

Leyes y conceptos técnicos básicos, para lograr instalaciones eléctricas seguras

Ing. Alberto. N. Pérez

Ex-gerente Técnico de Cambre y Atma

Colaborador: Ing. Gustavo Capo, gerente de APSE

Gráficas: Hugo Torres





materiales eléctricos s.a.

Av. Asamblea 470 (C1424COR), CABA.

Tel.: 5281-5610 / 4922-9569/77 | Fax: 5281-5607

Lunes a viernes de 7 a 18hs. Sábados de 8 a 13hs.

ventas@matelectricos.com | www.matelectricos.com

Soluciones en Materiales Eléctricos e Iluminación

Muchos Venden Materiales Eléctricos...

Nosotros Somos Materiales Eléctricos...

LEYES Y CONCEPTOS TÉCNICOS BÁSICOS PARA LOGRAR INSTALACIONES ELÉCTRICAS SEGURAS

Ing. Alberto. N. Pérez,

Ex-gerente técnico de Cambre y Atma

Colaborador: Ing. Gustavo Capo, gerente de APSE

Gráficos: Hugo Torres

2015

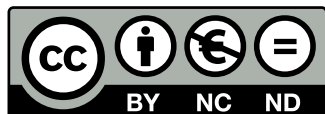
Autor: Ing. Alberto Pérez
Colaborador: Ing. Gustavo Capo
Gráficos y dibujos: Hugo Torres

Diseño: Editores S.R.L.
Av. La Plata 1080, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

ACYEDE
Gascón 62, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
contactoacyede@gmail.com | www.acyede.com.ar

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723.

Este libro se publica en el sitio web de Editores SRL, www.editores.com.ar



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Sin-Derivar 4.0 Internacional.

PRÓLOGO

Por ingeniero Alberto Woycik, de ACYEDE

Más que presentar un trabajo de edición técnica, para que se sume a los tantos ubicados en el mercado técnico educativo, el Ing. Alberto Pérez vierte en sus páginas lo aprendido durante su vida profesional práctica, aconsejando lo necesario para alcanzar y comunicar la seguridad en el uso y aprovechamiento de la energía eléctrica.

Debió aplicar su formación tecnológica forjada en instituciones educativas para cubrir las necesidades de variadas actividades empresarias pero su visión personal pudo ganar y se destacaron sus aportes para aquello de "... Lograr instalaciones seguras".

Sus apuntes, aunque simples y llanos, enseñan mencionando y distinguiendo, con ejemplos acompañados por valores numéricos, tendiendo al logro de objetivos, sin olvidar la calidad que debe tener todo material eléctrico, y al mismo tiempo llamar la atención sobre cada uso necesario de la energía eléctrica.

Quiero destacar que si bien los foros educativos están dirigidos por docentes de experiencia profesional, tratando de nuevos desarrollos programáticos de estudio y conocimiento, no siempre se puede contar con presencias gerenciales y/o directivos interesados en proponer ideas provenientes de la actividad industrial, para ubicarlas en programas de estudio, laboratorios y actividades operativas para impulsar el progreso de las tecnologías industriales en la técnica actual. Bien podría, en situaciones como estas, ubicarse el Ing. Alberto Pérez.

Para nosotros, camaristas eléctricos de larga historia, el Ing. Alberto Pérez queda invitado para proseguir y llevar más lejos aún el trabajo inicial que termina de presentar.

Este texto está dedicado a los instaladores eléctricos que no pudieron terminar la escuela técnica.

INTRODUCCIÓN

La electrotecnia nos permite, a través de sus leyes y conceptos, explicarnos el funcionamiento de:

- » Dispositivos
- » Aparatos
- » Máquinas

Es decir, sistemas y accesorios eléctricos que se utilizan a diario en nuestros hogares-industrias-oficinas y lugares de esparcimiento etc.

Estas leyes y conceptos serán, para quienes ya están en la especialidad con experiencia, una herramienta de ayuda para la interpretación y solución de problemas que se presentan en la práctica diaria.

En cuanto a los que se inician en la especialidad, les permitirán conocer para qué y por qué se utilizan, por ejemplo, un interruptor termomagnético o un interruptor diferencial, o cómo se calcula y protege una instalación eléctrica o un tablero eléctrico, o qué es la potencia aparente, la potencia activa, la potencia reactiva y el factor de potencia en corriente alterna, o los grados de protección IP de una envoltura, etc.

Capítulo 1

LEYES DE OHM, KIRCHHOFF Y JOULE

Breves conocimientos de matemática

Explicaremos brevemente algunos conocimientos necesarios de matemática que nos servirán para usar las leyes de Ohm y de Kirchhoff, entre otras.

¿Qué es una igualdad en matemáticas?

Daremos un ejemplo:

1ª igualdad $2 = 8/4$

donde

"2" es el primer miembro de la igualdad, "8/4" es el segundo miembro, "8" es el numerador de la división y "4" es el denominador.

» 2ª igualdad $4 = 8/2$

» 3ª igualdad $2 \cdot 4 = 8$

Nota: "•" es el símbolo que significa multiplicar

En una igualdad, el número que está en un miembro multiplicando pasa al otro miembro dividiendo, y viceversa.

En la segunda igualdad hemos pasado, de la primera igualdad, el número 2 del primer miembro al segundo, y el número 4 del segundo miembro al primero, y la igualdad se mantuvo.

En la tercera igualdad hemos pasado, de la primera igualdad, el número 4 del segundo miembro que está dividiendo al primer miembro como multiplicando, y la igualdad se mantuvo.

Esto nos dice que en matemática se pueden hacer estos pasajes de términos de un miembro al otro de la igualdad, y la igualdad no cambia

Este conocimiento matemático nos permite resolver distintos problemas en donde se conocen algunos términos y se desconoce uno. A modo de ejemplo del uso de la igualdad matemática en términos eléctricos, usaremos la ley de Ohm.

$$(1) \quad I = U/R$$

$$(2) \quad R = U/I$$

$$(3) \quad I \cdot R = U$$

- » En el caso (1), conocemos U y R y podemos obtener el valor de I (corriente).
- » En el caso (2), conocemos U e I, y podemos obtener el valor de R (resistencia).
- » En el caso (3), conocemos I y R y podemos obtener el valor de U (caída de tensión).

Otro caso de igualdad se da en la ley de las corrientes o ley de Kirchhoff, en la cual la corriente que entra a un nudo es igual a la suma de las corrientes que salen de él, o sea:

$$(4) \quad I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

Si hacemos:

$$I_1 = 40 \text{ A} \gg I_2 = 10 \text{ A} \gg I_3 = 20 \text{ A} \gg I_4 = 10 \text{ A}$$

Entonces:

$$40 = 10 + 20 + 10 \quad \gg \text{igualdad}$$

El problema se presenta si, por ejemplo, conocemos las corrientes I_1 , I_2 e I_3 y no conocemos I_4 .

En la igualdad (4) debemos dejar sola a I_4 para hallar su valor en base a I_1 , I_2 e I_3 que son valores que conocemos. Para ello, y como en una igualdad un número que está sumando en un miembro pasa al otro restando, I_2 e I_3 pasan al primer miembro de la igualdad con valores negativos y nos queda:

$$I_1 - I_2 - I_3 = I_4$$

y reemplazando los valores nos da: $40 - 10 - 20 = I_4$, que es 10 A, como habíamos dicho.

Antes de ir al capítulo 2 que trata de la ley de Ohm, es necesario conocer qué es el átomo

¿Qué es el átomo?

El átomo es la parte más pequeña de la materia y está formado por electrones, protones y neutrones dispuestos como muestran las figuras 1 y 1bis.

En la naturaleza existen muchos elementos tales como hidrógeno (H), oxígeno (O), hierro (Fe), aluminio (Al), etc. en los que cada uno tiene alrededor del núcleo, formado por protones y neutrones, distintas órbitas electrónicas que se superponen hasta un máximo de siete, y cada una tiene un número determinado de electrones.

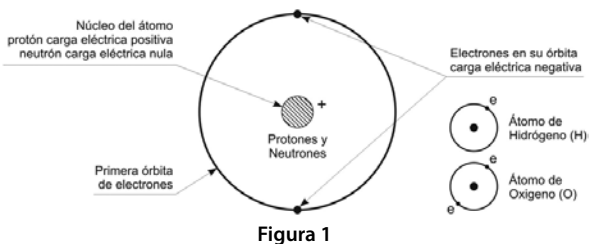


Figura 1

La primera capa se completa con dos electrones, la segunda con un número máximo de ocho, y las sucesivas pueden tener aún mayores cantidades de electrones. Ningún átomo existente tiene la séptima capa de electrones completa.

Es el electrón la carga eléctrica más pequeña conocida, y cuyo movimiento da origen a lo que conocemos como electricidad

Los electrones más externos son los que determinan el comportamiento para unirse con otros átomos de otros materiales y formar las moléculas, por ejemplo, la molécula de agua, H_2O : el átomo de hidrógeno tiene un solo electrón en su órbita y el átomo de oxígeno tiene dos, y se unen para formar la molécula (figura 1 bis).

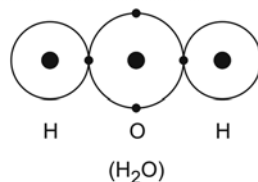


Figura 1 bis.

Molécula de agua, H_2O

Ley de Ohm

La ley de Ohm fue desarrollada por Georg Simon Ohm (Erlangen, 16 de marzo de 1789-Múnich, 6 de julio de 1854). Georg Simon Ohm fue un físico y matemático alemán que aportó a la teoría de la electricidad la ley de Ohm, conocido principalmente por su investigación sobre las corrientes eléctricas. Estudió la relación que existe entre la intensidad de una corriente eléctrica, su fuerza electromotriz y la resistencia, formulando en 1827 la ley que lleva su nombre que establece que $I = V/R$. También se interesó por la acústica, la polarización de las pilas y las interferencias luminosas. La unidad de resistencia eléctrica, el ohm (Ω), recibe este nombre en su honor. Terminó ocupando el puesto de conservador del gabinete de física de la Academia de Ciencias de Baviera.



La ley de Ohm relaciona tres parámetros esenciales: la corriente eléctrica [I] con la caída de tensión o diferencia de potencial eléctrico [U] con la resistencia eléctrica [R].

Su fórmula matemática es la siguiente

$$I = U / R$$

Definamos qué significa cada término.

Diferencia de potencial eléctrico (U)

Cuando hablamos de qué es la diferencia de potencial eléctrico, tenemos que preguntarnos primero ¿qué es un potencial eléctrico? Y aquí llegamos al átomo en donde existe la carga eléctrica conocida más pequeña, que es el electrón, y que por convención es negativa. El electrón gira alrededor del centro del átomo, donde está la carga eléctrica positiva (protón) que es igual a la carga del electrón (ver figura 1). Si tomamos dos esferas metálicas y colocamos en una cargas eléctricas positivas y en la otra cargas iguales pero negativas, se produce a través de la separación entre ambas un campo eléctrico (ver figura 2).

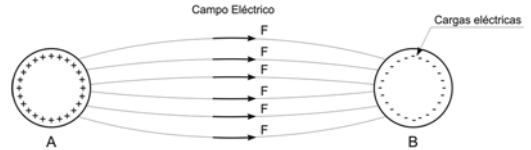


Figura 2

Y decimos que cada esfera tiene un potencial eléctrico y entre ellas existe una diferencia de potencial. Existen la diferencia de potencial continuo y alterno (figura 3).

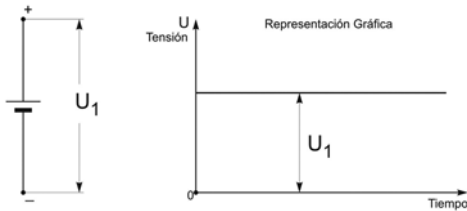
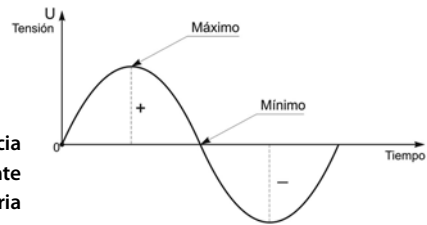


Figura 3.

A la izquierda, ejemplo de una diferencia de potencial constante o continuo: batería

A la derecha, ejemplo de una diferencia de potencial alterno: en un tomacorriente de una instalación domiciliaria



Esa diferencia de potencial va a dar origen a la corriente eléctrica a través de un conductor y su unidad de medida es el volt (V).

CASO BÁSICO DE APLICACIÓN PRÁCTICA (CBAP)

Tiene su equivalente hidráulico en la energía potencial que existe en un tanque de agua a una altura H sobre el final de la canilla y que es capaz de generar un caudal de agua a través de la cañería (figura 4).

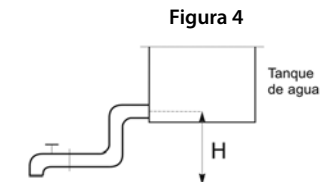


Figura 4

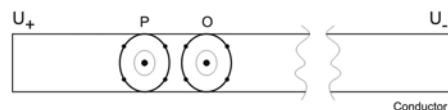
La corriente eléctrica (I)

La corriente eléctrica es, por definición, la cantidad de carga eléctrica (electrones) que circula por un conductor en un segundo.

Su fórmula matemática es:

$$I [A] = Q/t$$

donde "Q" es la carga eléctrica que se desplaza del átomo, "P" hacia el O en un segundo y su unidad de medida es el amper (A) (figura 5).



CASO BÁSICO DE APLICACIÓN PRÁCTICA (CBAP)

En el ejemplo hidráulico equivale a la cantidad de agua que circula por la cañería en un segundo.

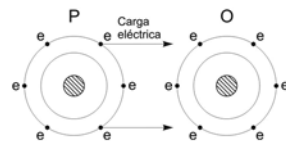


Figura 5

La resistencia eléctrica (R)

La resistencia eléctrica es la que se opone al paso de la corriente en un conductor a lo largo del cual hay una diferencia de potencial eléctrico aplicado. El valor de la resistencia depende del material que constituye el conductor, de su sección en milímetros cuadrados, de su longitud en metros y de su temperatura, y su unidad de medida es el ohm.

$$R (ohm) = \text{resistividad del material} \cdot \text{longitud/sección}$$

Si el material es cobre, la resistividad es 0,0178 ohm • Ω/mt (a 20 °C). Hay materiales como la niquelina, manganina o nicrom (ver tabla) que tienen valores mucho mayores y que se utilizan especialmente para hacer resistencias calefactoras.

Tabla de resistividad de materiales

Material	Cobre	Aluminio	Níquel	Hierro	Plata	Nicrom*	Niquelina*	Manganina*
Ω x mm ² m	0,0178	0,0256	0,1232	0,0906	0,0146	1,107	0,400	0,429

* Materiales muy resistentes

CBAP: En el ejemplo hidráulico, es la resistencia que ofrece el caño a través de su longitud y sección al paso del caudal de agua.

Volviendo a la ley de Ohm aplicada a circuitos de corriente continua, vemos que la corriente que circula por una resistencia es directamente proporcional a la U e inversamente proporcional a la resistencia, esto ¿qué significa?

Ejemplo 1: si en un circuito aumentó la U al doble, a igual R, la I aumenta al doble.

Ejemplo 2: si aumentó la R al doble, a igual tensión la I disminuye a la mitad.

Ejemplo numérico de 1:

$$I_1 = 220/50 = 4,4 \text{ A}$$

$$I = 2 \cdot (220/50) = 8,8 \text{ A}$$

Conclusión: es el doble de I_1

Ejemplo numérico de 2:

$$I_1 = 220/50 = 4,4 \text{ A}$$

$$I_2 = 220 / (2 \cdot 50) = 2,2 \text{ A}$$

Conclusión: I_2 es la mitad de I_1

Unidades eléctricas

De tensión:

- » Unidad igual al volt (V)
- » Múltiplo igual al kilovolt (kV), igual a 1000 V
- » Submúltiplo igual al milivolt (mV), igual a 0,001 V

De corriente:

- » Unidad igual al ampere (A)
- » Múltiplo igual al kiloampere (kA), igual a 1000 A
- » Submúltiplo igual al miliampere (mA), igual a 0,001 A

De resistencia:

- » Unidad igual al ohm [Ω]
- » Múltiplo igual al kiloohm (k Ω), igual a 1000 ohms
- » Múltiplo igual al megaohm (m Ω), igual a 1000.000 ohms

Ejemplos

- » Valor de tensión domiciliar igual a 220 V
 - » Valor de tensión industrial igual a 380 V
 - » Valor de corriente de un interruptor termomagnético igual a 10, 16 o 25A
 - » Valor de resistencia de descarga de un capacitor igual a 100 Ω
-

Leyes de Kirchhoff

El responsable de las Leyes de Kirchhoff es Gustav Robert Kirchhoff (Königsberg, 12 de marzo de 1824-Berlín, 17 de octubre de 1887). Gustav Robert Kirchhoff fue un físico prusiano cuyas principales contribuciones científicas estuvieron en el campo de los circuitos eléctricos, la teoría de placas, la óptica, la espectroscopia y la emisión de radiación de cuerpo negro.

Inventó el espectroscopio y, junto con Robert Bunsen, descubrió el rubidio y el cesio por métodos espectrales. Identificó la raya D del espectro solar como la producida por sodio vaporizado. Descubrió las leyes generales que rigen el comportamiento de un circuito eléctrico. Se dedicó al estudio de la termodinámica y realizó investigaciones sobre la conducción del calor. Estudió los espectros del Sol, de las estrellas y de las nebulosas, confeccionando un atlas del espacio, y demostró la relación existente entre la emisión y la absorción de la luz por los cuerpos incandescentes.



Gustav Robert Kirchhoff

Kirchhoff propuso el nombre de “radiación de cuerpo negro” en 1862. Es responsable de dos conjuntos de leyes fundamentales para la teoría clásica de circuitos eléctricos y en la emisión térmica. Aunque ambas se denominan leyes de Kirchhoff, probablemente esta denominación es más común en el caso de las leyes de Kirchhoff de la ingeniería eléctrica.

Las Leyes de Kirchhoff permiten conocer en un circuito eléctrico qué corrientes y qué tensiones hay en cualquier punto.

