

PROTECCIONES ELÉCTRICAS.

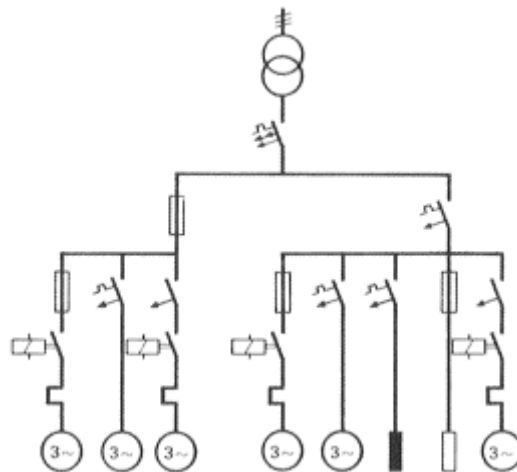
1. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN UN PUNTO DE LA LÍNEA

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

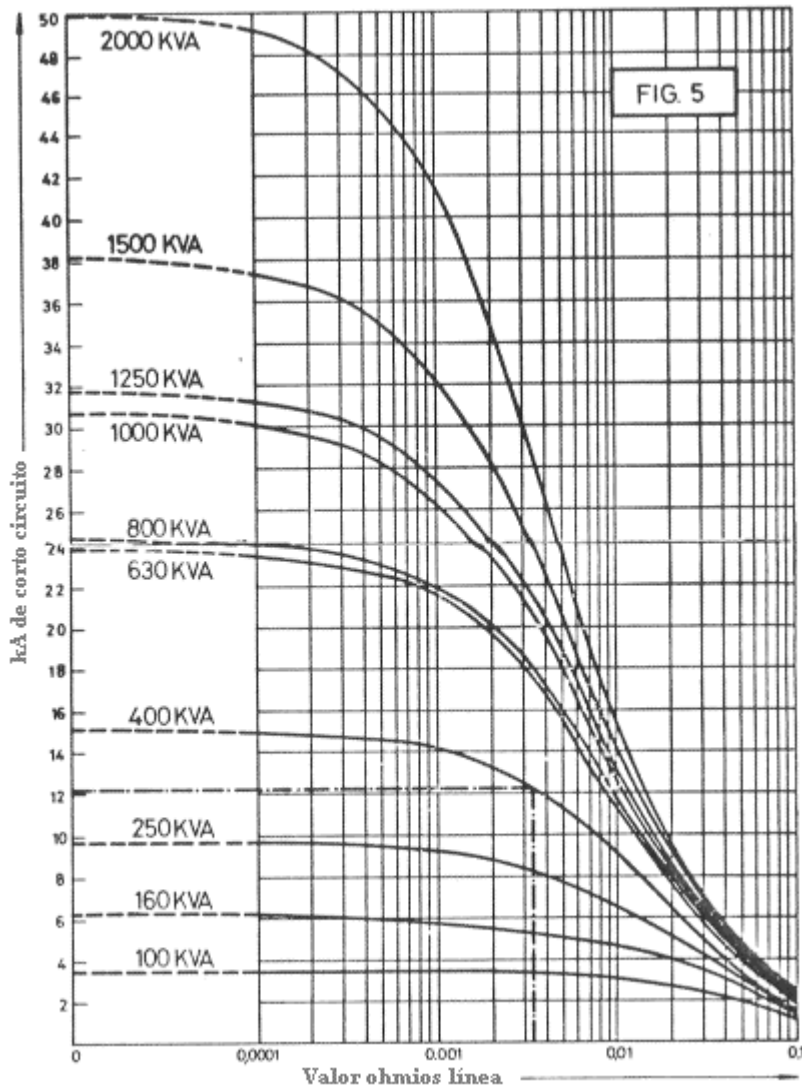
Basándonos en estas gráficas, el procedimiento a seguir será el siguiente:

1. Se calcula la resistencia del conductor intercalado desde el transformador hasta el cortocircuito.
2. Al valor de resistencia que resulte deberá sumarsele el valor del hilo neutro, cuando el cortocircuito sea entre fase y neutro, y multiplicarlo por $\sqrt{3}$ cuando el cortocircuito sea entre dos fases.
3. El resultado obtenido se traslada al gráfico de la figura 5, donde en función de la potencia del transformador, se determinará el valor de la intensidad de cortocircuito en amperios.

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



Así, según vemos en la figura, inmediatamente después del transformador tenemos un interruptor automático, dividiéndose el circuito en dos ramales, con sendas derivaciones a motores y resistencias de calefacción. Hasta llegar a los receptores, existen una serie de protecciones selectivas y en cada uno de estos puntos deberemos calcular la intensidad de cortocircuito para poder dimensionar correctamente cada una de las protecciones.



Estas curvas solamente son válidas para transformadores cuya tensión de salida sea de 220/380 V.

EJEMPLO DE CALCULO

Sea una nave industrial alimentada a 220/380 V. mediante un transformador de 400 kVA. Suponiendo que el cable de salida del

transformador es de cobre de sección $3,5 \times 200 \text{ mm}^2$. y de 23 metros de longitud, calculemos el poder de corte del interruptor automático en ese punto.

La resistencia óhmica del cable utilizado, será:

$$R = \rho \frac{l}{s} = 0,018 \frac{23}{200} = 0,002 \Omega$$

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

$$0,002 \times \sqrt{3} = 0,0034 \Omega$$

Las curvas características determinan para una resistencia de la línea de $0,0034 \Omega$ y un transformador de 400 kVA., una intensidad de cortocircuito de 12.000 A.

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

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

2. CORTACIRCUITOS FUSIBLES DE BAJA TENSIÓN

Los cortacircuitos fusibles son el medio más antiguo de protección de los circuitos eléctricos y se basan en la fusión por efecto de Joule de un hilo o lámina intercalada en la línea como punto débil.

Los cortacircuitos fusibles o simplemente fusibles son de formas y tamaños muy diferentes según sea la intensidad para la que deben fundirse, la tensión de los circuitos donde se empleen y el lugar donde se coloquen.

El conductor fusible tiene sección circular cuando la corriente que controla es pequeña, o está formado por láminas si la corriente es grande. En ambos casos el material de que están formados es siempre un metal o aleación de bajo punto de fusión a base de plomo, estaño, zinc, etc.

Fundamentalmente encontraremos dos tipos de fusibles en las instalaciones de baja tensión:

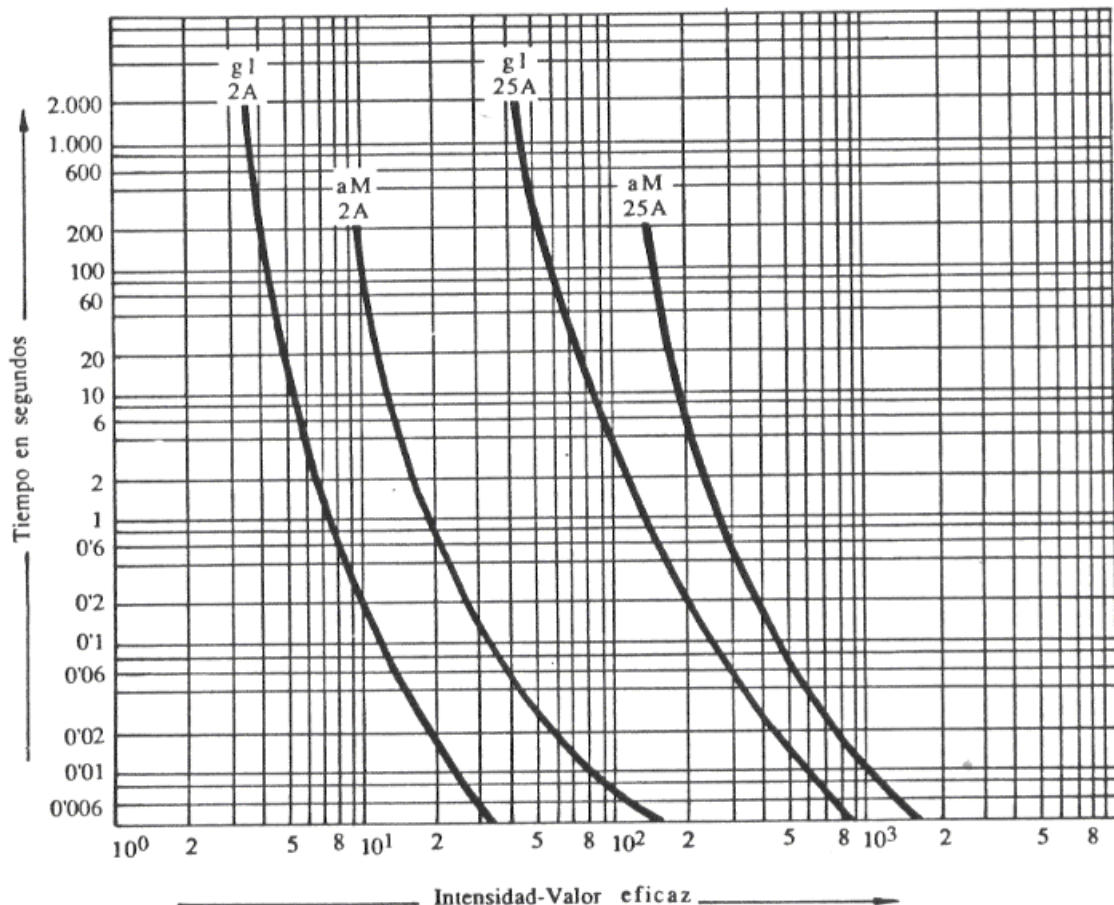
- gI (fusible de empleo general)
- aM (fusible de acompañamiento de Motor)

Los fusibles de tipo gI se utilizan en la protección de líneas, estando diseñada su curva de fusión "intensidad-tiempo" para una respuesta lenta en las sobrecargas, y rápida frente a los cortocircuitos.

Los fusibles de tipo aM, especialmente diseñados para la protección de motores, tienen una respuesta extremadamente lenta frente a las sobrecargas, y rápida frente a los cortocircuitos. Las intensidades de hasta diez veces la nominal ($10 I_n$) deben ser desconectadas por los aparatos de protección propios del motor, mientras que las intensidades superiores deberán ser interrumpidas por los fusibles aM.

La intensidad nominal de un fusible, así como su poder de corte, son las dos características que definen a un fusible.

La intensidad nominal es la intensidad normal de funcionamiento para la cual el fusible ha sido proyectado, y el poder de corte es la intensidad máxima de cortocircuito capaz de poder ser interrumpida por el fusible. Para una misma intensidad nominal, el tamaño de un fusible depende del poder de corte para el que ha sido diseñado, normalmente comprendido entre 6.000 y 100.000 A.



Un gran inconveniente de los fusibles es la imprecisión que tiene su curva característica de fusión frente a otros dispositivos que cumplen el mismo fin, tales como los interruptores automáticos. Esto equivale a decir que la banda de dispersión de los fusibles es mayor que la de los interruptores automáticos, pese a que el fabricante solamente facilita la curva media de los fusibles.

Otro inconveniente de los fusibles es la facilidad que tienen de poder ser usados con una misma disposición de base, hilos o láminas no adecuadas.

Así mismo, la independencia de actuación de los fusibles en una línea trifásica supone un serio problema, ya que con la fusión de uno de ellos se deja a la línea a dos fases, con los inconvenientes pertinentes que ello conlleva.

La selectividad entre fusibles es importante tenerla en cuenta, ya que de ello dependerá el buen funcionamiento de los circuitos. Idéntico problema se nos presentara con la selectividad de los interruptores automáticos.

Entre la fuente de energía y el lugar de defecto suele haber varios aparatos de protección contra cortocircuitos. Para desconectar la zona afectada, es necesario que los fusibles reaccionen de forma selectiva, es decir, debe desconectar primero el fusible más próximo al lugar de defecto. Si por alguna causa este fusible no responde correctamente, debe actuar el siguiente, y así sucesivamente.

