TEMA 27

APARATOS DE PROTECCIÓN, MANIOBRA Y SEGURIDAD

27.1. INTRODUCCIÓN.

En toda instalación eléctrica existen una serie de aparatos cuya misión es conectar y desconectar circuitos, proteger las instalaciones contra sobretensiones y sobreintensidades, así como garantizar la seguridad de las personas que las manejan.

Los aparatos conectados a las instalaciones eléctricas los podemos dividir de acuerdo con los siguientes criterios:

Maniobra:
- ☞ Interruptores.
- ☞ Seccionadores.

Protección:
- ☞ Contra sobreintensidades:
  - Cortacircuitos fusibles.
  - Interruptores automáticos (Disyuntores).
  - Relés.

- ☞ Contra sobretensiones:
  - Cables de tierra.
  - Pararrayos de antena.
  - Pararrayos autovalvulares.

Seguridad:
- ☞ Interruptores diferenciales.
- ☞ Relés diferenciales.

27.2. APERTURA DE UN CIRCUITO.

Los aparatos que se utilizan para cerrar y abrir un circuito eléctrico son, como acabamos de citar, los interruptores y los seccionadores.

Se utiliza el interruptor, cuando por el circuito que queremos abrir circula una corriente eléctrica, pudiendo ésta tener un valor elevado.

Se utiliza el seccionador, para abrir y cerrar un circuito con tensión, pero por el que no pasa corriente eléctrica.

La diferencia entre estos dos aparatos estriba en que el primero es más complicado, y en consecuencia más caro, que el segundo.

Antes de entrar en el análisis de los diferentes tipos de interruptores, vamos a estudiar los fenómenos eléctricos que se producen en la apertura de un circuito por el que circula una corriente eléctrica.

Cuando un circuito por el que está circulando una corriente eléctrica se abre[1] mediante un interruptor, la intensidad que circula no adquiere inmediatamente el valor cero, sino que se establece un arco eléctrico, más o menos intenso, mediante el cual se mantiene la corriente. Este arco se establece entre los contactos del interruptor cuando estos se separan.

La maniobra de apertura se puede dividir en las siguientes fases:

Primera fase: La presión que mantiene unidos los contactos disminuye, debido a esto también disminuye la superficie de contacto, esto se traduce en un aumento de la resistencia y consecuentemente en una elevación de la temperatura al transformarse energía eléctrica en calor (Ley de Joule). Por todo esto se produce un aumento de emisión termoiónica, en la zona donde se separan los contactos.

Segunda fase: El gradiente de potencial que existe entre los contactos que se separan, provoca una emisión de electrones por el cátodo, merced a dicha emisión se ioniza el espacio que rodea la zona donde se separan los contactos. Este fenómeno, se traduce en un aumento de la conductividad de la zona de separación (generalmente aire) que se convierte en gas conductor, es decir, en un *plasma conductor*. Este plasma permite la circulación de la corriente eléctrica, formándose un arco de descarga que aumenta considerablemente la temperatura en la zona donde se produce.

La Fig.27.1 representa la caída de tensión en el arco. Esta caída de tensión es relativamente pequeña, con valores del gradiente de potencial alto en las proximidades de los contactos que se separan.

[1] Abrir un circuito es intercalar un impedancia de valor infinito

La ecuación que define la caída de tensión en el arco se conoce como *ecuación de Ayrton* y es una hipérbola, en la cual cuanto más aumenta la intensidad, más disminuye la caída de tensión.

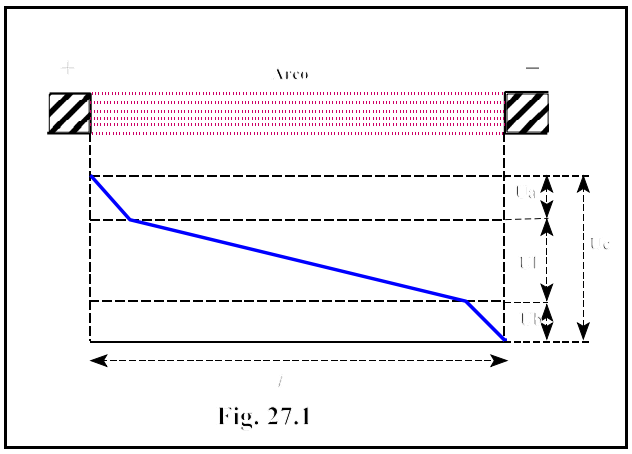


Fig. 27.1

$$U_c = a + \frac{b}{i} \qquad (27.1)$$

Siendo:

$$a = \alpha + \gamma.l$$
$$b = \beta + \delta.l$$

En la Fig.27.2 se representa: **U**, $\mathbf{U_c}$ e **i.** Siendo **U** e **i** la tensión del circuito e intensidad en el arco, respectivamente.