1ª: ley de la corriente eléctrica

En un circuito se presenta un punto o unión adonde llega una corriente eléctrica y de donde se derivan dos o más corrientes eléctricas (figura 6).

Esta ley dice que la corriente que llega (I_1) siempre es igual a la suma de las corrientes que salen ($I_2 + I_3 + I_4$). Esto es así porque, en el caso contrario, se acumularían cargas eléctricas indefinidamente (principio de conservación de la energía).

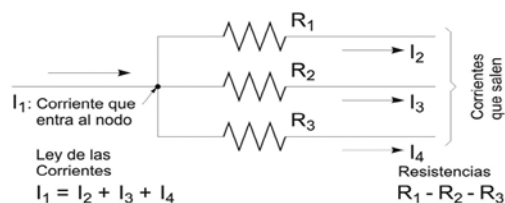


Figura 6

2ª: ley de las caídas de tensión

En todo circuito cerrado (malla), en que hay una fuente de tensión (V_4) que origina caídas de tensión en las resistencias que constituyen el circuito (figura 7), si al punto “d” lo ponemos al potencial de tierra (0), el punto “a” eleva su potencial hasta V_4 y luego cae en “b” por efecto de la resistencia R_1 y sigue cayendo del punto “b” al “c” por la

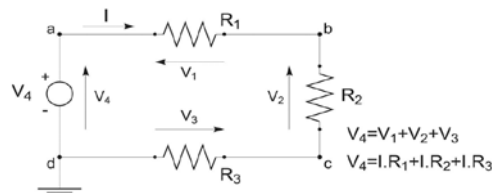


Figura 7

resistencia R_2 , haciendo que finalmente caiga por R_3 al valor de 0 en el punto “d”. En otras palabras, en una malla cerrada, la suma de las caídas de tensión es igual a las fuentes de tensión que originan dichas caídas.

Ley de Joule

La Ley de Joule fue desarrollada por James Prescott Joule (Salford, Mánchester, 24 de diciembre de 1818-Salford, 11 de octubre de 1889). James Prescott Joule fue un físico inglés, uno de los más notables físicos de su época, conocido sobre todo por sus investigaciones en electricidad, termodinámica y energía. Estudió el magnetismo, y descubrió su relación con el trabajo mecánico, lo cual lo condujo a la teoría de la energía. La unidad internacional de energía, calor y trabajo, el joule (o julio), fue bautizada en su honor. Trabajó con Lord Kelvin para desarrollar la escala absoluta de la temperatura, hizo observaciones sobre la teoría termodinámica (efecto Joule-Thomson) y encontró una relación entre la corriente eléctrica que atraviesa una resistencia y el calor disipado, llamada actualmente “ley de Joule”.



James Prescott Joule

Esta ley se refiere a que la corriente eléctrica al circular por un conductor produce en él un calor que da origen a un aumento de su temperatura. Esto se explica porque los electrones al desplazarse por el conductor desde un átomo a otro impulsados por la fuerza del campo eléctrico que se origina por la diferencia de potencial eléctrico, se rozan con los núcleos de los átomos que encuentran y producen calentamiento, que es pérdida de energía. Detengámonos en este nuevo concepto para entender por qué.

CBAP

1) Una línea de transmisión de energía se realiza a altos voltajes (500.000 V).

2) En la *Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas* de la AEA (AEA 90364) se fija las corrientes que admiten las secciones de los conductores, según las condiciones de disipación de calor del espacio que los rodea (canalización, temperatura ambiente, tipo de aislación del conductor y número de circuitos).

CBAP

Para transmitir muy altas potencias se necesitan en la fuente de generación tensión y corrientes muy elevadas, y si lo hiciéramos con corrientes muy altas, la sección de conductor también lo sería y la línea sería muy cara, por ello usamos 500.000 V y corrientes bajas, para que la pérdida de energía y el costo de la línea sean menores.

CBAP 2

Los conductores de una instalación eléctrica están recubiertos de un aislamiento que resiste sin deteriorarse una temperatura de trabajo continuo máxima, y así se garantiza la instalación en buen funcionamiento durante 25 o 30 años.

CBAP 3

Esta energía, que en los ejemplos anteriores es una pérdida, se convierte en útil cuando la usamos en un calefactor eléctrico o plancha en el hogar.

CBAP 4

Esta energía en forma de calor se utiliza en un interruptor termomagnético para que este corte la corriente (en un tiempo mayor a una hora), cuando la sobrecarga del valor nominal es de un 45%. Ello se produce por la deformación de un bimetálico debido a la temperatura que se origina por dicha corriente circulando por él.

¿Qué es la potencia eléctrica?

Al hablar de qué es la potencia eléctrica debemos decir que es todo trabajo eléctrico realizado en un tiempo. También podemos decir que el trabajo realizado es una energía, que en nuestro caso es calor provocado por una corriente eléctrica circulando por una resistencia (ejemplo del calefactor). (Figura 8). La potencia eléctrica en corriente continua es por definición el producto de la tensión por la corriente ($U \cdot I$).

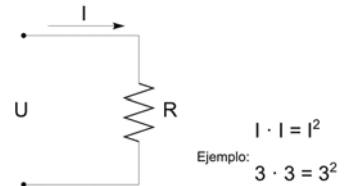


Figura 8

Unidades de potencia eléctrica

- » Unidad igual al watt (W)
- » Múltiplo igual al kilowatt (kW), igual a 1000 W
- » Múltiplo igual al megawatt (mW), igual a 1000.000 W

Ejemplo de potencia

- » Plancha igual a 1000 W
- » Calefactor igual a 2000 W

Esta es la potencia eléctrica que la fuente de la tensión le entrega a la resistencia y, como $\text{Potencia} = \text{Trabajo/Tiempo}$, luego $U \cdot I = \text{Trabajo/Tiempo}$.

Y como podemos pasar el tiempo del segundo miembro de la igualdad al primero multiplicando, queda

$$(1) \quad U \cdot I \cdot \text{tiempo} = \text{Trabajo} = \text{Energía} = \text{Calor}$$

Y como por la ley de Ohm,

$$(2) \quad U = I \cdot R$$

Nos queda, reemplazando [2] en [1], la igualdad que nos permite expresar el calor en base a la corriente, la resistencia y el tiempo.

$I \cdot I \cdot R \cdot \text{Tiempo} = \text{Energía en forma de calor}$

expresado en unidades: kilowatt • hora es la unidad de energía que consumimos en nuestros hogares.

Más adelante veremos cómo las fuentes de potencias (en alterna) entregan lo que se llaman “potencia activa”, “potencia aparente” y “potencia reactiva”.

Capítulo 2

LEYES DE MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

Ley de Ampere

Esta ley se refiere a la creación de un campo magnético producido por una corriente eléctrica que circula por un conductor (ver figura 9).

- » Si la corriente es continua, el campo magnético es continuo.
- » Si la corriente es alterna, el campo magnético es alterno.

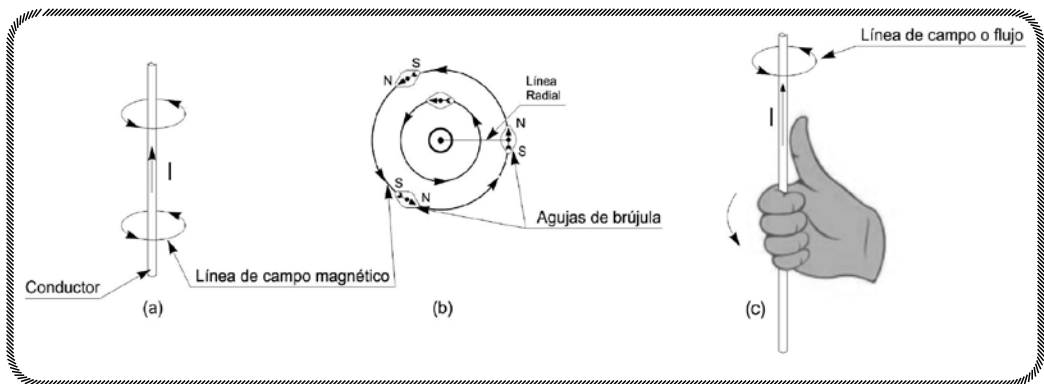


Figura 9. Ley de Ampere. Campo magnético producido por la corriente eléctrica continua.

Referencias: (a) Campo magnético alrededor de un alambre que transporta corriente. (b) Sección transversal perpendicular al conductor. La corriente fluye saliendo de la página. (c) Regla de la mano derecha que relaciona la dirección y el sentido del campo o la línea de flujo (dedos) con la dirección y el sentido de la corriente I (pulgar)

Si se explora este campo por medio de una aguja magnética, se encuentra que la aguja se orienta siempre perpendicularmente al radio trazado desde el eje del alambre. Si se desplaza la aguja en la dirección y el sentido señalado por su extremo norte, se encuentra que las líneas del campo magnético forman lazos circulares en torno al alambre conductor.

Se toma como sentido del campo magnético al indicado por el extremo norte de la aguja, como se indica en el punto (b) de la figura 9. Las relaciones que existen entre el sentido del campo magnético y el sentido de la corriente en el conductor son fáciles de recordar gracias a la regla de la mano derecha o regla del tirabuzón.

Ley de Hopkinson

Esta ley se refiere a un circuito magnético y tiene semejanza con la ley de Ohm para circuitos eléctricos. Dice que la intensidad del campo magnético (H) que se produce en el interior de una bobina (toroide) arrollada sobre un núcleo y recorrida por corriente (como muestra la figura 10) es directamente proporcional a los ampervueltas (NI) de si misma e inversamente proporcional a la reluctancia del circuito magnético.

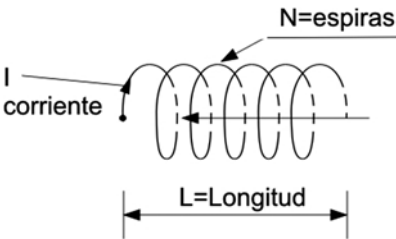


Figura 10. Reluctancia = Longitud (L) / μ*
sección toroide μ*: permeabilidad del aire o del núcleo magnético interno a la bobina.

$$H \text{ (Intensidad del campo magnético)} = \frac{NI}{Rm} \rightarrow \begin{matrix} \text{(Fuerza magneto motriz)} \\ \text{(Reluctancia magnético)} \end{matrix}$$

$$\text{Ley de Ohm} = \frac{U}{R} \rightarrow \begin{matrix} \text{(Diferencial de potencial)} \\ \text{(Resistencia eléctrica)} \end{matrix}$$

$$Rm \text{ (Reluctancia magnética)} = \frac{\text{Longitud de la línea magnética}}{\text{Permeabilidad del aire} \cdot \text{Sección núcleo}} = \frac{L \text{ (cm)}}{M_0 \cdot S \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$R \text{ (Resistencia eléctrica)} = \frac{\rho \text{ (Resistividad del material)}}{M \text{ (cm}^2\text{)} \cdot \text{conductor } S \text{ (mm}^2\text{)}} = \frac{L \text{ (longitud) } mt}{M \text{ (cm}^2\text{)} \cdot \text{conductor } S \text{ (mm}^2\text{)}}$$

Tabla de permeabilidades relativas

Material	M _r
Aire	1
Cobalto	250
Niquel	600
Acero dulce	2.000
*Hierro silicio	7.000
**Permalloy	100.000

M_r: Permeabilidad del material respecto al aire | * Usado en transformadores, motores, generadores | ** Usado en núcleos y relés de interruptor diferencial, transformadores de intensidad y especiales

Estos valores nos indican que cuando usamos como núcleos materiales como el hierro silicio, la reluctancia disminuye 7000 veces respecto a la del aire, y ello significa que con las mismas ampervueltas (NI) se consigue 7000 veces más líneas de campo magnético.

En la figura 11, la reluctancia (resistencia) a que se produzcan las líneas del campo magnético está dada, en este caso, por la suma de la reluctancia del hierro más la del aire, es decir, están en serie. Más adelante veremos qué valor tienen una y otra y cómo influye la resistencia o reluctancia del aire en la reluctancia total.

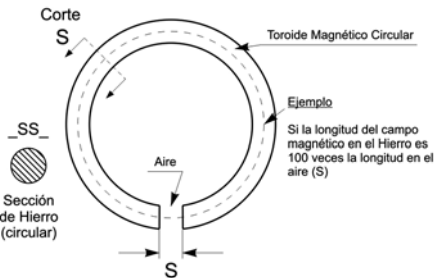


Figura 11

$$R_{\text{total}} = R_{\text{hierro}} \textcircled{1} + R_{\text{aire}} \textcircled{2} = \frac{\text{long} \cdot \text{Fe}}{M_{\text{Fe}} \cdot S_{\text{Fe}}} = \frac{\text{long} \cdot \text{Aire}}{M_0 \cdot S_{\text{aire}}}$$

donde

“long · Fe” es la longitud de la línea magnética en el hierro (100 · S), “S” es la longitud de la línea magnética en el aire, M_{Fe} es la permeabilidad del hierro, relativo al aire (7000) y M_0 es la permeabilidad del aire (1).

$$\textcircled{1} \quad R_{\text{hierro}} = \frac{100 \cdot S}{7.000 \cdot \text{Sección toroide}} = \frac{S}{70 \cdot \text{Sección toroide}}$$

$$\textcircled{2} \quad R_{\text{aire}} = \frac{S}{1 \cdot \text{Sección toroide}}$$

Comparando ① con ②, apreciamos que: ① reluctancia en el hierro es setenta veces menor que ② reluctancia en el aire. Dicho de otra manera, la reluctancia o resistencia al campo magnético en el aire es 70 veces mayor que en el hierro.

CBAP

En los circuitos eléctricos para alimentar lámparas de: mercurio o mercurio halogenado o sodio o fluorescente usamos balastos para lograr el encendido y la potencia de las lámparas exigidas por su fabricante y, la caída de tensión en los balastos se obtiene por una bobina arrollada sobre un núcleo magnético en el cual hay, tal como se dijo anteriormente, líneas del campo magnético que tienen que atravesar una parte de aire.

CBAP

La construcción del núcleo de un relé diferencial es una demostración de esta ley.

Relé diferencial: el núcleo se hace con una precisión de fabricación tal, de forma de lograr una fuerza de retención de la armadura móvil de aproximadamente 200 gramos, el aire o entrehierro de esta armadura con el núcleo principal es de solo un micrón, o sea la milésima parte de un milímetro.

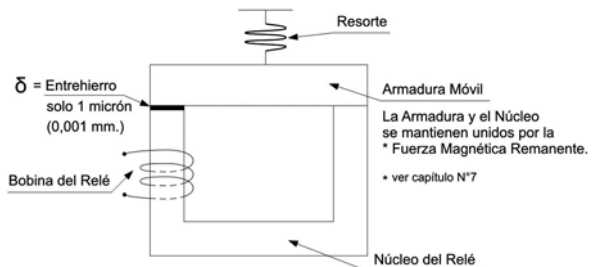


Figura 12

El campo magnético en los materiales ferromagnéticos

Para producir campos magnéticos se utilizan conductores arrollados en forma de hélice, a lo que se llama bobina o solenoide. Supongamos como en la figura 13 que la bobina tiene N espiras o vueltas y que circula por ella una corriente I . La bobina tiene una longitud L .

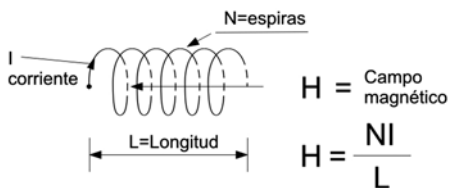


Figura 13

Estas ampervueltas (NI) crean dentro de la bobina un campo magnético (líneas de fuerza magnéticas) que se cierran en sí mismas y será mayor cuando más ampervueltas hay y menor es el largo de la bobina (L).

$$H = NI/L$$

donde H es la intensidad del campo magnético y se mide en oersted (Oe).

¿Qué es una inductancia?

Es una bobina con N espiras recorrida por corriente y que almacena energía en su campo magnético. Si todas las líneas de campo magnético envuelven a la bobina N veces, a estas líneas se la llama "flujo magnético" atravesando la sección del núcleo donde se arrolla la bobina. A la relación entre el flujo magnético y la corriente que lo produce se la llama la "inductancia de la bobina" (figura 14) y se la mide en la unidad henry.

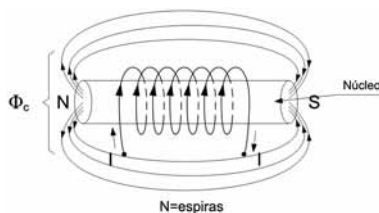


Figura 14

$$L \text{ (inductancia)} = \frac{\Phi_c}{R} \quad \begin{array}{l} \text{(Flujo magnético concatenado)} \\ \text{(Unidad de corriente)} \end{array}$$

Esta inductancia (L) se refiere a una bobina solamente y se opone al establecimiento de la corriente alterna en una bobina y a su campo magnético.

¿Qué es el flujo magnético concatenado con las espiras de una bobina?

Es todas las líneas de fuerza magnéticas que atraviesan la sección del núcleo, donde se arrolla la bobina y que se concatenan o enlazan con ella. Este flujo magnético está en el aire del núcleo de la bobina y su unidad de medida es el maxwell.

Si colocamos dentro de la bobina un núcleo de hierro, la cantidad de líneas o campo magnético se incrementan fuertemente debido a la permeabilidad magnética relativa, que es una característica sobresaliente de algunos materiales, tales como el hierro silicio y el Permalloy. Esto ocurre porque hay materiales llamados ferromagnéticos que en sus átomos producen, por efecto del giro del electrón alrededor del núcleo, una corriente eléctrica que, como dijimos en la ley de Ampere, produce un campo magnético perpendicular al plano donde se mueve el electrón. Estos imanes elementales están en un núcleo de hierro orientados al azar (figura 15).

El campo magnético producido por los NI de la bobina tiende a orientar los imanes elementales en la dirección del eje de la bobina, y a medida que crecen los NI crecerá el campo magnético hasta un valor donde no hay más imanes para orientar y se dice que el núcleo está saturado (figura 16).