La selectividad entre dos fusibles se determina gráficamente mediante la comparación de ambas características de disparo; para ello, las curvas, a la misma escala, no deben cortarse ni ser tangentes. Esto es cierto en el caso de sobrecargas y pequeñas intensidades de cortocircuito, pero no lo es en el caso de intensidades muy grandes de cortocircuito, ya que aquí los tiempos de fusión son extremadamente cortos y solamente es posible la selectividad en fusibles con una notable diferencia de valor nominal de la intensidad.

Según la norma VDE 0636, los fusibles cuyas intensidades nominales se encuentren en la relación 1:1.6, deben de poder desconectar de forma selectiva.

La norma CEI 269-2, no es tan exigente, y dice que sólo los fusibles cuyas intensidades nominales estén en la relación 1:2 pueden desconectar de forma selectiva.

INTENSIDAD NOMINAL MÍNIMA ADMISIBLE EN UN FUSIBLE aM

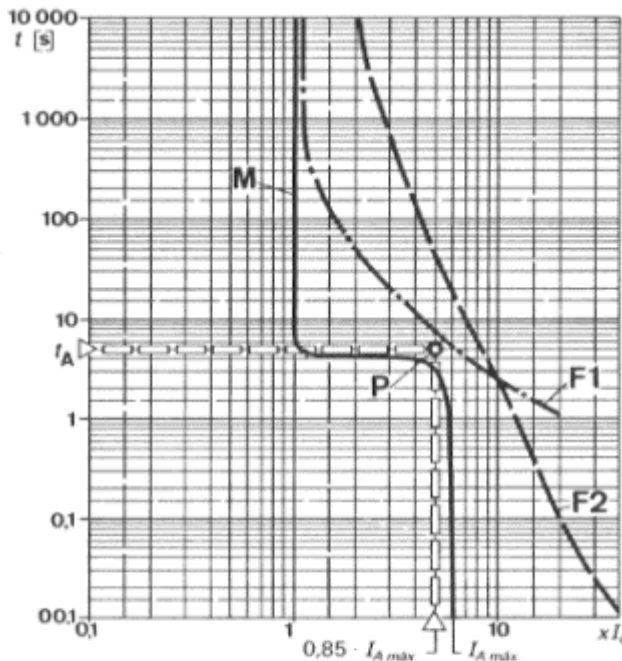
La intensidad nominal mínima del fusible de protección de un motor se determina a partir de la intensidad de arranque y del tiempo de arranque del mismo. En un arranque normal un fusible no debe fundir ni envejecer.

En los motores de jaula (arranque directo) la intensidad de arranque es aproximadamente de 4 a 8 veces la intensidad nominal. El tiempo de arranque depende del par de giro del motor y del momento de inercia de todas las masas a acelerar; este tiempo suele estar comprendido entre 0,2 y 4 segundos, pudiendo ser mayor en casos especiales de "arranque difícil".

En los motores de anillos rozantes y motores de jaula con arranque estrella-triángulo, la intensidad de arranque suele estar comprendida entre 1,1 y 2,8 veces la intensidad nominal. El tiempo de arranque en estos casos varía muy ampliamente.

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

Seguidamente veamos el caso de un motor cuya intensidad de arranque es seis veces el valor nominal y el tiempo es de cinco segundos.



M = Evolución de la intensidad de arranque del motor.

I_{max} = Intensidad en el arranque.

t_A = Tiempo de arranque.

F₁ = Característica de disparo del relé térmico.

F₂ = Característica media del fusible elegido.

P = Punto determinante de la intensidad nominal mínima.

La intensidad nominal mínima del fusible la podemos obtener mediante la intersección de dos líneas, la determinada por el tiempo de arranque t_A y la correspondiente a 0,85 de la intensidad nominal I_A . El punto así determinado nos marca el límite inferior de la banda de dispersión del fusible, por lo tanto el fusible elegido deberá pasar por encima de este punto.

Observando la curva característica de la protección térmica F₁ y la curva característica del fusible elegido F₂, podremos observar cómo la actuación de relé térmico se extiende hasta diez veces la intensidad nominal (intersección de

F_1 con F_2), y a partir de este valor será el fusible el encargado de proteger el motor.

3. INTERRUPTORES MAGNÉTICOS

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

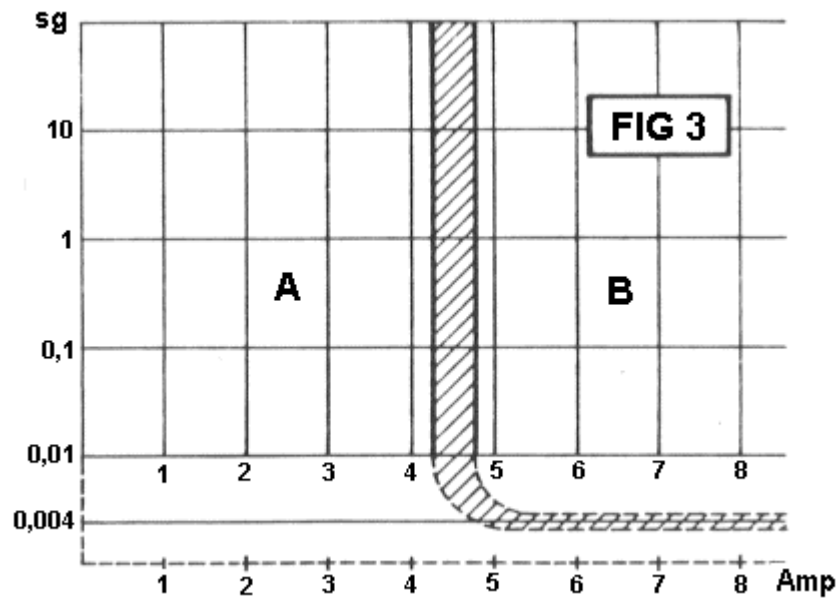
Para iniciar la desconexión se sirven del movimiento de un núcleo de hierro dentro de un campo magnético proporcional al valor de la intensidad que circula.

La curva característica de un disparo magnético es la representada en la figura siguiente.

El dispositivo permite trabajar en la zona A pero no en la B. La desconexión se efectúa cuando las condiciones del circuito llegan a la zona rayada de separación entre ambas.

Así pues, para la curva ejemplo de la figura 3, cualquier intensidad menor de 4,25 A, no provocaría la desconexión, por más tiempo que estuviera circulando. En cambio, para cualquier intensidad mayor de 4,75 A, provocaría la desconexión inmediata.

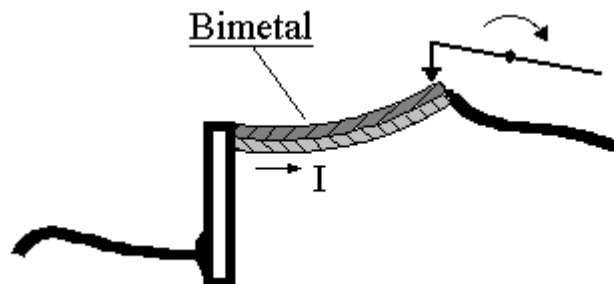
El límite inferior de la curva (unos 4 milisegundos), viene determinado por el tiempo que transcurre desde el instante de establecimiento de la intensidad, hasta la extinción del arco. Este tiempo marca la inercia mecánica y eléctrica propia de estos aparatos.

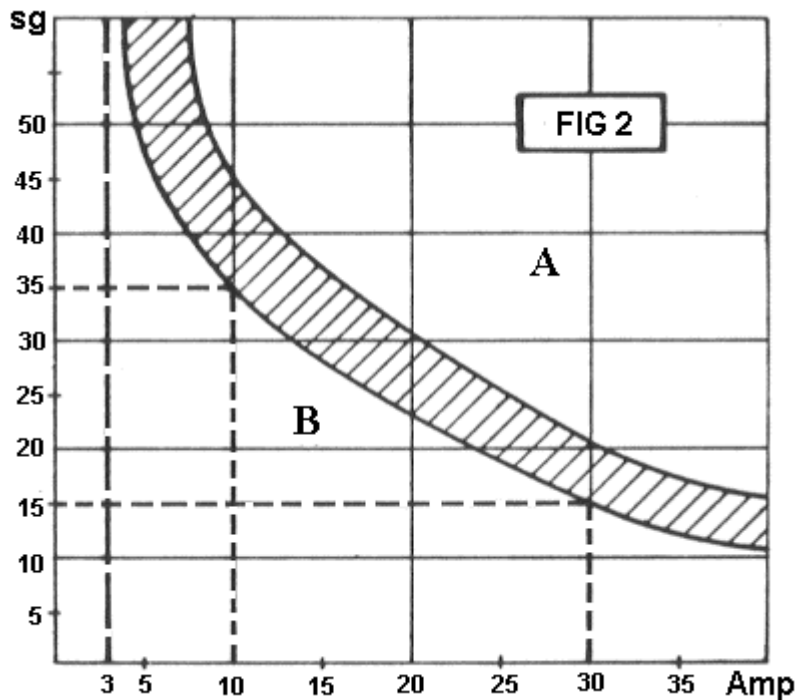


4. INTERRUPTORES TÉRMICOS

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

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





La curva característica de un disparo térmico es la representada en la figura 2.

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

Así, pues, en la curva de la figura 2, que citamos a título de ejemplo, circulando una intensidad de 3A., el interruptor no desconectaría nunca.

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

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

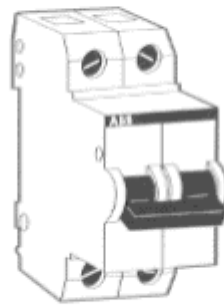
5. INTERRUPTORES MAGNETO-TÉRMICOS

Generalmente, los interruptores automáticos combinan varios de los sistemas de protección descritos, en un solo aparato. Los más utilizados son los magneto-térmicos.

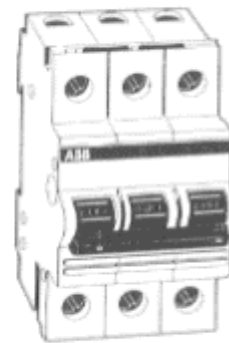
INTERRUPTORES MAGNETOTERMICOS



Unipolar



Bipolar



Tripolar

Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica.

En el gráfico de la figura 4. puede verse la curva de desconexión de un magneto-térmico, en la que se aprecia una zona A, claramente térmica, una zona B que corresponde a la reacción magnética, y la zona de solape C, en donde el disparo puede ser provocado por el elemento magnético o térmico indistintamente.

Normalmente, en los gráficos en que se ilustra la curva característica de los magneto-térmicos, se concede el eje vertical a la escala de tiempos, graduada logarítmicamente, y el eje horizontal a la escala de intensidades,

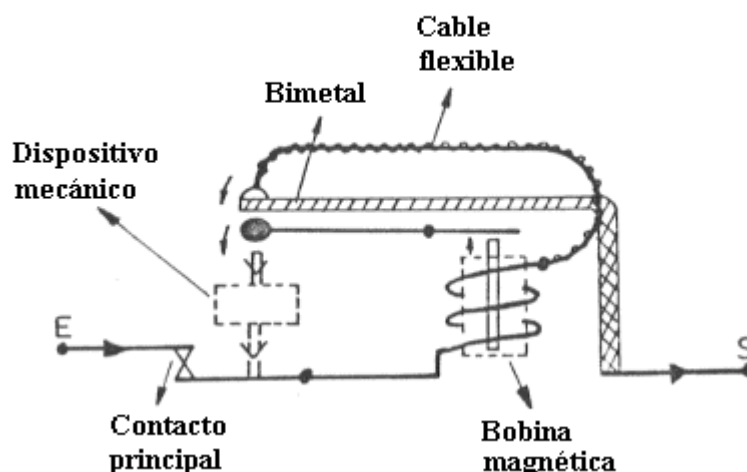
graduada también a escala logarítmica, y en múltiplos de la intensidad nominal. Así, por ejemplo, un punto $3 I_n$ corresponderá a 30A, si el aparato es de 10A, o bien a 75A, si el aparato es de 25A, etc.

Como en casos anteriores, la zona de tolerancia delimita las dos zonas características de "no desconexión" y de "segura desconexión". Así, para una intensidad $2,5 I_n$ podría suceder la desconexión entre los 15 y los 60 sg, siendo correcto cualquier tiempo intermedio de disparo.

