reflexión de paredes y techo se considerarán cero debido a que los materiales empleados (superficies y estructuras metálicas) tienen coeficientes de reflexión extremadamente bajos.
- Es recomendable que el sistema de iluminación se instale por lo menos a 5.5 m del suelo, pues en la estructura superior de la nave, hasta 5 metros del suelo, existen equipos de transporte, como grúas, destinadas al traslado de objetos pesados a distintos puntos de la nave.
- En el techo existen claraboyas que ofrecen una iluminación diurna mínima de 75 lux lo suficientemente homogénea a la altura del suelo. En dicha nave sólo se trabajará de día.
- El nivel de iluminación aconsejado para las actividades que se desarrollan en el local es de 680 lux en el suelo.

Se pide determinar con cuál de los tres tipos de luminarias propuestas obtendremos la mejor solución.

Solución

Este es un ejemplo de problema resuelto con el método de los lúmenes. Tenemos una gran nave que queremos iluminar con una iluminación homogénea de 680 lx.

Datos de entrada:

Dimensiones del local:

- largo: 100 m
- ancho: 30 m
- altura total: 6 m
- altura del plano de trabajo: 0 (nos piden la iluminancia a nivel del suelo)

Nivel de iluminancia media. Nos piden 680 lx pero teniendo en cuenta que sólo se trabaja de día y la iluminancia de la luz solar es de 75 lux, la iluminancia proporcionada por la iluminación será:

$$E_m = 680 - 75 = 605 \text{ lx}$$

Lámparas. Usaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W y 50000 lm de flujo.

Altura de suspensión de las luminarias: 5.5 m

Índice del local. Dado el tipo de luminarias propuestas (de iluminación directa), nos encontramos con un caso de iluminación directa. Por lo tanto:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{100 \cdot 30}{5.5 \cdot (100 + 30)} = 4.2$$

Coefficientes de reflexión. Los coeficientes del techo y las paredes se suministran en el enunciado. Como no nos dicen nada del suelo tomaremos la hipótesis más pesimista vista en las tablas.

	Techo	Paredes	Suelo
Coeficiente de reflexión	0	0	0.1

Determinación del coeficiente de utilización (η). A partir de los factores de reflexión y el índice del local se leen en las tablas los factores de utilización. En este caso particular deberíamos interpolar ya que no disponemos de valores para $k = 4.2$; pero como la diferencia entre el coeficiente para 4 y 5 es muy pequeña podemos aproximar con los valores de 4.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Coeficiente de utilización (η)	0.58	0.92	0.73

Factor de mantenimiento. En este caso los valores vienen incluidos en las tablas de las luminarias. Como no nos dicen nada sobre la suciedad ambiental tomaremos los valores medios.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Factor de Mantenimiento (f_m)	0.75	0.75	0.60

Cálculos:

Cálculo del flujo luminoso total.

Luminaria 1	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.58 \cdot 0.75} = 4172414 \text{ lm}$
Luminaria 2	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.92 \cdot 0.75} = 2630435 \text{ lm}$
Luminaria 3	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.73 \cdot 0.60} = 4143835 \text{ lm}$

Por último se calcula el número mínimo de luminarias necesarias. Este es un valor de referencia pues es normal que al emplazar las luminarias y hacer las comprobaciones posteriores necesitemos un número mayor de ellas.

Luminaria 1	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{4172414}{1.5 \cdot 10^4} = 83.4 \approx 84$
Luminaria 2	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{2630435}{1.5 \cdot 10^4} = 52.6 \approx 53$
Luminaria 3	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{4143835}{1.5 \cdot 10^4} = 82.9 \approx 83$

Emplazamiento de las luminarias:

Finalmente sólo nos queda distribuir las luminarias sobre la planta del local y comprobar que la distancia de separación entre ellas es inferior a la máxima admisible. En este caso la separación máxima viene indicada en las tablas de las luminarias.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Ancho			
N luminarias	5	4	5
Separación (m)	30/5 = 6	30/4 = 7.5	30/5 = 6
Separación de las paredes (m)	6/2 = 3	7.5/2 = 3.75	6/2 = 3
Largo			
N luminarias	17	14	17
Separación (m)	100/17 = 5.88	100/14 = 7.14	100/17 = 5.88
Separación de las paredes (m)	5.88/2 = 2.94	7.14/2 = 3.57	5.88/2 = 2.94
Separación máxima entre luminarias (m)	1.1 · h _m = 6.05	0.7 · h _m = 3.85	1.1 · h _m = 6.05
Cumple los criterios	SI	NO	SI
Número total de luminarias	5 · 17 = 85	4 · 14 = 56	5 · 17 = 85

