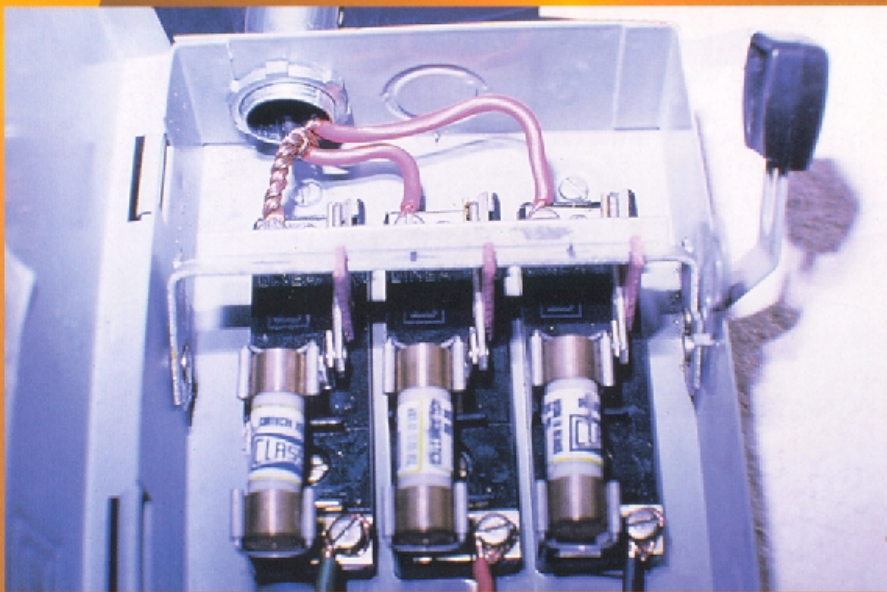


PROTECCIONES ELECTRICAS



UNIDAD 7



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Procobre Chile en la realización de este documento.

PROTECCIONES ELECTRICAS

OBJETIVOS

- Conocer los tipos de fallas y perturbaciones a las que están expuestos los circuitos eléctricos y sus efectos sobre éstos.
- Apreciar la importancia de las protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos,
- Conocer las características de los tipos de protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos,
- Dimensionar adecuadamente las protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos que requiere una instalación eléctrica.
- Efectuar adecuadamente la selectividad y coordinación de las protecciones para proveer eficientemente a los circuitos eléctricos contra sobrecargas y cortocircuitos.

PROTECCIONES ELECTRICAS

INTRODUCCION

La electricidad es innegablemente un factor que contribuye al desarrollo de la nación y un elemento facilitador de la vida de las personas, pero al mismo tiempo, puede ser causa de accidentes e incluso de muerte si no se respetan los procedimientos para su manejo eficiente.

Esta unidad explica los tipos de fallas que pueden presentarse en una instalación eléctrica y describe los diferentes elementos protectores que aseguran la integridad de las personas y de los equipos.

Por esto es de gran importancia el conocimiento que los profesionales eléctricos tengan sobre el correcto dimensionamiento y utilización de las protecciones eléctricas, para la seguridad de los bienes y los usuarios a los que servirá una instalación determinada.

CARACTERISTICAS OPERATIVAS DE UNA INSTALACION ELECTRICA

Durante su funcionamiento, toda instalación eléctrica puede presentar dos estados operativos:

Estado de operación normal.

Es el estado de funcionamiento de una instalación en el cual todos los parámetros del circuito (voltaje, consumo, corriente, frecuencia, temperatura de los conductores, etc.), se encuentran dentro de los márgenes previstos.

Estado de operación anormal.

Cuando uno o más parámetros de la instalación eléctrica exceden las condiciones previstas, decimos que el circuito está operando anormalmente. En este caso ocurren situaciones como el sobreconsumo, el aumento de temperatura en los conductores, variaciones de voltaje, cortocircuitos, etc.

Según la gravedad que presentan las anomalías, éstas a su vez se clasifican en:

Perturbaciones

Corresponden a las anomalías de breve duración que no constituyen riesgo para la operación de una instalación eléctrica. Por ejemplo, son perturbaciones de este tipo las variaciones momentáneas de voltaje o frecuencia, o las sobrecargas de corriente de corta duración, que si bien pueden tener un efecto pasajero en la instalación y los artefactos conectados a ella, una vez que la perturbación cesa todo vuelve a la normalidad.

Fallas

Estas son anomalías en las cuales se pone en peligro la integridad de la instalación eléctrica, de los bienes materiales y la vida de las personas. Debido a la gravedad extrema de la situación anormal, el sistema eléctrico no puede continuar operando. Los tipos de fallas más comunes son las sobrecargas permanentes, los cortocircuitos, las fallas de aislamiento, el corte de conductores, etc.

TIPOS DE FALLAS

Las fallas, según su naturaleza y gravedad, se clasifican en:

Sobrecarga:

Se produce cuando la magnitud del voltaje o corriente supera el valor previsto como normal para la instalación (llamado valor nominal).

Las sobrecargas de corriente más comunes se originan en el exceso de consumos en la instalación eléctrica.

Debido a esta situación de mayor demanda, se produce un calentamiento excesivo de los conductores eléctricos, lo que puede conducir a la destrucción de su aislamiento, provocando incluso su inflamación, con el consiguiente riesgo para las personas y la propiedad.

Cortocircuito:

Es la falla de mayor gravedad para una instalación eléctrica. En los cortocircuitos el nivel de corriente alcanza valores tan altos, que los conductores eléctricos se funden en los puntos de falla, produciendo calor, chispas e incluso flamas generando un alto riesgo de incendio del inmueble.