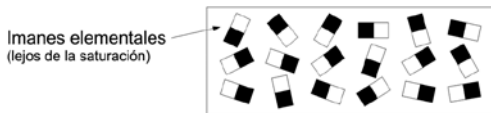


Figura 15

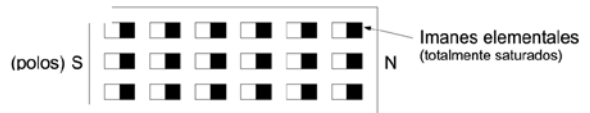


Figura 16

Se comprueba que si luego de llegar a la saturación se disminuyeran los NI (proceso de desmagnetización), la curva es distinta, y al hacerse 0 los NI (ampervuelta), nos queda un valor de "magnetismo remanente" que se usa por ejemplo en el relé diferencial en donde la armadura móvil está retenida por ese magnetismo al núcleo principal (figuras 17 y 18).

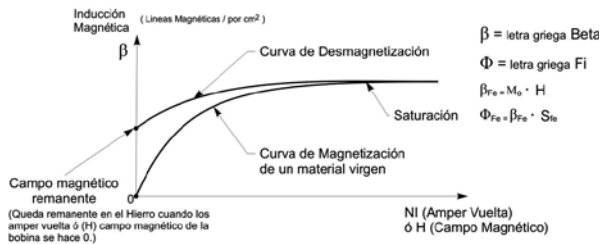


Figura 17

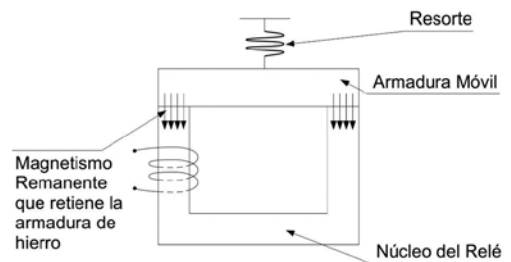


Figura 18

La inducción magnética es la cantidad de líneas magnéticas que atraviesa una superficie y su unidad es el Gauss.

CBAP

En un interruptor termomagnético hay una bobina de pocas espiras arrolladas sobre un núcleo ferromagnético, recorrida por la corriente principal I_n ; cuando ocurre un cortocircuito en la instalación eléctrica, el campo magnético originado por el aumento a 5, 10 o 20 veces de la I_n produce por atracción magnética la apertura del dispositivo.

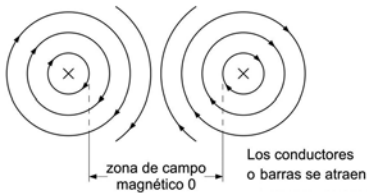
Ley de Biot y Savart

Esta ley se refiere a las acciones que se producen entre dos campos magnéticos producidos por conductores rectilíneos recorridos por distintas corrientes.

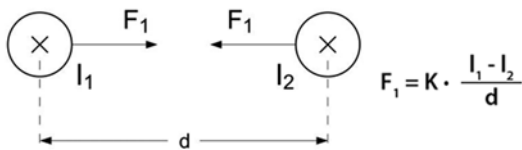
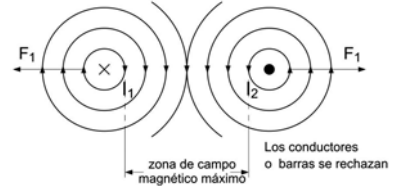
CBAP

Suponemos que los conductores son perpendiculares al papel y que el sentido de la corriente en ambos es entrante al papel (figura 19), lo cual se indica por una cruz (si la corriente fuera saliente, lo indicamos con un punto).

Ejemplo de los campos magnéticos de dos conductores con igual sentido de corriente



Ejemplo de los campos magnéticos de dos conductores con igual distintos sentidos de corriente (caso b)



Esta fuerza de atracción F_1 depende del producto de las corrientes I_1 e I_2 y es inversamente proporcional a la distancia d entre conductores o ramas.

Cuando I_1 e I_2 aumentan, la fuerza es mayor, y si la distancia entre los conductores o barras disminuye, la fuerza F_1 también aumenta.

Figura 19.

Entre ambos conductores recorridos por corrientes de igual sentido en la zona central, el campo magnético se debilita, y ello da origen a una fuerza mecánica que hace que los conductores se atraigan. Aquí comenzamos a hablar de fuerzas electromagnéticas que son “el principio de las máquinas eléctricas”.

Si, en cambio, el sentido de las corrientes es distinto (en uno entra y en el otro sale), se produce una concentración de líneas de campo entre los conductores y ello crea una fuerza mecánica que tiende a separarlos. Estas fuerzas pueden ser muy elevadas en el caso de un cortocircuito en la entrada de tableros de fábrica, donde la impedancia es muy baja. Estas fuerzas solicitan mecánica- y térmicamente a las barras del tablero al igual que a transformadores de potencia, de medición. etc.

CBAP

Supongamos un tablero de entrada con barras de cobre de 10 x 35 mm y separadas por 40 mm entre sí. Si la lcc es de 10.000 A, la fuerza que se producirá entre las barras será de:

$$F \text{ (kg)} = \frac{2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{d \cdot 10^8}$$

donde:

"L" es el largo de la barra de cobre (en metros), "d" es la separación entre barras (en metros), "I₁" es la corriente en amperes, "I₂" es la corriente en amperes, "10⁸" es 100.000.000 (ocho ceros) y "d" es 40 milímetros.

$$F \text{ (kg)} = \frac{2 \cdot 10.000 \text{ A} \cdot 10.000 \text{ A} \cdot 2 \text{ m}}{0,040 \text{ m} \cdot 10^8} = \frac{2 \cdot 2}{0,040} = 100 \text{ kg}$$

Valor suficiente para provocar destrozos y daños en el cuerpo del electricista, si no está bien protegido.

CBAP

Estas fuerzas que se producen por interacción de dos campos magnéticos, hacen que en un motor de corriente continua o universal, el campo del estator reaccione con el campo del rotor y generen fuerzas mecánicas que producen la cupla motora que da origen al giro del motor.

Leyes de Faraday

Se han estudiado las propiedades fundamentales de los campos eléctricos y magnéticos, estáticos o constantes ambos. Ahora se estudiarán los campos que varían en el tiempo y se introducen las leyes de inducción de Faraday, que dicen:

- » Una fuerza electromotriz (FEM) se induce en un circuito cerrado debido a una variación del valor del flujo magnético concatenado con él.
- » Una fuerza electromotriz (FEM) se induce en un conductor que se mueve en un campo magnético con una velocidad (v) perpendicular a él.

1ª ley de Faraday

Si todo conductor de corriente produce un campo magnético (ley de Ampere), la inversa también es posible. Es decir, el campo magnético puede producir una corriente en un circuito cerrado pero con la condición de que este flujo magnético, concatenado con el circuito, varíe con el tiempo. Consideremos la espira de alambre cerrada de la figura 20, atravesada por un campo magnético B, normal al plano de la espira.

Si B disminuye, se comprueba que por la espira circula una corriente I, con el sentido indicado. Se dice que esa corriente es inducida por la variación del campo magnético. Es importante decir que:

- A.** Cuando el campo magnético disminuye en su valor, la corriente que se induce en la espira tiene un sentido tal que produce

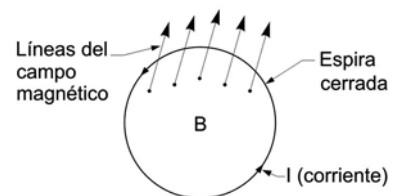


Figura 20

un campo magnético que tiende a reforzar el campo cuya variación decreciente le dio origen.

- B.** Cuando el campo magnético aumenta en su valor, la corriente que se induce en la espira tiende a debilitar el campo cuya variación creciente le dio origen. Luego, el sentido de la corriente inducida es siempre el que produce un campo magnético que se opone a la variación del campo que le da origen (ley de Lenz) (figura 21).

Figura 21: Caso A.
B disminuye. La FEM inducida y la corriente inducida en la espira aumentan el campo principal con el campo secundario creado.

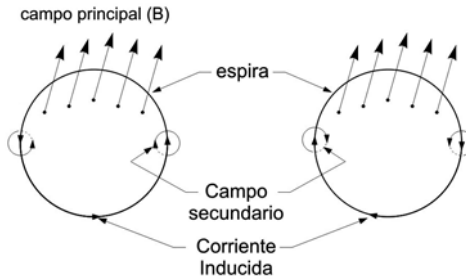


Figura 22: Caso B.
B aumenta. La FEM inducida y la corriente inducida en la espira debilitan el campo principal con el campo secundario creado.

Nota: tanto en la ley de Biot y Savart como en la de Lenz como en el principio del funcionamiento del motor trifásico o universal o de corriente continua, se manifiestan reacciones electromagnéticas y mecánicas que se producen por deformación de los campos magnéticos estables y que dan origen al restablecimiento de esa estabilidad de la energía.

Precisando la ley de Faraday: la fuerza electromotriz inducida en un circuito cerrado es igual a la velocidad de cambio del campo magnético que concatena el circuito.

E(FEM) inducida

$$E \text{ (FEM)} = \Delta\Phi / \Delta t$$

“Δ” es la variación, “ΔΦ” es la variación del flujo magnético y “Δt” es la variación del tiempo.

Esto vale para una espira, si son N espiras con las cuales está concatenado el campo magnético, la FEM inducida será N veces mayor:

$$E \text{ (FEM)} = N \cdot \Delta\Phi / \Delta t$$

E (FEM) se mide en volt

Representaremos gráficamente una corriente alterna y el campo magnético que ella produce en la figura 23.

La corriente varía con el tiempo y, como produce un campo magnético, este varía con el tiempo, igual que la corriente; se dice que ambos están en fase (figura 24).

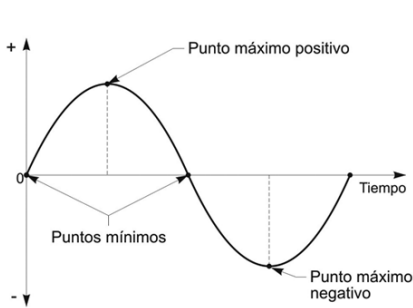


Figura 23

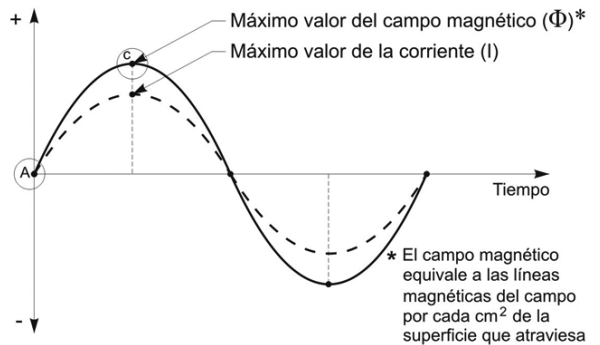


Figura 24

Esto significa que si la corriente pasa por cero, también lo hace el campo y si aquella pasa por el máximo, también lo hace el campo magnético. Aprovechando esto gráficos y en base a la ley de Faraday, veremos como se representa la FEM inducida y la variación del flujo o campo magnético que le da origen. Vemos que en la zona A la variación del flujo magnético respecto del tiempo es máxima, por ello la FEM inducida será máxima para ese punto (ver figura 25), punto P, en cambio en la zona C, la variación del flujo magnético respecto del tiempo es mínima, por ello la FEM inducida será cero, punto R.

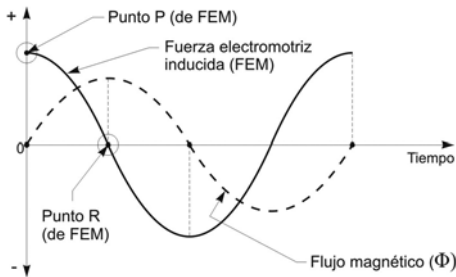


Figura 25

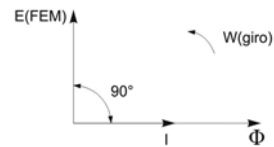


Figura 26

Conclusión

La FEM inducida es máxima cuando el flujo magnético es cero, esto se representa como que la FEM se adelanta en el tiempo $1/4$ del ciclo de la corriente alterna, y ello equivale a 90° (ver figura 26).

CBAP 7

Esto es lo que ocurre en un transformador de tensión en donde un arrollamiento primario recorrido por

corriente alterna produce un campo magnético alterno, y este concatena a otro arrollamiento secundario, que está bobinado sobre él, induciendo en él una FEM cuyo valor depende de la relación de las N_s a las N_p . Si $N_s/N_p = 2$, la FEM secundaria es el doble de la primaria. Si N_s/N_p es la mitad, la FEM secundaria será la mitad de la primaria. Esto se expresa por la igualdad:

$$\text{FEM}_{\text{secundaria}} = \text{FEM}_{\text{primaria}} \cdot N_s/N_p$$

donde:

“ N_s ” es el número de espiras secundarias y “ N_p ” es el número de espiras primarias.

2ª ley de Faraday

Si hay un campo que no varía con el tiempo, y en cambio se mueve perpendicular a él un conductor con una velocidad (V), en este conductor se crea una FEM inducida al cortar las líneas de fuerza, y ella depende de:

$$\text{FEM}_{\text{inducida}} = V \cdot B \cdot L$$

donde:

“ V ” es la velocidad del conductor, “ B ” son las líneas del campo magnético por cada centímetro cuadrado y “ L ” es la longitud del conductor (figura 27).

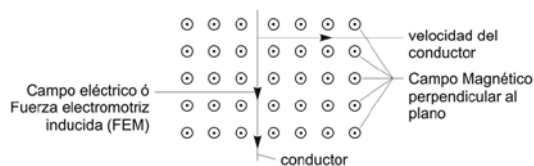


Figura 27

CBAP

Un ejemplo de esta ley lo vemos en un generador donde de la pieza rotante (rotor) que tiene un bobinado; al ser impulsada mecánicamente, corta las líneas del campo magnético constante del estator y se induce una FEM en las espiras del bobinado (figura 28).

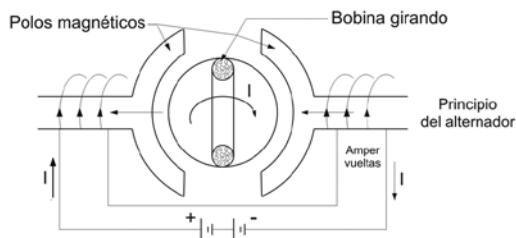


Figura 28

Le y de Foucault o de inducción de corrientes parásitas

Lo que hemos dicho para la ley de Faraday, que ante un campo magnético variable dentro de una espira o una bobina se induce una FEM (y corriente si la espira es cerrada), se aplica a otros circuitos eléctricos que se forman por CBAP. En los núcleos magnéticos de los transformadores, motores o generadores utilizados para aumentar el flujo por su elevada permeabilidad (7000) para el hierro silicio en relación al aire y lograr así, mejores rendimientos y potencia por unidad de volumen (figura 29). Ello se manifiesta también en las barras

de cobre de secciones grandes de transformadores de potencia (figura 30).

Todos los núcleos magnéticos se hacen laminados con chapas de hierro silicio 0,5 a 0,7 milímetros de espesor y aisladas eléctricamente entre sí por una capa de barniz aislante, para evitar las corrientes parásitas en los núcleos que producen pérdidas y calentamiento. En el reglamento de la AEA (CBAP) se dice explícitamente que en un mismo caño de hierro deben ir los conductores vivo-neutro y PE de un mismo circuito y no individualmente. También que en una bandeja portacable no deben tenderse los conductores unipolares de un circuito y sí, en cambio, los V-N-PE o los RSTN de cada circuito. Esto se debe a que la suma resultante de la corriente de todos los conductores de un circuito monofásico o trifásico es cero, y por ello no puede producir flujo magnético ni corrientes parásitas.

Si por razones especiales un conductor unipolar debe atravesar una división metálica entre dos locales, esta debe cortarse radialmente en varios sectores para evitar la producción y el calentamiento de dichas corrientes en la chapa (ver figura 31).

Otro CBAP se da en los motores eléctricos asíncronos de barras profundas en las cuales, en el momento de arranque, la corriente inducida en la parte más profunda de la barra crea un campo magnético que expulsa la corriente hacia la parte superior de la barra, como si el rotor ofreciera más resistencia eléctrica, y ello hace aumentar la cupla de arranque (figura 32).

En la figura 33 se muestra el caso de los motores de doble jaula de ardilla con un efecto semejante al de barras profundas.

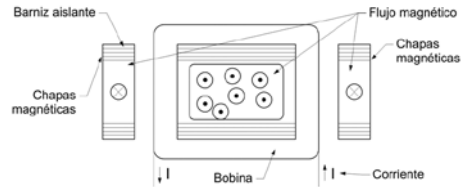


Figura 29

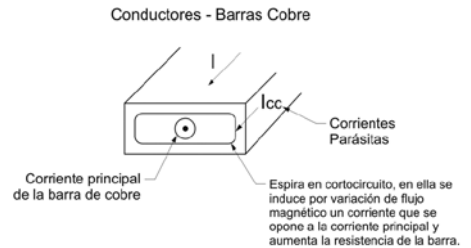


Figura 30

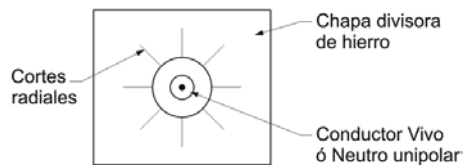


Figura 31

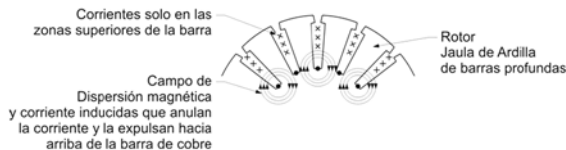


Figura 32



Figura 33

Ley de Montsinger, conocida como la ley de los 8 o 10 °C

Ella dice que si a un aislante eléctrico orgánico, del que se espera una expectativa de vida de 25 a 30 años, se le exige una temperatura superior a la que le corresponde por su clase de aislación (norma IRAM

N 2180), de 8 a 10 °C en forma permanente, su vida útil se reduce a la mitad.

La temperatura máxima permitida para un conductor de una instalación eléctrica con aislación de PVC es 70 °C permanentes; si la aislación es con polietileno reticulado, la temperatura permitida es de 90 °C. De aquí la importancia de la protección de los conductores de una instalación eléctrica, con interruptores termomagnéticos; y de los motores eléctricos, con guardamotores (con corte por sobrecargas de corrientes en ambos casos) o sensores térmicos colocados sobre los bobinados.