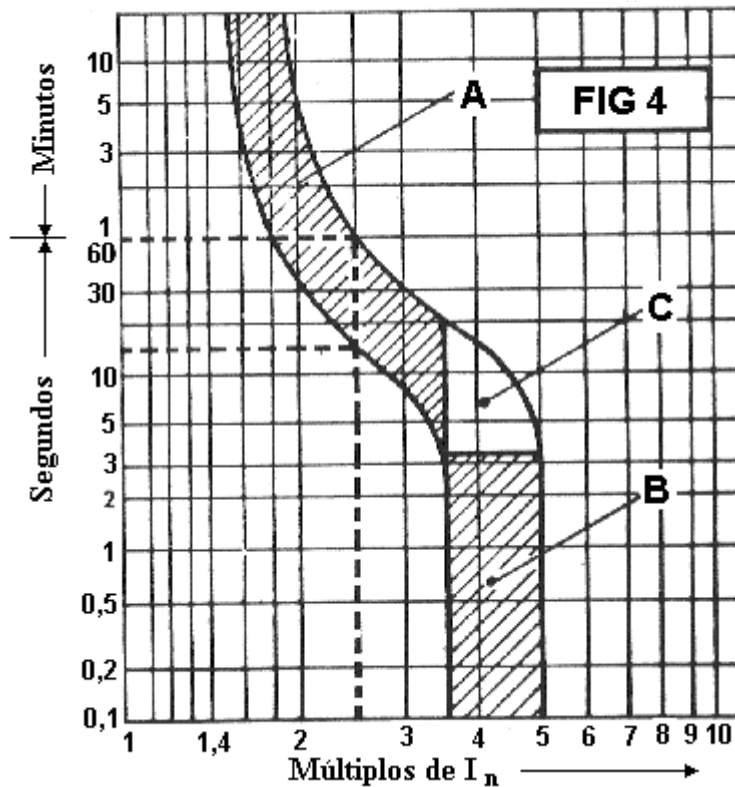
Mecánicamente, podemos decir que estos interruptores disponen de desconexión libre, es decir, que cuando se produce una desconexión, ya sea por sobrecarga o cortocircuito, el aparato desconecta aunque se sujete la manecilla de conexión.

Para los magneto-térmicos bipolares o tripolares, podemos decir también que cuando una fase es afectada en la desconexión, ésta se efectúa simultáneamente en todos los polos mediante transmisión interna, independiente de la pieza de unión entre manecillas.

Descripción de un magnetotérmico unipolar



Curva característica de un magnetotérmico



APLICACIONES DE LOS MAGNETOTÉRMICOS

Si comparamos los fusibles con los magneto-térmicos, veremos cómo estos últimos presentan una mayor seguridad y prestaciones ya que interrumpen circuitos con más rapidez y capacidad de ruptura que los fusibles normales. Después, a la hora de restablecer el circuito, no se precisa ningún material ni persona experta, basta presionar un botón o mover un resorte que se halla perfectamente aislado y visible.

Por contra, un fusible requiere el gasto de compra de un cartucho nuevo, su colocación en la base, sometida a tensión y una persona lo bastante capacitada para efectuar estas operaciones. Estas molestias ocasionadas por la fusión de un fusible, llevan en muchas ocasiones a colocar cartuchos

inadecuados, por personas inexpertas, ignorando el peligro que esto puede ocasionar a las personas y aparatos que con él van asociados.

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

Con todo lo dicho anteriormente no pretendemos descalificar los fusibles, pero sí podemos asegurar que su utilización se vio notablemente reducida después de la aprobación, en 1973, del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, el cual regulaba la utilización de estos aparatos. La fabricación masiva de los magneto-térmicos hace que su actual precio sea realmente sugestivo, por lo que muchos proyectistas no tienen reparo en colocarlos donde hasta no hace mucho colocaban fusibles.

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

Otra aplicación muy interesante de los magnetotérmicos la tenemos en la posibilidad de su desconexión a distancia, ya que algunos modelos se fabrican con la particularidad de poder acoplarles una bobina llamada de *emisión* (accionada con la aparición de una tensión) o de *mínima tensión* (accionada cuando la tensión desaparece), encargada de accionar el resorte de desconexión del magnetotérmico.

CURVAS DE DISPARO

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

En España está en vigor la norma EN que especifica una serie de curvas características para los magneto-térmicos, tales como son:

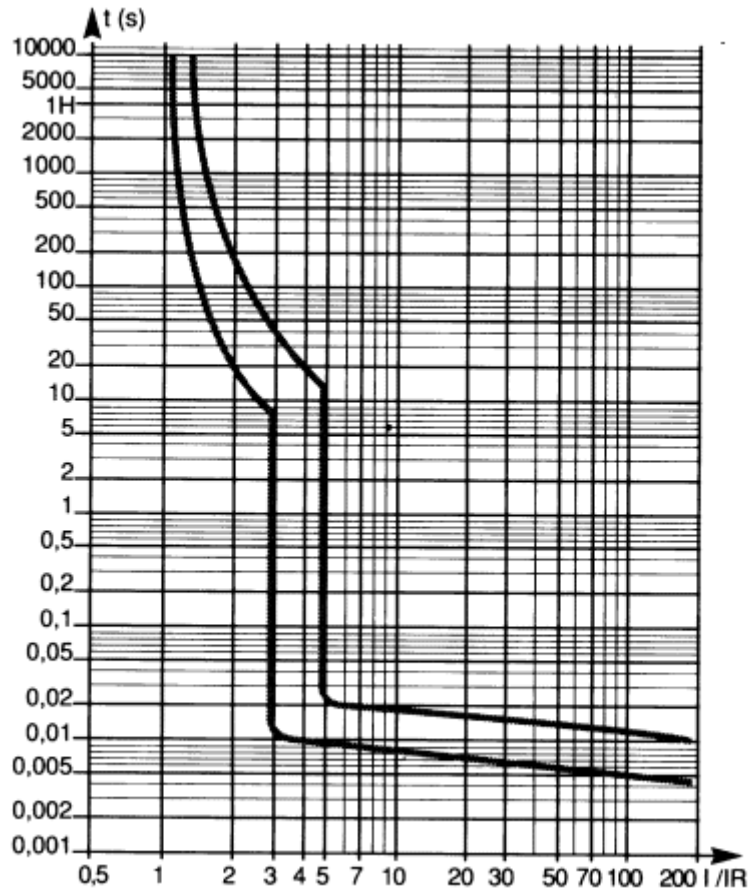
- Curva B.
- Curva C.
- Curva D.
- Curva Z
- Curva MA
- Curva Unesa

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

CURVA B

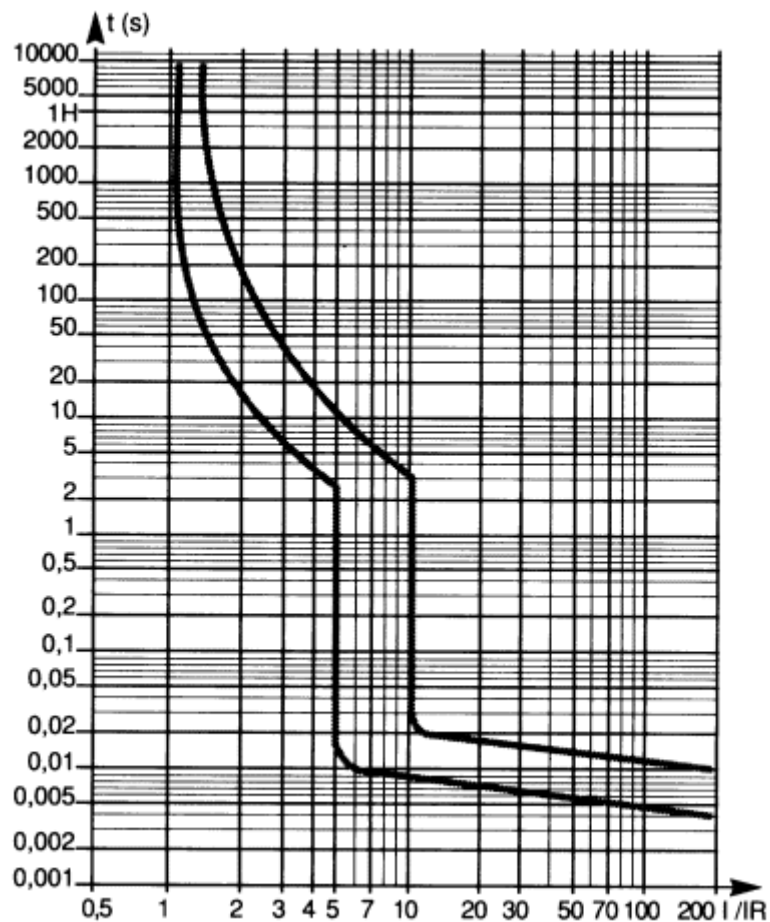
Estos magnetotérmicos actúan entre 1,1 y 1,4 veces la intensidad nominal I_n en la zona térmica y en su zona magnética entre un $3 I_n$ y $5 I_n$, o $3,2 I_n$ y $4,8 I_n$, según el tipo de aparato, de acuerdo con las normas EN 60.898 y EN 60947.2, respectivamente. Permiten realizar la protección de las personas para longitudes mayores que con la curva C, siendo indicado para instalaciones de líneas y generadores.

Así, por ejemplo, en un magnetotérmico de intensidad nominal 10A, para una intensidad de 20A., la desconexión la efectuará el elemento térmico en un tiempo comprendido entre 20 sg. y 200 seg. Para una intensidad de 50A, la desconexión la efectuará el elemento magnético en un tiempo del orden de comprendo entre 0,01 y 0,009 seg.



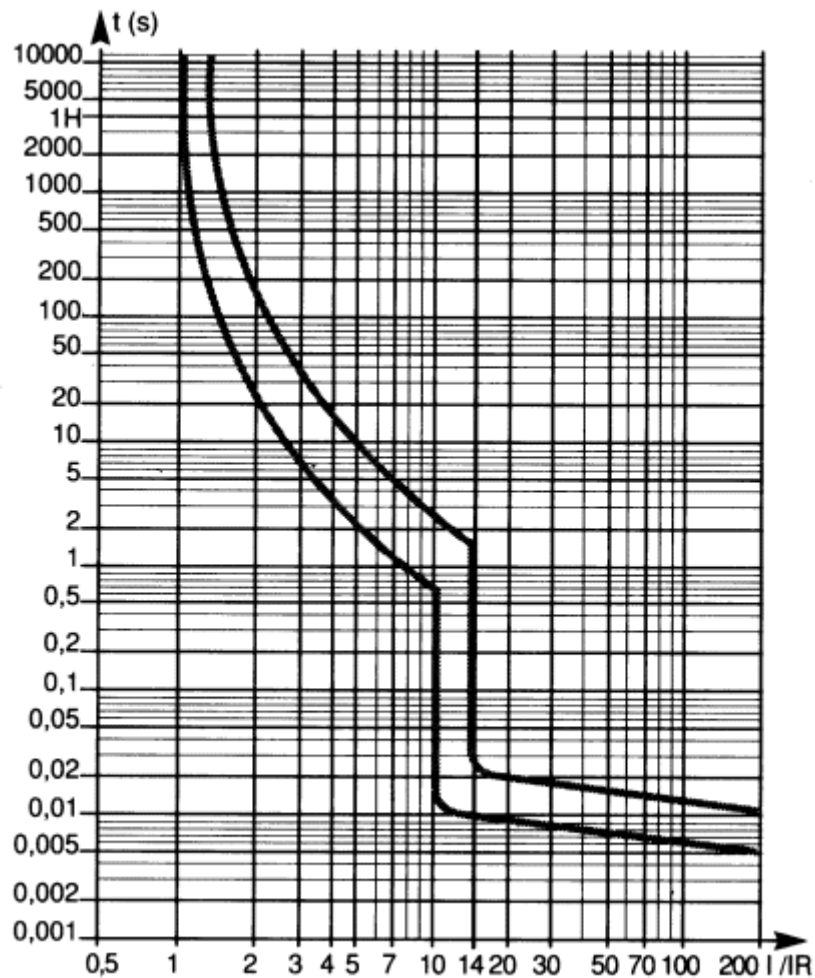
CURVA C

Estos magnetotérmicos actúan entre 1,13 y 1,45 veces la intensidad nominal en su zona térmica y en su zona magnética entre $5 I_n$ y $10 I_n$, o $7 I_n$ y $10 I_n$, según el tipo de aparato, de acuerdo con las normas EN 60.898 y EN 60947.2, respectivamente. Se aplican para evitar los disparos intempestivos, en el caso de la protección de receptores, que presentan, una vez en servicio, puntas de corriente de cierta consideración. Se utilizan en las instalaciones de líneas-receptores.