Los cortocircuitos se originan por la unión fortuita de dos líneas eléctricas que han perdido su aislamiento, entre las cuales existe una diferencia de potencial (fase y neutro).

Fallas de aislamiento:

Las fallas de aislamiento no siempre dan origen a un cortocircuito. En muchos casos una falla de aislamiento en algún equipo eléctrico (el tablero, un electrodoméstico, etc.) provoca que la carcasa metálica de dicho equipo se energice, con el consiguiente peligro para la vida de las personas al sufrir una descarga eléctrica.

El origen de las fallas de aislamiento está en el envejecimiento del mismo, los cortes de algún conductor, uniones mal aisladas, mala ejecución de las reparaciones, uso de artefactos en mal estado, etc.

Como hemos visto, la instalación eléctrica se debe diseñar para que en situaciones de mal funcionamiento, ante una perturbación, sea capaz de soportar esta anomalía pasajera y volver a operar correctamente, sin arriesgar la integridad de las personas, los bienes o la propia instalación.

Sin embargo, ya que es posible que ocurran anomalías más extremas, es decir fallas, es necesario incorporar medidas que protejan a las personas y a los bienes frente a los cortocircuitos y sobrecargas, dotando a las instalaciones de un sistema de protecciones destinadas a minimizar los efectos de las fallas, de tal manera que al presentarse alguna, la instalación dañada pueda ser aislada para su posterior reparación.

PROTECCIONES CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS

Cualquier instalación eléctrica debe estar provista de protecciones, cuyo objetivo es reducir al máximo los efectos producidos por un cortocircuito o una sobrecarga. Para que esto sea posible, las protecciones deben ser dimensionadas adecuadamente según las características del circuito. Las protecciones más comunes que existen son:

Los fusibles

Los disyuntores magneto-térmicos

FUNCIONAMIENTO DE FUSIBLES

Los fusibles son aparatos de protección de las instalaciones o sus componentes, diseñados para interrumpir la corriente por la fusión de uno de sus elementos integrantes, cuando los valores de corriente en el punto protegido exceden de cierto valor establecido durante un tiempo preestablecido.

Los fusibles están compuestos por un hilo conductor de bajo punto de fusión, el que se sustenta entre dos cuerpos conductores, en el interior de un envase cerámico o de vidrio, que le da su forma característica al fusible.

Este hilo conductor permite el paso de corriente por el circuito mientras los valores de ésta se mantengan entre los límites aceptables. Si estos límites son excedidos, el hilo se funde, despejando la falla y protegiendo así la instalación de los efectos negativos de este exceso.

La sección que debe tener un hilo fusible para fundirse a una determinada corriente, se puede establecer recordando la Ley de Joule, de la cual se puede derivar la siguiente expresión:

$$S = I \times \frac{0,24 \times t \times \rho}{e \times d \times (\theta_f - \theta_a)}$$

de donde:

S = Sección del hilo fusible en mml

I = Corriente en amperes

r = Resistividad específica del hilo conductor e

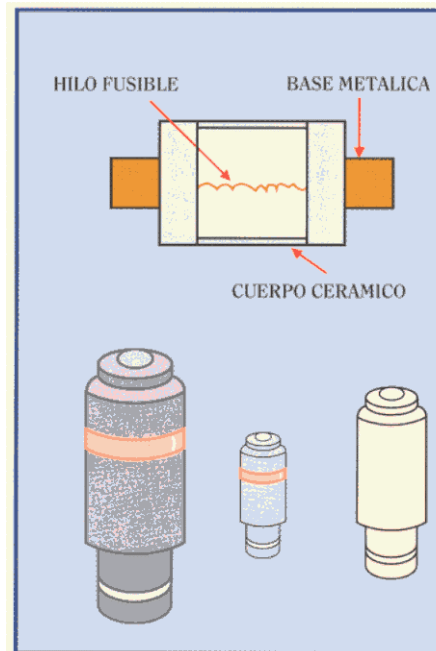
= Calor específico del hilo conductor

d = Peso específico del hilo conductor

t = Tiempo de fusión en segundo

qf = Temperatura de fusión en 'C

qa = Temperatura ambiente en 'C



Para que la protección brindada por un fusible a una instalación o artefacto en particular sea efectiva se le debe seleccionar de modo que la magnitud de la corriente que lo haga operar, el tiempo en que dicha operación se produzca y la capacidad de ruptura del fusible sean las adecuadas a las características del consumo y de la instalación en el punto que el fusible esté colocado.

Las características de operación de los fusibles, están dadas por las curvas tiempo-corriente y existe una para cada tipo y capacidad de fusible; estas curvas muestran el tiempo que el fusible demora en despejar una falla en función del valor de la corriente.

CLASIFICACION DE LOS FUSIBLES

Los fusibles utilizados en instalaciones de baja tensión se clasifican según sus características de funcionamiento.

Fusible L: Para uso doméstico, son empleados para la protección de cables y conductores, protegen los circuitos contra las bajas y altas sobrecargas, y por supuesto, contra los cortocircuitos.

Fusible M: Para uso industrial, protegen instalaciones y aparatos de conexión contra las elevadas sobrecargas y los cortocircuitos; ellos están calculados para resistir a ciertas sobrecargas como, por ejemplo, arranque de motores. Estos fusibles deben estar obligatoriamente asociados a un dispositivo de protección térmica contra las débiles sobrecargas.

Fusible R: De uso general y para protección de semiconductores.