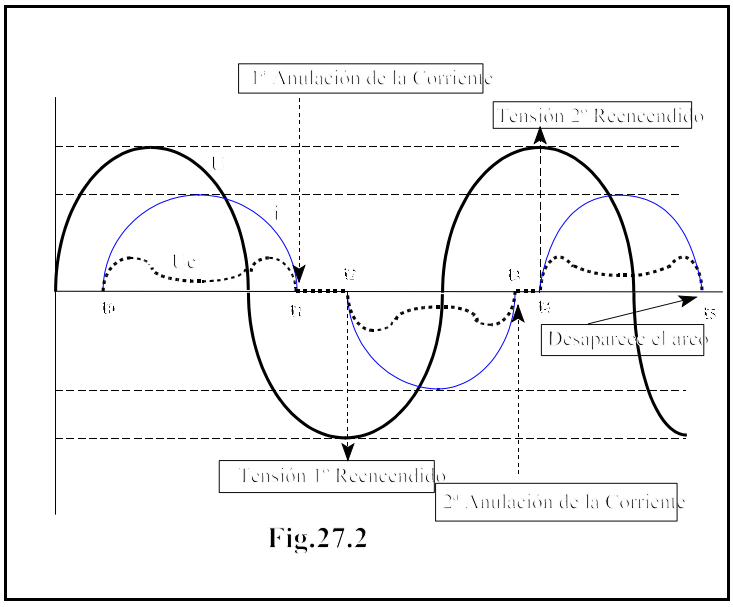


Fig.27.2

De acuerdo con la Fig.27.2, el inicio de la apertura del circuito se realiza en el instante $\mathbf{t_0}$, en dicho instante $\mathbf{U_c}$ es nula. A partir del instante $\mathbf{t_0}$ la tensión en el arco varía hasta volver a tomar el valor cero para $\mathbf{t=t_1}$, en ese instante la intensidad también toma el valor cero. En el instante $\mathbf{t_2}$, se vuelve a establecer la tensión en el arco ya que los contactos están todavía muy juntos y el gradiente de potencial entre los mismos es muy superior a la rigidez dieléctrica del dieléctrico intercalado entre los contactos que se separan. A partir de este instante la tensión entre contactos varía según la curva de la figura hasta el instante $\mathbf{t=t_3}$, en ese instante la intensidad vuelve a tomar el valor cero por lo que $\mathbf{U_c}$ también toma dicho valor. En el instante $\mathbf{t=t_4}$, si la tensión entre contactos es superior a la rigidez dieléctrica del dieléctrico se establece de nuevo la tensión $\mathbf{U_c}$, la cual variará según la curva de la figura. Al llegar a $\mathbf{t_5}$ la intensidad vuelve a anularse y por tanto también lo hará $\mathbf{U_c}$. En esta situación se supone que ya no puede establecerse el arco, por estar suficientemente separados los contactos que se separan. El valor del gradiente de potencial, en ese instante, es inferior a la rigidez dieléctrica del dieléctrico, por lo que el arco se extingue.

De lo que se acaba de exponer se deducen las siguientes conclusiones:

a) El arco es tanto más corto, cuanto más rápidamente se verifique la separación de los contactos del interruptor.

b) A igualdad de velocidad en la separación el arco, se extinguirá antes cuanto mayor sea la rigidez dieléctrica del dieléctrico que se interponga entre los contactos del interruptor.

Según acabamos de ver, se producirán menos re encendidos, y por tanto el arco se extinguirá más rápidamente, cuanto más rápida sea la maniobra. En la Fig.27.3 se observa que el arco no se cebará cuando la rigidez dieléctrica sea $\mathbf{U_1}$, pero sí lo hará cuando sea $\mathbf{U_2}$.

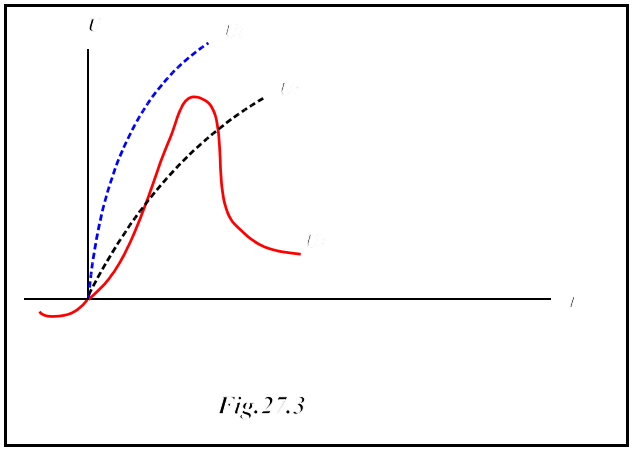


Fig.27.3

Sea el circuito de la Fig. 27.4 que representa un generador de fuerza electromotriz, en corriente alterna, que alimenta, a través de un interruptor **K**, un circuito.

En la figura se tiene:

G : Generador que alimenta el circuito.
L : Inductancia equivalente del generador y de la línea.
C : Capacidad equivalente de la línea.

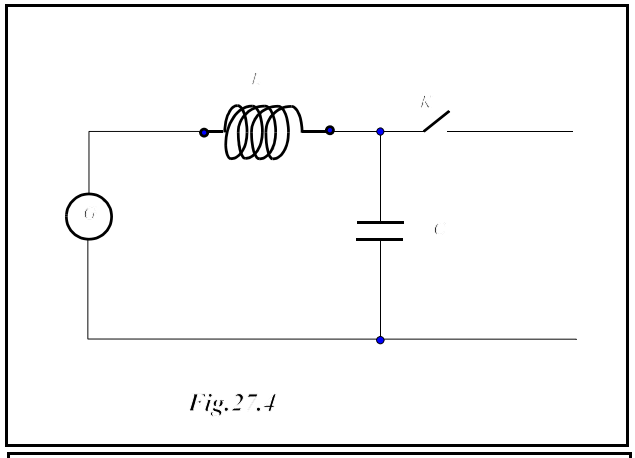


Fig.27.4

La Fig.27.5 representa la tensión entre los contactos del interruptor en el momento en que la corriente del arco vale cero, a dicha tensión se le denomina *tensión de restablecimiento.*

Cuando se ha extinguido el arco, aparece una tensión entre los contactos del interruptor que es oscilatoria y cuya frecuencia angular es:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L.C}} \qquad (27.2)$$

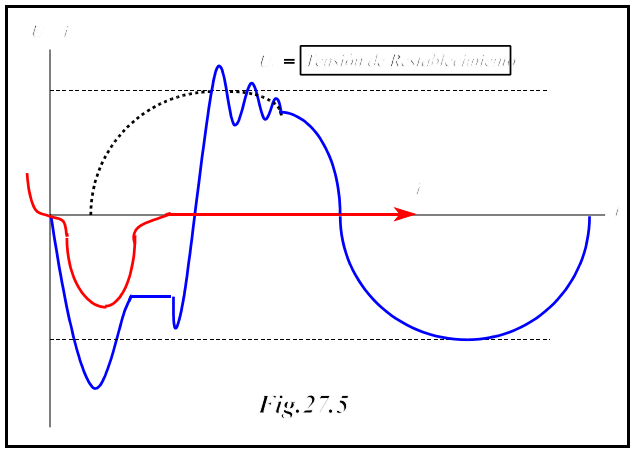


Fig.27.5

El período oscilatorio durará hasta que la tensión tome el valor del generador **G**. Esto significa que la tensión de restablecimiento adquiere en un determinado momento un valor que se denomina *tensión transitoria de restablecimiento*, en consecuencia el interruptor debe estar diseñado para poder soportar este valor adicional de la tensión.