Capítulo 3

CLASES DE POTENCIAS EN CORRIENTE ALTERNA

Potencia alterna: activa, reactiva, aparente y factor de potencia

Para poder interpretar estos conceptos debemos conocer primero algunas nociones de trigonometría como qué es un triángulo rectángulo. La figura 34 nos muestra que es una figura geométrica, con tres lados y tres ángulos, uno de estos es de 90° , y se llama seno de φ por definición. A la división del cateto opuesto sobre hipotenusa (b/c) se llama coseno de φ a la división del cateto adyacente por la hipotenusa (a/c).

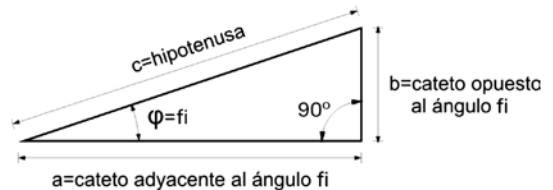
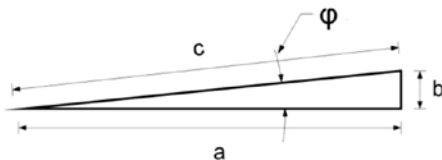


Figura 34

" φ " es una letra del alfabeto griego llamada Fi.

Explicaremos qué valor tiene el seno de φ cuando φ es cero y cuando es 90° (figura 34a).



Triángulo para φ próximo a 0°

Para $\varphi = 0^\circ$

$\text{Sen } \varphi = b/c = 0/c = 0$

$\text{Sen } \varphi = 0$ para $\varphi = 0^\circ$



Triángulo para φ próximo a 90°

$\text{Sen } \varphi = b/c$; como (a) es 0 (cero), b es igual a (c) , y luego:

$\text{Sen } \varphi = b/c = c/c = 1$

$\text{Sen } \varphi = 1$ para $\varphi = 90^\circ$

Figura 34a

Y lo mismo haremos para el coseno de φ (ver figura 34b).

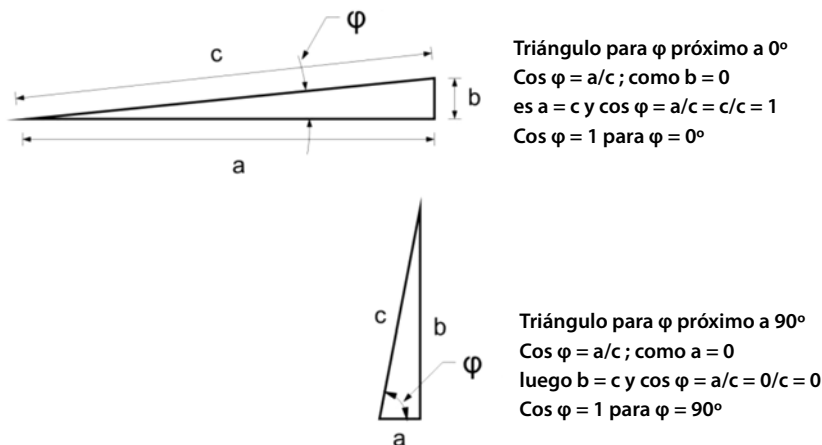


Figura 34b

Y lo mostraremos con triángulos que muestran los ángulos φ , en un caso muy próximo a 0 y en el otro caso muy próximo a 90° .

Otro concepto que nos ayuda a interpretar los circuitos en corriente alterna es que la tensión, la corriente y la potencia se pueden representar por medio de un vector.

¿Qué es un vector? Está representado por una línea recta (a) que indica su dirección, una flecha (b) que indica su sentido y un origen (0) cuya distancia hasta el final de la flecha indica el valor.

La figura 35 muestra como se lo representa y algunos ejemplos de representación de tensiones y corrientes y el ángulo φ que hay entre ellos. Si bien más adelante se explica el porqué, se adelanta a qué circuito representa cada uno:

- » Caso A: circuito inductivo y resistivo.
- » Caso B: circuito resistivo.
- » Caso C: circuito capacitivo puro.
- » Caso D: circuito inductivo puro.

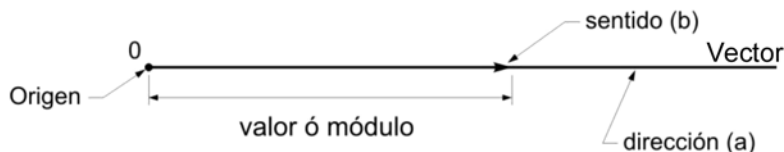
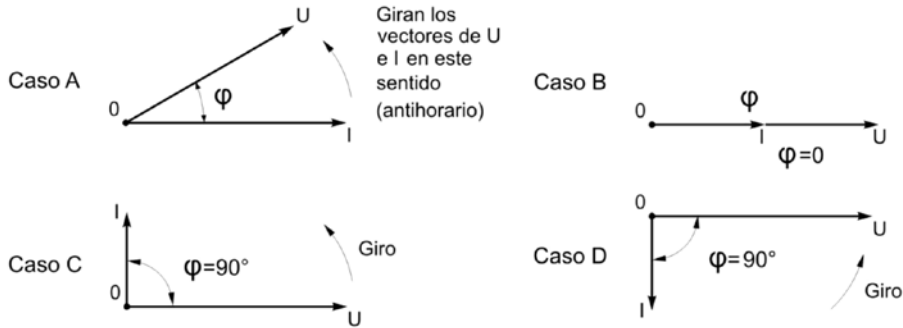


Figura 35 | Vector.

CBAP

La figura 36 muestra un circuito inductivo y resistivo, que es el caso de un circuito de iluminación con balasto y lámpara de descarga o tubo fluorescente.

En él se producen dos caídas de tensión, una en la resistencia R y la otra en la inductancia L; en este circuito elemental se puede entender que en corriente alterna las tensiones que caen en él no se suman como creemos ($2 + 2 = 4$) y que dicha suma da como resultado los 220 volts de línea. En la figura 37 se aprecia que el flujo magnético está en fase con la corriente que lo produce en una bobina, esto significa que si la onda de flujo pasa por cero, la de corriente también (punto A) o si pasa el flujo por un máximo, la corriente también (punto B).

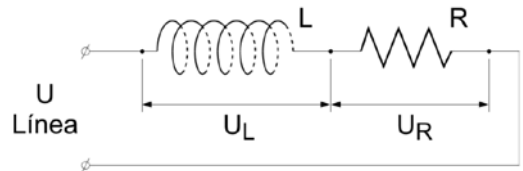


Figura 36

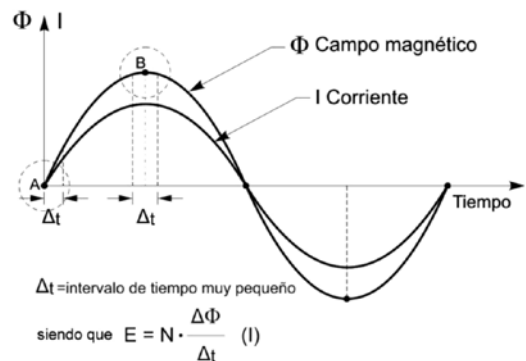


Figura 37

Analicemos qué pasa en los puntos A y B con la variación del campo magnético respecto del tiempo.

- » **CASO A:** en este punto, la variación del flujo en un pequeño intervalo de tiempo, es máxima; como consecuencia de la primera ley de Faraday, la fuerza electromotriz inducida (E) en la bobina será máxima.
- » **CASO B:** en este punto la variación del flujo, en un pequeño intervalo de tiempo, es cero (para una variación infinitésima de tiempo) y, por la misma ley antes citada, la fuerza electromotriz (E) inducida será 0.

Los puntos A y B están representados en las ondas de E de la figura 38.

Estas ondas indican que E es máxima cuando I es cero.

Están desfasadas en 90° y ello se representa por sus vectores como se ve en la figura 38. El vector E se adelanta a I en 90° en una inductancia, en cambio, la tensión en una resistencia está en fase con la corriente I (figura 36). La tensión de línea será la suma de la tensión que cae en la inductancia más la tensión que cae en la resistencia de R.

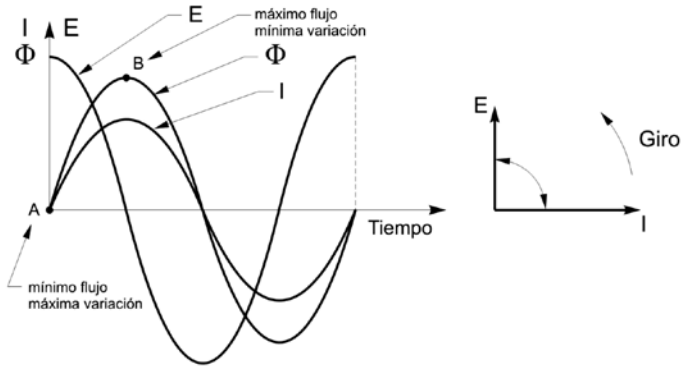


Figura 38

CBAP

Si medimos con un voltímetro las tres caídas de tensión (U_L , U_R y U línea), encontramos que si la U línea es de 220 V, la suma de las otras dos tensiones no nos da 220 V, sino un valor mayor; esto se explica porque cada tensión forma un lado de un triángulo rectángulo como hemos mencionado anteriormente.

En la figura 38 se ve el adelantamiento de la FEM (fuerza electromotriz) o caída de tensión en la inductancia L respecto de la corriente que la produce y su representación vectorial.

En la figura 39 se aclara se aclara la suma con vectores de las caídas de tensión. Una manera de reducir este ángulo ϕ es colocando un capacitor en los bornes de entrada de la línea.

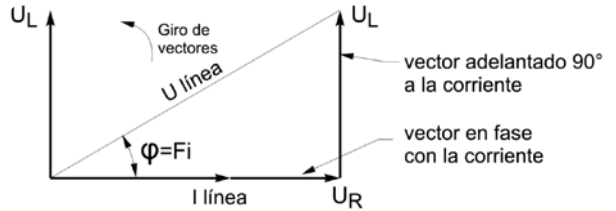
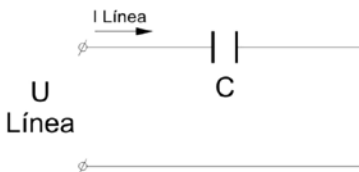


Figura 39

CBAP

Veamos el comportamiento de un capacitor colocado en los bornes de la línea, qué corriente produce y qué ángulo de desfase tiene respecto a la tensión de línea.



Corriente de carga del capacitor $I_c = \Delta Q / \Delta t$ ①

$$I_c = (\Delta C \cdot V) / \Delta t$$

y como C es una constante que depende del material del condensador entre placas, medidas y el espesor del aislante, podemos hacer que:

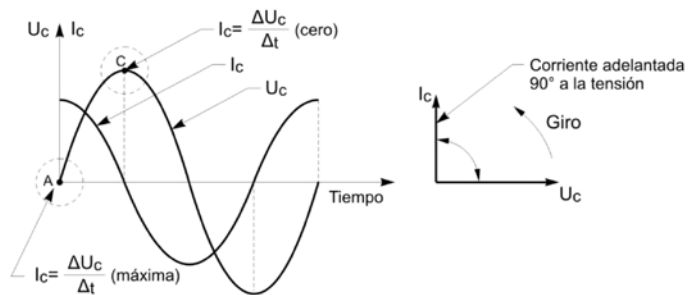
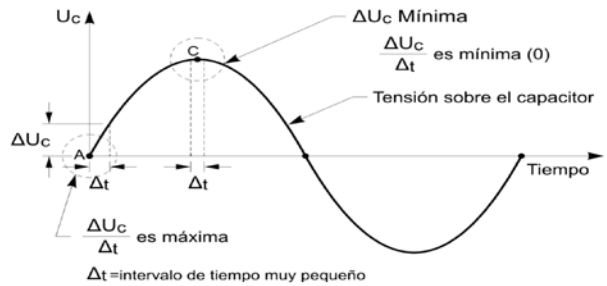
$$I_c = C \cdot (\Delta V / \Delta t) \text{ ③}$$

Figura 40

En la figura 40 se dice que la corriente de carga (I_c) del capacitor es igual a la cantidad de carga eléctrica (Q) que adquiere en la unidad de tiempo. La carga Q es también igual a la capacidad del condensador (constante) por la tensión que se le aplica V , o sea $Q = C \cdot V$.

La igualdad 3 nos dice que la corriente de carga del capacitor (I_c) es igual a su constante (C), multiplicado por la división de la variación de tensión (XU) con relación al tiempo (Xt), apreciando la variación de tensión del capacitor respecto del tiempo en el punto A y C.

De la figura 41 se aprecia que en el punto A de la onda de tensión, la variación de esta en el tiempo es máxima, luego allí la corriente de carga Q será máxima donde la tensión es mínima. En cambio, en el punto C la variación de tensión es mínima y, por consecuencia, allí la corriente también lo será donde la tensión de carga es máxima. Esto representado por vectores nos dice que la corriente I_c se adelanta 90° a la tensión que le da origen U_c , como se ve en la figura 41b.



Conclusión

La I_c (capacitiva) se adelanta a la U_c (tensión aplicada al capacitor en 90°).

En resumen: el comportamiento de un capacitor en relación a la corriente que consume de la U de línea, es "totalmente opuesto" al de una inductancia, por ello se lo utiliza para disminuir el ángulo F_i o Factor de Potencia y también la corriente consumida en los circuitos de corriente alterna.

Potencia activa, reactiva y aparente

Si hablamos de las potencias que se ponen en juego en dichos circuitos, nos tenemos que referir a la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente.

¿Qué es la potencia activa?

Es la potencia que consume una carga resistiva (ejemplos: plancha – una lámpara incandescente) y se mide en watts (W).

¿Qué es la potencia reactiva?

Es la potencia que crea el factor de potencia y que se consume en una carga inductiva o en una carga capacitiva, y se mide en voltamper reactivos (VAR).

¿Qué es la potencia aparente?

Es la potencia que se le pide al transformador de la subestación que alimenta la red de baja tensión de 220 V y que llega a la instalación del usuario en su tablero principal. Se mide en voltamper (VA) o kilovoltamper (kVA)

El triángulo de tensiones de la figura 39 se convierte en el de potencias si lo multiplicamos por la corriente de línea (ver figura 42).

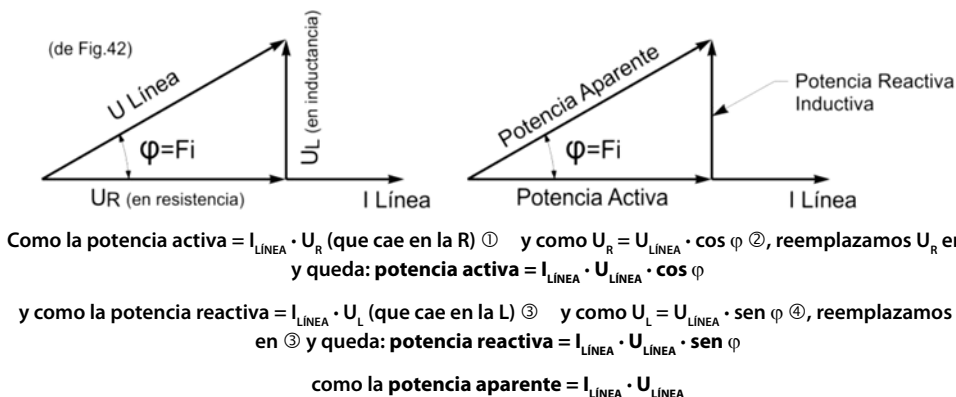


Figura 42

Los transformadores de potencias de las subestaciones (ejemplo, 1000 kVA-13.200 V/380-220 V) y los cables de las redes de alimentación en baja tensión se dimensionan para la potencia aparente. En consecuencia, la potencia reactiva hay que reducirla para que el factor de potencia (de los consumos o cargas) sea mayor a 0,85, es decir, un bajo valor del ángulo φ , para que la potencia aparente sea muy similar a la activa (exigencias de las distribuidoras de electricidad) y la

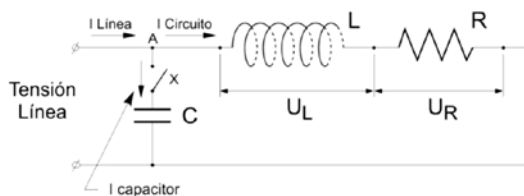
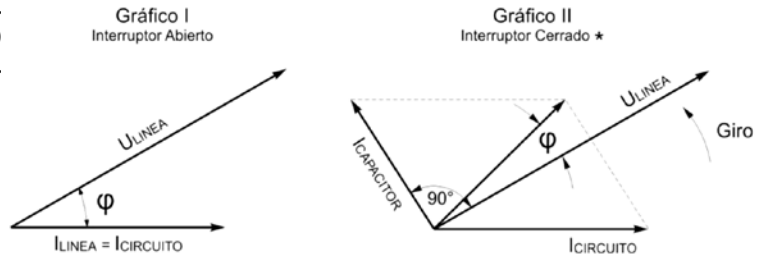


Figura 43

corriente de línea sea menor y así habrá menor caída de tensión en ella.

Un CBAP que se presenta frecuentemente es el de los circuitos de iluminación, en los cuales las lámparas o tubos de descarga se consideran como una resistencia y deben ser acompañadas por una inductancia (balasto) para lograr el máximo rendimiento luminoso. Esto se aprecia en la figura 43.

Figura 43.
Gráficos del factor de potencia ($\cos X$)
antes y luego de cerrar el interruptor X.



Se analiza el punto A del circuito en el cual se deriva una corriente (I_c) al capacitor C, y ella es la que al adelantarse a la tensión de línea en 90° , se suma (vectorialmente) a la corriente del circuito (I circuito) y da como resultado una corriente de línea (I) con un ángulo ϕ respecto a la tensión de línea mucho menor, que era el objetivo buscado. En este caso resultó que la corriente adelantó a la tensión, y ello significa que colocamos un capacitor en exceso a las exigencias de las distribuidoras. Esto no es deseable, ya que gastamos de más en los capacitores que compensan la carga inductiva, y puede ocurrir que esa corriente capacitiva, en el instante de conexión, cree transitorios de tensión en el bobinado de los balastos pudiendo quemarlos.