El tipo de fusible más ampliamente utilizado es el L, que provoca una desconexión del circuito, tanto para sobrecarga como frente a situaciones de cortocircuito.

CURVA CARACTERISTICA DE LOS FUSIBLES

En los fusibles de la clase M, la corriente de interrupción es cuatro veces su intensidad nominal, por lo que se utilizan sólo para la protección contra cortocircuitos y no contra sobrecargas. Por ejemplo, si la capacidad nominal del fusible M es de 10 amperes, su hilo conductor se funde a los 40 amperes.

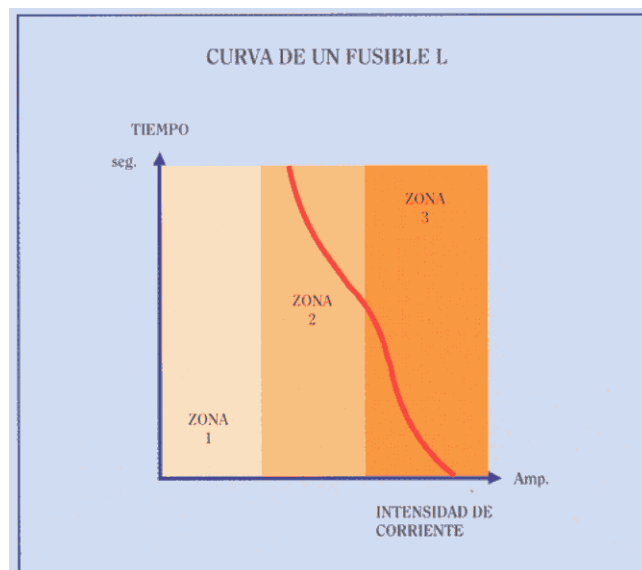
La operación de un fusible, es decir, la intensidad de corriente frente a la cual actúa la protección, se refleja en la **curva característica** para cada tipo de fusible. Esta curva es un gráfico en el cual se indica el tiempo que demora el hilo en fundirse, según el nivel de corriente que exista. En la figura se muestra la curva característica de un fusible de la familia L.

En esta curva se distinguen claramente tres zonas, que delimitan la operación del circuito que el fusible está protegiendo:

Zona 1: Es la zona en condiciones normales de operación. La protección fusible no actúa, porque la intensidad de corriente de operación es menor a la corriente nominal (I_n) del fusible.

Zona 2: zona bajo condiciones anormales de operación, en situación de sobrecarga. La protección fusible actúa en tiempos superiores a los 10 segundos, dando la posibilidad de que la sobrecarga desaparezca antes de ese tiempo y el sistema continúe operando. Esto es útil cuando en un circuito existen artefactos que momentáneamente generan una sobrecarga, por ejemplo, la partida de motores pequeños como el del refrigerador, el encendido de iluminación incandescente, etc.

Zona 3: zona en condiciones anormales de operación, en situación de cortocircuito. La protección fusible actúa en tiempos inferiores a 10 segundos, pudiendo llegar a tiempos de operación de milésimas de segundos, según la magnitud de la falla. Si el aumento de intensidad es muy violento, el fusible se funde casi instantáneamente.



SELECCION DE UNA PROTECCION FUSIBLE

Para dimensionar una protección fusible que resulte eficiente y adecuada a un circuito eléctrico determinado, hay que considerar que la protección no debe actuar para condiciones normales de funcionamiento, pero sí debe operar frente a condiciones anormales. Para ello es necesario tener presente la siguiente información sobre el fusible que vamos a usar:

- 1. Intensidad mínima ($I_{mín}$):** Corriente mínima de operación que origina la fusión del hilo fusible (este valor se sitúa entre 1,6 a 2 veces la corriente nominal del fusible).
- 2. Tiempo de operación (t_{op}):** Tiempo en que el hilo fusible demora en fundirse,
- 3. Intensidad nominal (I_n):** Corriente nominal del protector fusible

Como criterio de dimensionamiento, debemos elegir la protección fusible que cubra los requerimientos antes descritos. Por ejemplo, si se tiene un circuito de alumbrado de 10 amperes, elegiremos un fusible con $I_n = 10\text{ A}$, de manera que para valores inferiores de corriente que $I_{mín}$ (aproximadamente 16 A.), la protección no actuará, pero sí lo hará para valores superiores.

Los fusibles se caracterizan en su operación, por:

- Alta seguridad de protección.
- Pérdidas reducidas (calentamiento).
- Bajo costo de mantenimiento y reposición.
- Gran capacidad de ruptura (corriente máxima que la protección puede despejar en un cortocircuito).

La principal desventaja de este tipo de protección es que son fácilmente alterables, lo que puede ocurrir al reemplazarlos cambiando los valores apropiados, por ejemplo, reemplazar un fusible de 10 amperes por uno de 20 amperes. Otra desventaja, lamentablemente muy frecuente, es que pueden ser «reparados», lo que no debe hacerse ya que dejan de prestar el servicio para el cual fueron diseñados.