27.3. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

Un interruptor puede actuar en dos circunstancias muy diferentes:

a) Cuando la corriente que circule por el circuito sea la que absorben las cargas a él conectadas en condiciones normales.

b) Cuando la corriente que circula por el circuito es debida a un cortocircuito.

Para ver la diferencia de comportamiento en estos dos supuestos, vamos a estudiar como es la corriente de cortocircuito.

La corriente de cortocircuito es diferente según sea el valor de la corriente del sistema en el momento de producirse este.

En el momento en que se produce un cortocircuito, el sistema es prácticamente inductivo puro, por lo que la intensidad irá retrasada **90º** respecto a la tensión. El cortocircuito puede tener lugar entre dos casos extremos:

a) Cuando la tensión alcanza su valor máximo. En ese instante la corriente será nula, siendo simétrica con respecto al eje de abscisas, a partir de entonces (Fig.27.6)

En este supuesto la corriente de cortocircuito máxima, llamada *corriente de cortocircuito de choque*, $\mathbf{I_{ch}}$, es igual a la corriente de cortocircuito en régimen permanente $\mathbf{I_{cc}}$, multiplicada por $\sqrt{2}$.

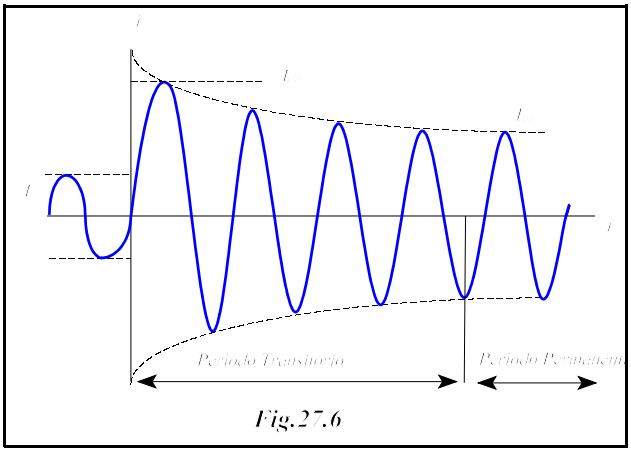


Fig.27.6

b) Cuando la tensión alcanza su valor mínimo. En este caso la corriente que se forma tiene dos componentes: una unidireccional, que tiene una amplitud igual a la corriente alterna, y otra alterna, de tal forma que en conjunto resulta una intensidad de cortocircuito asimétrica transitoria, en la que la componente unidireccional se amortigua y desaparece.

La corriente alcanza un valor máximo que será:

$$I_{ch} = \sqrt{2}.I_{cc} + \sqrt{2}.I_{cc} = 2.\sqrt{2}.I_{cc} \quad (27.3)$$

En la práctica se toma para la amplitud máxima, el valor:

$$I_{ch} = 1{,}8.\sqrt{2}.I_{cc}$$

$$I_{ch} = 2{,}55.I_{cc} \quad (27.4)$$

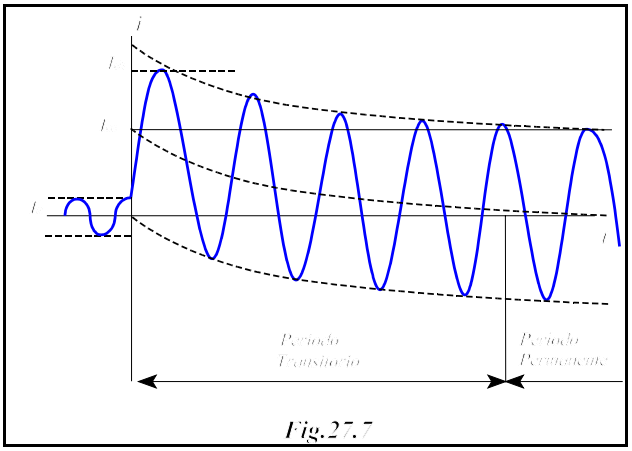


Fig.27.7

Por tanto, cuando se analice un interruptor capaz de interrumpir un cortocircuito, habrá de tenerse en cuenta la existencia de este valor máximo de choque, toda vez que no podemos prever cuando se producirá el cortocircuito (siempre entre los extremos; valor nulo o valor máximo de la tensión).

27.4. INTERRUPTORES Y SECCIONADORES.

Los interruptores se pueden clasificar según los siguientes criterios:

1) Según sus condiciones de instalación:

- ☞ Intemperie.
- ☞ Interior.

2) Según el medio en el que se extinga el arco:

- ☞ Aire.
- ☞ Aceite.
- ☞ Gas a presión.
- ☞ Vacío.

3) Según el tipo de tensión:

- ☞ Baja tensión.
- ☞ Alta tensión.

4) Según la potencia de desconexión:

- ☞ Maniobra en vacío.
- ☞ Maniobra en carga.
- ☞ Para motores.
- ☞ Automático (Disyuntores).

Conviene recordar los siguientes conceptos:

Corriente nominal: Corriente para la que está diseñado el aparato, y por tanto puede soportar de forma indefinida.

Cortacircuito: Aparato que corta automáticamente un circuito cuando la corriente alcanza un determinado valor.

Cortacircuito fusible: Aparato cuyo cometido es el de interrumpir el circuito en el que está intercalado, por fusión de uno de los elementos, cuando la intensidad que recorre el elemento sobrepasa, durante un tiempo determinado, un cierto valor.

Fusible: Parte de un cortacircuito que está destinada a fundirse en condiciones predeterminadas y a provocar con ello la ruptura de un circuito.

Interruptor automático: Interruptor capaz de establecer, soportar e interrumpir las intensidades de corriente de servicio, o de establecer e interrumpir automáticamente, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito.

Poder de corte: El poder de corte de un aparato se expresa por la intensidad de corriente que este dispositivo es capaz de cortar, bajo una tensión de restablecimiento determinada y en las condiciones prescritas de funcionamiento.

Poder de ruptura en cortocircuito: Valor correspondiente a la corriente en cortocircuito. Hay que distinguir que sea asimétrica o que no lo sea.

Poder de corte simétrico: Mayor valor eficaz de la corriente simétrica que el disyuntor puede cortar en condiciones dadas.

