INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Departamento de Ingeniería Eléctrica

Academia de Utilización

Apuntes de clase
Protecciones de Sistemas Eléctricos I

PROFESOR: CAMACHO RODRÍGUEZ ISRAEL.

PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS I

CONTENIDO TEMÁTICO

1.- ELEMENTOS BASICOS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

2.- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

3.- INTRODUCCION A LOS RELEVADORES

4.- PROTECCIONES PRINCIPALES

5.- ESTUDIO PRELIMINARES Y COORDINACION

PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS I

CONTENIDO TEMÁTICO

1.- ELEMENTOS BASICOS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

2.- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

3.- INTRODUCCION A LOS RELEVADORES

4.- PROTECCIONES PRINCIPALES

5.- ESTUDIO PRELIMINARES Y COORDINACION

INTRODUCCION

No es descabellado pensar en un mundo "Todo Eléctrico" pero esto no es posible imaginarlo sin seguridad en el uso de la electricidad.

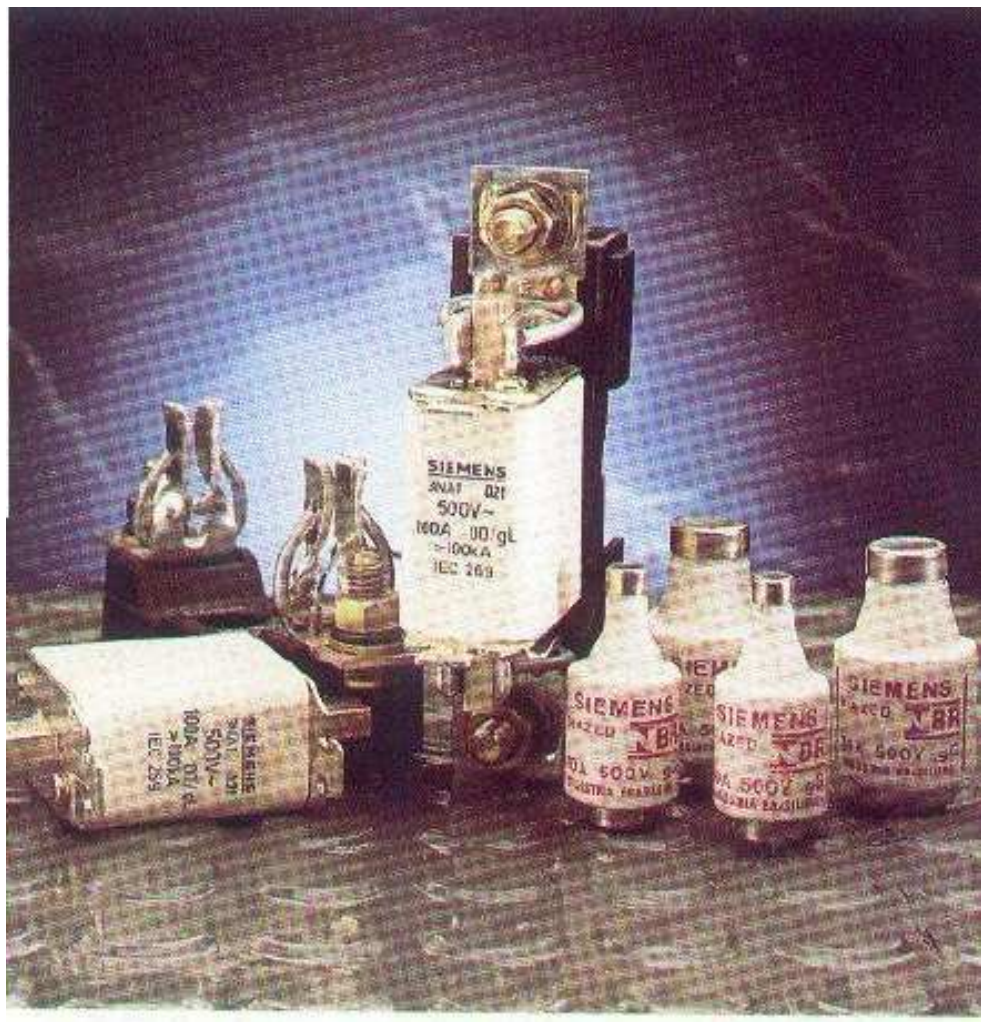
Quien alguna vez no ha recibido un "aviso", y si el toque fue leve todo pasó, y se olvidó. Sin embargo debemos pensar en ello seriamente.

Cada año en nuestro país mueren aproximadamente 300 personas por electrocución (sin incluir los incendios originados por las diversas fallas de las instalaciones eléctricas), algunas de estas causas tan solo por corrientes bastante pequeñas.

La determinación de los límites técnicos de utilización de materiales conductores y aislantes en instalaciones y en los artefactos, sin producir sobrecalentamiento y cortocircuitos, han permitido que se construyan elementos que cumplan con las protecciones necesarias en la actualidad.

1.- ELEMENTOS BASICOS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

1.1 FUSIBLES



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

Se denomina **fusible** a un dispositivo, constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por *Efecto Joule*, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.

El principio de funcionamiento del fusible es muy simple: se basa en intercalar un elemento más débil en el circuito, de manera tal que cuando la corriente alcance niveles que podrían dañar a los componentes del mismo, el fusible se funda e interrumpa la circulación de la corriente.
Los fusibles sirven para proteger las líneas eléctricas contra:

- **Sobrecargas:** Intensidades superiores a las nominales para las que se diseñan las líneas y que de mantenerse un período de tiempo más o menos largo acaban con ellas por sobrecalentamiento.

- **Cortocircuitos:** Intensidades muy altas, casi instantáneas, que deterioran rápidamente las líneas. Un cortocircuito se manifiesta por un aumento excesivo de corriente, que alcanza en pocos milisegundos un valor igual a centenas de veces la corriente de empleo

Los fusibles o cortacircuitos no son más que una sección de hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger, para que al aumentar la corriente, debido a sobrecargas o cortocircuitos, sea la parte que más se caliente y, por tanto, la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno.

Actualmente la parte o elemento fusible suele ser un fino hilo de cobre o aleación de plata, o bien una lámina del mismo metal para fusibles de gran intensidad, colocados dentro de unos cartuchos cerámicos llenos de arena de cuarzo, con lo cual se evita la dispersión del material fundido; por tal motivo también se denominan cartuchos fusibles.

Sirven para proteger la instalación y los receptores interrumpiendo la alimentación cuando se produce un cortocircuito o una sobrecarga, según el tipo de fusible.

Pueden usarse, por ejemplo para proteger contra cortocircuitos en el circuito de alimentación de un motor o equipo de medida.

Están formados por un conductor diseñado y calculado para que cuando circule por él una corriente de valor superior a la intensidad nominal del mismo calibre (IN), se funda, interrumpiéndose el circuito.

El conductor está rodeado de arena de sílice o aire y recubierto por una cápsula de cerámica, plástico o cristal. El sílice se emplea para que pueda extinguirse rápidamente el arco eléctrico provocado por la interrupción del circuito. La tensión de funcionamiento y el calibre determina su tamaño.

Presentan el inconveniente de que para restablecer el funcionamiento del circuito hay que reponerlos por otros nuevos.

El tiempo de fusión es una característica fundamental. Esto da lugar a los distintos tipos de fusibles y curvas de funcionamiento de los mismos. La norma contempla dos clases de fusibles para usos industriales, que son los siguientes:

- 📖 •Clase gG o gl (fusible de empleo general y de líneas). Uso general: protegen circuitos contra todo tipo de sobrecargas, incluyendo cortocircuitos. Su curva de fusión "intensidad-tiempo" para una respuesta lenta en las sobrecargas, y rápida frente a los cortocircuitos.

- 📖 Clase aM (fusible de acompañamiento de Motor). Acompañamiento de motores: especialmente concebidos para arranque de motores ya que resisten las sobreintensidades que tienen lugar en el arranque. Sólo sirven como protección contra cortocircuitos. La fusión de éstos es más lenta que los del tipo gI, para pequeñas intensidades. Si se necesita una protección contra sobrecargas, hay que colocar relés térmicos.

Existen otras clases de fusibles, que son:

- Clase gF. Fusión rápida: protección contra cortocircuitos.

- Clase gT. Fusión lenta: protección contra sobrecargas.

- Ultrarrápidos: para protección de semiconductores.

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 In) 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 50 y 100 kA.

Un dato importante es la intensidad mínima de fusión, que para los fusibles tipo gG y gL viene dada por:

n ($I_{FUSIÓN}$ = n veces la I_N)	2,1	1,9	1,6
I_N	< 4A	Entre 4A y 16A	>16A

Para fusibles tipo aM, este valor se incrementa a n=5. Es decir, una sobrecarga de 3 o 4 veces la intensidad nominal no es eliminada por este tipo de fusibles.

CURVA DE OPERACIÓN EN FUSIBLES

El material de que están formados es siempre un metal o aleación de bajo punto de fusión a base de plomo, estaño, zinc, etc.