El triángulo de potencias de la figura 44 muestra como la potencia reactiva capacitiva se opone a la inductiva, y ello significa que el nuevo ángulo ϕ se reduce y se logra un factor de potencia o $\cos \phi$ mayor de 0,85 a través de la compensación de la potencia inductiva que tienen cargas tales como motores o circuitos de iluminación, etc.

Se nota, además en dicha figura que la potencia aparente antes de la “compensación” es reducida por esta, manteniéndose la potencia activa igual, y esto beneficia a los transformadores de las distribuidoras a los que se les exige menor potencia aparente (para lo cual se calcula).

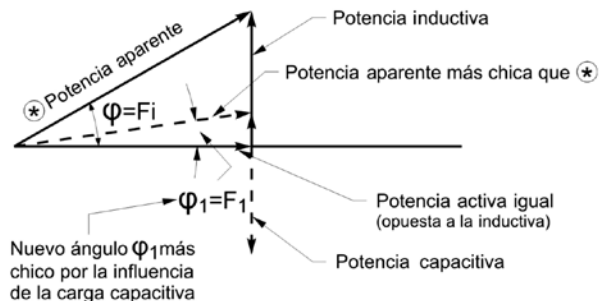


Figura 44

Capítulo 4

CLASES DE AISLANTES ELÉCTRICOS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Clases térmicas de los aislantes eléctricos

La norma IRAM 2180 o IEC 60085 identifica a los aislantes con una letra que indica a que temperatura máxima puede trabajar ese aislante en forma permanente.

Cuando hablamos de condiciones normales, no lo son, por ejemplo, las fatigas mecánicas, vibraciones, dilatación por diferencias de temperaturas, humedad, polvos, productos químicos, lo cual se da generalmente en ambientes industriales. El uso de gases químicos inertes o líquidos como medio de refrigeración puede aumentar la aptitud térmica de una aislación y evitar su deterioro. La ley de Montsinger estudiada anteriormente da el grado de importancia de la sobre temperatura de 8 a 10 °C, disminuye la vida del aislante a la mitad si este es orgánico. Las instalaciones eléctricas, los motores y los transformadores son aplicaciones comunes, donde debemos proteger a los aislantes de los conductores, cables y bobinados por medio de dispositivos como interruptores termomagnéticos, guardamotores o termocuplas y sensores aplicados a los bobinados con el fin de no superar su temperatura máxima de trabajo.

Debe recordarse que si un dispositivo, motor o transformador tiene aislantes de distinta clase térmica (ejemplos, carretes, aislaciones en el bobinado-alambre-barniz) como clase térmica del equipo se considera la del valor menor de los componentes.

Temperatura de trabajo (°C)*	Clase térmica
90	Y
105	A
120	B
130	E
155	F
180	H
200	200
220	220
250	250

*: Máxima temperatura a la carga y en condiciones normales.

Algunos dispositivos de maniobra y protección de instalaciones eléctricas

Interruptores termomagnéticos

Estos protegen a los conductores de una instalación eléctrica ante sobrecargas de corrientes de su valor nominal y también ante cortocircuitos.

Están clasificados por la norma IEC 60898 hasta corrientes de 125 A y corrientes de cortocircuito hasta 10.000 A y en instalaciones eléctricas utilizadas por personal no calificado o especialistas. El nombre nos dice qué accionan de dos formas: una térmica y otra magnética. La primera se explica por la ley de Joule (calentamiento y dilatación de un bimetálico por una sobrecarga de corriente) y la segunda se explica por la ley de Hopkinson, por la acción de una bobina de pocas espiras que rodea a un núcleo magnético y ante

un cortocircuito de cinco, diez o veinte veces la corriente nominal, abre el dispositivo. Con sobrecargas de 1,13 la I nominal el interruptor no abre en ningún momento. Con sobrecargas de 1,45 In abre antes de una hora (figura 44bis)

Puntos de actuación de un interruptor termomagnético IEC 60898

Tipo	Corriente de ensayo	Tiempo de conexión o de no conexión	Resultado
B, C, D	1,13 In	Tiempo ≥ 1 hora (para In ≤ 63 A) Tiempo > 2 hora (para In > 63 A)	No desconecta No desconecta
B, C, D	1,45 In	Tiempo < 1 hora (para In ≤ 63 A) Tiempo < 2 hora (para In > 63 A)	Desconecta Desconecta
B, C, D	2,55 In	1 seg < tiempo < 60 seg (para In ≤ 32 A) 1 seg < tiempo < 120 seg (para In ≤ 32 A)	Desconecta Desconecta
B C D	3 In 5 In 10 In	Tiempo ≥ 0,1 seg	No desconecta
B C D	5 In 10 In 20 In	Tiempo < 0,1 seg	Desconecta

En cambio hay tres tipos de clases por la parte magnética: B, C y D. La clase B acciona entre tres y cinco veces la I nominal. La clase C acciona entre cinco y diez veces a I nominal. La clase D acciona entre diez y veinte veces la I nominal.

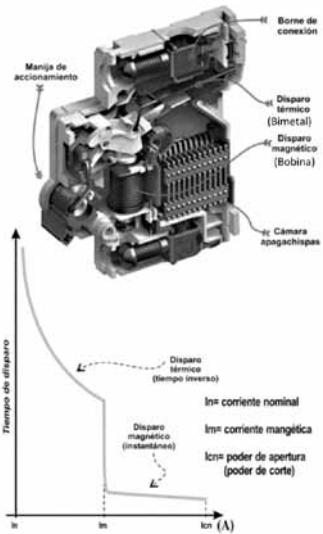


Figura 44bis

Notas: Primero, en las tres clases con dichos valores accionan de manera instantánea con 0,1 seg. Segundo, existen interruptores termomagnéticos especiales que para limitar los esfuerzos electrodinámicos que se producen en los cortocircuitos, cortan la corriente antes de que esta pase por su máximo valor en la onda de corriente alterna (menor a cinco milisegundos).

Clase B: se utiliza en instalaciones eléctricas muy largas (mayor a 80 m) donde se requiere que en caso de un cortocircuito, como las lcc son bajas (por la elevada impedancia de la línea), el clase C no abriría el circuito con 10 In máxima y sí el clase B (5 In máxima).

Clase C: se utiliza en la mayoría de instalaciones domiciliarias.

CBAP

Es una “mala práctica” que en instalaciones con motores, cuando estos al arrancar hacen saltar los interruptores termomagnéticos, se los reemplaza por unos de calibre mayor, dejando sin protección adecua-

da a los conductores. Lo correcto es colocar un tipo D con el calibre de corriente calculado, que corta con valores entre diez y veinte veces la corriente nominal (I_n).

Clase D: se utiliza en instalaciones donde hay muchos motores eléctricos (corrientes de arranque seis y siete veces la I nominal) y el tipo C podría abrir el circuito en el momento de arranque.

Guardamotores

Es el protector ideal para proteger motores eléctricos, no deben usarse interruptores termomagnéticos.

Los guardamotores tienen incorporadas las protecciones térmicas y magnéticas. La regulación de los guardamotores del 6 al 10% por encima de la I_n (nominal) del motor permite que los bobinados de los motores no se sobrecalienten ante bajas tensiones de líneas y, cuando se combinan con un contactor, pueden hacer miles de maniobras, inclusive a la distancia.

Interruptores diferenciales

Este es un dispositivo imprescindible para la protección de la vida de los adultos, niños, animales domésticos y bienes (en conjunto con una puesta a tierra de protección de toda la instalación) y que debe instalarse en todos los circuitos terminales (de consumo) de una instalación eléctrica. Hablaremos más de él en el capítulo de seguridad eléctrica.

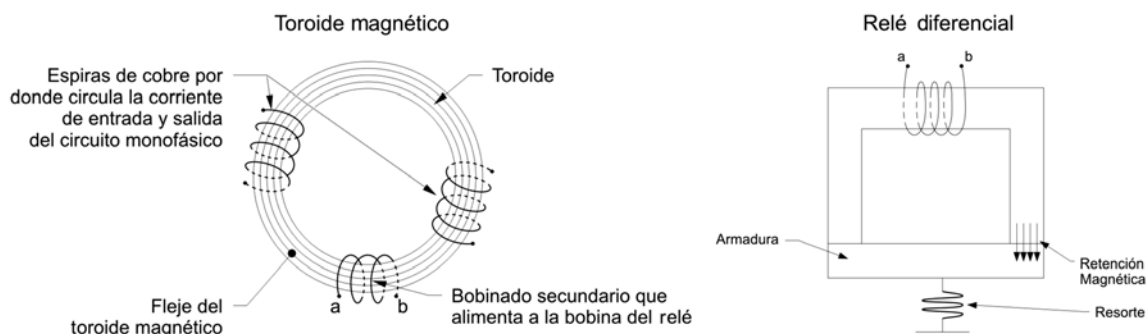


Figura 45. Toroide magnético y relé diferencial.

La figura 45 muestra las dos partes principales: el toroide magnético y el relé diferencial. ¿Cómo actúa el diferencial? Por diferencia entre las corrientes de entrada y salida del circuito; cuando su valor llega a la corriente nominal diferencial, el interruptor corta la corriente de línea. Como las espiras del toroide no son más de cinco o seis, con solo 0,030 A, se consigue crear un flujo magnético capaz de inducir en el bobinado secundario del toroide una FEM para accionar el relé. Esto se ha conseguido por el logro de chapas magnéticas Permalloy o similares con una permeabilidad del orden de 100.000 respecto del aire.

Recordar que las chapas de los motores y transformadores son solo del orden de 7000.

El relé del diferencial es un núcleo magnético con una bobina conectada a la bobina secundaria del toroide cuya armadura está retenida solo por 200 gramos por imantación permanente y un entrehierro de solo 1 micrón.

La FEM de la bobina secundaria del toroide produce en la bobina del relé una corriente que crea un campo magnético que anula la retención magnética de este y abre el diferencial.

La norma IEC 61008 (interruptor diferencial solo) se refiere a los diferenciales de 6, 10, 30, 100, 300, 500 mA, que son los más usados en las instalaciones y que con la mitad de la I diferencial no disparan (para que no sean tan sensibles). El diferencial de acuerdo a la norma IEC 61008 no está diseñado para abrir un cortocircuito, de acuerdo a ella se lo prueba solo hasta 500 A o diez veces la corriente nominal, aquella que sea “mayor”. Por ello deben ser protegidos contra sobrecargas y cortocircuitos. Debe quedar claro que la I nominal (de carga) del interruptor diferencial colocado aguas arriba debe ser por lo menos igual o mayor que la I nominal de la termomagnética (si es una sola o de la suma de varias en aguas abajo del circuito). Las normas internacionales dicen que una corriente del orden de 500 mA de fuga a tierra en ambientes con materiales combustibles (aserrín, textil, etc.) puede dar origen a un incendio.

Capítulo 5

SEGURIDAD ELÉCTRICA Y CLASES DE AISLACIÓN DE APARATOS

Clases de aislación de aparatos eléctrico-electrónicos y electrodomésticos

El crecimiento masivo de los productos electrodomésticos y electrónicos, etc. ha generado la necesidad de establecer normativas respecto a su aislación eléctrica y su seguridad para evitar en el uso los riesgos de electrocución de las personas. Las normas establecen que existen aparatos de aislación clase 0 (no son aptos a nivel nacional) y clase 1, clase 2 y clase 3.

En los casos de clase 1 y 2, el consumidor o usuario debe tener dos protecciones frente a la falla del aparato.

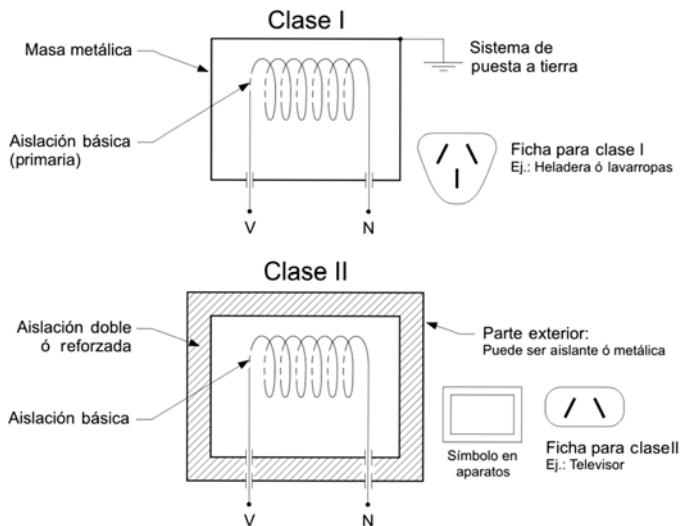


Figura 46

Aislación clase 1

Como indica la figura 46, si falla la aislación primaria del bobinado del aparato, la masa metálica que lo recubre no adquiere un potencial eléctrico que se transforme en corriente de fuga a través de la persona por estar conectada la masa metálica a un sistema de puesta a tierra; de allí la importancia de este sistema, en hacerlo en las instalaciones domiciliarias, conjuntamente a la instalación del interruptor diferencial. Ejemplos, heladera, lavarropas, plancha, microondas, etc.

Aislación clase 2

Esta aislación, que consiste en aislación doble o reforzada impide que en aparatos, materiales y componentes eléctricos aparezcan tensiones peligrosas sobre sus partes accesibles ante una falla de la aislación básica o primaria.

Son aparatos que normalmente no tienen en el exterior una carcasa o masa metálica, están aislados eléctricamente y no necesitan conexión a tierra (figura 46). Ejemplos, secador de cabello, lustraspiradora, radios, televisores, y otros.

La condición fundamental de seguridad la da la exigencia de que estos aparatos deben ser probados con 3750 V durante un minuto al final de la línea de montaje (contra una envoltura metálica que los cubre y contacta eléctricamente). La aislación reforzada o doble permite llegar a esta resistencia de aislación.

Aislación clase 3

Es la que protege a las personas contra el *shock* eléctrico por un voltaje extra de seguridad, no mayor a 24 Vca en ambientes secos, húmedos o mojados o a 12 Vca con el cuerpo sumergido.

Seguridad eléctrica

La regla fundamental de protección contra los choques eléctricos dice:

Las partes activas peligrosas (con tensión) no deberán ser accesibles, y las masas eléctricas o partes conductoras expuestas o accesibles no deberán volverse activas peligrosas.

Los tipos de contactos eléctricos los podemos clasificar en contactos directos y en contactos indirectos.

Contactos directos

Son los que se producen por el contacto de las personas con partes bajo tensión en funcionamiento normal de una instalación eléctrica o de aparatos conectados a ellas.

La protección para evitarlos debe satisfacer como mínimo una o más de las medidas siguientes:

- » Protección por aislación de las partes vivas.
- » Protección por medio de barreras o por medio de envolturas.
- » Protección parcial por medio de obstáculos.
- » Protección parcial por puesta fuera del alcance, por alejamiento.

Una medida adicional es el uso de interruptores diferenciales (IEC 61008) de I igual 30 mA, o menos.

Nota: para evitar el contacto directo, que puede ocurrir sobre un niño, en las instalaciones en inmuebles es obligatorio colocar tomacorrientes con pantalla de protección a la introducción de cuerpos extraños (metálicos), ubicados en zócalos o hasta 0,9 m sobre el nivel del piso.

Debe tomarse en consideración que un interruptor diferencial tiene un tiempo de varios ciclos de la corriente alterna que no actúa, y la corriente que circula por el niño no son los 30 mA de la corriente nominal, sino la relación de los 220 V sobre la resistencia del niño a tierra, con lo cual la corriente supera varias veces los 30 mA. De allí la importancia de colocar los tomacorrientes protegidos.

Contactos indirectos

Son los que se producen por el contacto con masas eléctricas o conductoras accesibles que se ponen bajo tensión por fallas de la instalación o de los aparatos conectados a ellas.

Las medidas que existen para dicha protección son las siguientes:

- » Protección por desconexión automática de la alimentación.
- » Protección por el uso de equipos, materiales e instalaciones de clase II.
- » Protección por ubicación en un local no conductor.
- » Protección por conexiones equipotenciales (igual potencia) de las partes (no conectadas a tierra).
- » Protección por separación eléctrica.

En toda instalación (cajas, caños, tableros, todos metálicos) o equipo eléctrico deben tomarse las medidas de protección para evitar que los usuarios sufran contactos directos e indirectos

Protección simultánea contra los contactos directos e indirectos

Ellas se pueden lograr mediante el uso de fuentes de tensión y circuitos de muy baja tensión sin puestas a tierra (Muy baja tensión de seguridad -MBTS). Ejemplos, flotantes en tanques de agua, iluminación en piletas de natación, peceras y fuentes de aguas ornamentales. No debe confundirse esta MBTS con la muy baja tensión funcional (MBTF). Ejemplo, timbres, alarmas y centrales telefónicas.

La protección contra los choques eléctricos por MBTS está asegurada cuando:

- » La tensión no sea superior a 24 V para ambientes secos, húmedos y mojados, y de 12 V para lugares en donde el cuerpo o los equipos eléctricos estén sumergidos en agua.
- » La fuente de alimentación MBTS será una fuente de seguridad con las características siguientes: un transformador de seguridad (según IEC 61588-2-6) con un nivel de aislación entre el circuito primario y secundario, y, entre estos y el núcleo magnético deben resistir ensayos de rigidez dieléctrica del orden de 4000 a 5000 V (no se permiten los autotransformadores), con una tensión de salida igual o menor de 24 V y tener una separación con protección eléctrica entre circuitos primario y secundario con pantalla conductora de protección, con conexión al núcleo y a la red de conexión a tierra.
- » Una fuente electroquímica (pilas, baterías de acumuladores, etc.)
- » Grupos motor-generator cuyos arrollamientos presenten aislaciones clase 2.

Cuando decimos MBTF, 24 V, utilizadas en circuitos para flotantes, relés y otros, los transformadores son de aislación normal.

Medidas de protección contra los contactos directos

1) Por aislación de las partes activas:

Las partes activas estarán aisladas solamente cuando la aislación solo pueda eliminarse por destrucción.

La aislación de un conductor eléctrico es un claro ejemplo de ella (no se puede eliminar, salvo por destrucción). Los barnices, pinturas, lacas no sirven como aislación básica de seguridad, solo podrían emplearse para aislaciones funcionales (24 V).