Poder de corte asimétrico: Mayor valor eficaz de la corriente asimétrica que el disyuntor puede cortar en condiciones dadas.

Poder de conexión: Valor máximo de cresta de corriente que el interruptor es capaz de establecer bajo una tensión y en condiciones prefijadas de empleo.

Seccionador: Aparato mecánico de conexión que, por razones de seguridad, en posición abierta asegura una distancia de seccionamiento que satisface unas condiciones especificadas. Se caracteriza por ser capaz de abrir o cerrar un circuito solamente cuando éste se encuentre en vacío.

Tensión nominal (o asignada): Valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y para los que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento. Para los sistemas trifásicos se considera como tal la tensión compuesta.

27.4.1. SECCIONADORES.

Dado que los seccionadores solo pueden actuar cuando la corriente que pasa por ellos es nula, su construcción es sencilla y su precio es bajo.

Para poder utilizar el seccionador, es necesario la existencia de un interruptor que previamente corte la corriente. Dicho aparato se instalará entre el receptor y el seccionador.

Los seccionadores tienen que estar diseñados para soportar el paso de las intensidades de corriente que correspondan al funcionamiento normal del equipo, y en particular a las puntas de corriente.

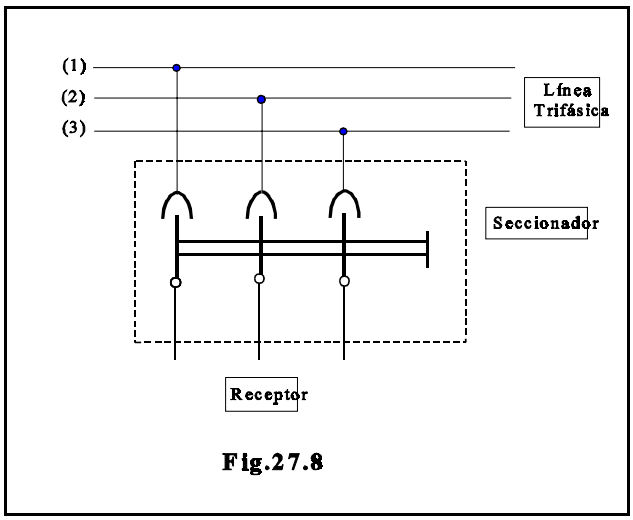


Fig.27.8

Existen seccionadores para alta y para baja tensión, siendo la diferencia fundamental entre ambos, las distintas capacidades de aislamiento y los mecanismos de apertura y cierre. En alta tensión, para el manejo de los seccionadores, se utilizan pértigas o mecanismos automáticos.

Desde el punto de vista constructivo los seccionadores pueden ser de contactos a presión, o con cuchillas giratorias. En algunos casos se combina el seccionador con cortacircuito fusible de alto poder de ruptura.

27.4.2. INTERRUPTORES.

De acuerdo con la norma UNE, ya se han definido más arriba estos tipos de aparatos. No obstante, se puede decir que el interruptor es una aparato cuya misión, en el circuito en el que está intercalado, es, establecer, soportar e interrumpir la corriente en un circuito eléctrico que funciona con normalidad.

Debe cumplir las siguientes condiciones:

☞ Que la corriente pase sin dificultad a través de él, sin que se produzcan en las piezas en contacto calentamientos por encima de lo autorizado.

☞ Que el arco producido cuando se separan las piezas en contacto se extinga de forma rápida, evitando de esta forma que dichas piezas se deterioren. Esta condición se consigue haciendo que la apertura se realice bruscamente y en un medio con la rigidez dieléctrica adecuada.

27.4.2.1. INTERRUPTORES PARA BAJA TENSIÓN.

Se utilizan para tensiones inferiores a **1000 V**. Existe una amplia gama de modelos, yendo desde pequeños aparatos usados en instalaciones domésticas, hasta los de gran potencia en instalaciones industriales.

Se dividen en:
1) Maniobra en carga.
2) Para motores.
3) Disyuntores.

27.4.2.1.1. INTERRUPTORES PARA MANIOBRA EN CARGA.

Dentro de este tipo podemos distinguir:

a) **De palanca:** La apertura rápida se consigue mediante la acción de un muelle situado entre la palanca y la cuchilla de contacto.

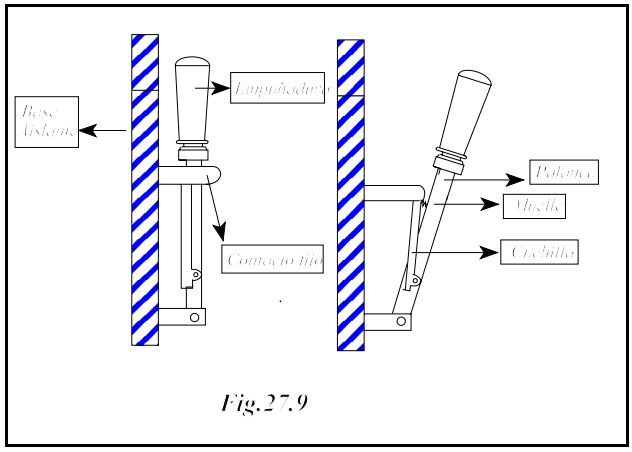


Fig.27.9

Pueden ser unipolares, bipolares, tripolares, etc., siendo la forma constructiva de las piezas que constituyen los contactos muy variadas, así como el tamaño, dependiendo de la intensidad de la corriente que admita el interruptor.

Las cuchillas están constituidas de latón o de cobre y encajan en los resortes de contacto.

El interruptor representado en la Fig.27.9 es de ruptura rápida. En este tipo de interruptores se monta un muelle entre la palanca y la cuchilla de contacto; al accionar la empuñadura, el muelle se va distendiendo hasta que la cuchilla, que ha adquirido una cierta energía suministrada por el muelle en su alargamiento, se separa bruscamente, ayudando así a extinguir el arco rápidamente.

b) **De tambor**: Consisten en un tambor giratorio con los contactos móviles, que se puentean con los contactos fijos cuando el tambor pasa a la posición de cerrado.

Este tipo de interruptores resulta muy apropiado para el mando de motores y máquinas herramientas.