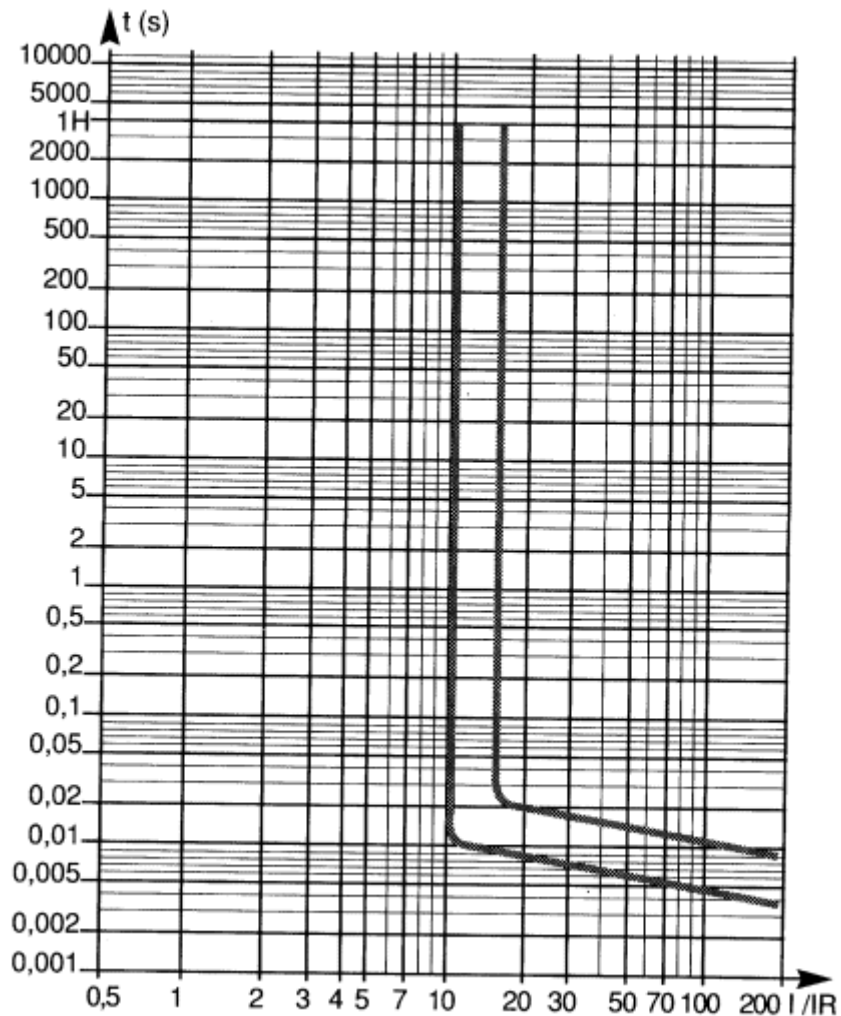
CURVA D

Estos magnetotérmicos actúan en la zona térmica con sobrecargas comprendidas entre $1,1$ y $1,4 I_n$ y en su zona magnética actúan entre $10 I_n$ y $14 I_n$, de acuerdo con las normas EN 60.898 y EN 60947.2. Son adecuados para instalaciones que alimentan receptores con fuertes puntas de arranque.



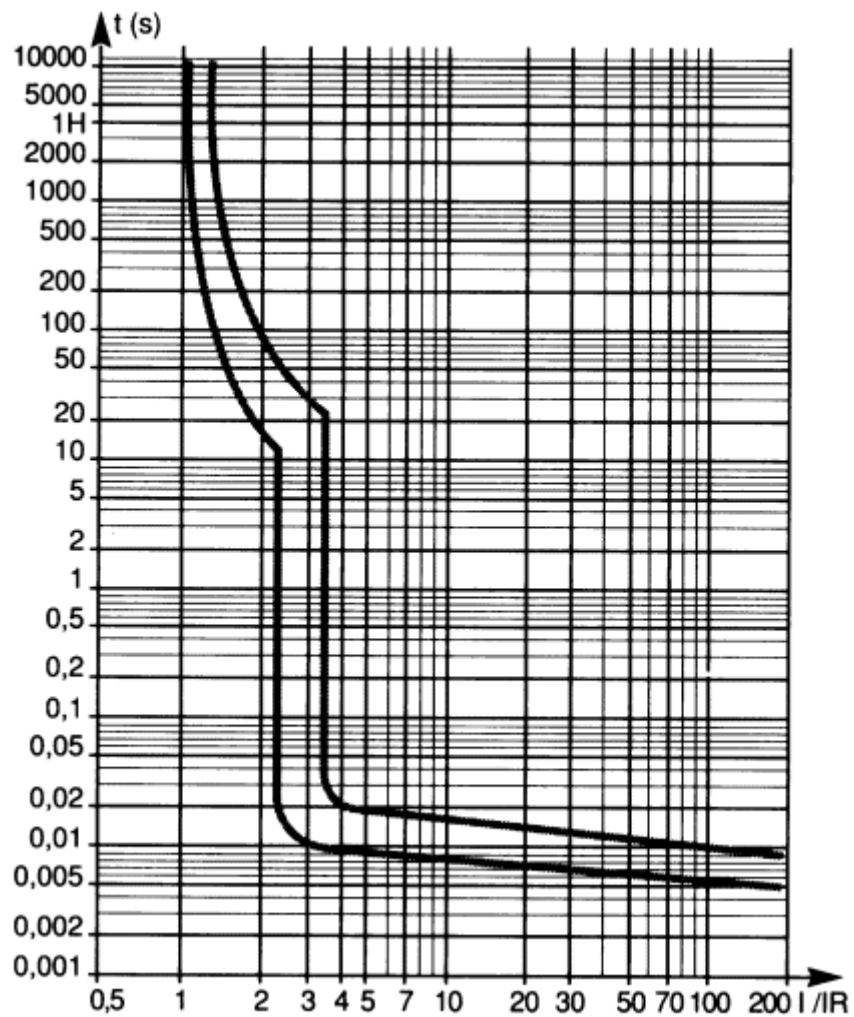
CURVA MA

Curva de disparo magnético exclusivamente, con un valor de $12 I_n$, de acuerdo con la norma EN 60947.2. Se utilizan para la protección de motores. Los interruptores automáticos equipados con esta curva no son interruptores magnetotérmicos, ya que carecen de protección térmica.



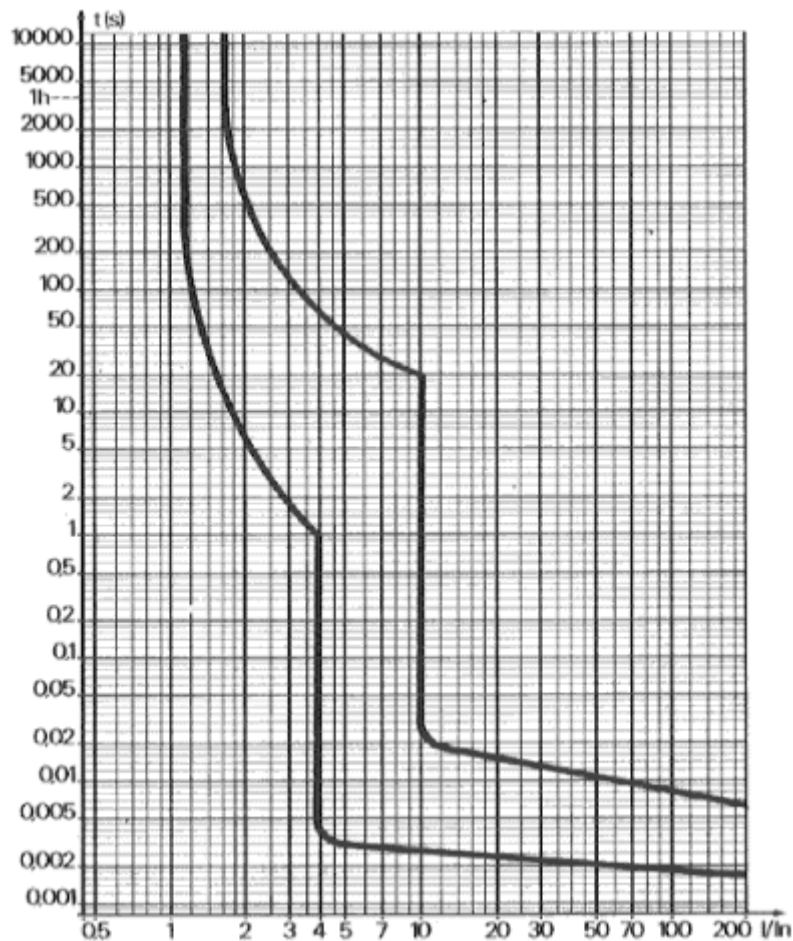
CURVA Z

Estos magnéticos actúan entre $2,4 I_n$ y $3,6 I_n$, de acuerdo con las normas EN 60.898 y EN 60947.2. Se utilizan para proteger instalaciones con receptores electrónicos.



CURVA UNESA(ICP)

El disparo térmico actúa entre 1,13 y 1,45 veces la I_n , siendo éste común para todas las curvas. El disparo magnético actúa entre 3,9 I_n y 8,9 I_n . Se emplean como Interruptores de Control de Potencia (ICPM). En uso general equivaldría a los interruptores de curva C. Esta curva no está englobada en la norma EN, sino en la recomendación UNESA: RU 6101B.



Todos los magneto-térmicos utilizados como ICPM deberán poder ser identificados por su parte frontal y, además de estar homologados oficialmente y cumplir el Reglamento de Verificaciones Eléctricas, llevarán grabadas las siguientes características:

- a.- Nombre del Fabricante o Marca comercial.
- b.- Tipo del aparato.

- c.- Intensidad nominal.
- d.- Naturaleza de la corriente y frecuencia.
- e.- Tensión nominal 220/380 V.
- f.- Poder de cortocircuito.
- g.- Número de fabricación.

Las intensidades nominales de los magneto-térmicos más corrientemente utilizados son las siguientes:

1,5 - 3 - 3,5 - 5 - 7,5 - 10 - 15 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 y 63 A.

Las características de desconexión deberán ser las que a continuación se especifican:

k	Tiempo de "no desconexión" seg.	Tiempo de "desconexión" seg.
1,13 I_n	7200	-
1,45 I_n	10	500
3,5 I_n	0,2	40
5 I_n	-	0,2

Referente al poder de corte de los magneto-térmicos, las normas exigen un poder de corte superior a los 4500 A., valor superado ampliamente por la mayoría de las casas fabricantes de estos aparatos.

Según la norma VDE-0100 los interruptores automáticos deben protegerse contra sobreintensidades que rebasen su poder de corte. Por tal motivo en la caja general de protección de una instalación se colocan fusibles del tipo -gl- cuyo poder de corte supera los 50 kA.