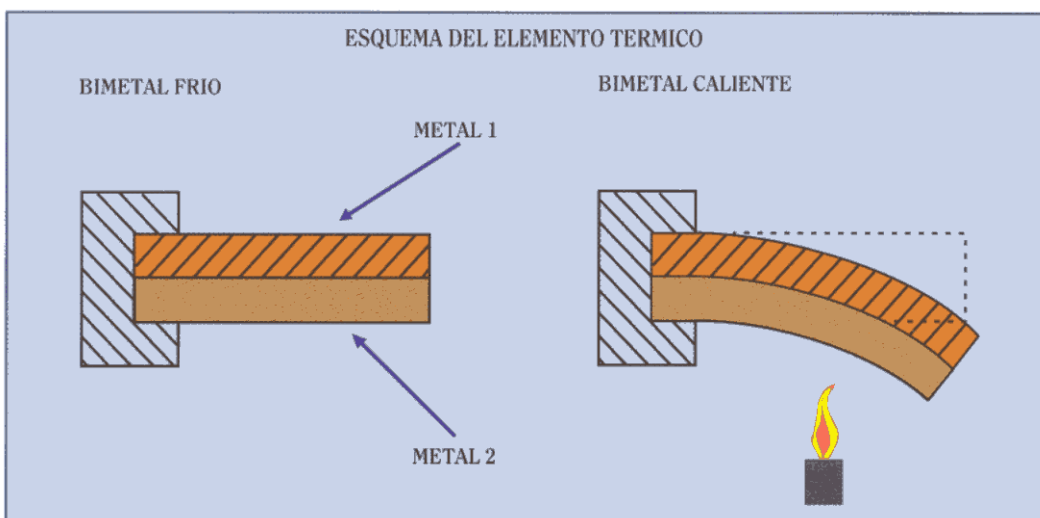
DISYUNTORES MAGNETO - TERMICOS

Los disyuntores magneto-térmicos, conocidos comúnmente como interruptores automáticos, son dispositivos de protección que se caracterizan fundamentalmente por:

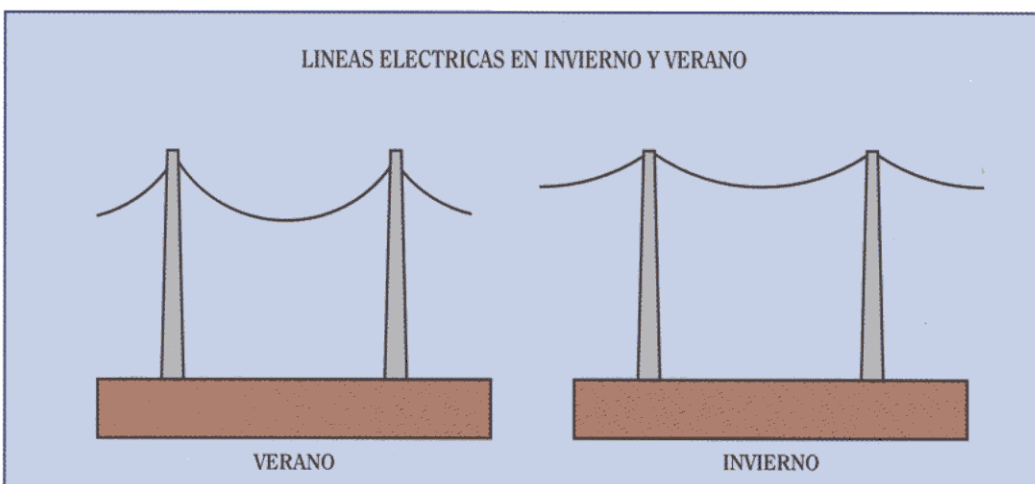
- Desconectar o conectar un circuito eléctrico en condiciones normales de operación.
- Desconectar un circuito eléctrico en condiciones de falla, ya sea frente a una sobrecarga o frente a un cortocircuito.
- Es posible que se utilice nuevamente después del «despeje» de una falla, a diferencia del fusible, que sólo sirve una vez.
- El disyuntor magneto-térmico es un interruptor que desconecta el circuito, cuyo accionamiento frente a una falla se debe a dos tipos de elementos:

El elemento térmico

Este dispositivo de la protección está formado por un bimetetal, mismo que se dilata con el calor que produce el exceso de corriente, haciendo actuar el mecanismo de apertura del interruptor, que desconecta el circuito.



Todos los materiales, cuando aumenta la temperatura, aumentan su longitud. Así, por ejemplo, en verano las líneas eléctricas aéreas describen una curva mayor que en invierno, producto de la mayor temperatura.



El bimetálico es una pieza formada por dos trozos de distinto metal, los que se dilatan en forma diferente. Al estar unidos, como uno de los metales se alarga en menor proporción que el otro, la pieza se curva.

La curvatura que se origina en el bimetálico es regulada para que sea proporcional a la corriente que circula a través del circuito.