27.4.2.1.2. INTERRUPTORES PARA MOTORES (CONTACTORES)

Se puede definir el *contactor*[2] como un aparato destinado a producir la apertura, o el cierre de uno o varios circuitos, y cuyos elementos móviles no tienen más que una posición de reposo correspondiente a la apertura de los circuitos principales.

Se emplean para realizar la maniobra de apertura y cierre de un circuito a distancia.

De forma sucinta, se pueden describir como formados por unos contactos principales y una serie de contactos auxiliares. En la Fig.27.10, los contactos principales (1-2;3-4;5-6) siempre son abiertos y los auxiliares; unos abiertos (9-10) y otros cerrados (11-12). La maniobra de cierre se realiza cuando la bobina del contactor (A-B) se excita como consecuencia del cierre (23-24), mediante el pulsador de marcha.

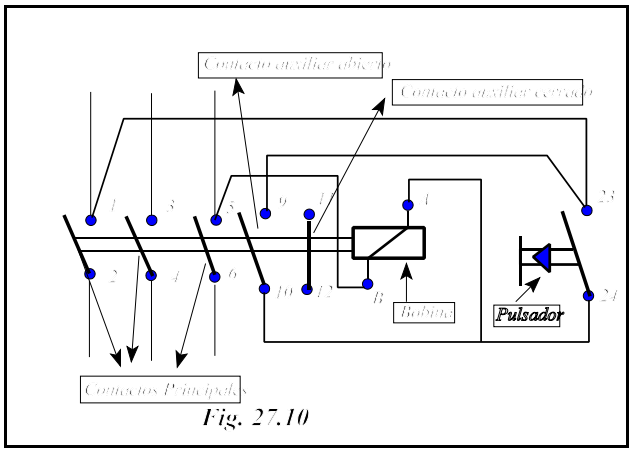


Fig. 27.10

Para elegir un contactor hay que tener en cuenta las características del receptor, entre las que destacan:

- ☞ Capacidad de carga permanente: Intensidad nominal del receptor.
- ☞ Potencia de desconexión: Tiene que poder soportar durante el período de arranque una intensidad del orden de 10 a 15 veces el valor nominal.
- ☞ Duración y frecuencia de maniobras: Hay que tener en cuenta que la frecuencia en el número de aperturas y cierres del aparato modifica la vida útil del mismo.

27.4.2.1.3. INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS O DISYUNTORES.

Se puede definir un *disyuntor*[3] como un interruptor en el cual la apertura del circuito se produce de forma automática en condiciones predeterminadas. Se utiliza para la protección contra

[2] La palabra contactor es una mala traducción de la palabra francesa *contacteur*, sin que tenga nada que ver con el significado de *contacto* en español.

[3] De forma semejante al contactor, el término disyuntor es una traducción pésima de la palabra francesa *disyunteur*.

sobrecargas y cortocircuitos.

Este tipo de interruptores debe estar diseñados para poder resistir la máxima corriente de cortocircuito.

Estos aparatos tienen distintas formas de desconexión, según se trate de:

- ☞ Sobrecarga duradera.
- ☞ Corriente de cortocircuito.
- ☞ Caída de tensión.

En general la protección contra sobreintensidades se logra mediante elementos térmicos que actúan al cabo de un cierto tiempo, a partir del instante en que se presenta la sobrecarga.

La protección contra cortocircuitos es debida a la inclusión en el aparato de elementos electromagnéticos, con objeto de que la maniobra sea rápida.

Los mecanismos mediante los cuales se abre el circuito principal del disyuntor se denominan relés.

Disyuntores de mínima tensión:

Estos aparatos abren el circuito de forma automática cuando la tensión desciende por debajo de un valor prefijado (50% del valor nominal).

La Fig.27.11 representa este tipo de disyuntores. El dispositivo representado actúa en el momento en que la tensión disminuye hasta alcanzar un cierto valor prefijado. En este instante, la bobina no es capaz de vencer la acción del *muelle 2* y la acción del *muelle 1* realiza la apertura del circuito.

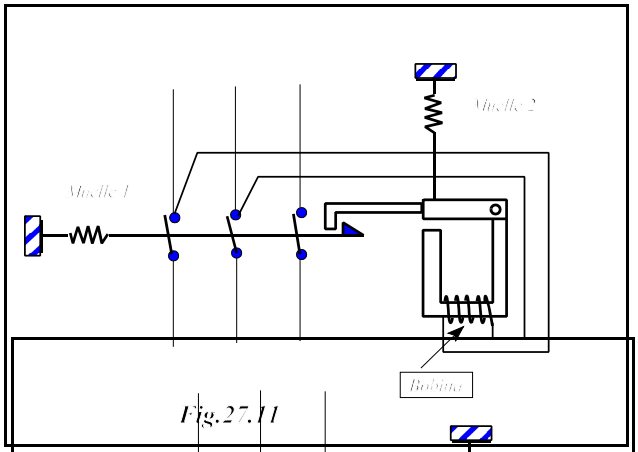


Fig.27.11

Disyuntores de máxima corriente:

Estos aparatos disponen de un dispositivo electromagnético, que abre el interruptor cuando se produce una sobreintensidad cuyo valor es varias veces el nominal. El aparato está diseñada para no actuar con la sobrecarga

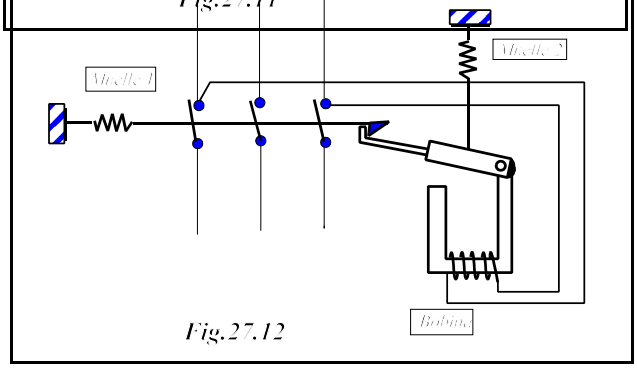


Fig.27.12

propia de los arranques o con las sobrecargas normales de servicio.

En la Fig.27.12 se representa el esquema de principio de este tipo de disyuntores. Como se ve en la figura, cuando la intensidad adquiere un cierto valor, muy superior a la nominal, como es la correspondiente a un cortocircuito, la bobina, venciendo la acción del *muelle 2*, actúa sobre el trinquete, el cual libera el *muelle 1*, que en definitiva realiza la apertura del circuito.