6. RELES TÉRMICOS BIMETÁLICOS

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

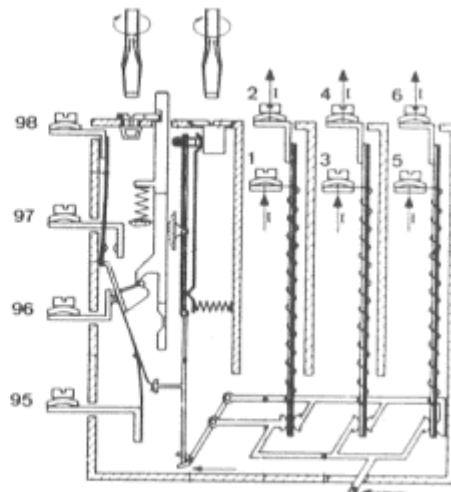
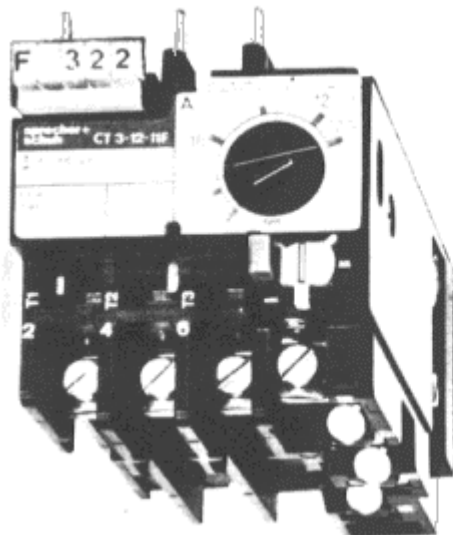
Los bimetales están formados por la soldadura al vacío de dos láminas de materiales de muy diferente coeficiente de dilatación (generalmente ínvar y ferroniquel). Al pasar la corriente eléctrica, los bimetales se calientan y se curvan, con un grado de curvatura que depende del valor de la corriente y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

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

En los relés térmicos diferenciales se dispone de un sistema mecánico diferencial para la protección contra fallos de fase. Si durante la marcha del motor se interrumpe una fase (p.e. L3), el bimetálico de esta fase se enfría y desplaza hacia la izquierda la regleta superior. Con ello se consigue una carrera adicional en el extremo de la palanca, de forma que con una menor deformación de los otros dos bimetales se produce el disparo.

El efecto resultante es un desplazamiento de la curva de disparo según la línea de trazos de la curva característica, de forma que éste se produce con una intensidad inferior a la nominal (generalmente a 0,85 de la nominal).

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

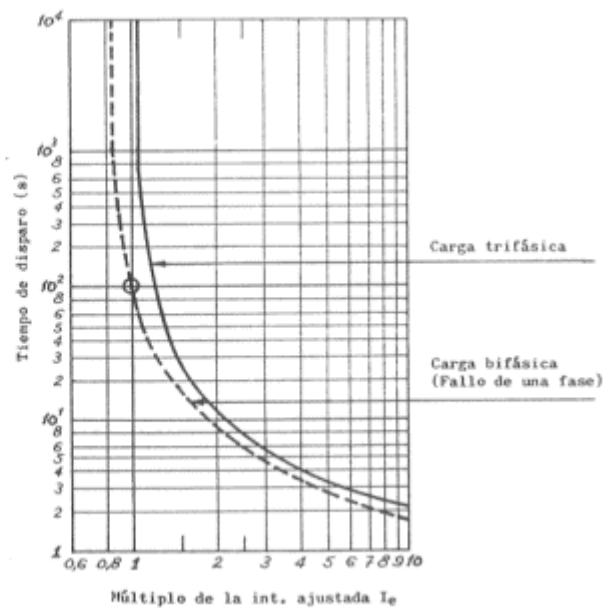
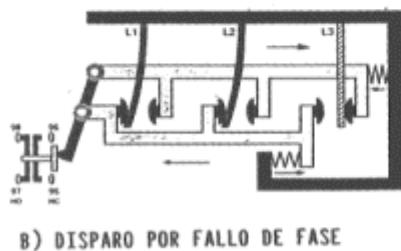
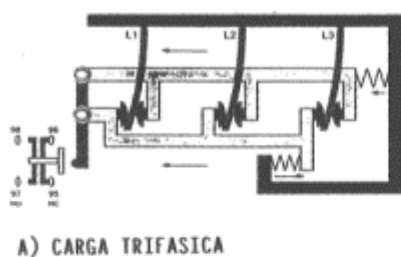


Por otra parte, los relés térmicos tienen una curva de disparo fija y está prevista para motores con arranque normal, es decir, con tiempos de arranque del orden de 5 a 10 segundos.

En los casos de arranque difícil (p.e. en centrifugadoras, molinos, grandes ventiladores, etc.), que tienen un mayor tiempo de arranque, la curva de disparo resulta demasiado rápida y el relé térmico dispararía durante el arranque. Para evitar esto hay que recurrir a algún procedimiento especial como puentear el térmico durante el arranque o alimentarlo a través de transformadores saturables. Esto además de encarecer considerablemente el arrancador, supone emplear procedimientos sin fundamento físico porque en realidad lo que se hace es engañar a la protección.

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

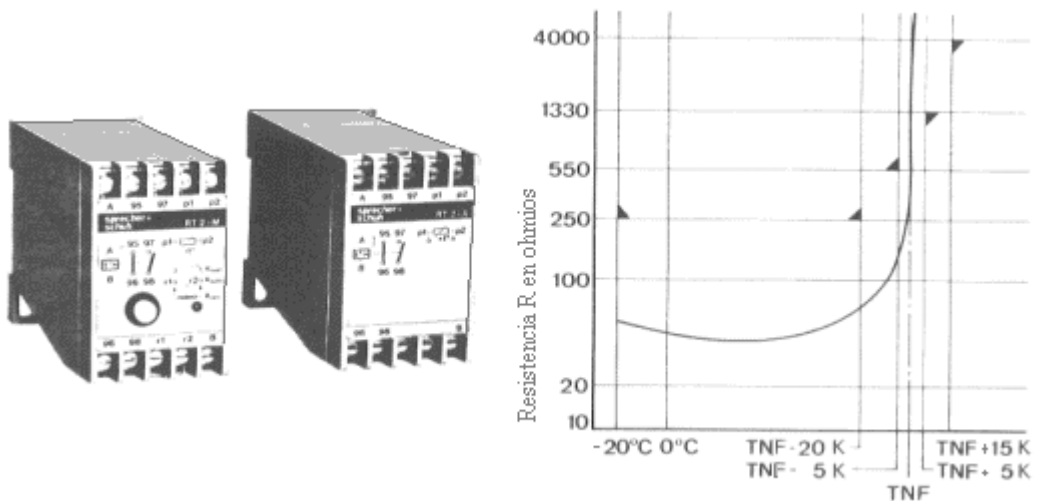
- Curva de disparo fija, no apta para arranques difíciles.
- Ajuste impreciso de la intensidad del motor.
- Protección lenta o nula contra fallos de fase, dependiendo de la carga del motor.
- Ninguna señalización selectiva de la causa de disparo.
- Imposibilidad de autocontrolar la curva de disparo.



7. PROTECCIÓN CON SONDAS TÉRMICAS

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

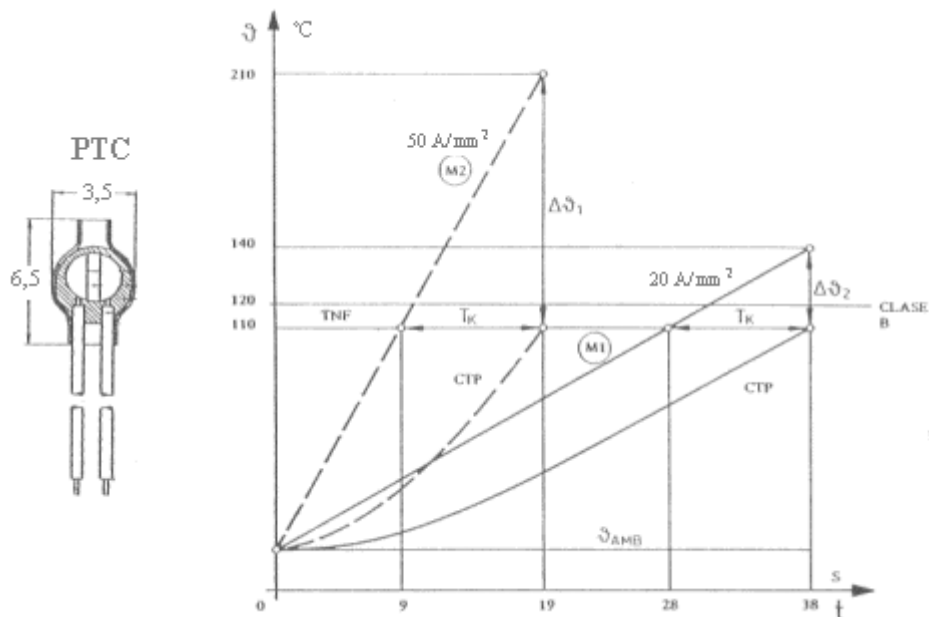
Aunque hay varios tipos de sondas, las más utilizadas son las de coeficiente de temperatura positivo (CTP) o termistancias, las cuales se caracterizan por provocar un aumento brusco de su resistencia cuando la temperatura llega a un valor determinado, llamado "temperatura nominal de funcionamiento" (TNF).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



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

Además de los problemas que lleva la colocación de la sonda hay otro factor que condiciona decisivamente este sistema de protección. A pesar de su pequeña masa (como una cabeza de cerilla), la sonda reacciona con un cierto retardo definido por su constante de tiempo térmica, que en la práctica suele ser del orden de 8 a 10 segundos.

Esta inercia térmica, normalmente olvidada, es un factor muy importante a tener en cuenta sobre todo en casos de sobrecargas bruscas o bloqueo del rotor.



Así, en la figura representamos la variación de temperatura en función del tiempo, en un motor hipotético M_1 sometido a una densidad de corriente de 20 A/mm², y la correspondiente curva de temperatura de su sensor CTP. Igualmente representamos la de un motor M_2 sometido a una densidad de corriente de 50 A/mm², y la de su sensor. En ambos motores suponemos que sus aislantes son del tipo B.

Supongamos ahora que el motor M_1 se halla trabajando a una temperatura normal de funcionamiento TNF de 110 $^{\circ}\text{C}$ y sufre una brusca sobrecarga. Como la sonda no reaccionará hasta pasados 10 segundos, esto dará tiempo a que el motor llegue a alcanzar la temperatura de 140 $^{\circ}\text{C}$, es decir, 140 - 120 = 20 $^{\circ}\text{C}$ por encima de la temperatura máxima admitida por el aislante clase B.

Si ahora el motor M_2 es el que sufre una brusca sobrecarga, y suponemos que también está trabajando a una temperatura normal de funcionamiento de 110 °C, la sobrecarga hará que la inercia de 10 segundos permita alcanzar al bobinado los 210 °C, lo cual produciría serios daños.

Como las sondas térmicas sólo pueden detectar calentamientos con un cierto retardo, no suministran una protección rápida, como sería de desear, en los casos contra fallos de fase, bloqueo del motor, cortocircuito entre fases, y defectos o derivaciones con respecto a tierra. Tampoco las sondas térmicas protegen a los conductores de alimentación, por lo que su empleo sólo es aconsejable en combinación con otros sistemas de protección.