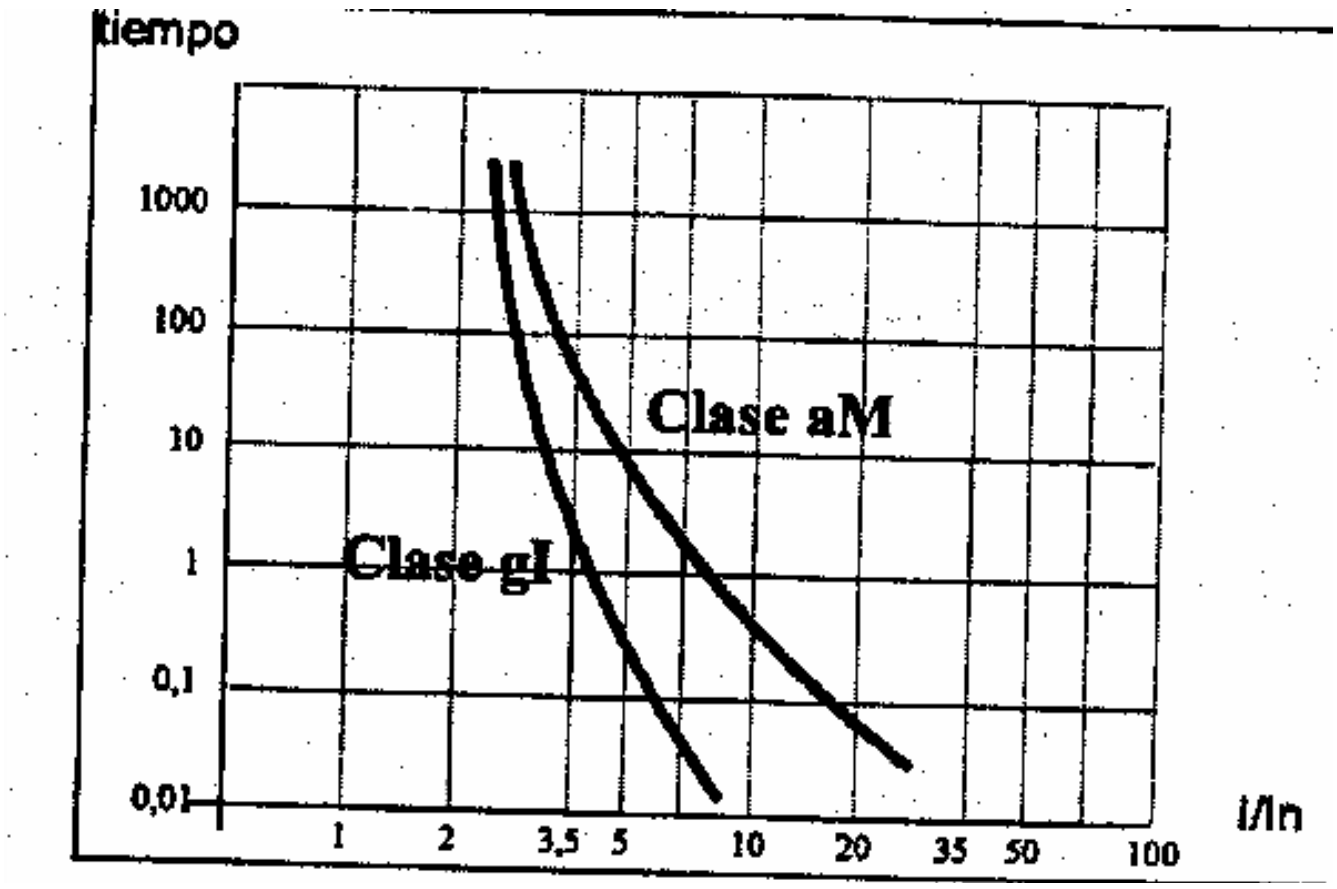
Un gran inconveniente de los fusibles es la imprecisión que tiene su curva característica de fusión frente a otros dispositivos que cumplen el mismo fin, tales como los interruptores automáticos. Esto equivale a decir que la banda de dispersión de los fusibles es mayor que la de los interruptores automáticos,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

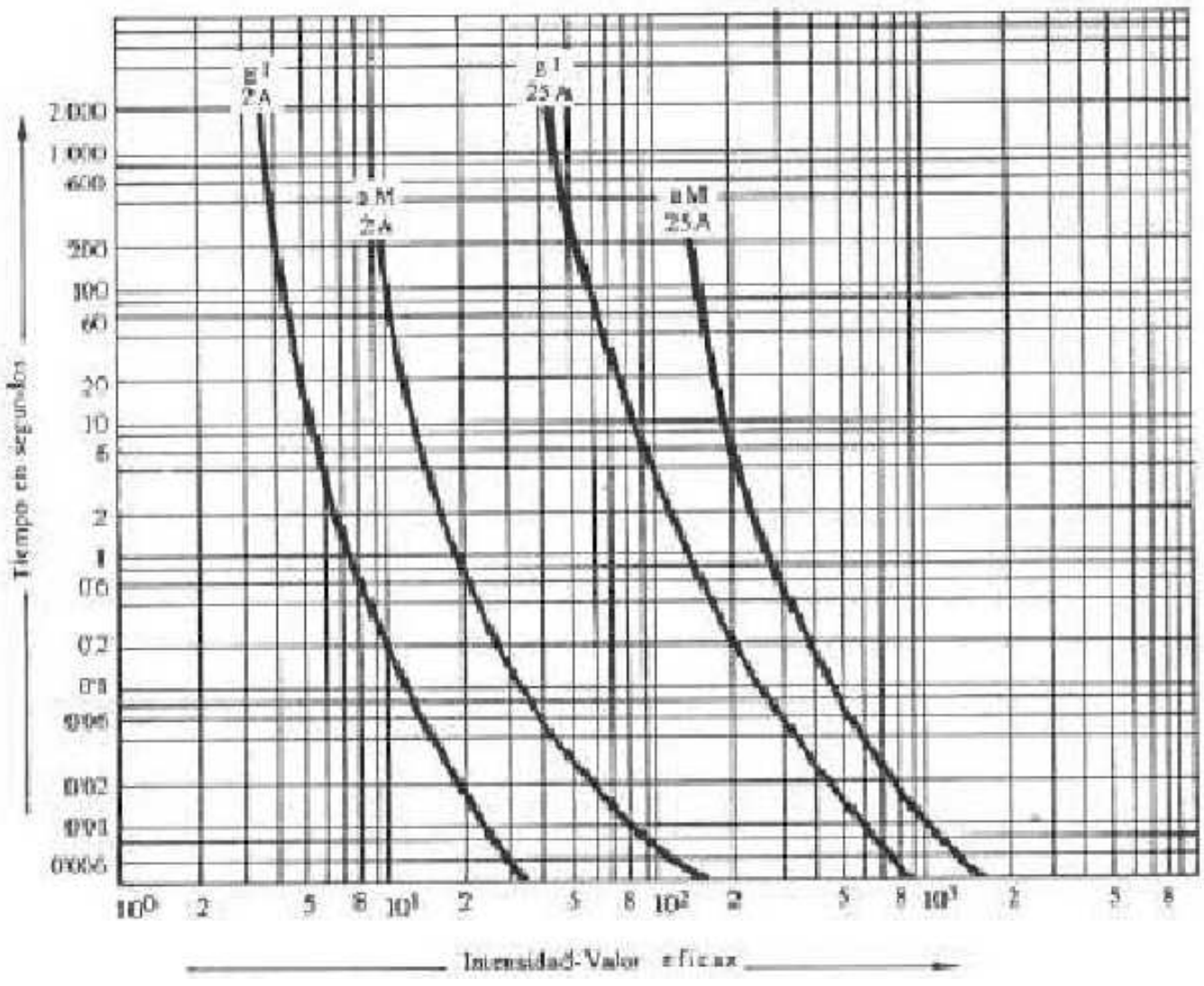
Otro inconveniente de los fusibles es la facilidad que tienen de poder ser usados con una misma disposición de base, hilos o láminas no adecuadas .Así mismo, la independencia de actuación de los fusibles en una línea trifásica supone un serio problema, ya que con la fusión de uno de ellos se deja a la 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.

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.





Características Tiempo-Corriente:

Las curvas tiempo-corriente entregadas por los fabricantes muestran los tiempos de operación de los fusibles para diferentes valores de corrientes. El valor de tiempo indicado en las curvas puede corresponder al tiempo mínimo de fusión del fusible, o bien tiempo promedio de fusión, o tiempo total de apagado de la corriente. En caso de no indicarse específicamente a que valor corresponde, se asume un valor promedio de tiempo de fusión.

Este valor promedio asume una tolerancia de 10% en la corriente para un tiempo de operación definido. Por lo tanto, el tiempo mínimo de fusión se considera inferior en un 10 % en corriente al valor promedio. Para tiempos superiores a 0.1 segundo, el tiempo máximo de fusión se considera igual al tiempo total de despeje de la falla.

Para tiempos entre 0.1 y 0.01 segundos, el tiempo de despeje se considera mayor al tiempo de fusión debido al tiempo de apagado del arco, que en este caso adquiere importancia.

Tanto los fusibles como las pastillas tienen capacidades medidas en Amperes por ejemplo las pastillas más comunes van de los 15 a los 50 Amperes para uso domestico y de 60 a 100 Amperes para uso residencial, comercial e industrial.

Fusibles de baja tensión (600 V o menos) y fusibles de alta tensión mas de 600 V. Tipos de fusibles. El tipo de cartucho o contacto de casquillo es útil para las tensiones nominales entre 250 y 600 V en los de tipo fijo y recambiable. El tipo fijo contiene polvo aislante (talco o un adecuado aislante orgánico) redondeando el elemento fusible. En caso de cortocircuito, el polvo tiene como misión:

Los fusibles de cartucho comunes poseen cierta capacidad de limitación de la corriente ya que interrumpen el circuito casi instantáneamente antes de que el cortocircuito tenga la oportunidad de existir y fundir o unir los contactos de los disyuntores o relés de máxima. El fusible de potencia limitador de la corriente contiene elementos fusibles de aleación de plata rodeados por cuarzo en polvo.

Generalmente, los fusibles de cartucho cilíndrico se emplean para pequeñas intensidades (hasta unos 10 o 15 A), para intensidades de valores intermedios (desde unos 15 A hasta intensidades del orden de 90 A) y los fusibles de cuchilla suelen fabricarse para intensidades muy elevadas (del orden de los 150 A o más).

Cómo calcular el tamaño de un fusible

Para la elección del fusible, deben considerarse los datos siguientes:

- El calibre (intensidad nominal del fusible, In) debe ser igual (o mayor) que la intensidad nominal de la máquina o circuito a proteger.
- Además debe ser menor que la capacidad de carga del conductor (máxima corriente admisible por el conductor)
- El poder de corte del fusible debe ser lo más alto posible.

- El tiempo de fusión y el tipo de curva dependerá del tipo de receptor y de si existe o no protección contra sobrecargas por medio de otro dispositivo.

- La selectividad entre dos fusibles se estima que puede conseguirse siempre que la relación de calibres sea mayor o igual de 1,6.

El cálculo se basa en dos condiciones:

Condición 1: Relacionada con la intensidad máxima admisible del conductor protegido

$$\mathbf{Ib \leq In \leq Iz}$$

Esta condición indica físicamente que el fusible debe dejar pasar la corriente necesaria para que la instalación funcione según la demanda prevista, pero no debe permitir que se alcance una corriente que deteriore el cable, concretamente, su aislamiento, que es la parte débil.

Ib: corriente de diseño del circuito correspondiente.

La intensidad de diseño se calcula a partir de las fórmulas:

Monofásica:

$$I = \frac{P}{V * \cos\theta}$$

Trifásica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\theta}$$

La potencia será la correspondiente al tramo de la instalación que estemos protegiendo.

In: corriente nominal del fusible

Iz: corriente máxima admisible del conductor protegido

Se obtiene con la Tabla de intensidad admisible en amper

Condición 2: Relacionada con la sobrecarga transitoria que puede soportar el conductor Protegido

$$\mathbf{If \leq 1{,}45 * Iz}$$

Esta desigualdad expresa que en realidad los cables eléctricos pueden soportar sobrecargas transitorias (no permanentes) sin deteriorarse de hasta un 145% de la intensidad máxima admisible térmicamente y sólo entonces los fusibles han de actuar, fundiéndose cuando, durante el tiempo convencional se mantiene la corriente convencional de fusión.