27.4.2.2. INTERRUPTORES DE ALTA TENSIÓN.

Dentro de este tipo de interruptores podemos distinguir los siguientes tipos:

27.4.2.2.1. INTERRUPTORES AÉREOS.

La Fig.27.13, representa un interruptor aéreo de antenas. Este tipo de interruptores se utilizan en intemperie y el arco se extingue en el aire.

El funcionamiento es el siguiente: El aislador **d** al girar sobre su eje, permite que los contactos **a** y **b** se junten (cierre del circuito) o se separen (apertura del circuito). Con objeto que en la maniobra no sufran dichos contactos, se utilizan las antenas **c** y **c'**, las cuales inician el cierre o la apertura antes que los contactos, siendo en ellas donde se produce el arco. Las varillas son fácilmente recambiables.

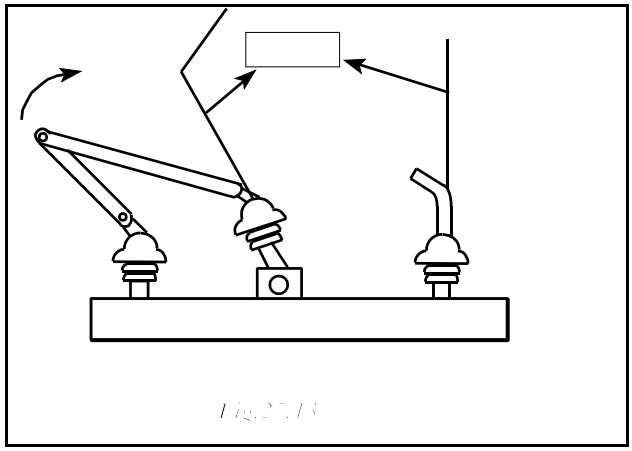


Fig.27.13

27.4.2.2.2. INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS.

La Fig.27.14 representa la vista lateral de un interruptor autoneumático.

La extinción del arco se produce merced a una corriente de aire comprimido que produce el propio interruptor cuando se realiza la maniobra de apertura.

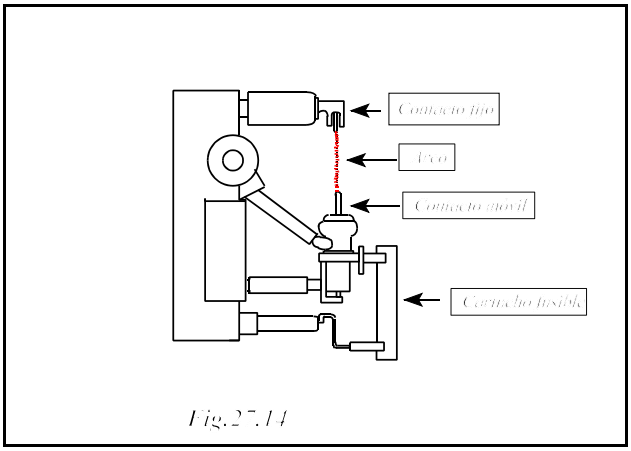


Fig.27.14

Estos interruptores suelen llevar

incorporados cortacircuitos fusibles de alto poder de corte, así como relés térmicos para sobrecargas.

27.4.2.2.3. DISYUNTORES EN BAÑO DE ACEITE.

La inclusión de aceite como elemento en el que se extingue el arco aumenta la capacidad de corte de los aparatos con respecto a los de aire, debido a la mayor rigidez dieléctrica del aceite.

Dentro de este tipo de aparatos puede haber unos con un recipiente que contenga un gran volumen de aceite, y otros utilizando un pequeño volumen de aceite.

La Fig.27.15 representa un corte transversal de la cámara de ruptura de un disyuntor de pequeño volumen de aceite, para una fase.

Según se observa en la figura, cuando los contactos; fijo y móvil se separan, como consecuencia de la apertura del circuito, el contacto móvil actuando como un émbolo, impulsa el aceite que se encuentra en un deposito inferior, este pasa a través del émbolo y sale a una cámara intermedia por las lumbreras, de las que va provisto ayudando a extinguir el arco. En definitiva, el aceite pasa de la cámara inferior a la superior, donde se está produciendo el arco, ayudando a su extinción.

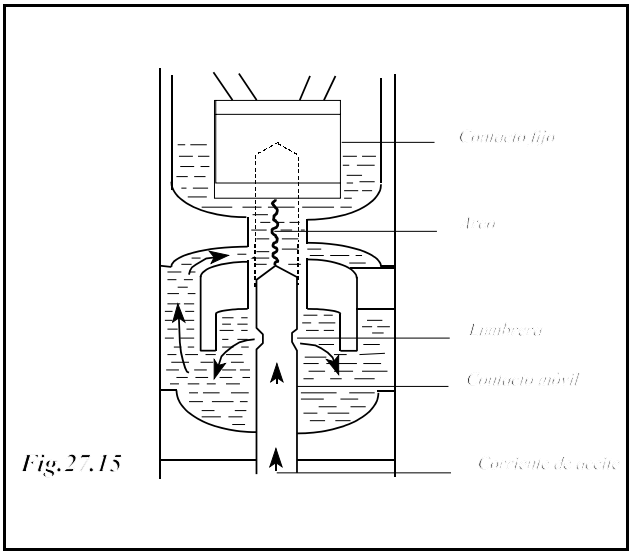


Fig.27.15

27.5. CORTACIRCUITOS FUSIBLES.

En el caso que se produzcan sobrecargas debido a cortacircuitos se emplean los llamados cortacircuitos fusibles.

Los fusibles están constituidos por un hilo de metal o aleación con un punto de fusión mucho más bajo que el del conductor que constituye la línea eléctrica, situado en un recipiente rodeado de elemento aislante. El conjunto forma un *cartucho fusible*.

Los materiales empleados para la fabricación del fusible son:

- ☛ Plomo.
- ☛ Estaño.
- ☛ Cinc.
- ☛ Plata.

Los tres primeros se usan en baja tensión y el cuarto en alta tensión.