De todas las luminarias propuestas, la LUMINARIA 2 es la única que no cumple los criterios ya que la separación obtenida es superior a la máxima permitida. Esto quiere decir que si queremos utilizar esta luminaria tendremos que poner más unidades y reducir la separación entre ellas.

Podemos calcular el nuevo número necesario tomando como distancia de separación la distancia máxima (3.85 m) y usando las fórmulas usadas para distribuir las luminarias. Si hacemos las operaciones necesarias podremos ver que ahora se necesitan 208 luminarias.

En este caso es indiferente utilizar la LUMINARIA 1 o la 3, pero en general nos quedaríamos con la solución que necesitara menos luminarias. Si los consumos de las lámparas de las luminarias fueran diferentes unos de otros, tendríamos que tenerlos en cuenta para optar por la solución más barata, que sería la que necesitara menos potencia total.

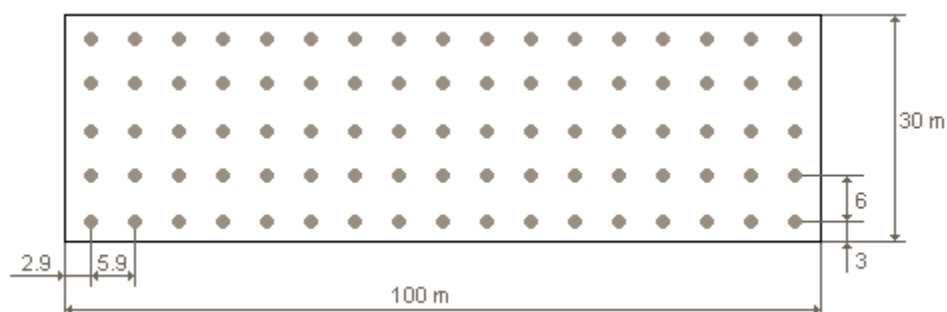
Comprobación de los resultados para la LUMINARIA 3:

$$E = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} = \frac{85 \cdot 50000 \cdot 0.73 \cdot 85}{30 \cdot 100} = 620.5 \text{ lx}$$

A nivel de suelo, la iluminancia total será: $NI = 620.5 + 75 = 695.5 \text{ lx}$

Y la potencia consumida $P = 85 \cdot 400 = 34 \text{ kW}$

Distribución final de las luminarias:



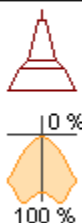
OTRAS LUMINARIAS

Tabla 5.19 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																									
		Factor de reflexión del techo																									
		0.8				0.7				0.5				0.3				0									
		Factor de reflexión de las paredes																									
		0.5				0.3				0.1				0.5				0.3				0.1				0	
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30														
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37														
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41														
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45														
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48														
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52														
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54														
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56														
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58														
$f_m .70 .75 .80$	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59														

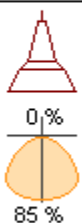
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.20 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58	
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67	
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72	
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77	
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81	
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85	
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88	
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89	
	$D_{max} = 0.7 H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92
f_m	.70	.75	.80	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.94	

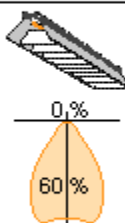
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.21 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28	
	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37	
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43	
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50	
	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55	
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62	
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65	
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69	
	$D_{max} = 1.1 H_m$	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73
	f_m	.55	.60	.65	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.75

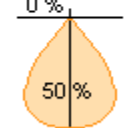
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.22 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23	.22	
	0.8	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.31	.29	.27	
	1.0	.43	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.39	.37	.36	
	1.25	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41	.40	
	1.5	.50	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.44	.46	.44	.43	
	2.0	.53	.50	.49	.53	.50	.48	.51	.50	.48	.49	.47	.46	
	2.5	.55	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.49	
	3.0	.57	.54	.53	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.52	.51	.50	
	$D_{max} = 0.8 H_m$	4.0	.59	.57	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52
	f_m	.65 .70 .75	5.0	.60	.58	.57	.59	.57	.56	.57	.56	.56	.54	.53