If: corriente que garantiza el funcionamiento efectivo de la protección

Se obtiene de la Tabla II:

In (A)	Tiempo convencional (h)	I_f Corriente convencional de fusión
In ≤ 4	1	2,1 In
4 < In ≤ 16	1	1,9 In
16 < In ≤ 63	1	1,6 In
63 <In ≤ 160	2	1,6 In
160 <In ≤ 400	3	1,6 In
400 < In	4	1,6 In

Tabla II

Iz: corriente máxima admisible del conductor protegido

Se obtiene con la Tabla de intensidad admisible en amper (nom)

Ejemplo de diseño

Calcular los fusibles que protegen una Línea General de Alimentación de las siguientes características:

Potencia total a instalar de 1533.5 W, Sección del conductor de fase preseleccionado: cobre de 3.307 mm^2.

Aplicando la **CONDICIÓN 1**

$$\mathbf{Ib \leq In \leq Iz}$$

$$I = \frac{P}{V * \cos\theta}$$

$$I = \frac{1533.5}{127 * 0.7} = 17.24$$

Iz: corriente máxima admisible del conductor protegido

Sección del conductor de fase preseleccionado: cobre de 3.307 mm^2, esto equivale a un calibre # 12 con una capacidad de 25 ampers

17 A ≤ In ≤ 25 A

Vemos que, no existe fusible normalizado que entre en la desigualdad:

La única posibilidad es aumentar el valor de **Iz**, para lo que tenemos que aumentar la sección de las fases. Seleccionamos la sección siguiente, la de 5.260 mm^2, con una Iz = 35 A. Esta sección permite cumplir la desigualdad, escogiendo un fusible de intensidad nominal 30 A.

Ib = 17 A ≤ In = 30A ≤ Iz = 35 A ------ Si CUMPLE

Ahora hay que comprobar la **CONDICIÓN 2** del fusible:

If ≤ 1,45 *Iz

En la Tabla II, el fusible elegido en la CONDICIÓN 1, de In = 30 A, está en el intervalo [16, 63] y, por tanto, la intensidad que por fabricación normalizada funde, al cabo de 1 hora de funcionamiento en esas condiciones, es de 1,6 veces su In, queda:

1,6 * 17.24 A ≤ 1,45 * 35 A

27.56 A ≤ 50 A ----- Si CUMPLE

NOTA. En caso de no cumplir de nuevo es necesario aumentar la sección del conductor para cumplir esta condición, y pasar a la sección siguiente.

Finalmente, el fusible que debo elegir es de **In = 30 A**, y habrá que redimensionar las secciones de los conductores de fase, quedando éstos de **5.260 mm2.**

Diámetro del hilo en milímetros	Corriente de fusión en Amper			
	Plomo	Plata	Cobre	Estaño-plomo
0,10	-	2	-	-
0,20	-	6	-	-
0,30	1	8	-	-
0,40	2	10	20	-
0,50	3	15	30	-
0,60	4	20	40	-
0,70	5	25	50	-
0,80	6	30	60	-
0,90	7	40	70	-
1,00	8	50	80	13,3
1,25	12	80	110	19,8
1,50	16	120	135	25,4
1,75	20	-	-	32,0
2,50	40	-	-	-
4,00	85	-	-	-

(Tabla I)

Ejemplo 2

Calcular los fusibles que protegen una Línea General de Alimentación de las siguientes características:

Potencia total a instalar de 125335 W, Sección del conductor de fase preseleccionado: cobre de 67.43 mm^2, con aislamiento THW-LS, 70º C.

Aplicando la **CONDICIÓN 1**

$$\mathbf{Ib \leq In \leq Iz}$$

$$I = \frac{P}{V * \cos\theta}$$

$$I = \frac{125335}{600 * 0.7 * 1.73} = 172.49\ Ampers$$

$$\mathbf{172.49\ A \leq\ In\ \leq 175\ A}$$

La única posibilidad es aumentar el valor de **Iz**, para lo que tenemos que aumentar la sección de las fases. La sección siguiente, la de 85.01 mm^2, con una Iz = 200 A. Esta sección permite cumplir la desigualdad, escogiendo un fusible de intensidad nominal 200 A.

173 A ≤ In=200A ≤ Iz =200 A ------ SI CUMPLE

Ahora hay que comprobar la **CONDICIÓN 2** del fusible:

If ≤ 1,45 * Iz

En la Tabla II, el fusible elegido en la CONDICIÓN 1, de In = 200 A, está en el intervalo [160, 400] A y, por tanto, la intensidad que por fabricación normalizada funde, al cabo de 3 horas de funcionamiento en esas condiciones, es de 1,6 veces su In, queda:

1,6*200 A ≤ 1,45*200 A

320 A ≤ 290 A ----- NO SE CUMPLE

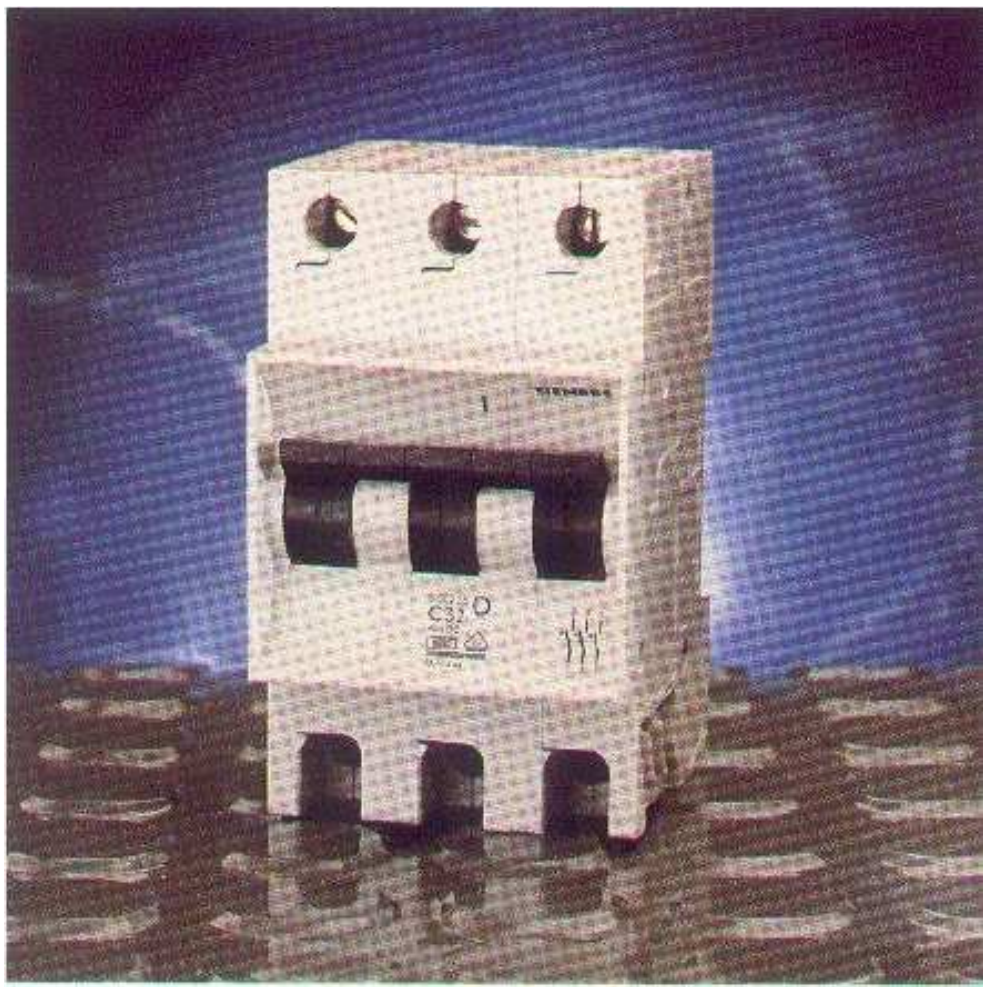
De nuevo es necesario aumentar la sección del conductor para cumplir esta condición, y pasar a la sección siguiente de 107.2 mm^2, con una Iz = 230 A, con la que:

1,6*200 A ≤ 1,45*230 A

320 A ≤ 333.5 A ------ SI CUMPLE

Finalmente, el fusible que debo elegir es de **In = 200 A**, y habrá que redimensionar las secciones de los conductores de fase de la, quedando éstos de **107.2 mm^2.**

1.2 INTERUPTORES TERMOMAGNÉTICOS



GENERALIDADES

Son aparatos destinados a la protección de los conductores en las instalaciones eléctricas domésticas donde la temperatura ambiente está comprendida entre 0 y 40º C (rango de la temperatura operativa).

Se lo define como un aparato interruptor provisto de un comando manual destinado a desconectar automáticamente de la red una instalación eléctrica o una parte de ella cuando la corriente sobrepasa un valor determinado. Cada interruptor termo debe poseer tres elementos:

1. Disparo térmico
2. Disparo magnético.
3. Mecanismo de desconexión.

La función del disparo térmico es proveer protección contra las corrientes de sobrecarga que son las producidas en un circuito eléctrico sano o sin fallas cuando la corriente eléctrica sobrepasa por lo menos en uno de los conductores la intensidad admisible, durante un tiempo tal que pueda provocar deterioros en la instalación.