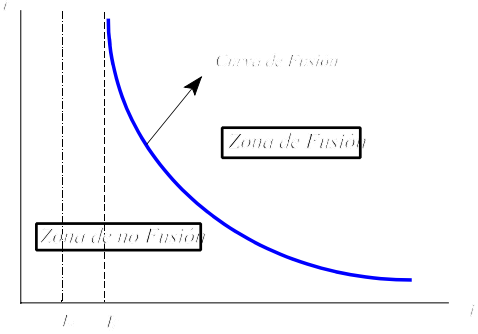


Fig.27.16

Una de las características principales del fusible es su *curva de fusión*[4] (Fig.27.16). Esta curva relaciona el tiempo de fusión con la intensidad. En la curva hay que considerar un valor denominado *intensidad límite de fusión lenta*, $\mathbf{I_f}$ por debajo del cual el tiempo de fusión es infinito, y la *intensidad nominal del fusible*, $\mathbf{I_n}$ que normalmente es la mitad de la anterior.

Se denomina *poder de ruptura*, el valor mayor de la corriente de cortocircuito que el fusible puede cortar bajo una tensión dada.

27.6. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES.

Las sobretensiones que se producen pueden ser de dos tipos:

a) De origen interno.
b) De origen externo.

Las que tienen una mayor incidencia sobre una instalación son las de origen externo. Estas pueden ser debidas a:

1) Inducción electrostática.
2) Descargas atmosféricas (rayos).
3) Inducción por descargas indirectas.

De ellas a su vez la que tiene mayor importancia es *el rayo*.

El rayo se produce cuando se crea una gran diferencia de potencial entre una nube y tierra o entre dos nubes. Esto da lugar a un gigantesco condensador con un gradiente de potencial del orden de **500 kV/m**, capaz de romper la rigidez dieléctrica del aire y produciendo una descarga eléctrica.

[4]La curva de fusión divide el cuadrante en dos zonas claramente diferenciadas; *de fusión* y de *no fusión*.

Características del rayo:

- Tensión entre nubes o nube y tierra: 100 a 1000 MV

- Campo eléctrico para su formación: 500 kV/m

- Duración del frente: 1 a 10 µs

- Duración de la cresta media: 10 a 50 µs

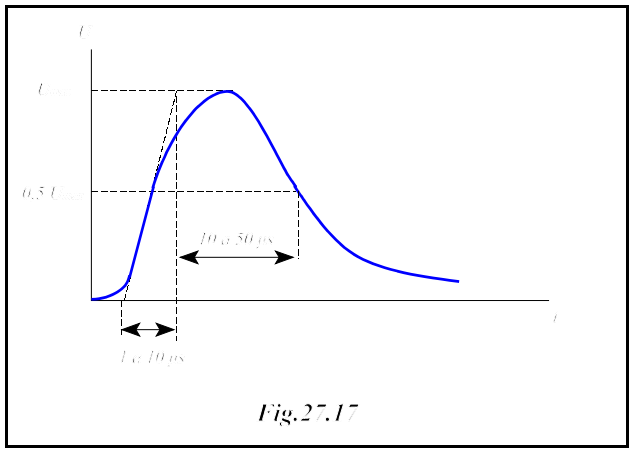


Fig.27.17

Cuando se produce la caída de un rayo sobre una línea eléctrica, la onda de tensión se propaga por la misma provocando la ruptura del poder dieléctrico de los aisladores y deteriorando seriamente la instalación.

Para evitarlo se utilizan:

Cables de Tierra.

Los cables de tierra se sitúan dé forma que los conductores queden protegidos por una jaula de Faraday que produce el cable de tierra. Este cable se encarga de llevar a tierra la descarga por medio de una baja resistencia de toma de tierra.

Pararrayos de antena.

Consiste en dos antenas que se encuentran separadas por una distancia creciente hacia los extremos superiores (Fig.27.18).

Una de las antenas se conecta a la línea y la otra a tierra.

Cuando se produce un aumento de tensión en la línea, la diferencia que existe con tierra es superior a la rigidez dieléctrica del aire que separa ambas antenas y se produce un arco entre ellas. El arco calienta el aire y lo convierte en plasma conductor, pero la corriente de convección que se produce en el espacio entre los extremos de las antenas hace que el arco se desplace hacia arriba, y al aumentar la separación entre los puntos en que se está produciendo dicha descarga, ésta se extingue.

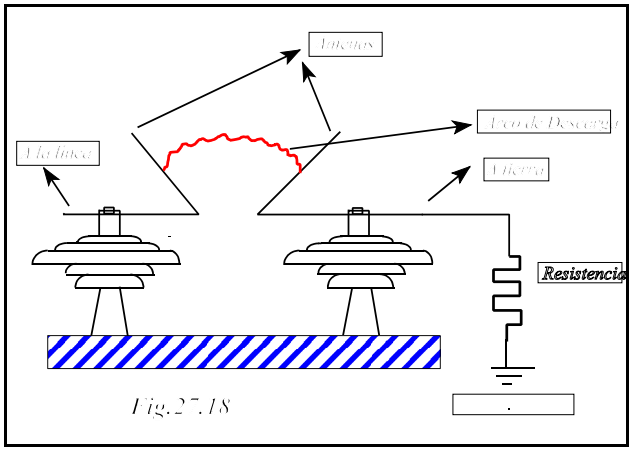


Fig.27.18

Pararrayos autovalvulares.

También llamados *autoválvulas*, (Fig.27.19) están constituidos por un explosor formado por dos electrodos separados de acuerdo con la tensión de la línea. Uno de los extremos del explosor está unido a la línea, y el otro, a través de una resistencia variable, a tierra.

El conjunto está recubierto por una protección de porcelana.

El funcionamiento es el siguiente: En condiciones normales, la separación que existe entre los extremos del explosor es suficiente para que no pase corriente entre ellos, pero al producirse una sobretensión da lugar a la formación de un arco de descarga entre extremos del explosor, lo que origina una descarga a tierra a través de la resistencia variable.