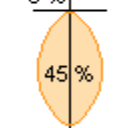
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.23 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
 0 %  50 % $D_{max} = 0.8 H_m$ f_m .65 .70 .75	0.6	.27	.24	.21	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.23	.21	.20	
	0.8	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.28	.26	.25	
	1.0	.36	.33	.30	.36	.33	.30	.35	.32	.30	.32	.30	.29	
	1.25	.40	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.36	.34	.33	
	1.5	.42	.39	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.38	.36	.35	
	2.0	.45	.42	.40	.44	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40	.39	
	2.5	.47	.44	.43	.46	.44	.42	.45	.44	.42	.43	.42	.41	
	3.0	.48	.46	.44	.47	.46	.44	.47	.45	.44	.44	.43	.42	
	4.0	.50	.48	.46	.49	.48	.46	.48	.47	.46	.46	.45	.44	
	5.0	.50	.49	.48	.50	.49	.48	.49	.48	.47	.47	.46	.45	

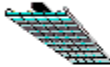
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.24 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
 0 %  45 %	0.6	.24	.21	.19	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.20	.19	.18	
	0.8	.29	.26	.24	.29	.26	.24	.28	.26	.24	.26	.24	.23	
	1.0	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.29	.27	.26	
	1.25	.36	.32	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.32	.30	.29	
	1.5	.38	.35	.33	.38	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.32	
	2.0	.41	.38	.37	.40	.38	.36	.39	.38	.36	.37	.36	.35	
	2.5	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.41	.39	.38	.39	.38	.37	
	3.0	.44	.42	.40	.43	.42	.40	.42	.41	.39	.40	.39	.38	
	$D_{max} = 0.6 H_m$	4.0	.45	.44	.42	.45	.43	.42	.44	.43	.42	.42	.41	.40
	f_m .65 .70 .75	5.0	.47	.45	.44	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.43	.42	.41

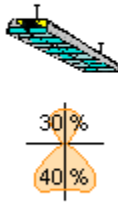
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.25 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
 	0.6	.20	.16	.13	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.15	.13	.12	
	0.8	.25	.22	.18	.25	.20	.18	.23	.19	.17	.19	.17	.16	
	1.0	.37	.27	.24	.30	.26	.23	.28	.24	.22	.22	.21	.18	
	1.25	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.30	.28	.26	.26	.24	.21	
	1.5	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.32	.30	.27	.27	.25	.23	
	2.0	.42	.38	.35	.40	.37	.34	.37	.33	.31	.31	.29	.25	
	2.5	.44	.41	.39	.42	.40	.37	.39	.36	.34	.33	.32	.27	
	3.0	.47	.44	.41	.45	.42	.40	.40	.38	.36	.34	.33	.28	
	$D_{max} = 1.1 H_m$	4.0	.50	.47	.45	.47	.45	.43	.42	.40	.39	.36	.35	.29
	f_m .65 .70 .75	5.0	.51	.49	.47	.49	.47	.46	.43	.42	.40	.39	.36	.30

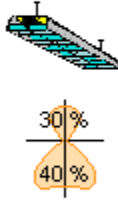
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.26 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.17	.15	.16	.15	.13	
	0.8	.29	.24	.21	.27	.24	.21	.25	.23	.20	.22	.19	.18	
	1.0	.33	.29	.26	.33	.29	.25	.31	.27	.24	.26	.23	.21	
	1.25	.39	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.31	.29	.29	.28	.24	
	1.5	.43	.38	.35	.41	.36	.34	.38	.34	.32	.32	.30	.26	
	2.0	.48	.44	.40	.46	.42	.39	.41	.39	.35	.34	.33	.28	
	2.5	.51	.47	.44	.49	.45	.43	.44	.40	.39	.37	.35	.30	
	3.0	.53	.50	.48	.51	.47	.45	.46	.44	.41	.40	.38	.32	
	$D_{\max} = 1.0 H_m$	4.0	.57	.53	.51	.53	.51	.49	.48	.46	.45	.41	.40	.34
	f_m .65 .70 .75	5.0	.59	.56	.54	.55	.53	.51	.49	.47	.46	.42	.41	.35