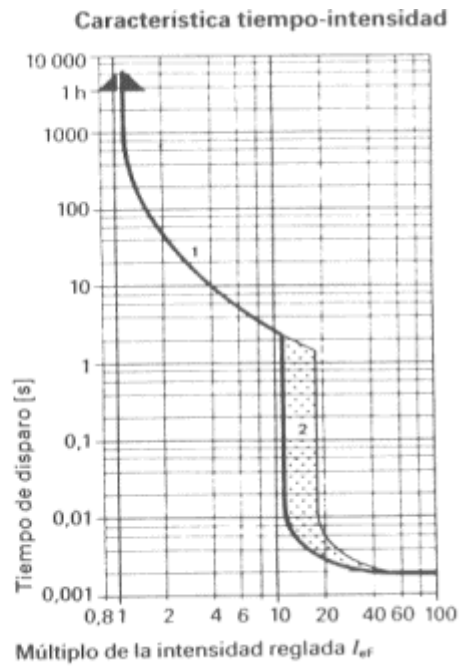
8. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DE MOTOR

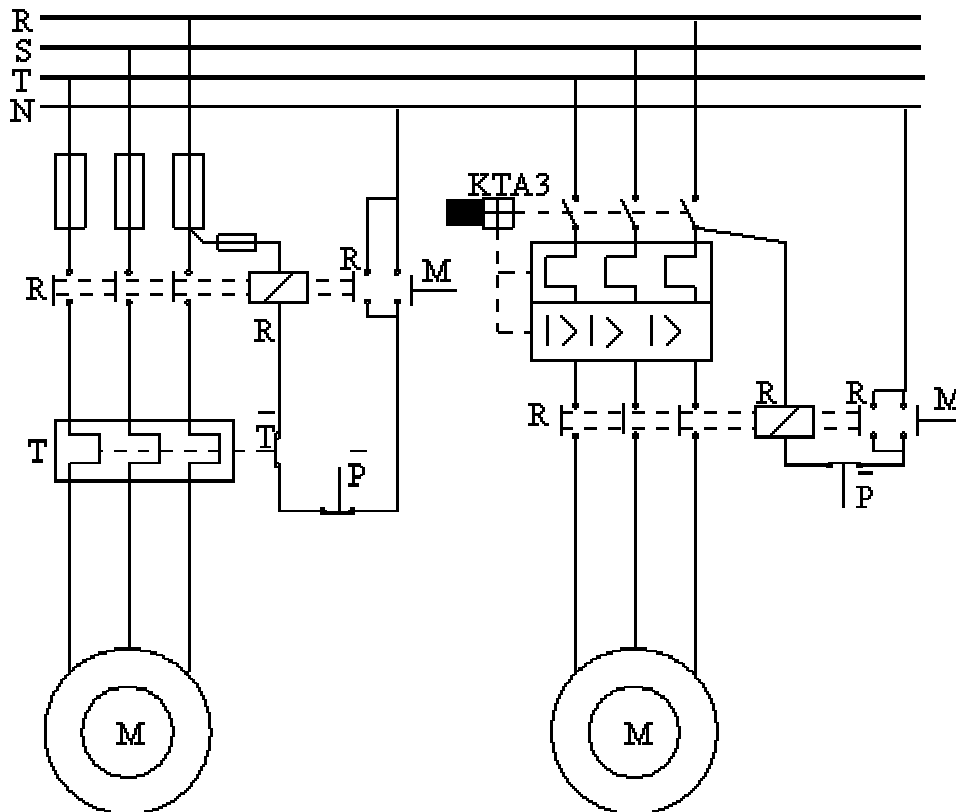
Los interruptores automáticos de motor utilizan el mismo principio de protección que los interruptores magnetotérmicos. Son aparatos diseñados para ejercer hasta 4 funciones:

- 1.- Protección contra sobrecargas.
- 2.- Protección contra cortocircuitos.
- 3.- Maniobras normales manuales de cierre y apertura.
- 4.- Señalización.

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

En la figura podemos ver dos circuitos diferentes de alimentación de un motor según dos procedimientos; el primero utiliza los fusibles de protección de líneas, el imprescindible contactor y su relé térmico; el segundo solamente utiliza un interruptor automático de motor y un contactor. Las diferencias son notables, así que veamos los inconvenientes y ventajas estudiando la composición del interruptor automático de motor.





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

La intensidad de disparo térmico es regulable dentro de ciertos límites. Para el modelo KTA3 de Sprecher existen 13 modelos con intensidades comprendidas entre 0,1 A hasta 25 A. disponiendo cada uno de ellos de un campo de reglaje determinado.

La protección magnética o disparador magnético de cortocircuito consiste en un electroimán por cuyo arrollamiento circula la corriente del motor y cuando esta alcanza un valor determinado se acciona bruscamente un núcleo

percutor que libera la retención del mecanismo de disparo, obteniéndose la apertura de contactos en un tiempo inferior a 1 ms. La intensidad de funcionamiento del disparador magnético es de 11 a 18 veces la intensidad de reglaje, correspondiente a los valores máximo y mínimo del campo de reglaje.

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

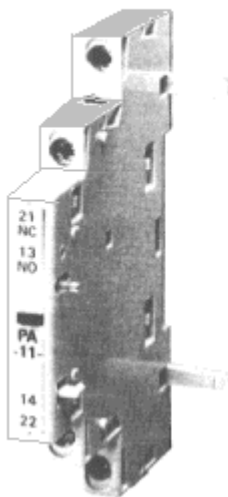
Gracias al diseño optimizado de las piezas de los contactos y de las cámaras de extinción, estos aparatos tienen un poder de corte muy elevado. Así, por ejemplo, a 380V. el poder de corte es de 100 kA. para los aparatos de hasta 6,3 A; de 6,3 - 10 A. el poder de corte es de 10 kA, y de 10 - 25 A. el poder de corte es de 6 kA.

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

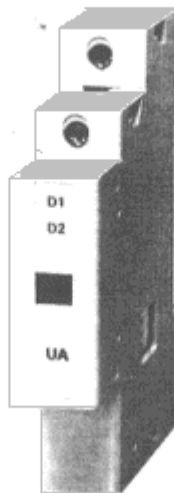
Un botón giratorio, situado a un costado del interruptor, permite seleccionar la función T "TRIP", de disparo con señalización y bloqueo de la reconexión directa. Esta función tiene la misión de que en el caso de disparo por sobrecarga o cortocircuito la tecla STOP se desplace a una posición intermedia, aproximadamente a la mitad de su carrera total, indicando con ello el motivo de la desconexión. Para efectuar la nueva conexión manual es necesario pulsar a fondo la tecla STOP.

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

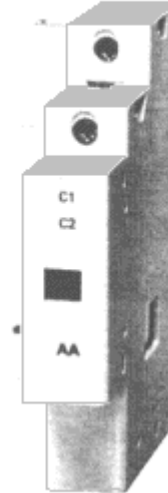
Bloque de contactos
auxiliares KT 3-25-PA



Disparador por mínima
tensión KT 3-25-UA



Disparador por emisión
de tensión KT 3-25-AA



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

Con todo lo dicho sobre los interruptores automáticos de motores KTA3-25, es posible llegar a la conclusión de que aunque estos interruptores no supongan el sistema ideal de protección, pueden sustituir ventajosamente a los grupos fusibles/relés térmicos utilizados para la protección de motores.

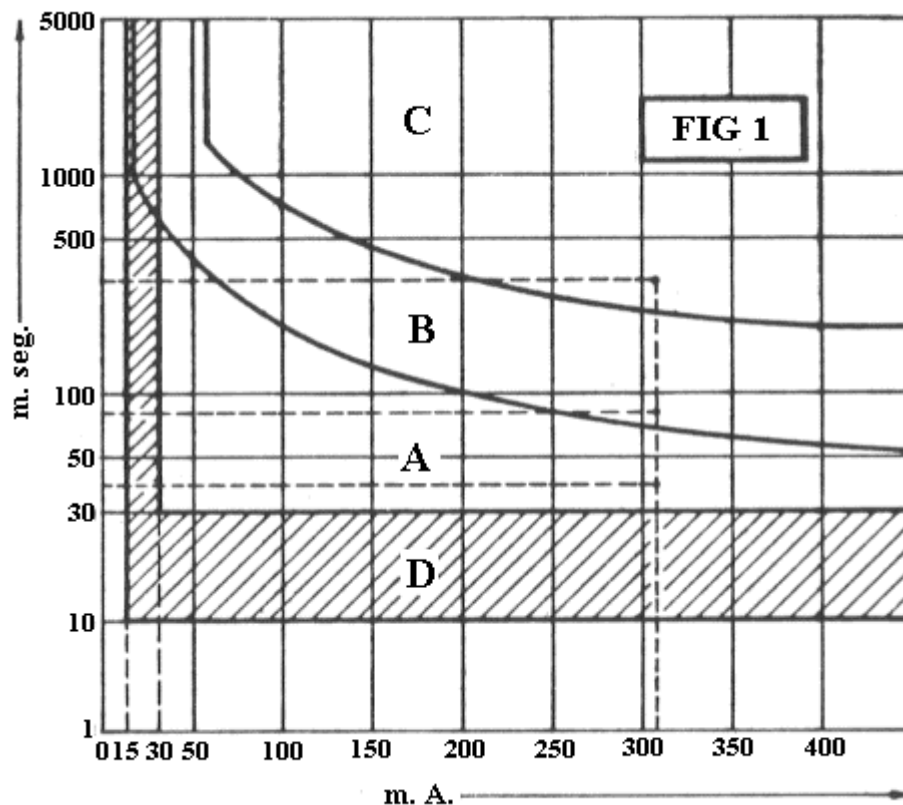
9. INTERRUPTORES DIFERENCIALES

Son interruptores automáticos que evitan el paso de corriente de intensidad peligrosa por el cuerpo humano. La peligrosidad de los efectos que se pueden producir depende de la intensidad de la corriente y de su duración, tal como se determina en el gráfico de la figura 1.

En dicho gráfico, si fijamos una intensidad circulante en mA., y un tiempo de duración en ms., se nos determina un punto. Si este punto se halla en la zona A, los efectos que se producirán serán inofensivos para personas

normales. Si se halla en la zona B, ocasionará molestias que pueden ser peligrosas, y si se halla en la zona C podrá resultar mortal, ya que puede ocasionar inconsciencia o fibrilación ventricular.

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



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

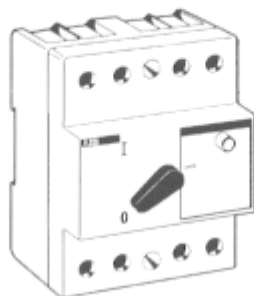
$$I_{\max} = \frac{E}{0 + 550}$$

En el supuesto de una tensión de 220V., que es la tensión normalizada en viviendas, la intensidad alcanzará un valor de 400 mA.

Si trasladamos esta intensidad al gráfico, veremos que para que no se produzcan más efectos que los inofensivos de la zona A, debe ser cortado en un tiempo máximo de 60 msg.

Esta desconexión la garantizan los interruptores diferenciales, ya que su curva característica (señalada con D en la figura 1) delimita debajo de ella un campo de trabajo donde no se desconecta por hallarse en la zona de seguridad A. No obstante, cuando los valores intensidad-tiempo tiendan a crecer, alcanzado las zonas peligrosas B ó C, deben cruzar la banda de desconexión D y en este instante el interruptor se abrirá.

INTERRUPTOR DIFERENCIAL



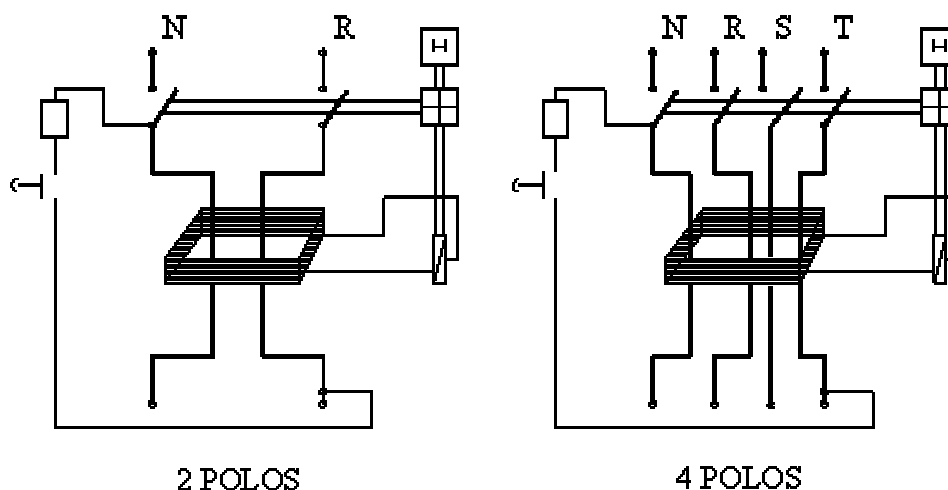
Los diferenciales se basan en una característica de los circuitos bifásicos o trifásicos, en los que la suma de las intensidades debe ser cero cuando no existen fugas. Cuando por algún motivo la suma de intensidades no es cero, en la bobina auxiliar aparece una tensión que aplicada a una pequeña bobina, acciona un pivote que a su vez acciona el dispositivo mecánico que abre los

contactos principales del circuito. Según sea el valor de la intensidad de desequilibrio que acciona el diferencial, así se definirá su sensibilidad. Normalmente se fabrican de dos sensibilidades, 30 y 300 mA.