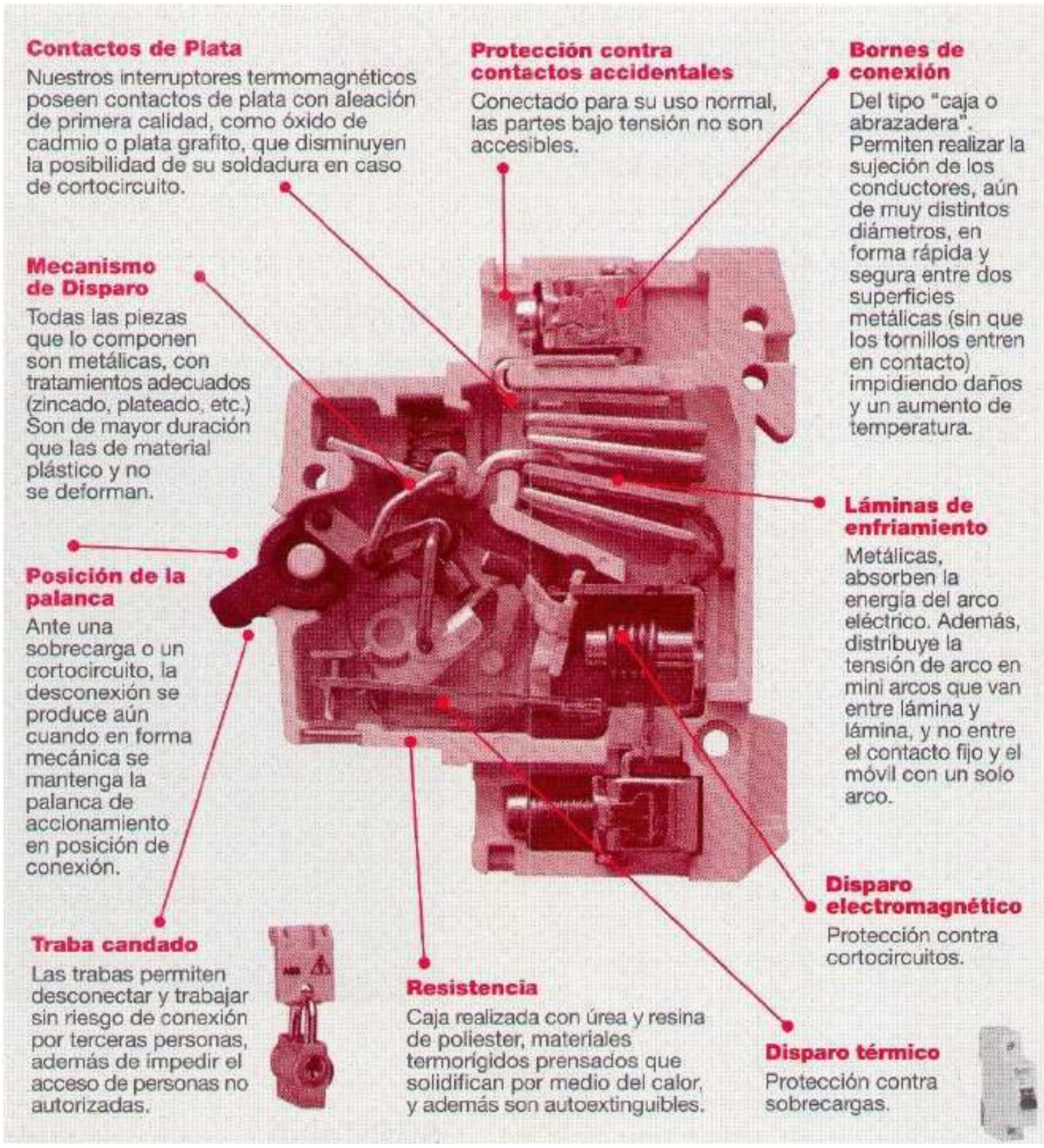


Figura 7

Qué es sobrecarga?

La sobrecarga es el defecto más frecuente sobre las máquinas. Se manifiesta por un aumento de la corriente absorbida por el motor y por sus efectos térmicos. Por ejemplo, la vida de un motor es

reducida en un 50% si su temperatura de funcionamiento (definida por su clase de aislamiento) se sobrepasa en 10º C de manera permanente.

Disparador térmico: Está formado por una pieza bimetal que se deflexiona al ser calentada, en proporción al valor de la corriente y a su duración, actuando sobre el mecanismo de desconexión. El ajuste y calibrado del disparo bimetálico es hecho en fábrica lo que asegura su precisión e invariabilidad.

El disparo magnético: Actúa en forma instantánea sobre el mecanismo de desconexión en caso de un corto circuito, proporcionando una protección contra el mismo independientemente del disparo térmico. Las corrientes de cortocircuito son las sobre intensidades producidas por una falla de impedancias despreciables entre dos puntos de un circuito.

El disparo magnético consiste en principio en una bobina atravesada por la corriente del circuito. En caso de producirse un corto circuito en el mismo, la bobina atrae a un núcleo en el momento en que la corriente alcanza un valor predeterminado, actuando sobre el mecanismo de desconexión. Como consecuencia de esto los contactos se abren en un intervalo de tiempo muy corto.

Mecanismos de Desconexión:

El disparo térmico es el elemento que protege al circuito contra sobrecarga y requiere un cierto período de tiempo para operar. A su vez el disparo magnético asegura protección contra cortocircuitos y sobrecargas elevadas y peligrosas que no podían ser interrumpidas en forma lo suficientemente rápida por el disparo térmico.

Los dos disparos actúan sobre el mecanismo de desconexión en forma independiente sobre su elemento de traba. A su vez los dos disparos se protegen mutuamente el uno al otro.

El disparo magnético protege a la pieza del bimetal de ser sobrecalentada peligrosamente para su elasticidad, actuando inmediatamente sobre el mecanismo de desconexión y el disparo térmico protege al alambre de la bobina del disparo magnético contra sobrecargas excesivas.

Disparo Térmico
Puede ser atravesado durante una hora sin desconectar por una corriente igual a 1,05 veces la corriente nominal. Luego en la hora siguiente debe producirse la desconexión por una corriente igual a 1,35 veces la corriente nominal.

Disparo Magnético
Por una corriente comprendida entre 3 y 10 veces la corriente nominal debe producirse la desconexión en forma instantánea (menos de 0,5 seg.). Las características de disparo, o sea el tiempo(en segundos) de disparo en función del valor seleccionado por encima de la intensidad nominal del circuito o aparato, y viene suministrada en los catálogos de los fabricantes. Normalmente los fabricantes elaboran dos tipos de llaves (tipo L o tipo G).

Unas pueden ser para proteger instalaciones solamente (por ejemplo circuitos de iluminación y control para oficinas o requerimientos similares en industrias livianas) y otras para protección de instalaciones con aparatos eléctricos.

Construcción:
Los automáticos N tienen disparador térmico para la protección contra sobrecargas y disparador magnético para la protección contra cortocircuitos, ambos son ajustados en fábrica.

Los aparatos tienen desconexión libre, es decir que cuando se produce el disparo (bien por sobrecarga o por cortocircuito) el automático desconecta aunque se sujete la palanca de accionamiento. Los automáticos multipolares tienen desconexión interna, independiente del accionamiento que une los distintos polos.

TIPOS DE TERMOMAGNÉTICAS SEGÚN:

TIPO L
Para la protección de instalaciones. Este tipo es usado para proteger circuitos de iluminación y control. Se usan principalmente en instalaciones de edificios, oficinas o similares requerimientos en industrias livianas. La corriente nominal de los interruptores es equivalente a las corrientes nominales y a las curvas intensidad / tiempo de los fusibles, de acuerdo a la norma VDE 0636. La elección de la corriente nominal del interruptor a colocar, se hace en base a la sección y al número de conductores eléctricos existentes en la canalización. El interruptor debe permitir el paso de corrientes eléctricas que no dañen la aislamiento de los conductores que constituyen la instalación. Como valor de referencia, la intensidad permanente máxima del interruptor debe ser menor o igual que la intensidad máxima admisible del conductor. El margen de acción del disparo magnético comprende valores entre 3,5 y 5 veces la corriente nominal del interruptor.

TIPO G:
Protección de instalaciones y aparatos eléctricos. La intensidad permanente máxima prácticamente es igual a la corriente nominal. En la protección de conductores contra sobrecargas, la corriente nominal del interruptor debe ser igual o menor que la intensidad máxima admisible del conductor. El disparo magnético se produce cuando la corriente alcanza valores entre 6 y 10 veces la corriente nominal del interruptor. Son adecuados para la protección de motores contra cortocircuitos, empleados en combinación con contactores y relevos de protección por falta de fase.

ACCIÓN TÉRMICA
a) Los tipos B, C y D son sobrecargas de 1,13 In no desconectan en tiempos mayores que 1 hora (hasta 36 A).

b) En cambio con 1,45 In – corta en un tiempo menor a 1 hora (hasta 63 A). El comportamiento frente a sobrecargas instantáneas de 3 a 50 In es distinto según el tipo, y el instalador debe saber cual utilizar según sea el tipo de carga de su instalación.

Tipo B:
Con 3 In d sobrecarga, no desconecta.
Con 5 In de sobrecarga, desconecta.
Aplicación: En líneas con cargas fuertemente (horno eléctrico) resistivas o con alumbrado fluorescente (de bajas corrientes de conexión).

Tipo C:
Con 5 In de sobrecarga, no desconecta.
Con 10 In de sobrecarga, desconecta.
Aplicación: En líneas con cargas del tipo de alumbrado y aparatos electrodomésticos (sin preponderancia de motores).

Tipo D:
Con 10 In de sobrecarga, no desconecta.
Con 50 In de sobrecarga, desconecta.
Aplicación: En caso de circuitos que alimentan motores que pueden arrancar con I corrientes d 6 a 7 veces la In (con cuples resistentes de arranque importantes). Los tiempos de desconexión son menores de 0,1 seg.

Los ensayos que más caracterizan la calidad de un termomagnético son:
Ensayo de vida:

- Mecánica (sin carga)
- Eléctrica (con carga) } 10.000 accionamientos
- Cortocircuito, 1500, 3000, 4500, 6000, 10.000 KA (en una instalación normal, la Icc en bornes de la termomagnética en el tablero principal. Electrificación media, no supera los 3000 A de Icc.

CURVAS DE DISPARO:

Una sobrecarga, se caracterizada por un incremento paulatino de la In, puede deberse a una anomalía permanente que se empieza a manifestar (falla de aislamiento), o transitoria (por ejemplo, corriente de arranque de motores). Tanto cables como receptores están dimensionados para admitir una carga superior a la normal durante un tiempo determinado sin poner en riesgo sus características aislantes. Cuando la sobrecarga se manifiesta de manera violenta (varias veces la In) de manera instantánea estamos frente a un cortocircuito, el cual deberá aislarse rápidamente para salvaguardar los bienes. Dos protecciones independientemente están asociadas en un aparato de protección para garantizar:

- Protección contra sobrecarga. Su característica de disparo es a tiempo dependiente o inverso, es decir que a mayor valor de corriente es menor el tiempo de actuación.
- Protección contra cortocircuitos. Su característica de disparo es a tiempo independiente, es decir que a partir de cierto valor de corriente de falla de protección actúa, siempre en el mismo tiempo.

Las normas IEC 947.2 y 898 fijan las características de disparo de las protecciones de los interruptores automáticos.