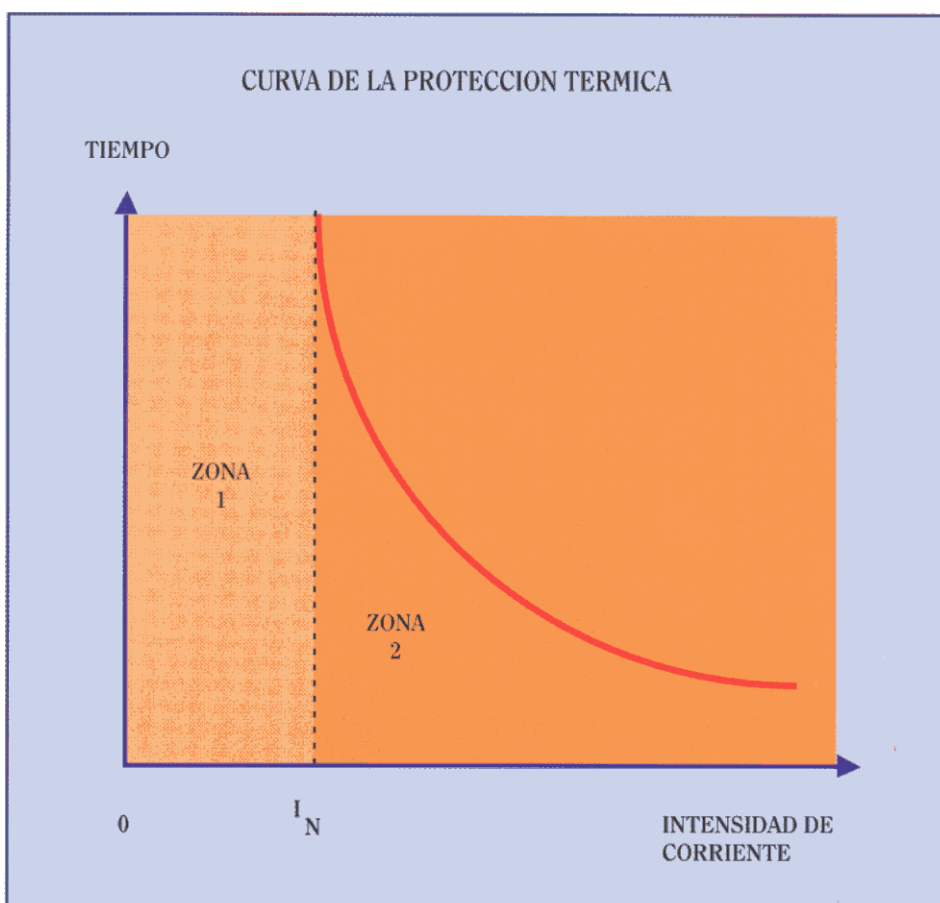
Cuando la corriente supera el valor permitido, la curvatura llega a un punto extremo que hace actuar un mecanismo de desenganche, liberando el disparo (desconexión) del interruptor y eliminando la sobrecarga.

La protección térmica actúa específicamente para sobrecargas, pues el calentamiento del bimetálico es equivalente al calentamiento de los conductores del circuito. La protección no es instantánea, sino que demora un tiempo en actuar, por lo que se la define como de **tiempo retardado**.

Esto se puede apreciar en la gráfica que muestra la relación entre tiempo e intensidad de corriente en una protección térmica, donde se definen dos zonas:

Zona 1: Situación de operación normal del circuito. La instalación absorbe la corriente sin que la protección actúe, hasta que se alcanza el valor I_N (intensidad de corriente nominal de la protección).

Zona 2: Situación de operación anormal del circuito. Si la corriente es mayor que I_N , la protección actuará desconectando el circuito. Así, mientras mayor sea la corriente de sobrecarga, la protección actuará en menor tiempo.

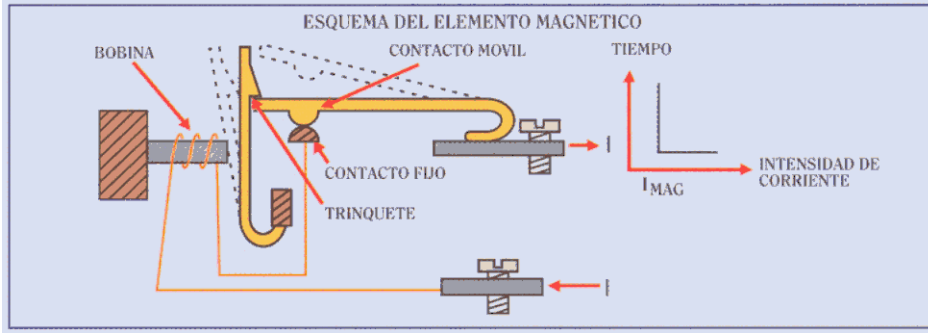


El elemento magnético

Esta parte de la protección está formada por una bobina, es decir, un conductor enrollado con gran cantidad de vueltas alrededor de un núcleo magnético, que al ser recorrido por una corriente eléctrica genera una acción magnética. Esta bobina está conectada en serie con el circuito que se va a proteger. Cuando la corriente alcanza un valor muy grande (dos o más veces la corriente nominal del protector), el magnetismo generado atrae un contacto móvil que activa la desconexión del interruptor. Esto ocurre en un lapso de tiempo prácticamente instantáneo, como se aprecia en la gráfica que muestra la curva de operación del elemento magnético.