2) Por medio de barreras o envolturas

Están destinadas a impedir todo contacto con las partes activas. Estas deben colocarse en el interior de envoltentes o detrás de barreras que posean por lo menos el grado de protección IP2X (figura 54: impedir el acceso al dedo de ensayo a 12,5 mm de diámetro).

Ejemplo, bornera de un motor.

Deben estar fijadas de manera segura y tener resistencia mecánica para mantener el grado de protección, y solo podrán ser removidas o desmontadas: a) con ayuda de una llave o herramienta especial, b) desconectando la tensión de las partes activas protegidas por dichas barreras y haciendo un enclavamiento mecánico y eléctrico hasta tanto no sean repuestas dichas barreras o envoltentes.

3) Por protección parcial contra los contactos directos por puesta fuera del alcance de la mano

Está destinada a impedir los contactos no intencionales con las partes activas, para lo cual las partes simultáneamente accesibles no deben estar a menos de 2,5 m de distancia. Un piso no aislante se considera simultáneamente accesible.

La figura 47 ilustra desde distintas posiciones del observador las distancias o superficies a considerar para poder tender conductores con tensión (activos) que no estén el alcance de la mano.

Los baños o duchas son lugares del hábitat humano de elevado riesgo, por lo cual le daremos una consideración especial como indica la figura 48.

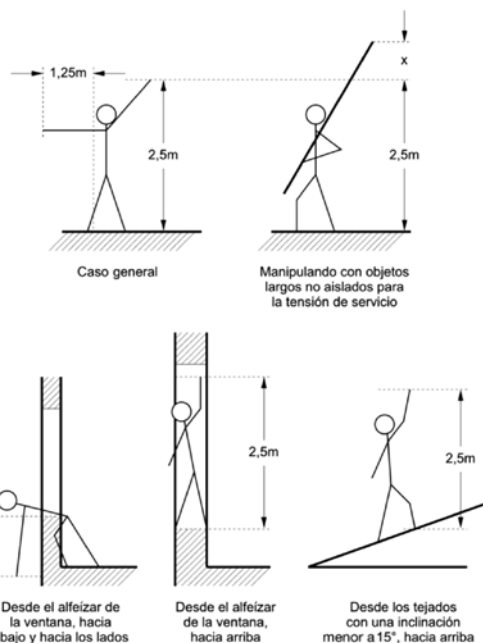


Figura 47. Concepto de “al alcance de la mano”.

Los baños y duchas son clasificados por zonas de peligro del riesgo eléctrico sobre las personas. Dichas zonas son 0, 1, 2 y 3.

- » Zona 0: en la bañera, está delimitada por el volumen dentro de ella hasta una altura de 2,25 m.
- » Zona 1: está limitada, en la bañera, por la superficie vertical (en línea perimetral) que la rodea y por el plano horizontal superior hasta una altura de 2,25 m por encima del nivel de fondo; y en una ducha, por un radio de 0,60 m alrededor de la lluvia desde el centro a la misma altura.
- » Zona 2: en la bañera está limitada en forma vertical por 0,60 m alrededor de la zona 1, y por otra parte por la altura de 2,25 m que se extiende desde el suelo. En la ducha, por 0,60 m exterior a la zona 1 e igual altura desde el suelo.
- » Zona 3: en la bañera está delimitada por 2,40 m exterior a la zona 2. En la ducha está delimitada por 2,40 m exterior a la zona 2, e igual altura desde el suelo en ambos casos.

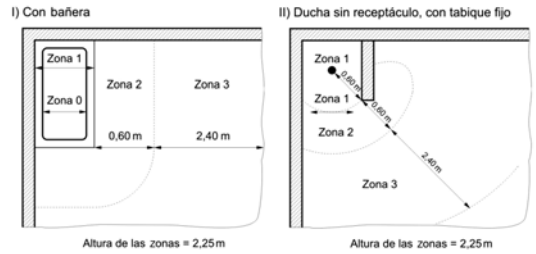


Figura 48

Consideraciones de usos de materiales y equipos

Materiales o equipos eléctricos que se pueden colocar en ellas, con norma IRAM 2444 o IEC 60529, y como mínimo los siguientes grados de protección (figura 54).

- » Zona 0: solo con grado de protección IPX7 (a prueba de inmersión).
- » Zona 1: solo con grado de protección IPX5 (a prueba de rociado con manguera a presión).
- » Zona 2: solo con grado de protección IPX4, y en baños públicos usar IPX5.
- » Zona 3: IPX1, y en baños públicos usar IPX5.
- »

En las zonas 0 y 1 no se admite ningún tipo de canalización a la vista y sí en zona 2, si pertenece a un sistema de MBTS.

En las zonas 0, 1 y 2 no se admite ningún tipo de caja de paso ni de derivación.

En la zona 3 solo se permiten tomacorrientes de 220 V (IRAM 2071) – (dos polos más tierra 10 A), protegido por un dispositivo de corriente diferencial cuya corriente de actuación no sea mayor de 30 mA, exclusivo o derivado del circuito de TUG que alimenta el baño.

Tableros y dispositivos de protección y maniobra no deben instalarse en cuartos de baño.

Medidas de protección contra contactos indirectos

Puede realizarse por dos métodos:

- » Utilizando equipos, dispositivos y canalizaciones de doble aislación (Clase 2) (identificados con el símbolo de la figura 46), se consideran instalaciones de clase 2 los cables que a) además de la aislación básica, tengan segunda envoltura aislante y b) los que su tensión nominal sea por lo menos

el doble que la tensión a tierra de la instalación donde sean usados. Ejemplos, cables de 1 kV que cumplen con las normas IRAM 2178 o IRAM 62266, usados en instalaciones de 380/220 V.

- » Protección contra los contactos indirectos por corte automático de la alimentación.

Esta desconexión debe hacerse en los tiempos máximos indicados en la tabla de la figura 49, y la protección tiene por finalidad eliminar la descarga eléctrica sobre la persona sin riesgo para ella. La única protección que se admite son los dispositivos diferenciales, con la puesta a tierra de las masas de la instalación eléctrica y los aparatos de consumo conectados a ella en el caso de ser de clase 1.

Tiempo máximos de desconexión por corte automático en circuitos terminales

Esquema de tierra	Tensión de fase en circuito		
	50 V a 120 Vca	120 V a 230 Vca	230 V a 400 Vca
TT*	0,2 seg	0,06 seg	0,01 seg

*TT significa que el centro de la estrella de baja tensión está a tierra en la distribuidora, y que en la instalación del inmueble debe hacerse otra tierra cerca del tablero principal.

Este sistema de conexión a tierra está descrito en el circuito de la figura anterior, en la cual:

- » Carga 1 y 2 son distintos consumos dentro del inmueble.
- » PE es el conductor de protección dentro de la instalación, independiente de la puesta a tierra de servicio de la distribuidora.
- » Id es la corriente de fuga (o de falla) entre la fase 1 y la masa.
- » Ra es la resistencia a tierra de protección de la instalación, dentro del inmueble.
- » Rb es la resistencia de puesta a tierra de servicio de la red de la distribuidora.

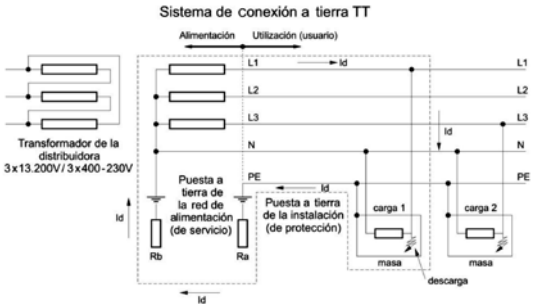


Figura 49

Los interruptores diferenciales también evitan la generación de incendios por corrientes de fuga a tierra, ya que con valores de 300 a 500 mA ellos pueden generarse. La coordinación de los sistemas de puesta a tierra y dichos dispositivos hace que no se superen las tensiones de contacto de 24 Vca en ambientes secos, húmedos y mojados.

Dentro de las instalaciones puede suceder:

- » Partes de las instalaciones protegidas en forma complementaria contra los contactos directos por interruptores diferenciales iguales o menores a 30 mA. Cuando esto ocurra y el valor máximo de

la resistencia de puesta a tierra no sea mayor de 40 ohms, se considera la instalación protegida contra los contactos indirectos.

- » Partes de las instalaciones no protegidas contra los contactos directos por dispositivos diferenciales iguales o menores a 30 mA. Para viviendas, oficinas, locales (unitarios) en los tramos de la instalación entre el tablero principal y el tablero seccional, o entre tableros seccionales, se utilizará un interruptor diferencial con una corriente menor o igual a 300 mA, y que sea selectivo (S) con los diferenciales de 30 mA, instalados aguas abajo, para proteger del mismo contacto a los circuitos terminales. Cuando se utilicen los diferenciales iguales o menores a 300 mA y se cumpla que la resistencia de puesta a tierra no supere los 40 ohms, las personas estarán protegidas contra los contactos indirectos, y no recibirán como tensión de contacto más de 12 V.

Capítulo 6

CONSIDERACIONES SOBRE DISEÑO DE UN TABLERO ELÉCTRICO Y GRADO DE PROTECCIÓN DE ENVOLTURAS

Los tableros principales o seccionales dematerial aislante deben ser dimensionados y verificados térmicamente.

Esto no se consideraba hasta hace pocos años, y ello daba origen a que las termomagnéticas interrumpieran el circuito que protegían, no con la corriente de $1,45 I_n$ para la que estaban reguladas a una temperatura ambiente de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sino con menos valores de corriente, ya que la temperatura interna del tablero era superior a los $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las termomagnéticas, relés, lámparas, conductores, conexionados, diferenciales y transformadores producen energía calórica, y ello modifica la temperatura interna del tablero produciendo el efecto comentado. A ello se agrega las malas prácticas de conexionado como la conexión “guirnalda”, y además un ajuste flojo de los bornes a los conductores, lo cual aumenta el calentamiento de estos.

Corriente nominal (A)	$I_n \leq 10$	$I_n 10 - 16$	$I_n 16 - 25$	$I_n 25 - 32$	$I_n 32 - 40$	$I_n 40 - 50$	$I_n 50 - 63$	$I_n 63 - 100$	$I_n 100 - 125$
Pérdidas disipadas por polo (W)	3	3,5	4,5	6	7,5	9	13	15	20

Figura 50

En la figura 50 vemos las pérdidas en watts que produce cada polo de una termomagnética a la I nominal.

Procederemos a calcular en función de los elementos eléctricos dispuestos en el tablero, qué pérdidas deberá disipar este a través de su envoltura, para que en base a dicho valor, el fabricante del tablero asegure que se pueden montar sin comprometer la temperatura interna por encima de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tomaremos como ejemplo el tablero de la figura 51, la potencia total a disipar será:

- » P_{tot} (potencia total disipada, watts) = $P_{dp} + 0,2 P_{dp} + P_{au}$
- » P_{dp} (potencia disipada por los dispositivos de protección, en watts), tomando en cuenta los factores de utilización de 0,85 y de simultaneidad que es de 0,8 para dos y tres circuitos y 0,7 para cuatro y cinco.

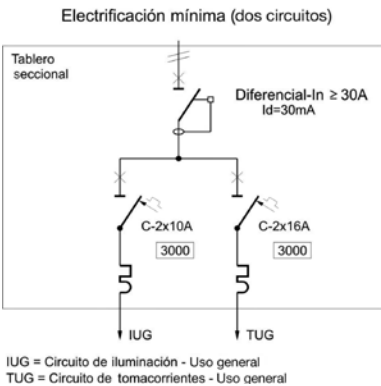


Figura 51

- » $0,2 P_{dp}$: potencia disipada por las conexiones, los tomacorrientes, los relés, los diferenciales, etc.
- » P_{au} : potencia disipada por otros dispositivos tales como lámparas de señalización, transformadores, etc.

Verificación:

Todas las pérdidas a disipar (P_{tot}) deben ser inferiores o igual a la potencia declarada por el fabricante del tablero (P_{de}).

En este caso calculamos: $P_{dp} = 2 \cdot 3 + 2 \cdot 3,5 = 13 \text{ W}$.

$0,2 P_{dp} = 0,2 \cdot 13 = 2,6 \text{ W}$ luego... $P_{tot} = P_{dp} + 0,2 P_{dp} = 13 + 0,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ W}$

La potencia mínima que debe declarar el fabricante en su tablero debe ser de 16 W.

Consideremos el tablero de la figura 52 con una instalación de grado de electrificación media. De la potencia disipada por polo, calculamos $P_{dp} = 2 \cdot 3,5 + 2 \cdot 3,5 + 2 \cdot 4,5 = 23 \text{ W}$

$P_{tot} = P_{dp} + 0,2 P_{dp} = 23 + 0,2 \cdot 23 = 27,6 \text{ W}$, en consecuencia el fabricante del tablero debe declarar 28 W mínimo.

En la figura 53 se indica una buena práctica de conexión, en donde se muestran los puentes de conexión que pueden hacerse con conductores de 4 mm^2 .

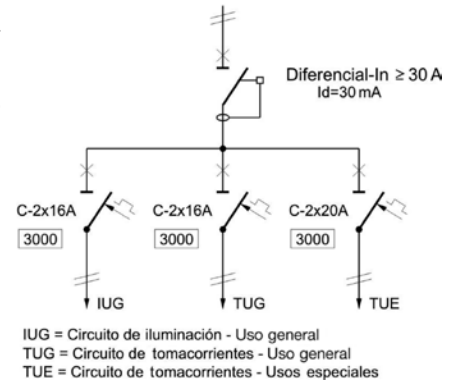


Figura 52

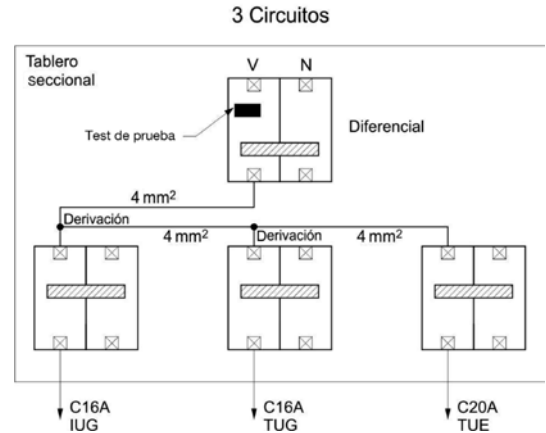


Figura 53

Las conexiones de un termomagnético a otro deben hacerse fuera de los bornes de los mismos

Grados de protección (IP) para cubiertas o envoltura. Norma IRAM 2444

Los índices de protección actualmente más usados son IPXX, primera y segunda cifra.

- » La primera cifra indica la protección contra la penetración de cuerpos extraños, polvo y contra el contacto con elementos de baja tensión. La figura 54 indica los varios tipos.
- » La segunda cifra indica la protección contra la penetración de agua.

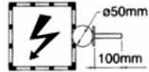
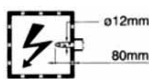
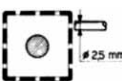
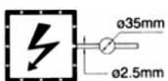
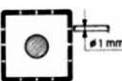
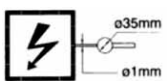
Cuando tenemos que ubicar a la intemperie un tablero eléctrico, las normas nos indican que debe-

mos poner un grado de protección IP 54, y ello indica que el tablero protege contra el polvo (aunque puede entrar en cantidades no nocivas) y que protege contra la salpicadura de agua en todas las direcciones.

CBAP

Una mala práctica es colocar tableros IP 41 (de uso interior) a la intemperie

Figura 54

Nº código	Descripción			
	Protección contra la entrada de	Forma de ensayo	Protección contra contacto de zonas activas con	Forma de ensayo
0				
1	... cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 50 mm	 Calibre cilíndrico, Ø 50 mm	Dorso de la mano	 Calibre de acceso, Ø 50 mm
2	... cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 12,5 mm	 Calibre cilíndrico, Ø 12,5 mm	Dedo	 Dedo de ensayo
3	... cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 2,5 mm	 Calibre cilíndrico, Ø 2,5 mm	Herramienta	 Calibre de acceso, Ø 2,5 mm
4	... cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 1 mm	 Calibre cilíndrico, Ø 1 mm	Cable o alambre	 Calibre de acceso, Ø 1 mm
5	... polvo en cantidad no nociva	 Polvo de talco	---	En cámara de vacío (ver foto)
6	... totalmente protegido contra el polvo	 Polvo de talco	---	En cámara de vacío (ver foto)

Nº de código	Descripción	
	Protección contra la entrada de	Forma de ensayo
0		
1	... caída vertical de gotas de lluvia (condensación)	
2	... lluvia con una inclinación máxima de 15º	
3	... Lluvia con una inclinación máxima de 60º	
4	... salpicaduras en todas direcciones	
5	... proyección de agua	
6	... proyección de agua a presión (golpes de mar)	
7	... protegido ante inmersión	



IP5X o IP6X
Ensayo a prueba de polvo



IPX7
Ensayo de inmersión en agua



Ensayo de inflamabilidad (punta incandescente)



Verificación de torque de apriete

Capítulo 7

SEGURIDAD ELÉCTRICA EN INSTALACIONES

Este capítulo aborda la seguridad eléctrica en instalaciones de:

- » Obras de construcción y demoliciones.
- » Motor eléctrico de 20 HP en un zona rural.
- » Viviendas precarias.

Instalaciones eléctricas en obras de construcción y demoliciones

Las principales consideraciones a tener en cuenta son las enumeradas a continuación.

Protección contra choques eléctricos:

Protección contra contactos directos: no se permite la protección por obstáculos, alejamiento o fuera del alcance de la persona.

Protección contra contactos indirectos: se debe usar el esquema de conexión a tierra TT, cuando la alimentación es en baja tensión, desde la red pública.

Nota: si la alimentación fuera en media tensión o por medio de generación propia, se puede usar el sistema TN-S.

- » Los circuitos que alimentan tableros que contienen tomacorrientes, motores o equipos portátiles conectados en forma permanente y de corriente menor o igual a 32 A deben protegerse con interruptores diferenciales de valor de corriente de fuga no mayor a 30 mA (como vimos en capítulos anteriores, brinda una protección complementaria al contacto directo) o en su defecto estar alimentados con muy baja tensión de seguridad, sin puesta a tierra o también por separación eléctrica de transformadores de 220/220 V de muy elevada aislación eléctrica (IEC 61558-2-4), entre bobinados primario y secundario, y entre estos y el núcleo magnético.