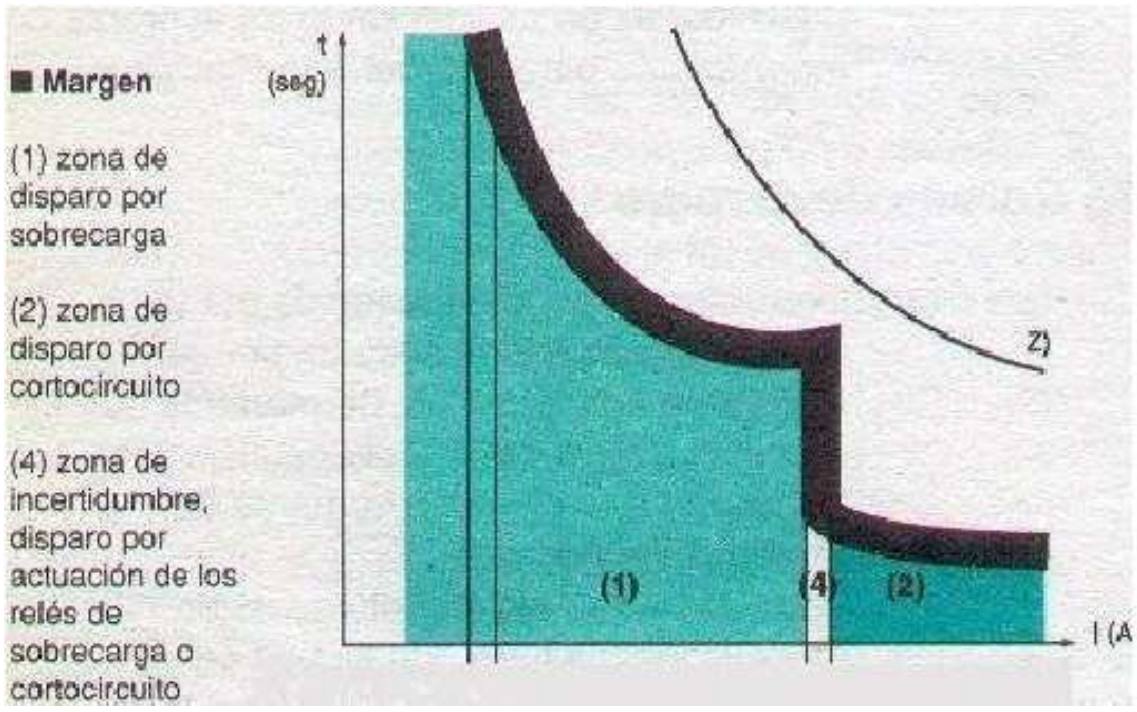


Figura 8

Capacidad de ruptura:

En todas las instalaciones que requieran el uso de interruptores termomagnéticos del sistema N, prácticamente sin excepción, el nivel del cortocircuito en los bornes del automático no supera los 3000 A, debido a la impedancia propia dl transformador y de los elementos de conexión entre la fuente y el automático.

Si el nivel de cortocircuito excede la capacidad de interrupción al automático, pueden colocarse fusibles como protección de respaldo. Con fusibles tipo GI / GT según VDE o IEC el valor de los mismos puede ser de hasta 100 A, con lo que el nivel de cortocircuito manejable por la combinación alcanza los 25 KA, sin afectar el posterior funcionamiento del automático.

En corriente continúa la capacidad de ruptura s de más de 20 KA a 60 VCC o a 110 VCC para la versión bipolar (para constantes de tiempo a 4ms.) Con interruptores de respaldo se pueden emplear hasta un nivel de cortocircuito de 6 KA.

Selectividad:

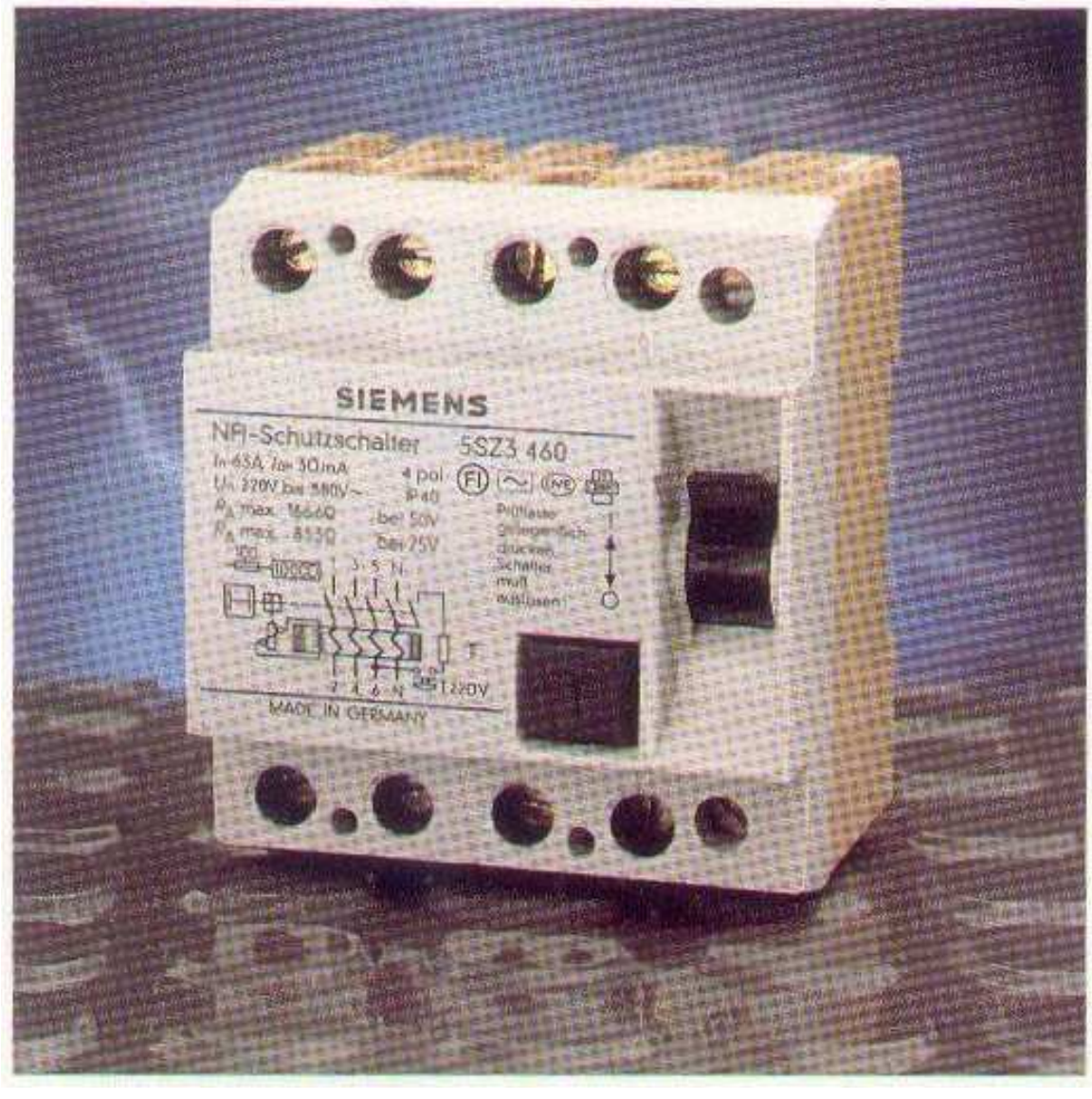
La selectividad entre automático y fusible antepuesto se da si el valor de l_2 t de actuación total del automático es menor que el valor l_2 t de prearco del fusible.

La generalidad de las fallas ocurre en el consumo o en sus cercanías, lo que equivale a una distancia considerable al automático.

Esas fallas son considerablemente menores que la capacidad de interrupción del automático, por lo que el automático actuará individualmente sin la activación del fusible.
Influencia de la temperatura ambiente:

El disparador sobreintensidad (bimetal) está ajustado para una temperatura de 20 º+_5ºC. Temperaturas de ambiente más elevadas (por ejemplo, armarios donde la temperatura es alta), obligan a una corrección de la carga.

1.3 INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO



Interruptor que comprende una base, una cubierta de contacto conectada a la base, un grupo de contactos estacionarios dispuestos dentro de la cubierta de contacto, un accionador montado en la base para deslizarse a lo largo de su eje y contactos movibles montados en el accionador para moverse a lo largo del eje del mismo entre una posición abierta y una posición cerrada en la cual ecoplan con los contactos estacionarios, caracterizado por un modulo de polo de potencia, mentado a lo largo de la cubierta de contacto

los interruptores electromagnéticos tienen un electroimán dentro, si pasa mas corriente que la permitida través del electroimán este se acciona y corta los contactos e interrumpe la corriente, son mas rápidos y mas precisos en el limite de corriente que los térmicos y se emplea en lugares donde se necesita un corte rápido como alimentación de motores de gran tamaño etc.

un interruptor tiene la función de interrumpir el paso de algo, normalmente se usa este termino para interrumpir el paso de la corriente eléctrica. Ahora que si es un interruptor electromagnético será el dispositivo que de manera automática interrumpe el paso de la corriente eléctrica por medio del magnetismo. Normalmente se emplea en circuitos eléctricos para puertas automáticas elevadores, sistemas eléctricos de carros o maquinaría semi o automática para operación o suspensión de funciones.

EL CONTACTOR

El contactor se puede definir como un dispositivo diseñado para realizar funciones de conmutación repetida para la activación o desactivación de los circuitos eléctricos de potencia por medio de una señal de control eléctrica a distancia.

Los contactores pueden ser clasificados como del tipo electromagnético y como del tipo de estado sólido.

Los electromagnéticos, como los que se muestra en la figura 9, trabajan bajo el principio de inducción de Faraday, ya que son accionados cuando se energiza una bobina que forma parte de un electroimán.

Figura 9 Contactores de accionamiento electromagnético

Los contactores de estado sólido son accionados por el principio de semiconductores que permiten una conmutación electrónica por medio de tiristores, los cuales pueden soportar elevadas corrientes de interrupción, como los que se muestran en la figura.

En estos tipos de contactores no hay piezas mecánicas y comúnmente los circuitos de salida y entrada están separados galvánicamente por un opto acoplador.

Existe una gran variedad de marcas y modelos de contactores, cada una con características eléctricas y mecánicas diseñadas para cumplir con los requerimientos industriales.

A diferencia de los contactores electromecánicos que manejan una señal lógica para su activación, los contactores de estado sólido pueden operar con señales lógicas y con señales analógicas de 0-5, 0-10 Vcc o 4-20 mA. Pueden manejar cargas en rangos de corrientes desde 60 A hasta 500 A en tensiones desde 120 hasta 660 VCC o VCA y trabajar cualquier tipo de carga ya sea resistiva (de valor resistivo constante o no) o inductiva.

Figura 10 Contactores de estado sólido de dos marcas diferentes

ELEMENTOS QUE COMPONEN UN CONTACTOR MAGNÉTICO

Las partes básicas que conforman un contactor electromagnético son: la carcaza, el circuito electromagnético y los contactos. Cada una de estas partes las podemos desensamblar para darle mantenimiento o reparar el dispositivo, por esto es importante conocer las características de cada uno de ellos y los elementos que los conforman. A continuación se describe las características de cada una de estas partes:

La carcaza: La carcaza es el soporte de los elementos que conforman el contactor, está fabricada con un material aislante hecho de un material polímero con fibra de vidrio muy resistente a las elevadas temperaturas y con una gran rigidez eléctrica, en ella se fijan el circuito electromagnético y los contactos eléctricos. En la figura 11(a) podemos observar la parte externa de la carcaza de un contactor, en la figura 11(b) la parte de la carcaza donde se coloca el núcleo y la bobina y en la

11(c) la parte interna la armadura, donde ambas conforman el circuito electromagnético. (a) parte externa de la carcaza (b) carcaza interna donde se (c) Carcaza interna donde se de un contactor aloja el núcleo y la bobina aloja la armadura

Figura 11a, b, c.