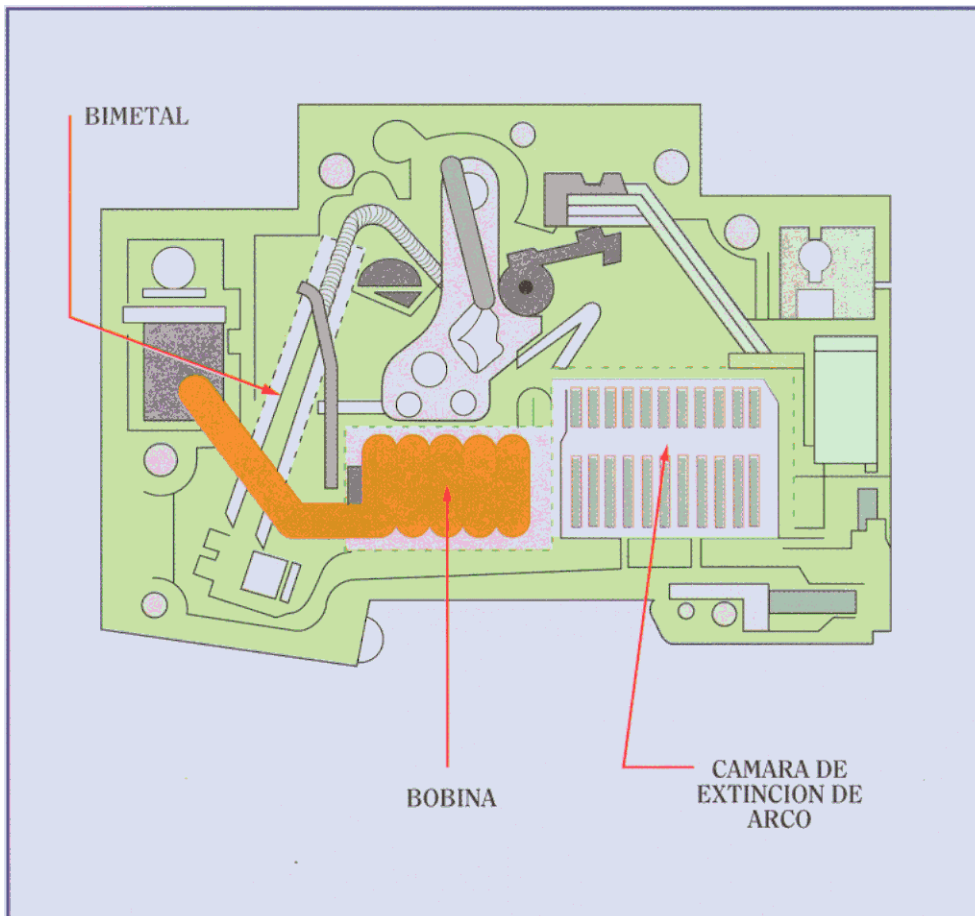
Por su gran rapidez de disparo (desconexión), la protección magnética se utiliza para despejar las fallas producidas por cortocircuito.

En la figura se aprecia un disyuntor magneto-térmico real, con sus diferentes elementos:



- Dispositivo térmico: bimetálico que actúa frente a sobrecargas.
- Dispositivo magnético: bobina que actúa frente a cortocircuitos.
- Cámara de extinción de arco: es un dispositivo incluido en el disyuntor para extinguir el arco eléctrico que se produce cuando hay un cortocircuito.

El arco eléctrico es un fenómeno que impide desconectar el paso de corriente, a pesar de la separación física de los contactos del interruptor del disyuntor, porque la corriente pasa a través del aire ionizado entre los contactos, comportándose como un rayo en miniatura. Por ello, para que este interruptor efectivamente actúe desconectando el circuito, el disyuntor posee esta cámara de extinción del arco eléctrico.

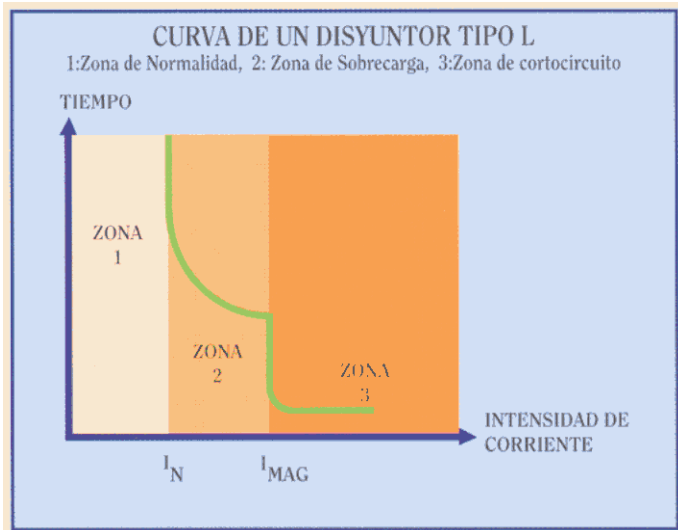


DIMENSIONAMIENTO DE LA PROTECCION TERMICO-MAGNETICA

En circuitos eléctricos de alumbrado lo usual es utilizar disyuntores de gran sensibilidad para la operación del dispositivo magnético, es decir, que son muy sensibles ante un cortocircuito. Estos disyuntores son denominados tipo L, y poseen una curva de operación como la siguiente:

En esta curva, el dispositivo térmico opera cuando se supera la intensidad nominal I_N , y el dispositivo magnético opera cuando se alcanza la intensidad I_{MAG} , que es 3.5 a 5 veces la intensidad nominal. Es decir, si $I_N = 10$ amperes, $I_{MAG} = 35 - 50$ A.

Como criterios para un correcto dimensionamiento del disyuntor que se va a colocar en un circuito determinado, debemos seguir las siguientes recomendaciones:



El protector magneto-térmico protege a un circuito eléctrico contra sobrecargas y cortocircuitos, siempre y cuando esté bien dimensionado.

El valor de la protección magnético-térmico se debe elegir a partir de:

- La capacidad del circuito que se quiere proteger. Por ejemplo, si el circuito demandara 13 amperes de corriente se debería elegir una protección de 15 amperes y no una de 10 amperes.

o La capacidad térmica de los conductores del circuito, es decir, la temperatura que soportan los conductores sin que haya riesgos eléctricos, lo que depende de la sección del conductor. Así, por ejemplo, para un circuito de alumbrado cuyo conductor es de 1,5 mm², la protección usualmente utilizada es la de 10 amperes; para un conductor de 2,5 mm² se usa una protección de 15 A.

SELECTIVIDAD Y COORDINACION DE PROTECCIONES

La selectividad de las protecciones es un concepto de extraordinaria importancia, el cual lamentablemente, no es de aplicación frecuente por parte de los proyectistas en la industria de la construcción.