Nota: para el caso que la corriente normal del motor o aparato sea mayor a 32 A, se pueden utilizar para la protección del contacto indirecto, interruptores diferenciales de corriente de fuga menor o igual a 500 mA, siempre y cuando sus canalizaciones y alimentaciones adopten una posición fija, segura y que no estén expuestas a sufrir daños mecánicos ni expuestas al agua o a la abrasión.

Selección de los materiales y equipos eléctricos.

Los tableros utilizados en dichas obras deben cumplir:

- » Si son de uso en interior, como mínimo con el grado de protección IP 44.
- » Si son de uso en exterior, como mínimo con el grado de protección IP 45.
- » Los tomacorrientes y sus fichas deben ser del tipo industrial (IEC 60309), no son recomendables los tomacorrientes de 10 ni 20 A (IRAM 2071), que se usan en instalaciones en inmuebles.
- » Todos los materiales de la instalación como, por ejemplo, equipos fijos y conjuntos de ficha y tomacorriente deben tener como mínimo un grado de protección IP 44 (uso interior) y de IP 45 (uso exterior-intemperie).
- » Conductores y cables: para evitar daños mecánicos sobre los conductores y cables, estos no se tenderán sobre los pasos de peatones o vehículos.

Los cables flexibles serán de tensión mínima 450/750 V, con cubierta de plástico y aislación básica de goma natural (norma IRAM 2178 o 62266).

Nota: No se permite los cables que responden a las normas IRAM-NM 247-5, ni tampoco a la norma IRAM 2188, que se los conoce como "tipo taller". Para más información, ver tabla de conductores para instalaciones en página 68.

- » Dispositivos de maniobra, de protección y de corte (figuras N° 55 y 56).

En cada instalación de obra o alimentación, debe colocarse en su origen un tablero principal, cuya envoltura debe ser de material aislante, respetando en su instalación las características de doble aislación. Dicho tablero estará equipado con un interruptor automático principal, que debe proteger y cortar los dos polos para el caso de la alimentación monofásica y de protección y corte tetrapolar (neutro incluido), para alimentaciones trifásicas. Debe tener protección contra sobrecargas y cortocircuitos en todos los polos (neutro incluido en trifásica).

Nota: no se deben emplear fusibles en estas instalaciones.



Figura 55

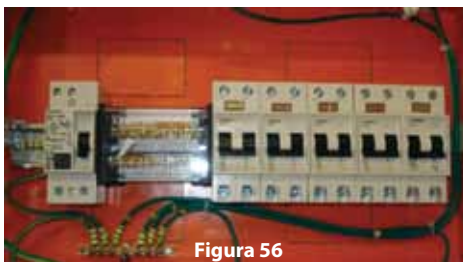


Figura 56

Si la instalación tiene más de una alimentación, se instalará un interruptor automático principal, con protección contra sobrecargas y cortocircuitos en cada uno de los polos, para cada alimentación.

Los tomacorrientes deben instalarse dentro de los tableros y/o en el exterior con el grado de protección IPXX adecuado.

Norma	Característica	Tipo de aislación	Aplicaciones a instalaciones	Tensión
IRAM NM 247-3	Unipolares	Básica: sin envoltura de protección	En interiores: cañerías embutidas o a la vista, suspendidas en el techo, cable canal en el piso	450/750 V
IRAM 62267	Unipolares	Básica: sin envoltura de protección. Baja emisión de humos y libre de halógenos	En interiores: cañerías embutidas o a la vista, suspendidas en el techo, cable canal en el piso con gran afluencia de público: <i>shoppings</i> , cines, teatros	450/750 V
IRAM 2178	Multipolares o unipolares	Básica, más envoltura de protección termoplástica	Al aire y en conductos enterrados: en bandejas de distinto tipo, cañerías a la vista y embutidas, obras de construcción	1,1/3,3 kV
IRAM 62266	Multipolares o unipolares	Básica, más envoltura de protección. Baja emisión de humos y libre de halógenos	Al aire y en conductos enterrados. En bandejas de distinto tipo. Cañerías embutidas y a la vista. En lugares de alta densidad de ocupación y evacuación difíciles. Redes de distribución e industrias	1 kV

Tabla de características de conductores de acuerdo a su instalación

Instalación de un motor eléctrico de 20 HP en una zona rural

Antes de desarrollar esta instalación, explicaremos algunas características de los motores eléctricos.

¿Qué significa la potencia HP que indica la chapa característica del motor?

El valor HP indica la potencia mecánica que el motor puede desarrollar en su eje y que transmite a través del manchón o polea para impulsar a otra máquina o mecanismo.

El motor recibe de la alimentación la potencia eléctrica que se transforma en mecánica.

La chapa característica nos indica también la potencia eléctrica que absorbe el motor de la línea a través de la corriente eléctrica, y hay una relación entre los HP y los watts que nos dice que:

$$1 \text{ HP} = 736 \text{ W}$$

El motor tiene un rendimiento (ver en la figura 57 las curvas de rendimiento del motor) según la calidad de los materiales empleados y en función de los HP de la potencia, ya que tiene pérdidas de calor (efecto joule) en los bobinados y en el núcleo de chapas magnéticas, y mecánicas por la ventilación y los rozamientos; lo cual hace que la potencia eléctrica que entra al motor sea mayor que la potencia mecánica que entrega en su eje de rotación.

Potencia eléctrica activa = potencia mecánica/N (rendimiento)

El N (rendimiento de los motores) está mostrado en la tabla en esta misma página, que indica el rendimiento en función de la carga del motor.

Para obtener la corriente eléctrica que entra al motor y calcular la sección del conductor a poner en el cable multipolar de alimentación, debemos considerar que el motor tiene además un factor de potencia. La parte inductiva del motor es originada por una corriente magnetizante, que es la que da origen al campo magnético giratorio en el estator, el cual reacciona con las corrientes inducidas en el rotor en cortocircuito y lo hacen girar. En una alimentación trifásica, como es nuestro caso, la potencia activa que entra al motor será:

Potencia eléctrica activa = $U_{línea} \cdot I_{línea} \cdot \sqrt{3} \cdot \text{Factor de potencia}$. Y reemplazando nos queda: potencia en el eje del motor/N (rendimiento) = $U_{línea} \cdot I_{línea} \times \sqrt{3} \cdot \text{Factor de potencia}$. Pasando el N al segundo miembro multiplicando, nos queda con unidades: potencia en eje motor (HP 736 W/HP) = $U \text{ (V)} \cdot I \text{ (A)} \cdot \sqrt{3} \cdot \text{Factor de potencia} \cdot N$

Y de esta igualdad, despejamos la corriente de línea I (A) que es lo que queremos calcular y nos da:

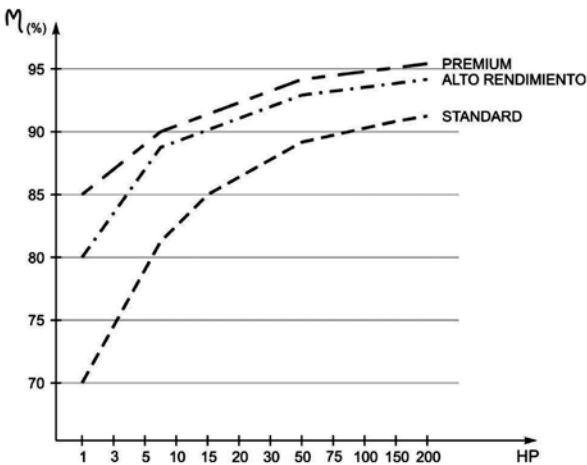


Figura 57

Potencia del motor (HP)	25%	50%	75%	100%
1	39	59	69	72
2	41	61	73	74
5	51	67	78	78
10	55	69	79	79
15	56	70	81	80
20	63	77	85	83
25	68	85	89	87

$$I_{línea} \text{ (A)} = [Potencia eje \text{ (HP 736 W/HP)}] / [U_{línea} \text{ (V)} \cdot \sqrt{3} \cdot \text{Factor de potencia} \cdot N]$$

Con los datos aproximados de factor de potencia 0,85 y N 0,93 obtenemos:

$$I_{línea} \text{ (A)} = [(20 \text{ HP} \cdot 736 \text{ W/HP}) / (380 \text{ V} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,93 \cdot 0,85)] = 28 \text{ A}$$

Como la instalación es de tipo rural y a través de una longitud de 90 metros, la haremos subterránea, con conductores de cobre que cumplan con la norma IRAM (2178 o 62266), dispuestos en conductos directamente enterrados a una profundidad de 0,70 metros y que admitan corrientes de acuerdo a la tabla.

Sección	mm ²	Corriente (A)
Multipolar	4	35
Multipolar	6	44
Multipolar	10	58

Hasta aquí, hemos verificado que un cable multipolar de sección de 4 mm² soporta sin problemas los 28 A que consume el motor.

Otra exigencia para circuitos seccionales y terminales es que la caída de tensión entre los bornes de salida del tablero principal y cualquier punto de utilización, no debe superar los valores siguientes:

- » Circuito terminal de uso general o especial y específico de iluminación es de 3%
- » Circuitos de uso específico que alimentan motores es de 5% con corriente de régimen nominal, y el 15% en el momento de arranque.

Cálculo de la caída de tensión a la I de régimen nominal

El cálculo de la caída de tensión de una línea de alimentación se hace en base a la resistencia de los conductores y a la inductancia (reactancia) del tendido de los mismos. La fórmula siguiente nos permite calcular el valor:

$$\text{Caída de tensión} = \text{GDC} \times I \times L / S \text{ en V}$$

donde:

"I" es la intensidad de la corriente nominal, en amperios, "L" es la longitud del circuito en metros (distancia que separa los dos puntos entre los que se calcula la caída de tensión y no se debe considerar el doble).

S = Sección de los conductores en mm², "GDC" es el gradiente de caída de tensión.

GDC utilizada para conductores aislados según norma IRAM NM 247-3 y 62267 (unipolares, sin envoltura de protección) y con cables según normas IRAM 2178 y 62266 (envoltura de protección), tendidos en cañerías o conductos, en aire o enterrados; no válida para cables unipolares dispuestos separados en un diámetro o más.

Tipo de sistema	GDC	
	Cobre	Aluminio
Monofásico	0,040	0,063
Trifásico	0,035	0,055

Tomando el valor de GDC de 0,035 para circuitos trifásicos y haciendo que:
I = 28 A (corriente nominal)

$L = 90 \text{ m}$
 $S = 4 \text{ mm}^2$

Obtenemos que caída de tensión será:
 $0,035 \cdot 28 \text{ A} \cdot 90 \text{ m} / 4 \text{ mm}^2 = 22,05 \text{ V}$

Luego en % será:
 $22,05 \text{ V} \cdot 100 / 380 \text{ V} = 5,8\%$

Supera el 5% por lo cual debemos elevar la sección del conductor a 6 mm^2 , y en consecuencia la caída de tensión en porcentaje disminuirá entonces a $5,8\% \cdot 4 / 6 \text{ mm}^2 = 3,86\%$.

Cálculo de la caída de tensión en el momento de arranque

La corriente de arranque es seis veces la I nominal, y tomamos en cuenta el gradiente de caída de tensión para las condiciones de arranque da la tabla.

	Sección de los conductores	Gradiente de caída de tensión por arranque de motores	
		Cobre	Aluminio
Tipo de sistema			
Monofásico	1,5 a 25 mm ²	0,016	0,025
Trifásico	1,5 a 25 mm ²	0,0135	0,0215

Tomando el valor de GDC de 0,0135 para sistema trifásico, nos da:
 Caída de tensión en el arranque = $0,0135 \cdot (28 \times 6) \text{ A} \cdot 90 \text{ m} / 6 \text{ mm}^2 = 34 \text{ V}$
 En porcentaje: $34 \text{ V} / 380 \text{ V} \cdot 100 = 8,95\%$, menor al 15% reglamentado.

Debemos utilizar un conductor de 6 mm^2 , multipolar, de acuerdo a norma IRAM 2178.

Nota: Una característica importante de un motor trifásico (asincrónico con rotor en cortocircuito) es que en el momento de arranque el valor de la cupla mueve a la carga resistente acoplada a su eje. Este valor depende de la tensión que haya en los bornes del motor elevada al cuadrado, lo cual hace más importante la caída de tensión en el arranque.

En nuestro ejemplo, la caída de tensión que no se cumple es a la corriente nominal y ello nos obliga a aumentar la sección del conductor; si en cambio fuera la corriente de arranque la que no cumple con la caída de tensión menor al 15%, tendríamos que utilizar otro sistema de arranque que no fuera el directo. En la actualidad podemos usar:

- » Estrella/triángulo
- » Autotransformador

» Electrónico

Sistema de arranque estrella/triángulo

Este consiste en que el motor se pide para conectar en triángulo, con la tensión de línea, por ejemplo de 380 V, y en el momento del arranque con el conmutador se lo conecta a estrella, con lo cual, la tensión aplicada a cada fase del motor disminuye en 1,73 (raíz de 3) y ello hace que la corriente de arranque y la caída de tensión disminuyan en igual valor, y, luego del arranque, la conexión pasa a triángulo en condiciones normales por medio del conmutador.

Nota: El tipo más utilizado es el sistema estrella/triángulo.

Por autotransformador

Consiste en conectar entre la alimentación y el motor, dicho autotransformador, que tiene derivaciones del: 50, 65 y 80% de la tensión nominal; pudiendo arrancar progresivamente con dichos valores.

Este ejemplo nos muestra las dificultades que se producen en instalaciones eléctricas de gran longitud con motores eléctricos, por las condiciones que deben cumplirse con las caídas de tensión.

Ello se presenta tanto en instalaciones rurales como en instalaciones en inmuebles de gran longitud o en altura.

Electrónico

Hay dos casos básicamente:

- » 1. Por arranque suave (*softstarter*), ideal para bombas centrífugas y ventiladores
- » 2. Arranque por convertidor de frecuencia, que se aplica con cargas de gran inercia o con grandes cargas en redes eléctricas de poca capacidad de cortocircuito, se pueden usar en todo tipo de máquina, y son los más completos y costosos.

3. Instalaciones en viviendas precarias

Tomando en consideración la necesidad de que la seguridad eléctrica llegue a todos los sectores de la población, incluyendo a los más desprotegidos, por iniciativa de APSE, se desarrolló la norma conjunta IRAM 63066-AEA 90364-779, denominada "Módulos de instalación concentrada de electrificación mínima" (MICEM). El objetivo es normalizar un tipo de instalación concentrada en una estructura autoportante, para que sea instalado en viviendas que por su alto grado de precariedad no admiten una instalación distribuida.

Sin paredes de ladrillo o mampostería... MICEM. Grado 1

Las características básicas reguladas por esta norma son las siguientes:

- » Consta de una columna autoportante sobre la cual se montan cuatro secciones: tablero, iluminación, tomacorrientes, puesta a tierra.

- » El conjunto tendrá un grado de protección IP 43, como mínimo, y sus medidas responderán a la figura 58. Su alimentación eléctrica será solo por la parte inferior (subterránea) y todos los materiales deben cumplir con la Resolución 92/98 de la ex-Secretaría de Industria, Comercio y Minería.

Sección tablero

Está constituida por un gabinete o caja de material aislante clase 2, que una vez montado o instalado para uso normal, debe cumplir con:

- » Envolver completamente los dispositivos instalados en su interior con material aislante.
- » No ser atravesados por ninguna pieza conductora, de forma que haya una posibilidad que la tensión de falla sea transmitida hacia el exterior.
- » No tener partes conductoras (placas, soportes, cubiertas) conectadas al circuito de protección, caso riel DIN metálico.

Elementos de maniobra y protección:

- » Un interruptor automático y bipolar con corte y protección en sus dos polos, tipo clase C, corriente nominal de 25 A y poder de corte de cortocircuito de 4500 A. Su función es la de corte general, a él se conecta la línea de alimentación del MICEM.
- » Un interruptor automático de corriente diferencial, de corriente igual o mayor de 25 A y corriente de fuga de 0,030 A, que protege los circuitos de iluminación y de tomacorrientes.
- » Un interruptor automático bipolar, con corte y protección en sus dos polos, tipo clase C, corriente nominal de 10 A y poder de corte de cortocircuito de 4500 A. Su función es la de proteger el circuito de iluminación contra sobrecargas y cortocircuito.
- » Igual al punto anterior pero de corriente nominal de 16 A. Su función es la de proteger el circuito de tomacorrientes contra sobrecargas y cortocircuitos.
- » Placa, barra colectora o bornera de puesta a tierra, la que debe ser aislada e identificada con el símbolo de puesta a tierra o por el color verde amarillo (bicolor), con cuatro bornes como mínimo, roscados con tornillo, siendo uno de ellos para el conductor de puesta a tierra de 10 mm² según norma IRAM 2178.

Notas: a cada borne del interruptor termomagnético o diferencial se conecta un solo conductor en forma directa. Los dispositivos indicados deben estar montados sobre un riel, llamado comercialmente “riel DIN”.

Sección iluminación

Está constituida por un gabinete o caja material aislante, en la que se pueden montar sobre sus paredes exteriores los artefactos de iluminación y los interruptores de efecto. La aislación del gabinete debe ser de clase 2.

Deben instalarse tres artefactos de iluminación, los cuales serán de clase 2 y cumplirán con un grado de protección de IP 43 como mínimo. Previstos para usar lámparas de bajo consumo.

Se instalarán tres interruptores de un efecto de 10 AX-220 V-unipolares y con un grado de protección IP 43.

Cada artefacto de iluminación debe encenderse con su interruptor de efecto, colocado debajo o al costado del mismo, lo cual permite tres niveles de iluminación diferentes.

Sección tomacorrientes

Está constituida por un gabinete o caja material aislante, en cuyo interior se montan ocho tomacorrientes (norma IRAM 2071) de 10 A, más la barra colectora o bornera de puesta a tierra.

El gabinete tendrá una tapa con bisagras, que permita el cierre, con todas las fichas insertadas (según IRAM 2073 o 2063), dejando salir los conductores de los artefactos conectados por la parte inferior.

Tendrá ocho módulos de tomacorrientes, montados sobre un riel DIN o un bastidor individual o colectivo y separado, de forma de permitir la inserción simultánea de ocho fichas, con sus cables sin interferir entre sí o con la tapa.