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

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

Se fabrican dos modelos de diferenciales, uno de dos polos para suministros bifásicos y otro de cuatro polos para los suministros trifásicos con neutro.

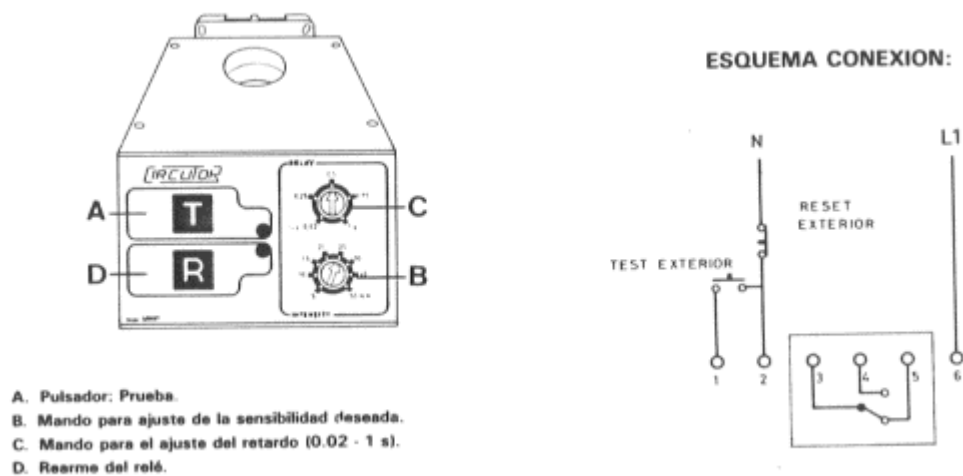


Según normas VDE-0100, los diferenciales deben de disponer de un botón de prueba mediante el cual se provoca una fuga igual a la sensibilidad

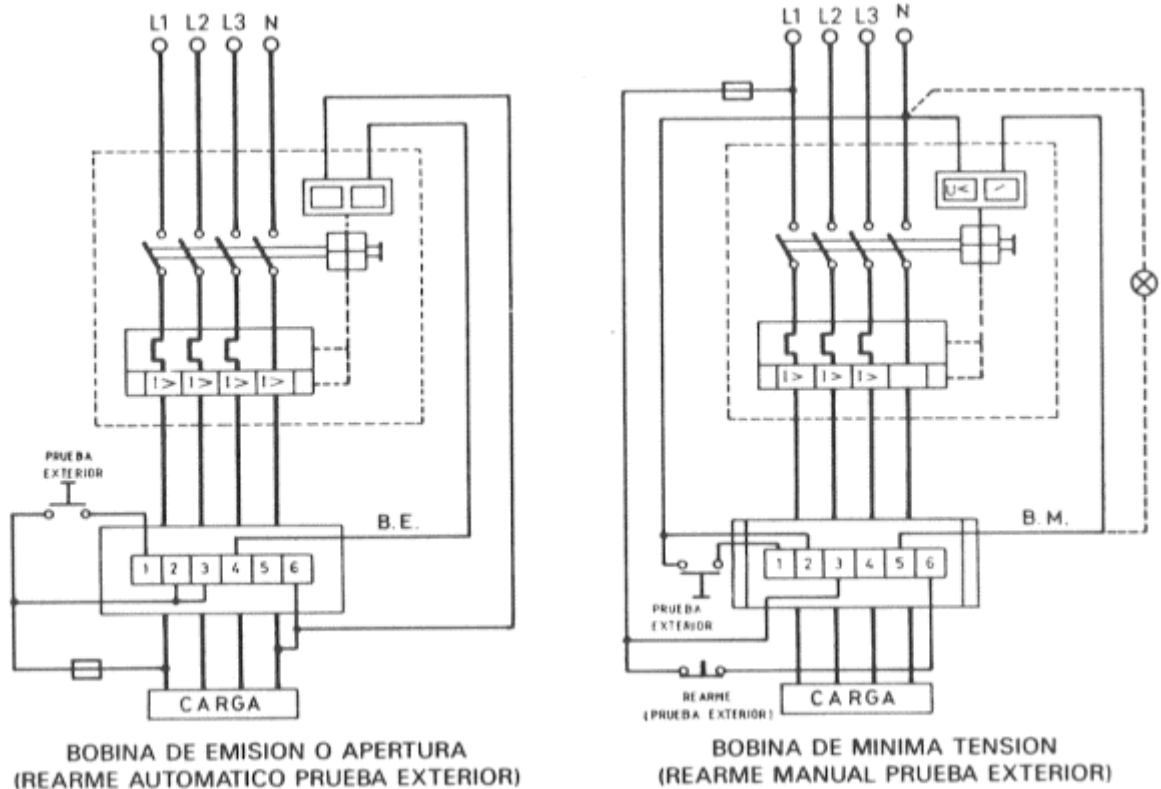
del aparato y por tanto su desconexión inmediata. La finalidad de este pulsador es la de permitir al usuario comprobar periódicamente el correcto funcionamiento del interruptor diferencial.

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

Este tipo de diferenciales suele fabricarse según una extensa gama de prestaciones, por lo que resulta difícil generalizar.



En la figura vemos un modelo de Circutor que tiene la particularidad de poder regular la sensibilidad y el tiempo de retardo de desconexión del diferencial.



10. PUESTA A TIERRA.

Se define como "Toma de Tierra" a la unión eléctrica de un conductor con la masa terrestre. Esta unión se lleva a cabo mediante electrodos enterrados, obteniendo con ello una toma de tierra cuya resistencia de "empalme" depende de varios factores, tales como: superficie de los electrodos enterrados, profundidad de enterramiento, clase de terreno, humedad y temperatura del terreno, etc.

Por otra parte, llamaremos "Puesta a Tierra", a la unión directa de determinadas partes de una instalación eléctrica, con la toma de tierra, permitiendo el paso a tierra de las corrientes de falta o las descargas atmosféricas.

Según la norma 039 MIBT correspondiente a puestas de tierra, se establecen las tomas de tierra con objeto de:

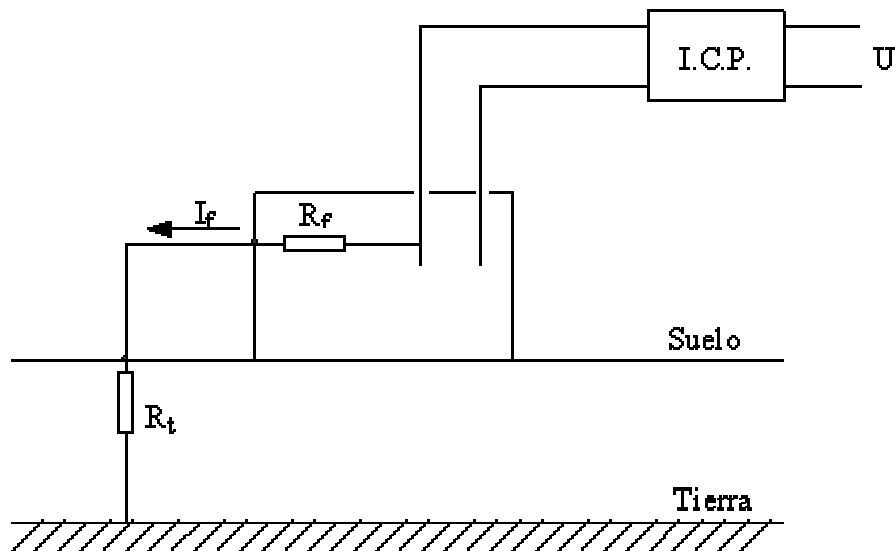
1. Limitar la tensión que con respecto a tierra puedan presentar las masas metálicas en un momento dado.
2. Asegurar la actuación de las protecciones.
3. Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.

La puesta a tierra como protección va siempre asociada a un dispositivo de corte automático, sensible a la intensidad de defecto, que origina la desconexión del circuito.

Así, la corriente a tierra producida por un defecto franco (resistencia de fuga nula, $R_f = 0$), debe hacer actuar el interruptor automático magnetotérmico en un tiempo lo más reducido posible. Tal y como podemos apreciar en la figura, la intensidad de fuga será igual a:

$$I_f = \frac{U}{R_t + R_f} = \frac{U}{R_t}$$

Si R_t es pequeña, la intensidad de fuga resultará ser grande, provocando el disparo del magnetotérmico (ICP).



Un ligero defecto de aislamiento provoca una resistencia de fuga relativamente grande, y en consecuencia una intensidad de fuga pequeña, por lo que el magnetotérmico no podrá actuar. No obstante, la parte exterior del aparato receptor se encontrará a una tensión, con respecto a tierra, de:

$$U_t = I_f R_t$$

tensión que puede ser peligrosa para la persona que toque la envoltura metálica del receptor en cuestión.

Si en estos casos queremos tener protección, deberemos disponer de un interruptor automático diferencial, capaz de cortar el circuito con la intensidad de fuga que determinemos.

Según el Reglamento de Baja Tensión, una masa cualquiera no debe estar a una tensión eficaz superior, con respecto a tierra, de:

- a) 24 V. en locales o emplazamientos húmedos.
- b) 50 V. en locales o emplazamientos secos.

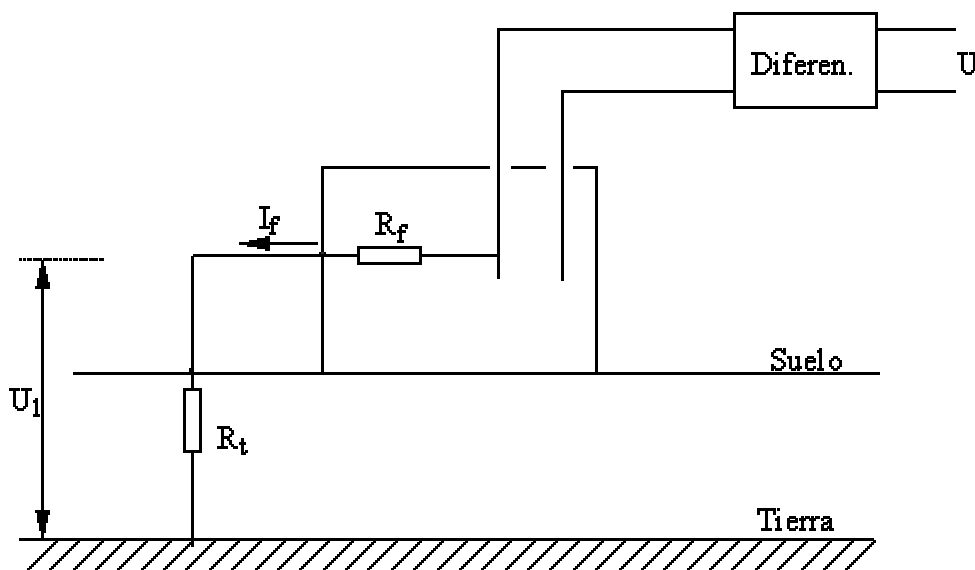
Por lo tanto, la sensibilidad de los diferenciales deberá ser, en cada caso, de:

$$I_f = \frac{24}{R_t} \quad ; \quad I_f = \frac{50}{R_t}$$

Así, por ejemplo, a los diferenciales de 300 mA. les corresponderá una resistencia de tierra máxima, de:

$$R_t = \frac{24}{0,300} = 80 \Omega \quad ; \quad R_t = \frac{50}{0,300} = 166 \Omega$$

Estos valores son en teoría, ya que en la práctica para las tomas de tierra se exige que tengan una resistencia notablemente inferior.