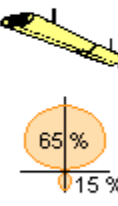
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.27 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.17	.15	.16	.15	.13	
	0.8	.29	.24	.21	.27	.24	.21	.25	.23	.20	.22	.19	.18	
	1.0	.33	.29	.26	.33	.29	.25	.31	.27	.24	.26	.23	.21	
	1.25	.39	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.31	.29	.29	.28	.24	
	1.5	.43	.38	.35	.41	.36	.34	.38	.34	.32	.32	.30	.26	
	2.0	.48	.44	.40	.46	.42	.39	.41	.39	.35	.34	.33	.28	
	2.5	.51	.47	.44	.49	.45	.43	.44	.40	.39	.37	.35	.30	
	3.0	.53	.50	.48	.51	.47	.45	.46	.44	.41	.40	.38	.32	
	$D_{\max} = 1.0 H_m$	4.0	.57	.53	.51	.53	.51	.49	.48	.46	.45	.41	.40	.34
	f_m .65 .70 .75	5.0	.59	.56	.54	.55	.53	.51	.49	.47	.46	.42	.41	.35

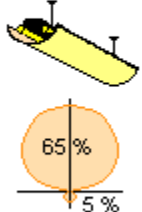
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 5.28 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.16	.11	.07	.15	.10	.06	.12	.08	.06	.07	.06	.03	
	0.8	.21	.15	.12	.19	.15	.12	.16	.12	.08	.09	.07	.04	
	1.0	.26	.20	.16	.23	.19	.15	.19	.15	.12	.12	.10	.05	
	1.25	.32	.25	.20	.28	.23	.19	.23	.18	.15	.14	.12	.06	
	1.5	.36	.30	.24	.33	.26	.22	.25	.21	.18	.16	.13	.07	
	2.0	.42	.36	.31	.38	.33	.27	.29	.25	.22	.18	.16	.08	
	2.5	.46	.40	.36	.41	.36	.33	.32	.29	.25	.20	.19	.09	
	3.0	.50	.44	.40	.44	.40	.36	.34	.31	.28	.22	.20	.09	
	$D_{max} = 1.2 H_c$	4.0	.54	.50	.45	.48	.44	.41	.37	.34	.32	.25	.22	.10
	f_m .50 .60 .70	5.0	.57	.53	.50	.51	.48	.44	.39	.36	.34	.25	.25	.10

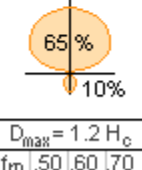
H_c : altura techo-plano de trabajo

Tabla 5.29 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.11	.07	.04	.10	.07	.04	.08	.06	.03	.05	.03	.01	
	0.8	.14	.10	.07	.13	.09	.07	.10	.07	.06	.06	.04	.02	
	1.0	.19	.14	.10	.17	.13	.09	.13	.10	.07	.08	.05	.03	
	1.25	.23	.18	.15	.21	.16	.14	.15	.13	.10	.09	.07	.04	
	1.5	.26	.20	.17	.24	.19	.16	.18	.14	.12	.10	.08	.05	
	2.0	.31	.26	.23	.28	.24	.20	.20	.18	.16	.12	.11	.06	
	2.5	.35	.30	.26	.31	.26	.24	.24	.20	.18	.13	.12	.08	
	3.0	.37	.34	.29	.33	.30	.26	.25	.21	.20	.14	.13	.09	
	4.0	.39	.37	.34	.36	.33	.30	.27	.25	.23	.16	.16	.10	
	5.0	.44	.40	.37	.37	.35	.33	.28	.26	.25	.17	.17	.10	
$D_{max} = 1.2 H_c$														
f_m .50 .60 .70														