Circuito electromagnético: El circuito electromagnético esta conformado por tres partes básicas: La **bobina,** el **núcleo** y la **armadura**. La bobina genera el campo magnético, el núcleo lo refuerza y la armadura reacciona a este. En la figura 12, podemos observar la bobina de tres diferentes tipos de contactores. Una bobina esta formada por un conductor enrollado de cierto número de espiras, que al energizarse con un voltaje de cd o ca. forma un campo magnético.

Figura 12 Bobinas de tres diferentes tipos de contactores

El núcleo es una parte metálica en forma de E, construida de laminas de un material ferromagnético y se encuentra colocada de forma fija en la carcaza. En la figura 13, se puede ver físicamente la forma de la armadura y como se encuentra colocada en los contactores. La función del núcleo es fortalecer y distribuir adecuadamente el flujo magnético que se forma en la bobina cuando esta es energizada, de forma que ejerza una fuerte atracción sobre la armadura. La bobina se monta en precisamente en el núcleo

Figura 13 Núcleo, Ubicación del núcleo del contactor, Ubicación del núcleo del contacto

Forma física del núcleo y ubicación dentro del contactor. La armadura es una parte móvil del contactor y está construida del mismo material que el núcleo, se mantiene separada del núcleo por medio de la fuerza de un resorte, el cual, es vencido solamente cuando la bobina es energizada.

Para contactores de corriente alterna el núcleo contiene dos bobinas que estabilizan el cruce por cero de la corriente alterna y evitan la vibración del mismo. Estas bobinas se encuentran colocadas en dos de los extremos de la armadura.

En la figura 14, se puede observar con varias fotografías la forma física de la armadura, su ubicación en la carcaza del contactor, el resorte que lo mantiene fijo y la bobina de sombra para los contactores de c.a.

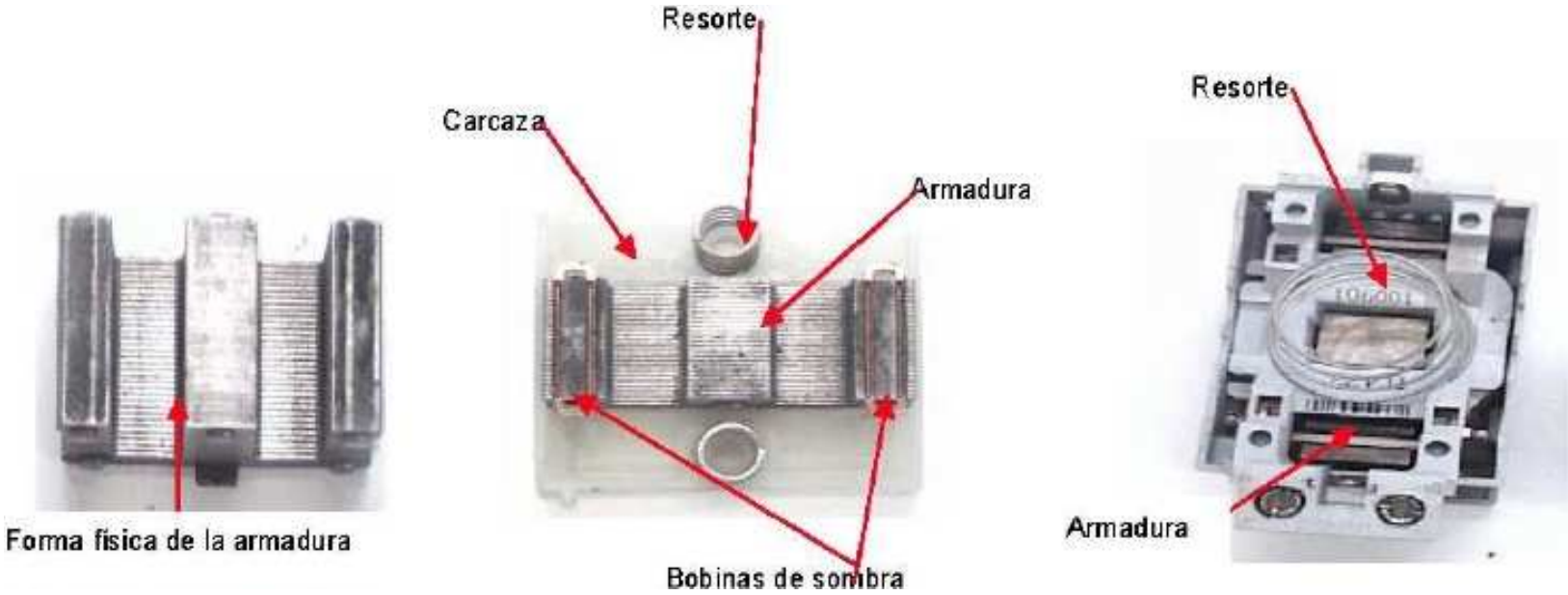


Figura 14 Forma física de la armadura, resorte y bobina de sombra

Contactos: En un contactor podemos encontrar dos tipos de contactos: *los contactos principales y los contactos auxiliares. Los principales* son de construcción robusta y están diseñados para soportar elevadas corrientes de encendido y apagado, permitiendo el paso de la corriente eléctrica a la carga sin deteriorarse. Comúnmente estos están *fabricados de bronce fosforado* para que sean buenos conductores y mecánicamente más resistentes. Se encuentran colocados en una cámara construida de fibra de vidrio y poliéster que soporta elevadas temperaturas y evita que se propague la chispa. Para manejo de cargas muy grandes estos pueden estar protegidos por una bobina extintora del arco eléctrico, que ayuda a prolongar la vida útil de estos.

Los *contactos auxiliares* a diferencia de los de fuerza son de construcción sencilla y están diseñados para soportar pequeñas corrientes de conmutación de los circuitos de control, comúnmente para realizar el enclavamiento del contactor o para dar continuidad a la secuencia de la lógica de control, por consiguiente, la corriente que pasa por ellos es la misma que circula por la bobina donde se encuentra colocado. En la figura 15, podemos ver físicamente como se encuentran los contactos auxiliares y los contactos principales. Los contactos auxiliares pueden ensamblarse en el costado o en la parte superior del contactor.

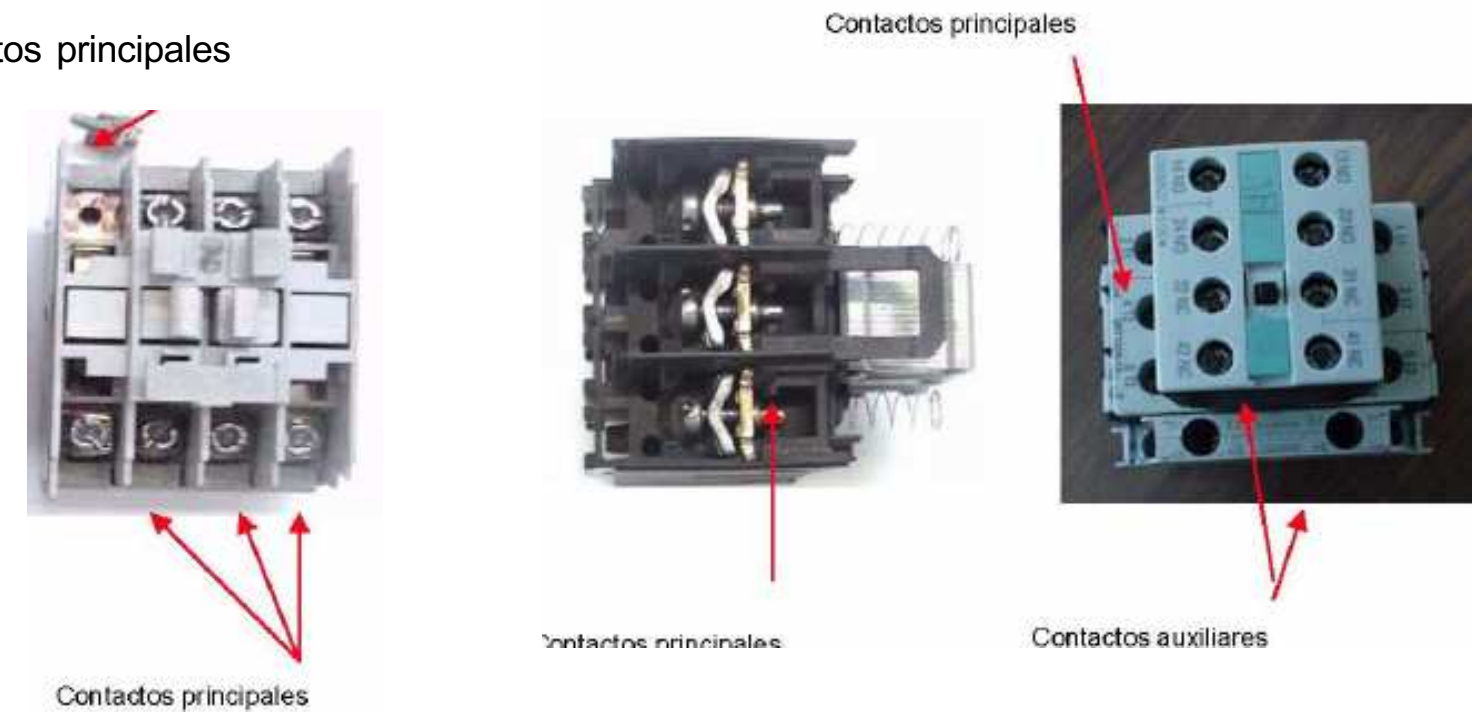
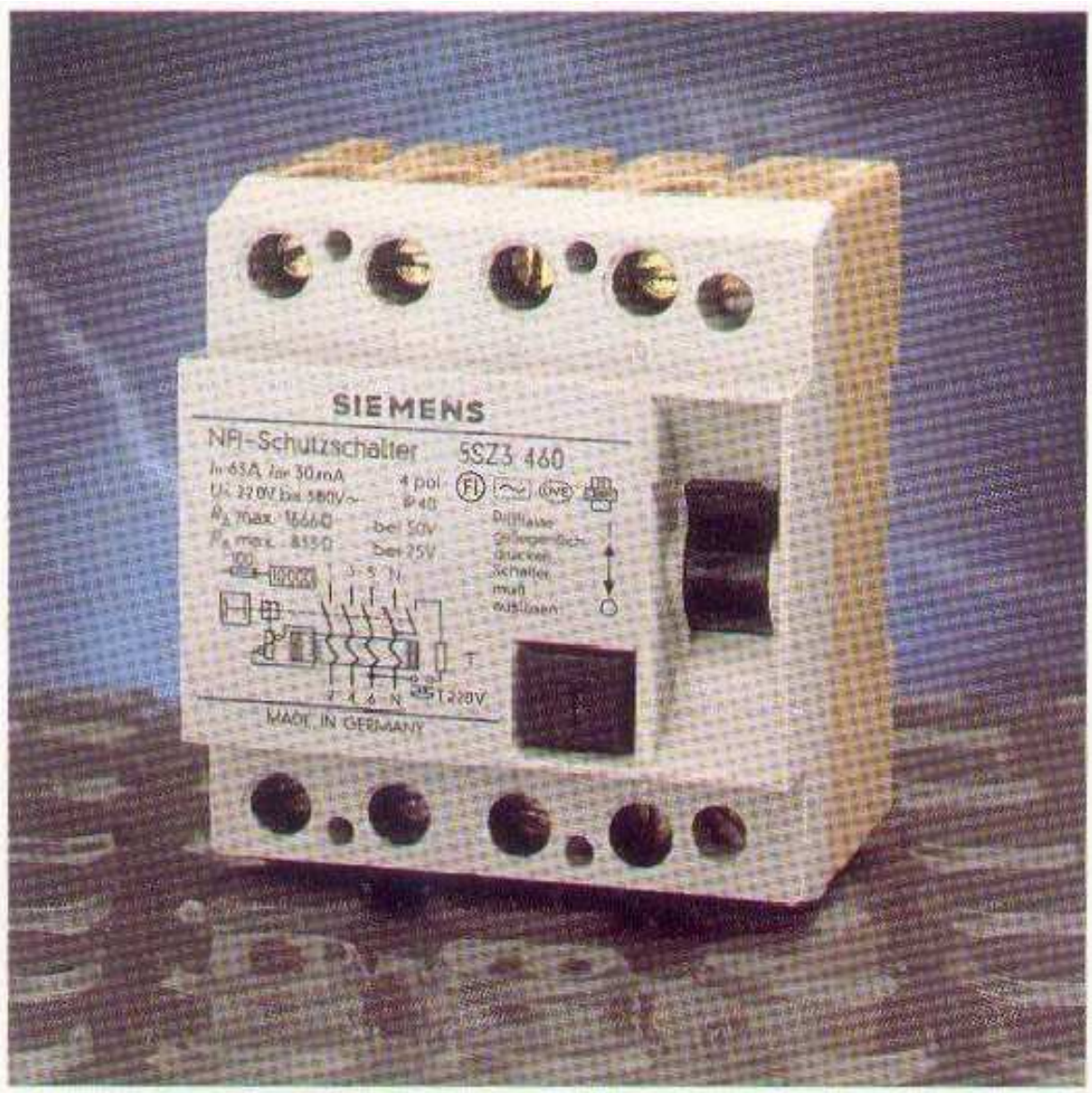