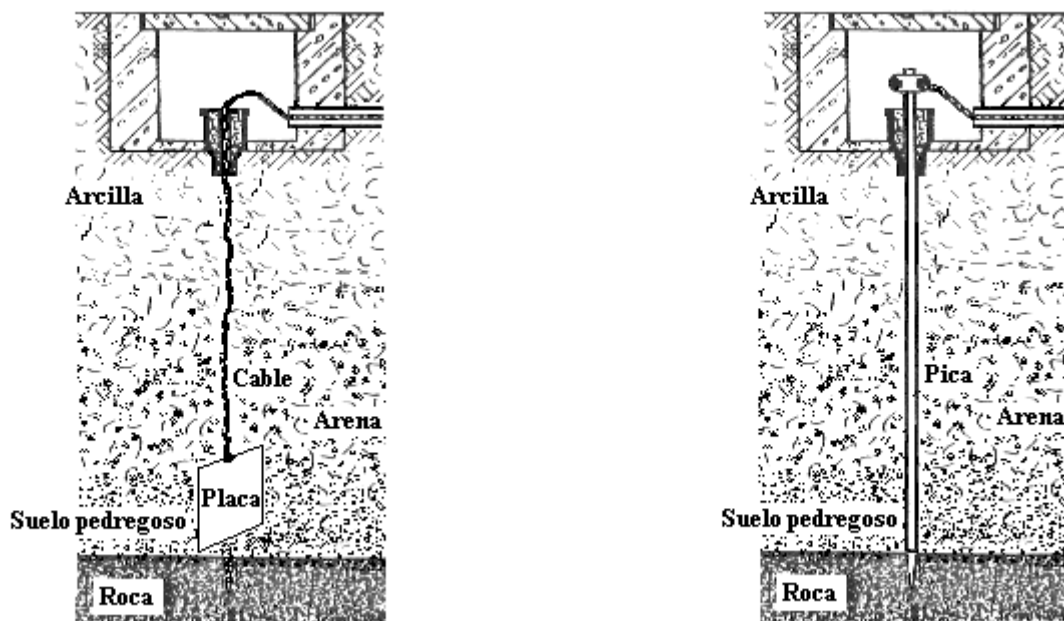
Los electrodos utilizados para obtener una toma de tierra para aplicaciones de baja tensión, suelen tener formas muy variadas, aunque los más comúnmente utilizados tienen forma de barra o de placa.

Los tipos de electrodos más comúnmente utilizados son:

a) Placas enterradas. Las placas de cobre tendrán un espesor mínimo de 2 mm y las de hierro galvanizado de 2,5 mm. En ningún caso la superficie útil de la placa será inferior a 0,5 m². Se colocarán en el terreno en posición

vertical y en el caso en que sea necesaria la colocación de varias placas se separarán unos 3 metros unas de otras.

Las más utilizadas son las de 0,5 m x 1 m y las de 1 m x 1 m. Para la puesta a tierra de apoyos de líneas aéreas y columnas de alumbrado público, cuando lo necesiten, será suficiente electrodos que tengan en conjunto una superficie de contacto con el terreno de 0.25 m², con lo que se pueden utilizar de 0,5 m x 0,5 m.



b) Picas verticales. Las picas verticales podrán estar constituidas por:

- Tubos de acero galvanizado de 25 mm de diámetro exterior, como mínimo,
- Perfiles de acero dulce galvanizado de 60 mm de largo, como mínimo,

- Barras de cobre o de acero de 14 mm de diámetro como mínimo; las barras de acero tienen que estar recubiertas de una capa protectora exterior de cobre de espesor apropiado.

Las longitudes mínimas de estos electrodos no serán inferiores a 2 m. Si son necesarias dos picas conectadas en paralelo con el fin de conseguir una resistencia de tierra admisible, la separación entre ellas es recomendable que sea igual, por lo menos, a la longitud enterrada de las mismas; si son necesarias varias picas conectadas en paralelo, la separación entre ellas deberá ser mayor que en el caso anterior.

c) Conductores enterrados horizontalmente. Estos conductores pueden ser:

- Conductores o cables de cobre desnudo de 35 mm² de sección, como mínimo,
- Pletinas de cobre de, como mínimo, 35 mm² de sección y 2 mm de espesor,
- Pletinas de acero dulce galvanizado de, como mínimo, 100 mm² de sección y 3 mm de espesor,
- Cables de acero galvanizado de 95 mm² de sección, como mínimo. El empleo de cables formado por alambres menores de 2.5 mm de diámetro está prohibido,
- Alambres de acero, como mínimo, 20 mm² de sección, cubiertos con una capa de cobre de 6 mm² como mínimo.

Con el fin de comprender de una manera más exacta el comportamiento de una buena toma de tierra, veamos seguidamente algunos de los factores que intervienen en el valor definitivo de la resistencia de la toma de tierra y de su estabilidad.

a) Resistividad del terreno

La composición química del terreno y el tamaño de las partículas que lo forman serán dos factores decisivos sobre el valor de la resistividad del terreno.

De los datos ofrecidos en la tabla, pueden sacarse ideas y conclusiones muy interesantes. Por ejemplo, puede deducirse que del tamaño de las partículas de que se compone el terreno depende el valor de su resistencia. Así, la arena tiene una resistividad notablemente menor que la grava.

b) Humedad

El estado hidrométrico del terreno influye de forma muy apreciable sobre la resistividad: al aumentar la humedad disminuye la resistividad y viceversa.

Por tal motivo, y con el fin de obtener valores estables de resistencia de la toma de tierra, se aconseja profundizar lo más posible, para obtener terrenos con un grado de humedad lo más constante posible. En ocasiones se puede llegar a alcanzar zonas de agua (nivel freático), en donde la resistencia de la toma de tierra tendrá valores bajísimos y muy estables.

c) Temperatura

Las variaciones de temperatura también afectan al valor de la resistencia de la toma de tierra, de manera que a temperaturas bajo cero, como consecuencia de la congelación del agua que contenga el terreno, los electrolitos se ven inmovilizados, y la resistencia crece a valores muy grandes.

Este es un motivo más para recomendar que las tomas de tierra deben hacerse lo más profundas posible, donde la temperatura del terreno alcanza valores estables. En profundidades del orden de 10 metros, la temperatura solamente sufre ligeras variaciones a lo largo del año y suele estar comprendida entre 13 y 16°C.

d) Salinidad del terreno

Como es lógico, al aumentar la salinidad de un terreno, la resistividad disminuye. Por este motivo no es aconsejable regar con exceso los terrenos

donde hay una toma de tierra, ya que las sales serán arrastradas por el agua a zonas más profundas, disminuyendo su efecto.

Según el Reglamento de baja tensión, la resistencia de tierra de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad.

Agregar al terreno carbón vegetal y cock, no perjudica en absoluto la obtención de una buena y estable toma de tierra, no pudiendo decir lo mismo cuando se agregan al terreno otros elementos tales como sales y ácidos que indudablemente mejoran la conductividad de los terrenos, pero que por ser altamente corrosivos, al cabo de un tiempo relativamente corto, oxidan y destruyen la placa, con el consiguiente aumento de la resistencia.

Con el fin de obtener una primera aproximación de la resistencia de tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios indicados en la Tabla I. La Tabla II da, a título de orientación, unos valores de la resistividad para un cierto número de terrenos.

TABLA I

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad en $\Omega \cdot m$
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables..	3.000

TABLA II

Naturaleza del terreno	Resistividad en $\Omega \cdot m$
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150

Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Bien entendido que los cálculos efectuados a partir de estos valores no dan más que un valor muy aproximado de la resistencia de tierra del electrodo. La medida de resistencia de tierra de este electrodo puede permitir, aplicando las fórmulas dadas en la Tabla III, estimar el valor medio local de la resistividad del terreno; el conocimiento de este valor puede ser útil para trabajos posteriores efectuados en unas condiciones análogas.

La tabla III nos muestra las distintas fórmulas para el cálculo de los electrodos típicos utilizados en las tomas de tierra.

TABLA III

TIPO DE ELECTRODO	RESISTENCIA EN OHMIOS
Placa enterrada profunda -	$R = 0,8 \frac{\rho}{P}$
Placa enterrada superficial -	$R = 1,6 \frac{\rho}{P}$
Pica vertical -	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente -	$R = 2 \frac{\rho}{L}$

Malla de tierra -

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

siendo:

R = resistencia de tierra del electrodo en ohmios.

ρ = resistividad del terreno de ohmios.metro.

P = perímetro de la placa en metros.

L = longitud en metros de la pica o del conductor, y en malla la longitud total de los conductores enterrados.

r = radio en metros de un círculo de la misma superficie que el área cubierta por la malla.

El sistema más económico y por lo tanto el más corrientemente utilizado para realizar una toma de tierra, emplea como electrodos picas de acero cobreado de perfil cilíndrico de unos 15 mm. de diámetro y de 2 metros de longitud. Este tipo de electrodos es introducido en el terreno a base de pequeños golpes, consiguiendo de esta manera tan simple, resistencias relativamente bajas.

Existen picas acoplables mediante rosca y manguito que podemos ir uniendo una detrás de la otra, hasta que las mediciones obtenidas den el valor óhmico deseado. Se inicia el proceso clavando la primera pica de extremo roscado, el cual se ha protegido de los golpes con el llamado tornillo-sufridera, pieza que se coloca durante el clavado con objeto de proteger la rosca. Una vez clavada la primera pica, se quita la pieza de protección de la rosca y mediante un manguito roscado se acopla la segunda pica, a la que a su vez se le coloca también en su parte superior el tornillo-sufridera, para continuar con el clavado de la segunda pica. Este proceso puede repetirse tantas veces como lo permita el terreno, pudiendo llegar, en terrenos blandos, hasta profundidades de 10 y 15 metros.

Cuando la resistencia obtenida con una sola pica resulta excesivamente grande, puede recurrirse a la colocación de varias picas en paralelo, debiendo tener en cuenta la

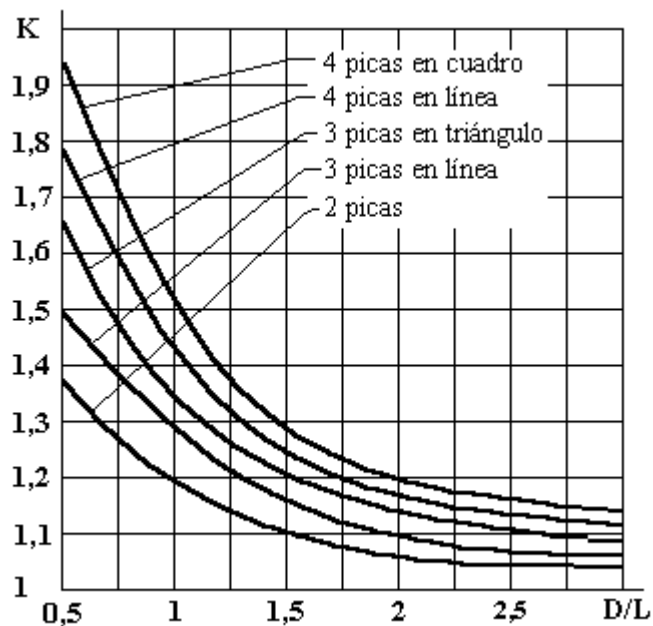
separación entre picas para evitar influencia entre ellas. Puesto que la resistencia de una sola pica es

$$R_1 = \frac{\rho}{L}$$

la resistencia de "n" número de picas será:

$$R_n = K \frac{R_1}{n}$$

siendo K un coeficiente que se obtiene de la figura adjunta, en la que D/L es la relación que existe entre la separación entre picas y la longitud de cada pica.



Cuando tengamos que utilizar varias placas enterradas, deberemos tener cuidado de que estén separadas al menos 3m, para evitar influencias. El agregar al terreno carbón vegetal y cock, no perjudica en absoluto la obtención de una buena y estable toma de tierra, no pudiendo decir lo mismo cuando se

agregan otros elementos tales como sales y ácidos que indudablemente mejoran la conductividad de los terrenos, pero que por ser altamente corrosivos, al cabo de un tiempo relativamente corto, oxidan y destruyen la placa, con el consiguiente aumento de la resistencia.