H_c : altura techo-plano de trabajo

Tabla 5.30 Factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.16	.11	.08	.15	.10	.07	.13	.09	.06	.08	.06	.03	
	0.8	.22	.16	.12	.20	.15	.11	.17	.13	.10	.10	.08	.04	
	1.0	.27	.21	.17	.25	.19	.15	.20	.16	.13	.12	.10	.05	
	1.25	.32	.26	.21	.29	.24	.19	.23	.19	.16	.15	.12	.06	
	1.5	.37	.30	.26	.33	.28	.23	.26	.22	.19	.16	.14	.07	
	2.0	.43	.37	.32	.39	.34	.29	.30	.26	.23	.19	.16	.08	
	2.5	.48	.42	.36	.43	.38	.34	.33	.29	.26	.21	.19	.09	
	3.0	.51	.46	.39	.46	.41	.38	.35	.32	.29	.22	.21	.09	
	4.0	.56	.51	.43	.49	.46	.43	.38	.35	.33	.25	.24	.10	
	5.0	.58	.55	.51	.52	.49	.46	.39	.37	.35	.26	.25	.10	
$D_{max} = 1.2 H_c$														
f_m .50 .60 .70														

H_c : altura techo-plano de trabajo

5.3 Ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

Las fuentes renovables de energía alcanzan una gran difusión debido a sus ventajas en cuanto al ahorro de combustibles fósiles y a la no contaminación del medio ambiente, pero estas fuentes (fotovoltaica, eólica, biomasa, hidráulica y otras) aún no satisfacen las necesidades energéticas de nuestro país, aunque han sido determinantes en la solución de muchos problemas energéticos (electrificación rural, abastecimiento de agua, etc.).

En la actualidad, las denominadas energías duras o convencionales (carbón, petróleo...) siguen representando nuestras fuentes principales de energía, tanto para el sector residencial como para él.

Por lo tanto, dado que no podemos prescindir estos tipos de portadores energéticos que representan costos millonarios a nuestra economía, es necesario reforzar las medidas de ahorro y el uso racional de dichos potenciales energéticos, de forma tal que en alguna medida se compensen los gastos que de su utilización se derivan.

El ahorro de cualquier forma de energía y su uso racional inevitablemente presupone la aplicación y control de un programa confeccionado para ese fin, pero dicho programa no se elabora de forma empírica, sino a partir de métodos o procedimientos técnicamente fundamentados, es decir, que debe estar sustentado por los diagnósticos energéticos que permiten identificar en cada lugar que se apliquen (industria, centro de servicio, escuela...) la eficiencia y la responsabilidad con que es utilizada la energía, de cualquier tipo (eléctrica, térmica...). Para este propósito se aporta un conjunto de elementos que permiten realizar y evaluar el diagnóstico energético.

Para comprender la importancia del diagnóstico como paso previo al programa de ahorro, y los tipos de diagnósticos, según sus objetivos y profundidad, el diagnóstico energético se conceptualiza como la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, con el objetivo de establecer el punto de partida para la implementación y control de un programa de ahorro de energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada ésta, además de especificar cuánta es desperdiciada.

Los objetivos del diagnóstico energético son establecer metas de ahorro de energía, diseñar y aplicar un sistema integral para dicho ahorro de energía, evaluar técnica y económicamente las medidas de conservación y ahorro de energía, y disminuir el consumo de energía sin afectar los niveles de producción.

Para determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía se requieren realizar diversas actividades: medir los distintos flujos eléctricos; registrar las condiciones de operación de equipos, instalaciones y procesos; efectuar balances de materia y energía; calcular los índices energéticos o de productividad, los energéticos reales, y actualizar los de diseño; determinar los potenciales de ahorro y darle seguimiento al programa mediante la aplicación de listas de verificación de oportunidades de conservación de ahorro de energía.

TIPOS DE DIAGNÓSTICOS

Para facilitar el uso del diagnóstico energético se ha concebido una clasificación por grados.

DIAGNÓSTICO DE PRIMER GRADO: Mediante los diagnósticos energéticos de primer grado se detectan medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales. Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación; así como el análisis de la información estadística de consumos y gastos por concepto de energía eléctrica y combustibles.