Figura 15 Forma física de los contactos principales y auxiliares

INTERRUPTOR DIFERENCIAL



Accidentes contra las personas – Accidentes eléctricos:

El accidente eléctrico es de baja frecuencia pero de gravísimas consecuencias cada vez que se produce, tanto por mortalidad como por lesiones orgánicas. Es ocasionado por el pasaje de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano; provoca las lesiones y accidentes.

Existe una clasificación que relaciona el valor de la corriente y los efectos provocados.

Mili Amper	Efectos sobre el organismo
O,5	. se percibe sin reacción.
Hasta 10	. sin efectos peligrosos, puede desprenderse la persona del contacto.
Mayor de 10 y hasta 20	. produce contracción de los músculos y no se desprende del
Mayor de 20 y hasta 30	contacto.
Mayor de 50	. produce asfixia con tiempos mayores a 1 segundo.
Mayor de 70 y hasta 140	. probabilidad de fibrilación en un 5% con un segundo.
	. probabilidad de fibrilación en un 50% con un segundo.
Mayor de 140 y hasta 300	. probabilidad de fibrilación en un 95 % en un segundo.
Mayor de 300	. probabilidad de fibrilación mayor del 95 % en un segundo.

Tabla 3

Nota: ya que el ciclo de bombeo de la sangre es de 0,75 segundos y en él hay una zona crítica donde puede causar fibrilación (aproximadamente 0,25 segundos), se definió para una protección diferencial un máximo de 0,2 segundos y una corriente máxima de 30 mA.

Resistencia del cuerpo humano:
Puesto que las instalaciones de inmuebles domiciliarias las tensiones nominales son normalmente de 220 V de corriente alterna o a lo sumo 440 V, las resistencias del cuerpo varían según la tensión que recibe. La siguiente tabla ilustra este fenómeno considerando la piel seca entre mano y pié y con una superficie de contacto de 50 a 100 cm^2.

Tensión de contacto en Volt.	Impedancia en OHM
25	3250
50	2625
75	2200
100	1875
220	1350
380	1250

Tabla 4

Notas:

- 🕮 Con la piel húmeda estos valores bajan en un 10 y 25 % hasta 50 V de contacto.
- 🕮 Con la piel húmeda disoluciones conductivas, los valores bajan un 50%.
- 🕮 Con tensiones de contacto de 150 V la resistencia depende poco de la humedad.

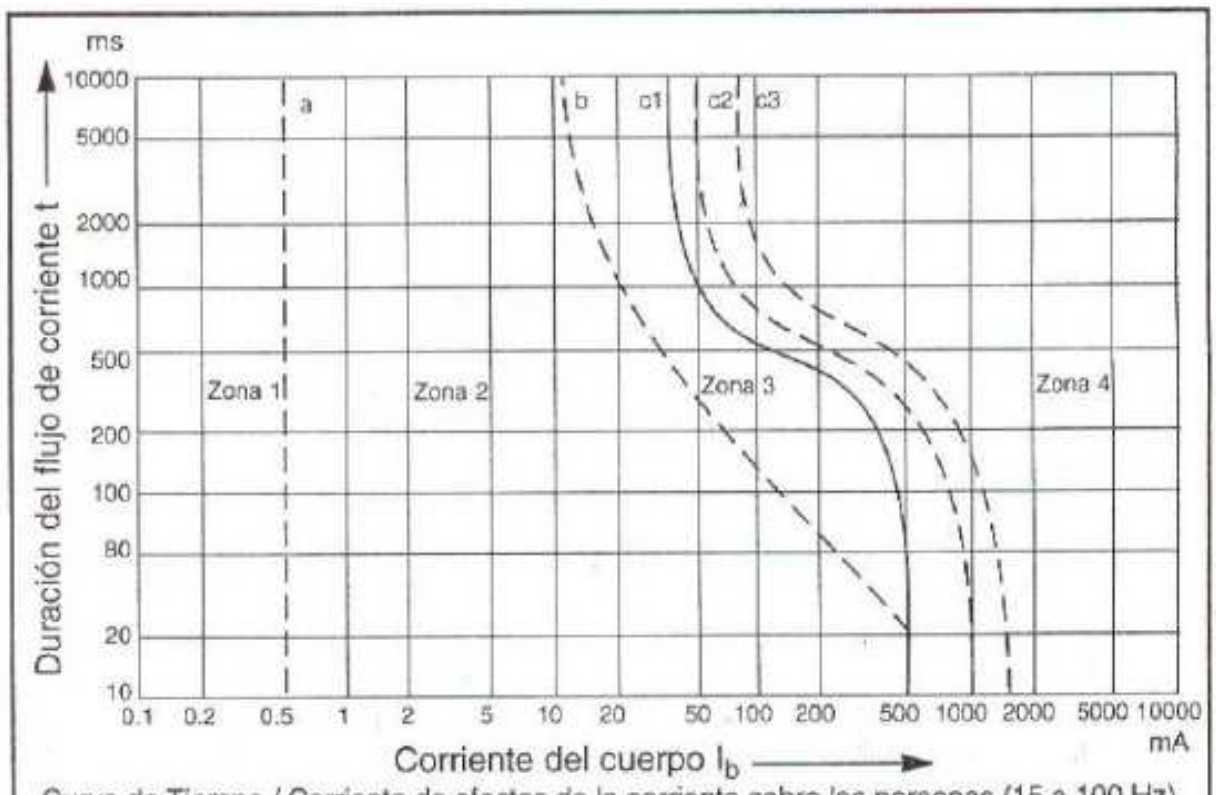
Parámetros que crean el riesgo eléctrico:

1) Corriente máxima a través del cuerpo, mayor a 10 mA y menor a 30 mA crean asfixia.
2) Tensión de contacto máxima (con piel seca) no mayor de 24 V de corriente alterna.
3) Corriente máxima sin riesgo cardíaco severo igual a 30 mA.
4) Tiempo de circulación de la corriente no mayor a 200 m segundos (0,2 seg.)
5) Tensión de contacto máxima (con cuerpo sumergido) no mayor a 12 V de corriente alterna.

TABLA

Zonas	Efectos Fisiológicos.
Zona I	Normalmente sin reacción.
Zona II	Usualmente sin efectos fisiológicos.
Zona III	Usualmente no se esperan daños orgánicos. Aparecen contracciones musculares y dificultad en la respiración, disturbios reversibles de impulsos en el corazón. Paros cardíacos transitorios sin fibrilación ventricular se incrementan con la corriente y el tiempo.
Zona IV	En adición a los efectos de la Zona III, la probabilidad de fibrilación ventricular se incrementa hasta un 5% sobre (curva C2), y hasta un 50% (curva C3), y arriba de un 50%, por encima de la curva c3. los efectos de paros cardíacos, respiratorios y quemaduras pueden ocurrir con el incremento de la corriente y el tiempo.

Tabla 5



Curva de Tiempo / Corriente de efectos de la corriente sobre las personas (15 a 100 Hz).
X: Punto de accionamiento de los Interruptores Automáticos de Corriente Diferencial que responden a la Norma IRAM 2301.