Salvo en instalaciones muy elementales, hay siempre dos o más protecciones conectadas en serie entre el punto de alimentación y los posibles puntos de falla. Para delimitar la falla a la menor área posible, de modo que las perturbaciones que ella introduzca al resto de la instalación sean mínimas, la protección que esté más próxima al punto de la falla debe operar primero y, si ésta, por cualquier motivo, no opera dentro de su tiempo normal, la que sigue inmediatamente detrás deberá hacerlo y así sucesivamente. Vale decir, debe haber un funcionamiento escalonado que partiendo desde el punto de falla debe ir acercándose al punto de alimentación, si es que ello fuese necesario.

Las protecciones deberán entonces elegirse y regularse, de acuerdo a sus curvas características, de modo que operen frente a cualquier eventualidad en la forma descrita.

Cuando ello se consigue que las protecciones sean selectivas y el estudio que se ha hecho para conseguirlo se denomina **coordinación de protecciones**.

¿Cómo determinar la selectividad de un sistema de protección?

Según el tipo de falla, sobrecarga o cortocircuito, se utilizarán los siguientes criterios:

1. Sobrecargas:

Utilizar las curvas de zonas de funcionamiento de los diferentes aparatos de protección. Sobre un mismo ábaco, las zonas de funcionamiento no deben cortarse.

2. Cortocircuitos:

Utilizar las tablas de resistencia (esfuerzos) térmicos. En el esfuerzo térmico total del sistema de protección, el inferior debe ser menor al esfuerzo térmico del pre-arco de las protecciones superiores.

Diferencia entre esfuerzos térmicos de pre-arco y de arco

Un fusible despeja un cortocircuito en dos tiempos: el pre-arco y luego el arco.

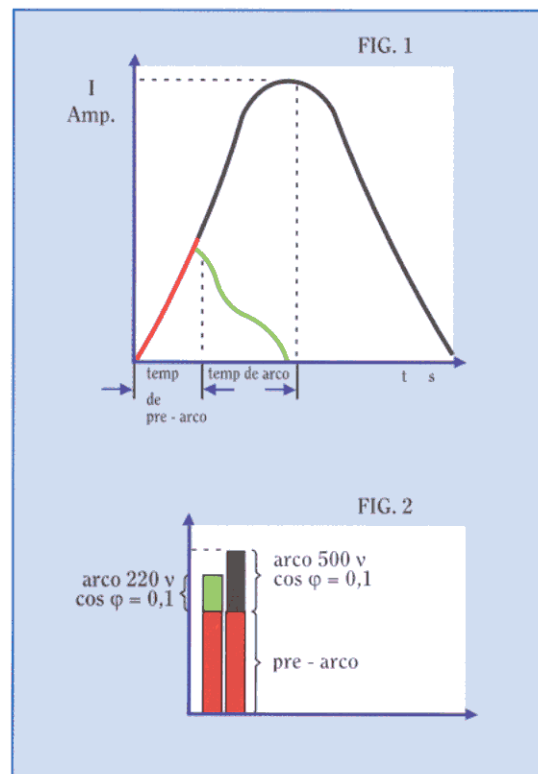
El esfuerzo térmico de pre-arco corresponde a la energía mínima necesaria para que el elemento del fusible llegue a su punto de fusión.

Es importante conocer este esfuerzo térmico para determinar la selectividad sobre cortocircuito entre los varios sistemas de protección en serie.

El esfuerzo térmico de arco corresponde a la energía limitada entre el fin del pre-arco y la interrupción total.

Fig. 1: Los esfuerzos térmicos de pre-arco y de arco están ligados a la forma de estas curvas.

Fig. 2: La suma de los esfuerzos térmicos de arco y de pre-arco dan el esfuerzo térmico total.

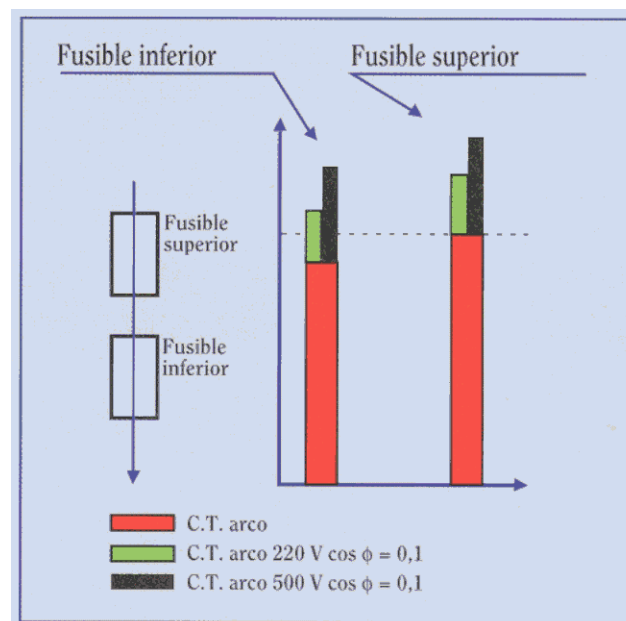


Ejemplos de Coordinación

Selectividad entre dos fusibles

El esfuerzo térmico de pre-arco del fusible mayor debe ser superior al esfuerzo térmico total del fusible menor.