Al realizar estos diagnósticos se deben considerar los detalles detectados visualmente y que se consideren como desperdicios de energía, tales como falta de aislamiento o purgas (salideros); así mismo, se deben detectar y cuantificar los costos y posibles ahorros producto de la administración de la demanda de energía eléctrica y de la corrección del factor de potencia. Cabe recalcar que en este tipo de estudio no se pretende efectuar un análisis exhaustivo del uso de la energía, sino precisar medidas de aplicación inmediata.

DIAGNÓSTICO DE SEGUNDO GRADO: Comprende la evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos intensivos en su uso, como los motores eléctricos y los equipos que estos accionan, como los de compresión y bombeo, los que integran el área de servicios auxiliares, entre otros. Este tipo de diagnóstico requiere de un análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos, lo que incluye la información sobre volúmenes manejados o procesados y los consumos específicos de energía. La información obtenida directamente en la operación se compara con la de diseño, para obtener las variaciones de eficiencia.

El primer paso es detectar las desviaciones entre las condiciones de operación con las del diseño, para así jerarquizar el orden de análisis de cada equipo o proceso. El paso siguiente es conocer el flujo de energía, servicio o producto perdido por el equipo en estudio. Los balances de materia y energía, los planos unifilares actualizados, así como la disposición de los índices energéticos reales y de diseño complementan el diagnóstico, ya que permiten establecer claramente la distribución de la energía en las instalaciones, las pérdidas y desperdicios globales, y así determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía. Finalmente, se deben evaluar, desde el punto de vista económico, las medidas que se recomienden llevar a cabo, tomando en consideración que éstas se deben pagar con los ahorros que se alcancen y que en ningún momento deben poner en riesgo la liquidez de la empresa.

DIAGNÓSTICO DE TERCER GRADO: Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación, mediante el uso de equipos especializados de medición y control. Debe realizarse con la participación de especialistas de cada área, auxiliados por el personal de ingeniería. En estos diagnósticos es común el uso de técnicas de simulación de procesos, con la finalidad de estudiar diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos. Además, facilitan la evaluación de los efectos de cambios de condiciones de operación y de modificaciones del consumo específico de energía, por lo que se requiere información completa de los flujos de materiales, combustibles, energía eléctrica, así como de las variables de presión, temperatura y las propiedades de las diferentes sustancias o corrientes.

Las recomendaciones derivadas de estos diagnósticos generalmente son de aplicación a mediano plazo e implican modificaciones a los equipos y procesos, e incluso de las tecnologías utilizadas. Debido a que las inversiones de estos diagnósticos son altas, la evaluación económica debe ser rigurosa en cuanto al período de recuperación de la inversión.

ASPECTOS A DIAGNOSTICAR

OPERATIVOS: Inventario de equipos consumidores de energía, de equipos generadores de energía, detección y evaluación de fugas y desperdicios, análisis del tipo y frecuencia del mantenimiento, inventario de instrumentación y posibilidades de sustitución de equipos.

ECONÓMICOS: Precios actuales y posibles cambios de los precios de los energéticos, costos energéticos y su impacto en los costos totales, estimación económica de desperdicios, consumos específicos de energía, elasticidad producto del consumo de energía, evaluación económica de las medidas de ahorro, relación beneficio-costos de las medidas para eliminar desperdicios y precio de la energía eléctrica comprada (\$/kWh).

ENERGÉTICOS: Formas y fuentes de energía utilizadas, posibilidades de sustitución de energéticos, volúmenes consumidos, estructura del consumo, balance en materia y energía, diagramas unifilares y posibilidades de autogeneración y cogeneración.

POLÍTICOS: Tarifas eléctricas, política de precios de los energéticos, política de comercialización de energéticos, programa nacional de energéticos y legislación en materia de autogeneración y cogeneración.

REQUERIMIENTOS

INFORMACIÓN OPERATIVA: Manuales de operación de los equipos consumidores y generadores de energía, y reportes periódicos de mantenimiento.

INFORMACIÓN ENERGÉTICA: Balances de materia y energía, series de consumo histórico de energía, información sobre fuentes alternas de energía y planos unifilares actualizados.

INFORMACIÓN ECONÓMICA: Series estadísticas de productos, ventas y costos de producción.