Tabla 6

FUNCIONAMIENTO

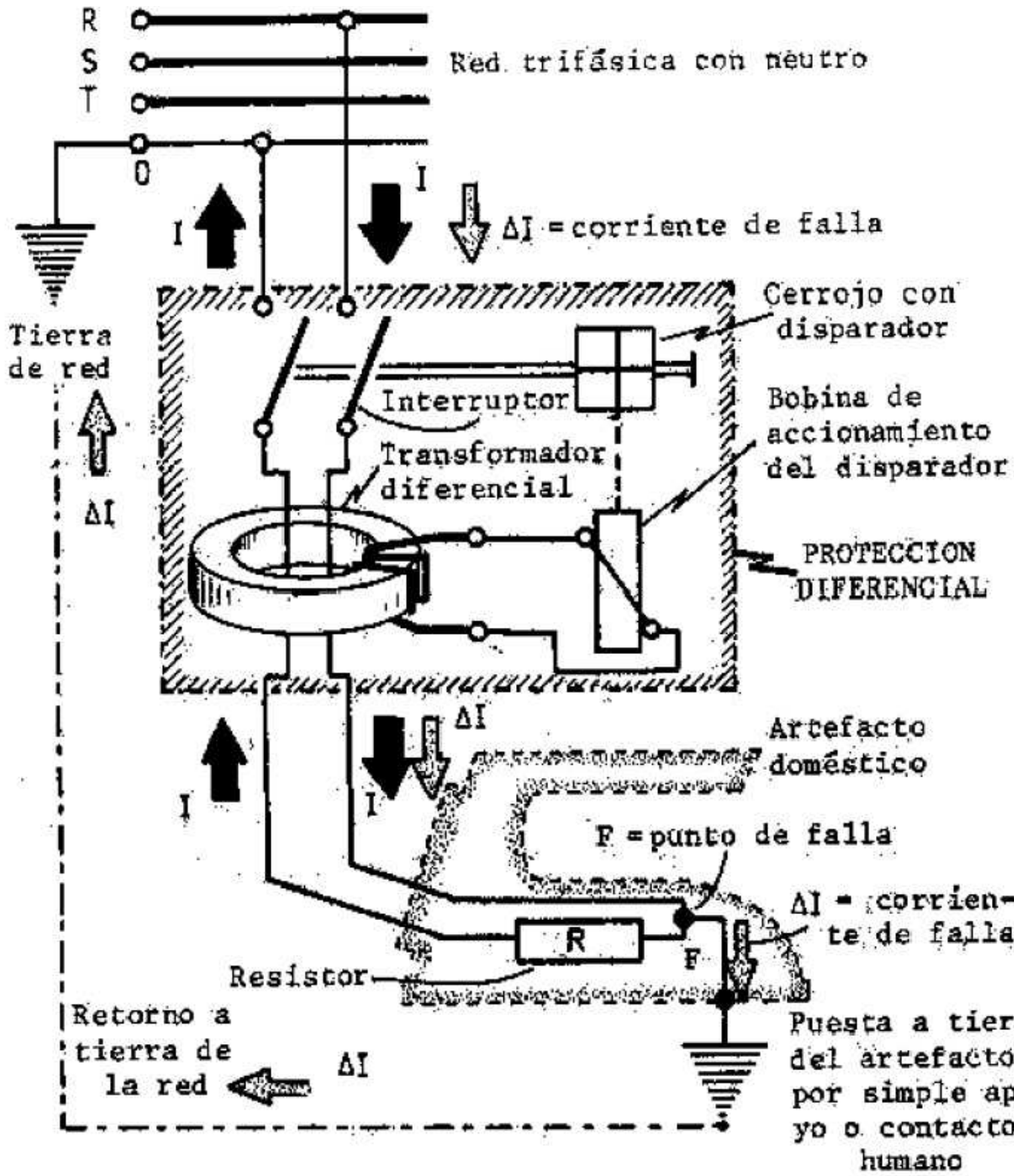


Figura 16

La ASOCIACIÓN ELECTRÓNICA, en su Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles, edición de agosto d 1984, insiste en el uso de las llamadas

PROTECCIONES DIFERENCIALES, que más propiamente debemos llamar Interruptor Automático por Corriente Diferencial de Fuga, conforme a la norma IRAM 2301.

En la figura 16, tenemos el esquema de estas protecciones y en ese dibujo se trata de explicar su acción aplicada a una plancha común de uso doméstico, que sufre una falla en su aislamiento. La resistencia de calefacción marcada con R, ocasiona el calor necesario para cumplir su función. Si por accidente falla la aislamiento del artefacto, por accidente falla la aislación del artefacto, por ejemplo en el punto F a la derecha, la corriente I que toma no regresa completa al neutro de la red por el conductor de la izquierda. Una parte que señalamos con DI pasa a las partes exteriores, de allí a tierra y de allí se cierra por el neutro a la red. El valor de I es la corriente normal del artefacto y DI la corriente de falla. Nótese muy particularmente que los dos conductores de alimentación atraviesan un núcleo magnético de forma anular o toroidal. Si la corriente de falla no existe, es decir DI = 0, las dos corrientes principales I son exactamente iguales y de sentido contrario. Al atravesar juntas el núcleo, sus efectos magnéticos se contraponen, se anulan y el resultado no produce ningún efecto en la bobina que está arrollada sobre el núcleo anular. Pero si hay una falla, por uno de los conductores (el de la derecha del dibujo), pasa la corriente principal I y la de falla ΔI. Dicho de otra manera:

Por el conductor de la izquierda pasa I

Por el conductor de la derecha pasa I + ΔI

Al existir la falla, el desequilibrio señalado ocasiona una fuerza electromotriz alterna inducida en la bobina del núcleo, porque el flujo alterno abarcado por el núcleo no es nulo. Esa fuerza electromotriz da lugar a una corriente en la bobina exterior del mismo circuito, la que acciona su núcleo y destraba el mecanismo del cerrojo y hace abrir el interruptor, que había sido cerrado con anterioridad y de ese modo, tenía la energía acumulada en sus resortes como para hacer una apertura rápida.

La corriente de falla se puede producir, por simple pasaje a tierra a causa de estar apoyado o vinculado un artefacto con tierra o a través del cuerpo de una persona que tome el objeto y esté apoyada en tierra. En este último caso, la corriente atravesará el cuerpo de la persona. Por lo tanto, el interruptor de acción diferencial debe actuar bajo dos condiciones fundamentales:

_ Con una corriente que no alcance a dañar a la persona.
_ Con un tiempo muy breve, para que ese efecto no sea perjudicial.

Todos los interruptores diferenciales que ofrece el comercio actual cumplen esas condiciones y están correctamente dimensionados para sus fines específicos. Sólo resta que sean instalados bajo las condiciones que sus especificaciones ordenan. Deben cuidarse que el conductor neutro no esté conectado a tierra, después del interruptor. Para mayor seguridad, estos interruptores viene provistos de un sistema que permite verificar su eficaz acción.

2.- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

En un diagrama básico se representan cada uno de los elementos que integran un sistema de potencia con el fin de definir la función de cada uno de ellos, sin embargo debe tenerse en cuenta que el sistema tiene conectados generadores en diferentes puntos del sistema con sus respectivos transformadores elevadores, también tiene muchas subestaciones reductoras que van instaladas cerca de los diferentes centros de consumo y además una serie de líneas de transmisión que interconectan todo el sistema.

SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

Elementos que integran el sistema eléctrico de potencia:

1.- Generador

2.- Transformador Elevador

3.- Barras Colectoras

4.- Líneas de Transmisión

5.- Transformador Reductor

6.- Alimentadores

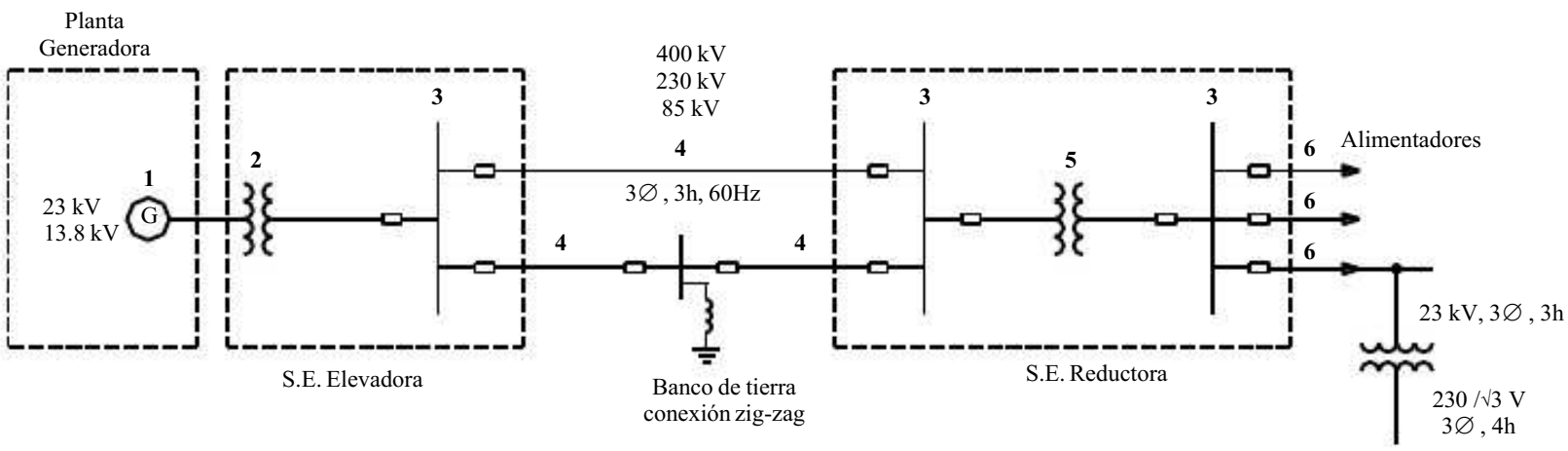


Diagrama elemental de un sistema eléctrico de potencia.

Sistema de Potencia: Sirve para generar, transformar, transmitir y distribuir la energía eléctrica.

Generador: Transforma la energía mecánica en energía eléctrica para alimentar al sistema.

Transformador Elevador: Su función es elevar el voltaje de generación a un voltaje de transmisión para obtener los beneficios en la línea de transmisión, las cuales son:

a) Para una potencia dada, al elevarse el voltaje se reduce la magnitud de la corriente (I) de la carga y debido a esto se reducen las pérdidas por efecto Joule en la Línea de Transmisión las cuales son proporcionales a $J = R\, I^2$ [W]

b) Al reducirse la magnitud de la corriente (I), se reduce también el calibre de los conductores.

c) Al reducirse las pérdidas por efecto Joule en la Línea de Transmisión (L.T.) se mejora la regulación de voltaje de la línea.

d) La capacidad de transmisión de potencia de la línea aumenta debido a que es directamente proporcional al cuadrado del voltaje.

$$\text{P. transmitida en L.T.} = \frac{V^2}{X} \operatorname{sen} \delta$$

Si la potencia máxima se presenta cuando el ángulo es de 90° :

$$\text{P. max.} = \frac{V^2}{X}$$

Barras Colectoras: Su función es interconectar todos los elementos del sistema de potencia.

Línea de Transmisión: Tiene como función transportar la energía eléctrica de las plantas generadoras a los centros de consumo y sirven también para interconectar al sistema.

Subestación Reductora: Su función es reducir el voltaje de transmisión a un voltaje de utilización y se encuentra localizada cerca o dentro de los centros de consumo.

Alimentador: Su función es transportar la energía eléctrica de la Subestación Reductora al consumidor o cliente. Si el cliente es de tipo industrial o comercial se alimenta directamente a su subestación para reducir el voltaje de acuerdo a sus necesidades. Si el cliente o consumidor es tipo residencial se utilizan transformadores de distribución para reducir el voltaje a 220/ $\sqrt{3}$ V.

2.1 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y DE POTENCIAL

Los transformadores de corriente y los transformadores de potencial son los encargados de alimentar a los relevadores, por lo que es importante analizar su funcionamiento.