Sección de puesta a tierra

Está ubicada en una caja, en la parte inferior del soporte o columna principal y consta de:

- » Una caja de material aislante o fundición, apta para ser enterrada y que posee una tapa con tornillos (dos como mínimo), que permita su desplazamiento, pero no su retiro.
- » Una jabalina, con una longitud mínima de 1,5 m y un diámetro de 12,6 mm ($\frac{1}{2}$ pulgada) y toma cable según IRAM 2309.
- » La caja debe tener en su fondo una perforación para hacer el hincado de la jabalina.

Columna o soporte principal

Este debe constar de una columna y base. Sobre la columna se deben montar las cuatro secciones; el largo del empotramiento al piso debe ser de 0,70 m como mínimo (figura 60). El soporte principal o columna debe ser un tubo de material aislante de 160 mm de diámetro y espesor de pared de 5 mm.

Cables

Desde la sección de puesta a tierra a la sección de tablero,

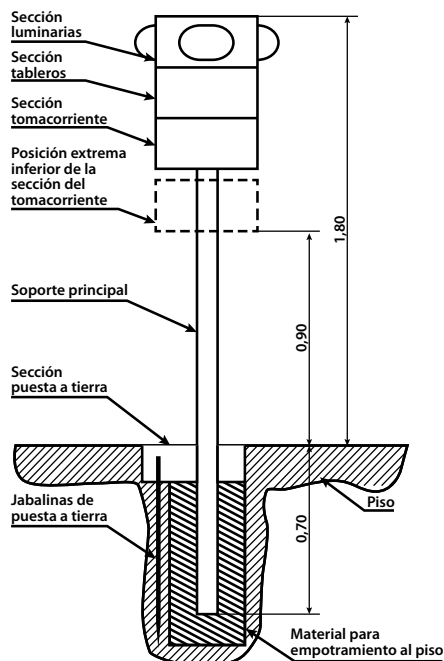


Figura 58

se debe llevar por una canalización, un conductor de puesta a tierra de sección de 10 mm², aislado, bicolor verde y amarillo, norma IRAM 2178.

Desde el interruptor de corte general al interruptor diferencial se debe realizar la conexión por medio de cables según normas IRAM-NM-247-3 de sección de 6 mm².

Desde el interruptor diferencial a los interruptores de los circuitos de iluminación y de tomacorrientes se conectará con un conductor según IRAM-NM-247-3 y de sección de 6 mm².

El cableado del circuito de iluminación se debe realizar con conductores según IRAM-NM-247-3 de sección de 1,5 mm², incluyendo los retornos.

El cableado del circuito de tomacorrientes se debe realizar con conductores según IRAM-NM-247-3 de sección de 2,5 mm², a partir de la salida del interruptor de protección.

Capítulo 8

INSPECCIÓN Y PRUEBA DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONSIDERACIONES SOBRE CONEXIONES ELÉCTRICAS

Inspección y prueba de una instalación eléctrica

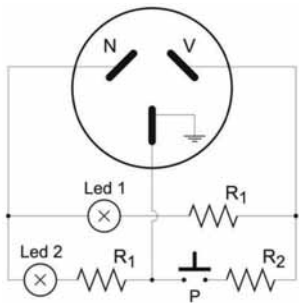
- » Verificar que los materiales y dispositivos varios, tengan el Sello de Seguridad Eléctrica, hasta 63 A, exigido por la Resolución 92, del año 1998, de la ex-Secretaría de Industria y Comercio.
- » Verificar el correcto conexionado de la instalación de puesta a tierra (electrodo o jabalina, conductor de puesta a tierra y barra principal de puesta a tierra en la tablero) sin daño alguno.
- » Verificar en todos los tomacorrientes de la conexión del conductor de protección (verde-amarillo), al borne de tierra.
- » Verificar la correcta polaridad del tomacorrientes.
- » Verificar la correcta operación mecánica de los aparatos de protección y maniobra.
- » Verificar el funcionamiento de los interruptores diferenciales, mediante el pulsador de prueba.
- » Verificar la calibración del diferencial, mediante la ficha de testeo (figura 60).
- » Correcta realización de las conexiones eléctricas de los conductores, aislándolas de manera equivalente a lo que sería la aislación del conductor.
- » Correcta correspondencia de colores en los conductores.
- » Comprobación de la ubicación y características constructivas e inscripciones del tablero principal y tableros seccionales



Sello de Seguridad Eléctrica
Obligatorio

Vivo	Marrón, rojo
Neutro	Celeste, azul
Tierra	Verde y amarillo

Correcta selección de color de los conductores



Componente	Fichas	
	30 mA	300 mA
R1	18 kΩ	18 kΩ
R2	7,3 a 7,6 kΩ	0,73 a 0,76 kΩ
Led 1	Verde	Verde
Led 2	Rojo	Rojo
P	Pulsador	

Nota: no probar en forma continua más de dos minutos

Figura 60

Mediciones

- Continuidad eléctrica de las cañerías de conductos metálicos entre sí y con la bornera de tierra del tablero principal, verificada con un óhmetro de tensión nominal de 12 V.
- » Igual de todos los conductores activos y con igual instrumentos.
 - » Igual del conductor de protección (PE) y con igual instrumento entre cada tomacorriente y la bornera a tierra del tablero principal.
 - » Resistencia de aislación de la instalación eléctrica (ver pruebas).
 - » Resistencia del sistema de puesta a tierra (ver pruebas).

Pruebas

Resistencia de aislación

Debe usarse un instrumento de corriente continua de una tensión igual a 500 o 1000 V, la medición debe hacerse desconectando la línea de alimentación, los artefactos y los aparatos de consumo (sin portalámpara o zócalos de lámparas de descarga que puedan alterar la medición) y debiendo quedar cerrados todos los aparatos de maniobra y protección.

Se efectúan las mediciones siguientes:

- » Entre conductores de fase.
- » Entre conductores de fase unidos entre sí y el neutro.
- » Entre conductores de fase unidos entre sí y el conductor de protección.
- » Entre conductor neutro y el conductor de protección.

Valores mínimos de la resistencia de aislación. El valor será de 1000 Ω/V de la tensión aplicada por el instrumento a la instalación, por tramo de 100 m o fracción.

Tensión nominal del circuitor (V)	Tensión de ensayo en V corriente continua	Resistencia de aislación (MΩ)
MBTS / MBTF (24 V)	250	≥ 0,25
Menor o igual a 500 V (sin MBTS o MBTF)	500	≥ 0,50
Superior a 400 V	1000	≥ 1,00

CBAP:

Una experiencia práctica muy relacionada al nivel de aislación entre fases en una instalación eléctrica es lo que ocurre con los tableros eléctricos, en los cuales se acumula polvo en las protecciones y que suelen generar cortocircuitos, lo cual nos lleva a sugerir que cada seis meses se revise el estado de los mismos.

Prueba del circuito de tomacorrientes

- » Debe probarse en todos ellos la polaridad, es decir, que enfrentando el tomacorriente, el polo vivo esté en el borne a la derecha.
- » Debe probarse que el conductor de protección (PE), verde-amarillo, esté conectado al borne de

tierra del tomacorriente

Se debe disponer de una ficha de testeo (figura 60) y se procede introduciendo de manera firme la misma en el tomacorriente:

- » Si parpadea la luz roja o verde, hay falso contacto del tomacorriente.
- » Si enciende la luz verde, la polaridad es correcta.
- » Si encienden ambas luces, la polaridad es incorrecta y el pulsador no accionará el diferencial.

Prueba del diferencial

Se procede:

- » Se prueba con el pulsador de prueba del diferencial si este acciona.
- » Con la polaridad ya verificada, se aprieta el pulsador de la ficha de testeo:
 1. Si el diferencial dispara, significa que está bien calibrado y el tomacorriente está conectado al conductor de tierra (PE).
 2. Si no dispara, puede ocurrir:
 - 2.1. El conductor de tierra (PE) no está conectado al tomacorriente.
 - 2.2. El conductor de tierra (PE) no existe.
 - 2.3. Mal calibrado, por encima de 30 o 300 mA según sea la ficha de testeo. Conexión interno de la Ficha de testeo (ver figura 62).

Medición de la resistencia de puesta a tierra

Valor máximo permanente: menor o igual a 40 Ω .

La medición debe hacerse preferentemente con un telurímetro (IRAM 2281:1986 6.2.4) o, en su defecto, se puede usar el circuito de la figura 61.

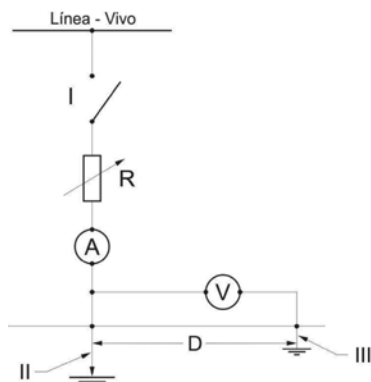


Figura 61. Procedimiento de medición de puesta a tierra según norma IRAM 2281 - Parte 2

Referencias:

- I = interruptor 10 A
- R = resistencia 20 a 100 Ω (plancha de 1000 W)
- A = amperímetro de 0 a 150 A (CA)
- V = voltímetro de 0 a 5 V (ca). Resistencia interna superior a 40 k Ω
- II = jabalina a medir
- III = sonda metálica enterrada a 0,5 m de profundidad
- D = distancia no menor a 20 m

En este caso se utilizan los elementos indicados en la figura 64 con sonda auxiliar (III) de 0,5 m enterrada a no menor de 20 m de la puesta a tierra a medir. El valor de la resistencia se obtiene mediante la división entre la tensión y la corriente, medida con el voltímetro y el amperímetro.

Para aplicar este método se debe comprobar, que no haya corrientes vagabundas provocadas por tensiones espurias del terreno que alteran la medición. Para ello debe abrirse el interruptor y verificarse que la lectura del voltímetro sea nula o despreciable.

Conexiones eléctricas y los efectos de su resistencia

Podemos decir que una unión de dos o más conductores está relacionada con las leyes de Ohm y de Joule citadas en los capítulos iniciales, ya que da origen a una resistencia eléctrica en esa unión. Ella se presenta frecuentemente en una instalación eléctrica y podemos decir lo siguiente:

La conexión produce una resistencia eléctrica R , en la cual al circular una corriente da origen a:

- » Una caída de tensión en $V = IR$.
- » Una cantidad de calor y aumento de temperatura $(-I \cdot I \cdot R) \cdot t$

El reglamento de la AEA para instalaciones eléctricas en inmuebles pone límites a la forma de estas uniones y establece:

En las uniones y derivaciones de conductores de secciones inferiores a 4mm^2 , se admiten uniones de cuatro conductores como máximo, retorciendo sus hebras. Las uniones y derivaciones de conductores de 4mm^2 podrán efectuarse solo con tres conductores. Para agrupamientos de más de cuatro conductores deberán utilizarse borneras de conexionado según norma IRAM 2441... Las uniones y derivaciones de conductores mayores a 4mm^2 deberán efectuarse por medio de borneras, manguitos de idantar o soldadura de bajo punto de fusión. Deben cubrirse todas las uniones y derivaciones con un aislante eléctrico de calidad similar al que poseen los conductores.

Los interruptores termomagnéticos, diferenciales, contactores, borneras múltiples, deben conectarse a los conductores que ingresan a sus bornes y fijarse a ellos con un torque (kgcm) cuyo valor está normalizado a nivel nacional e internacional por la siguiente tabla, en base al diámetro del borne (macho o hembra).

Ver aparato de prueba en la figura 54.

Nota: ante la falta de este dispositivo de control de apriete, se sugiere usar el destornillador de mayor tamaño que permita la ranura del tornillo.

Diámetro nominal de la rosca (mm)	Par de apriete (N.m)			Par de apriete (Kg.cm)		
	I	II	III	I	II	III
Hasta 2,8	0,2	0,4	0,4	2	4	4
De 2,8 a 3	0,25	0,5	0,5	2,5	5	5
De 3 a 3,2	0,3	0,6	0,6	3	6	6
De 3,2 a 3,6	0,4	0,8	0,8	4	8	8
De 3,6 a 4,1	0,7	1,2	1,2	7	12	12
De 4,1 a 4,7	0,8	1,8	1,8	8	18	18
De 4,7 a 5,3	0,8	2	2	8	20	20
De 5,3 a 6,0	1,2	2,5	3	12	25	30
De 6,0 a 8,0	2,5	3,5	6	25	35	60
De 8,0 a 10,0	*	4	10	*	40	100
De 10,0 a 12,0	*	*	14	*	*	140
De 12,0 a 15,0	*	*	19	*	*	190
De 15,0 a 20,0	*	*	25	*	*	250

Sección del conductor (mm²)	Fuerza de retención (Kg)
1 a 2,5	5
2,5 a 4	5
4 a 6	6
6 a 10	8
10 a 16	9
16 a 25	10
25 a 50	12

Las fuerzas de retención (kg) que deben tener estas uniones serán como mínimo la de la siguiente tabla

Los aspectos que normalmente no se toman en cuenta son las vibraciones mecánicas y la corrosión del ambiente donde se fijan los aparatos eléctricos. Respecto a las vibraciones el torque adecuado en caso de los bornes hembra y en el caso de bornes machos (barras de tableros), con arandelas grower y planas, deben respetarse.

Capítulo 9

TIPOS DE TRANSFORMADORES USADOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS SEGURAS

Estos transformadores son utilizados en donde debemos reducir la tensión de 220 o 380 V a 24 o 12 V de tensión de salida.

La clase de aislación 3 denomina a estas tensiones como de muy baja tensión de seguridad (MBTS).

A los transformadores que las producen se los llama "de seguridad" y deben construirse y ensayarse según la norma internacional IEC 61558-2-6, de exigencias muy superiores a un transformador normal (estándar).

Transformador de muy baja tensión de seguridad (MBTS)

De 24 V:

» Aplicado en ambientes secos, húmedos y mojados. Ejemplo: piletas de natación.

Nota: en estos transformadores, ningún punto del circuito secundario debe conectarse a tierra, y no deben ser autotransformadores.

Transformador de muy baja tensión funcional (MBTF)

Estos transformadores reducen la tensión del primario de 220 o 380 V a 12 o 24 V y se utilizan en circuitos con timbres, teléfonos, alarmas e intercomunicadores, etc. donde las condiciones de seguridad de los ambientes son menos exigentes que en los casos anteriores.

Estos transformadores son de aislación estándar y no requieren de aislaciones especiales en sus bobinados ni a tierra, salvo cumplir con el sello de seguridad eléctrica.

Transformador de aislación

Estos transformadores se utilizan en instalaciones donde se necesita aislar eléctricamente el circuito primario del secundario por ejemplo 220/220 V (el secundario no se debe conectar a tierra); un ejemplo de aplicación es la sala de operaciones de un hospital.

Se requiere que estos transformadores cumplan elevadas exigencias de aislación, construcción y en-

sayos de acuerdo a normas internacionales IEC.

Transformadores IP

Estos transformadores, que podrían usarse en una obra en construcción, no deben tener un IP menor a 54, es decir, deben estar protegidos de la entrada de polvo y de la lluvia como mínimo.

Nota final:

Las normas IRAM de productos pueden consultarse en sede central, Perú 552, Tel.: 4346-0600 (10 a 17 hs) en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires o sedes de provincias.

El reglamento de la AEA puede consultarse en Posadas 1659, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Tel.: 4804-1532 // 3454 de 11 a 18 h.

ANTECEDENTES DEL AUTOR:

Profesionales

- » Técnico electricista | Escuela Otto Krause, 1952.
- » Ingeniero electricista | Universidad de Buenos Aires (UBA), 1961.
- » Estudios sobre: diseño, cálculo y ensayo de motores eléctricos asincrónicos hasta 200 HP; diseño, producción y ensayo de balastos de iluminación de: mercurio, sodio y fluorescente y diseño y producción de autotransformadores hasta 200 HP.
- » Gerente técnico de ATMA, productos eléctricos y electrodomésticos. 1979 a 1991.
- » Gerente técnico de Cambre, productos eléctricos. 1992 a 2009.

En instituciones

- » Asesor de Asociación de Defensa del Consumidor (ADELCO). 1980 a 1982.
- » Corredactor del Reglamento de instalaciones eléctricas en inmuebles, de la Asociación Electrotécnica Argentina (AEA). 1984 a 1987.
- » Miembro del consejo superior del Instituto Argentino de Normalización (IRAM). 1980 a 1991.
- » Corredactor del proyecto de resolución n° 92/98 de la ex-Secretaría de Industrias y Comercio.
- » Miembro del consejo directivo de Asociación para la Promoción de la Seguridad Eléctrica (APSE). 1998 a 2000.



CASA
BACHETTI
MATERIALES ELECTRICOS

Nuestra misión

proveer y distribuir materiales eléctricos de calidad,
con amplio stock, a través de un trabajo profesional,
garantizando la satisfacción de nuestros clientes



35 Años en el mercado nacional

Casa Bachetti SA fue creada por una familia con visión que confiaba plenamente en el mercado nacional.
Creciendo y fortificándose a través de los años para ser lo que es hoy.
Preparada para enfrentar las exigencias futuras



GESTION
DE LA CALIDAD

IR-9000-0003681



**IRAM - ISO
9001:2008**

Casa Bachetti S.A.
Av. San Martín 3045/3051 (1824) Lanús Oeste - Buenos Aires
Tel: 4262-1788 Tel/Fax: 4262-6688
info@casabachetti.com.ar - www.casabachetti.com.ar

*Siempre supimos que con
una sonrisa, estando muy cerca y
brindando las mejores soluciones íbamos
a llegar a buen puerto.*



Hoy ese puerto es nuestro 50 aniversario, y estamos tan contentos
que quisiéramos saludar a cada uno de nuestros clientes y proveedores.
Que esta página sea entonces un brindis con todos ustedes, por seguir creciendo juntos.



- **Salón de ventas:** Sarmiento 1342 CABA – Argentina
Tel. 0054 11 4371 6288 líneas rotativas – e-mail: etventas@electrotucuman.com.ar
- **Showroom Iluminación:** Sarmiento 1345 CABA – Argentina
Tel. 0054 11 4374 6504/1383 – e-mail: iluminacion@electrotucuman.com.ar
- **Estacionamiento exclusivo para clientes** / www.electrotucuman.com.ar

Redelec