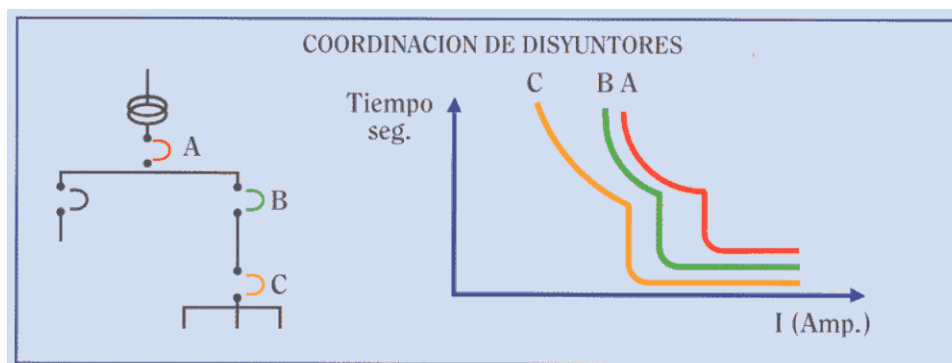
En la figura el esfuerzo total del fusible inferior es superior al esfuerzo de pre-arco del fusible mayor, situación que origina una mala selectividad.



2. Selectividad de disyuntores

Es difícil de realizar sin recurrir a una selectividad cronométrica.

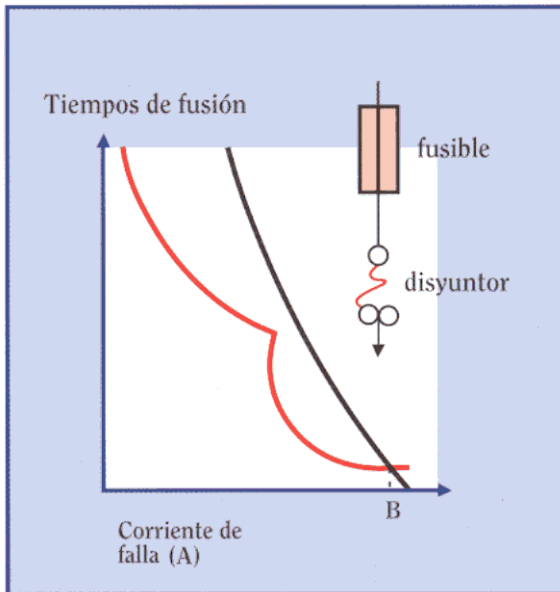
En el caso mostrado en la figura, las curvas de operación de los distintos disyuntores, deben estar en la posición relativa mostrada para que éstos sean selectivos.



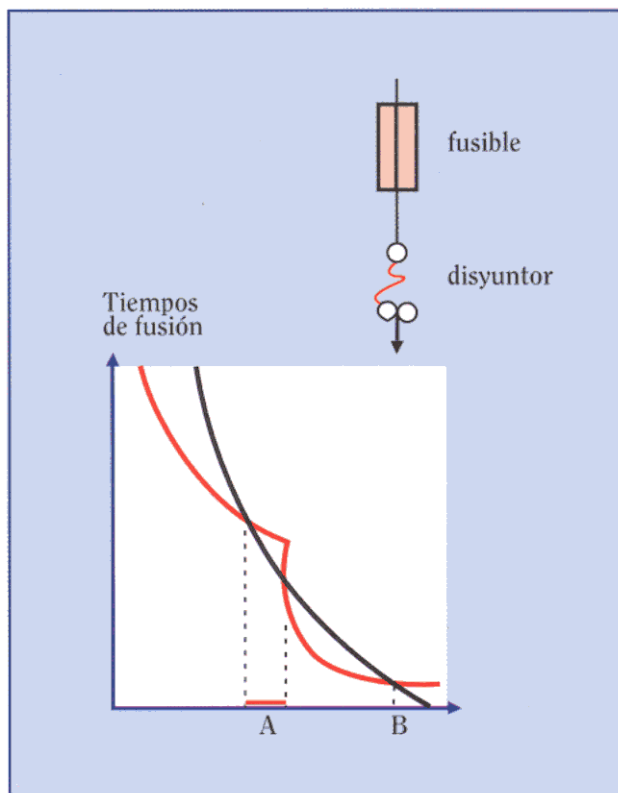
3. Selectividad de fusible y disyuntor

En la condición propuesta, el disyuntor está más próximo al consumo, de modo que debe operar primero; esto se logra seleccionando un disyuntor y un fusible que tenga curvas de operación similares a las mostradas en la figura. Existirá selectividad siempre que el esfuerzo térmico de pre-arco del fusible sea superior al esfuerzo térmico total de ruptura del disyuntor.

El esfuerzo térmico de pre-arco de un fusible puede ser considerado como una constante, pero el esfuerzo térmico total de ruptura de un disyuntor está ligado a la corriente de falla. La selectividad será por consiguiente asegurada hasta un valor de corriente llamado umbral de selectividad (punto B en la figura).



En la figura siguiente se presenta el caso en que no hay una selectividad entre el disyuntor y el fusible.



Procobre México, entidad no lucrativa, es una institución creada con el objetivo de llevar a cabo la promoción de las aplicaciones del cobre y sus aleaciones en los mercados nacionales.

La principal función de Procobre es mejorar la eficiencia de las industrias del cobre alrededor del mundo, por medio de proyectos de desarrollo de mercados y actividades tecnológicas.

Procobre México promueve en todos los ámbitos al cobre y las aplicaciones que representen mejores expectativas de incremento en ventas de los productos del cobre, beneficiando así a toda la cadena productiva.



CENTRO MEXICANO DE PROMOCION DEL COBRE

Av. Sanora No. 166. 1er. piso

Cel. Hipódromo Condesa, C.P. 06100, México, D.F.

Tels. 211 1201, 211 1204 y 553 4191 fax 206 7723

E-mail: procobremexico@infosel.net.mx

El uso o reproducción de este folleto está permitido, siempre y cuando se mencione la fuente