INFORMACIÓN POLÍTICA: Catálogos de precios de productos elaborados, tarifas eléctricas, normalización del consumo de electricidad, relación reservas-producción de hidrocarburos y disposición de fuentes energéticas no provenientes de hidrocarburos.

INSTRUMENTOS PARA LAS MEDICIONES DE CAMPO: Algunos de los instrumentos portátiles requeridos para la realización de diagnósticos energéticos de segundo y tercer grado, son: medidores de velocidad de flujo en tuberías y equipo, radiómetros ópticos, pirómetros digitales, kilowathorímetros, factoripotenciómetros, analizadores de redes, medidores de velocidad de aire, termómetros, luxómetros y tacómetros.

ÁREAS DE APLICACIÓN:

Área industrial: calderas de hornos, motores y bombas, sistemas eléctricos, turbinas, compresores y sistemas de refrigeración.

Área de oficinas: iluminación, acondicionamiento ambiental y aparatos eléctricos.

Vehículos automotores: operación y mantenimiento.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS MEDIDAS: Relación beneficio-costos: costos involucrados en las medidas aplicadas y balance económico de los ahorros logrados. Métodos de evaluación económica: período de recuperación, rentabilidad media, valor presente, tasa interna de rentabilidad y análisis de sensibilidad.

VALORACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL

Los beneficios económicos derivados de la aplicación de un diagnóstico efectivo y objetivo, y del grupo de medidas planteadas en el presente trabajo dependerán, de manera directa, de la responsabilidad técnico-administrativa del seguimiento y control de su aplicación en los centros industriales o de servicios donde se desarrollen.

En cuanto al aspecto social el trabajo pretende, a partir de los conocimientos que de su análisis y aplicación se deriven, continuar profundizando en el desarrollo de la conciencia energética de los funcionarios y trabajadores en general, en el uso de los diferentes portadores energéticos.

Fuentes de Información

1. Norma Oficial Mexicana Relativa a las Instalaciones Eléctricas NOM-001-SEDE-2012, disponible en línea <http://www.economia-noms.gob.mx>.
2. Reglamento de instalaciones eléctricas SECOFI. Editorial Andrade, S. A., 1989.
3. Gilberto Enríquez Harper. Elementos de diseño de instalaciones eléctricas industriales. Segunda Edición. Editorial Limusa. México. 2003.
4. Gilberto Enríquez Harper. Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas. Editorial Limusa. México. 2004
5. Manual de Conductores Eléctricos de CONDUMEX. Editorial Mc Graw Hill o en su dirección electrónica http://www.condumex.com.mx/nr/rdonlyres/84dlc638-b590-4cab-b850a7b67766784d/0/alambresycablesvinanelxxmrthwls_thhwls90c600v.pdf
6. Knowlton Archer. Manual del Ingeniero Electricista. Octava Edición. Editorial Labor. Barcelona. 1967
7. Fisher, Howard. Especialidades Eléctricas. Editorial Diana.
8. Phelps-Dodge. Manual Eléctrico de Conductores.
9. Manual de alumbrado de Westinghouse. Editorial Dossat.
10. Folley. Fundamentos de Instalaciones Eléctricas. Editorial Mc Graw Hill.
11. Catálogos de iluminación Construlita. www.construlita.com
12. Catálogos de iluminación Holophane. www.holophane.com.mx
13. Catálogos de iluminación Osram. www.osram.com.mx, Phillips. www.luz.phillips.com.mx
14. Catálogo SQUARE'D No. 22, equipos de distribución eléctrica. www.squared.com.mx.
15. Catálogo PROLEC. Subestaciones. <http://www.prlec.com.mx>
16. Catálogo de fusibles. <http://dinatecnica.co.ar/fusibles/aplicaciones.htm>
17. IEEE Std 242-2001(Revision of IEEE Std 242-1986), Protective and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Buff Book, 1986.
18. Horowitz, Stanley H., Power Systems Relaying, second edition, Edit., Research Studies LTD and Jonh Wiley & Sons Inc., 1996, pp 319.
19. IEEE Std C37.91-2000, "Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers".
20. IEEE Std C37.96-2000, "IEEE Guide for AC Motor Protection".
21. Norma CFE BMT- DP.
22. IEEE std. 80-2000 Guide For Safety In Ac Substation Grounding.