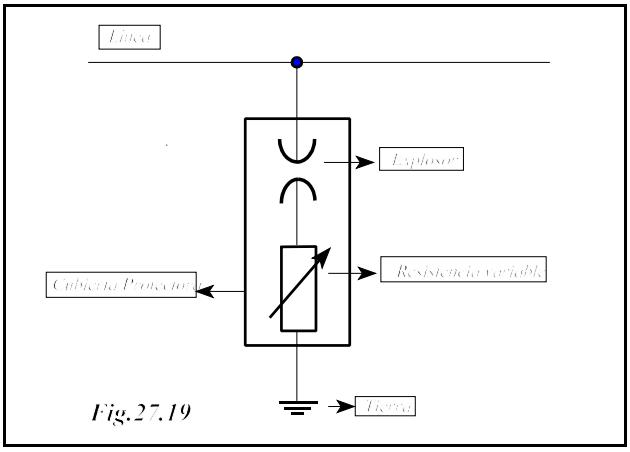


Fig.27.19

27.7. APARATOS DE SEGURIDAD.

Los aparatos destinados a proteger las instalaciones contra sobreintensidades o sobretensiones, reciben el nombre de aparatos de protección, sin embargo, las instalaciones eléctricas suponen un cierto riesgo para las personas que las manejan, por lo que existen una serie de aparatos destinados a garantizar su seguridad, de ahí el nombre que reciben estos aparatos; *seguridad*.

La Instrucción ITC BT 01, del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, define los siguientes conceptos:

Contactos Directos: Contactos de personas o animales con partes activas de los materiales y equipos.

Contactos Indirectos: Contactos de personas o animales domésticos con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento.

Corriente de Contacto: Corriente que pasa a través del cuerpo humano o de un animal, cuando está sometido a una tensión eléctrica.

Corriente de Defecto o Falta: Corriente que circula debido a un defecto de aislamiento.

En el citado Reglamento, en la Instrucción ITC BT 24, se establecen los sistemas de protección contra los contactos directos e indirectos.

Protección contra contactos directos:

a) Alejamiento de las partes activas de la instalación, a una distancia tal del lugar donde las personas habitualmente se encuentran, o circulan, que sea imposible un contacto fortuito con las manos, o por la manipulación de objetos conductores cuando estos se utilicen habitualmente cerca de la instalación.

b) Interposición de obstáculos que impidan todo contacto accidental con las partes activas de la instalación. Los obstáculos de protección deben estar fijados en forma segura, y resistir a los esfuerzos mecánicos usuales que puedan presentarse en su función.

c) Recubrimiento de las partes activas de la instalación por medio de un aislamiento apropiado, capaz de conservar sus propiedades con el tiempo, y que limite la corriente de contacto a un valor no superior a un miliamperio.

Protección contra contactos indirectos:

La propia instrucción ITC BT 24, divide las medidas de protección contra contactos indirectos en dos clases:

Tomar disposiciones destinadas a suprimir el riesgo mismo, haciendo que los contactos no sean peligrosos, o bien impidiendo los contactos simultáneos entre masas y elementos conductores, entre los cuales pueda aparecer una diferencia de potencial peligrosa.

Puesta a tierra directa o la puesta a neutro de las masas, asociándola a un dispositivo de corte automático que origine la desconexión de la instalación defectuosa.

Los sistemas de protección que contempla, son los siguientes:

☞ Puesta a tierra de las masas y dispositivo de corte por intensidad de defecto.
☞ Puesta a tierra de las masas y dispositivo de corte por tensión de defecto.
☞ Puesta a neutro de las masas y dispositivo de corte por intensidad de defecto.

Como dispositivos de corte de intensidad de defecto, cabe citar:

① Interruptor diferencial.
② Relé diferencial.

Interruptor diferencial. La Fig.27.20 representa un interruptor diferencial. Este tipo de dispositivo actúa de dos formas; por corriente de defecto (lo que le confiere el carácter de diferencial), y por sobreintensidades, mediante un sistema de protección magnetotérmica;

sobrecargas y cortocircuitos.

El funcionamiento es el siguiente:

Cuando la corriente de defecto $\mathbf{I_d}$ es nula la intensidad que entra en el toroide es la misma que la que sale, por tanto el valor neto es nulo. Pero si se produce una corriente de defecto; tanto por contacto directo, como por indirecto, el transformador toroidal inducirá en él una fuerza electromotriz que dará lugar a una corriente que atravesará la bobina. Cuando el valor de la corriente que circula por la bobina alcanza un cierto valor, actuará sobre el disparador y se abrirá el interruptor, con lo que el receptor quedará desconectado de la línea que lo alimenta.

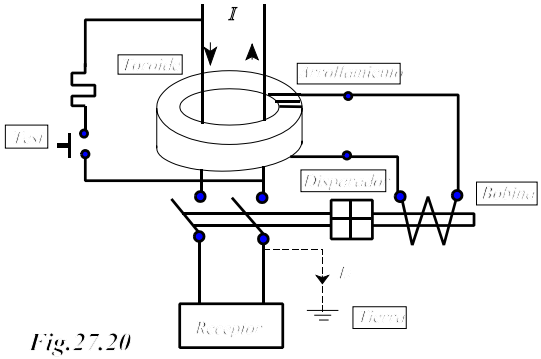


Fig. 27.20

Se define *sensibilidad del interruptor diferencial*, el valor mínimo que debe alcanzar la corriente de defecto, I_d, para que la bobina actúe sobre el disparador y se abra el interruptor.

Cuanto menor sea el valor de la sensibilidad, más alta se dice que es ésta; así los interruptores de sensibilidad alta son los de 30 mA, siendo los de baja de 300 mA y más.

Para elegir la sensibilidad de un interruptor se utiliza el siguiente criterio:

Se parte del valor de la resistencia a tierra de las masas, $\mathbf{R_t}$, la cual tiene que cumplir la relación:

$$R_t = \frac{U_b}{I_d} \qquad (27.5)$$

Donde:

U_b = Tensión de contacto máxima admisible.
I_d = Intensidad nominal de defecto.

La instrucción ITC BT 24 establece para $\mathbf{U_b}$ los siguientes valores:

50 Voltios, para locales secos.

24 Voltios, para locales húmedos.

Relé diferencial. En este aparato el mecanismo diferencial no abre directamente el circuito, como ocurría en el caso anterior, si no que actúa sobre la bobina de un contactor cortando la corriente de alimentación a la misma, con lo que se abrirá el circuito.

En la Fig.27.21 se observa el esquema de un relé diferencial.

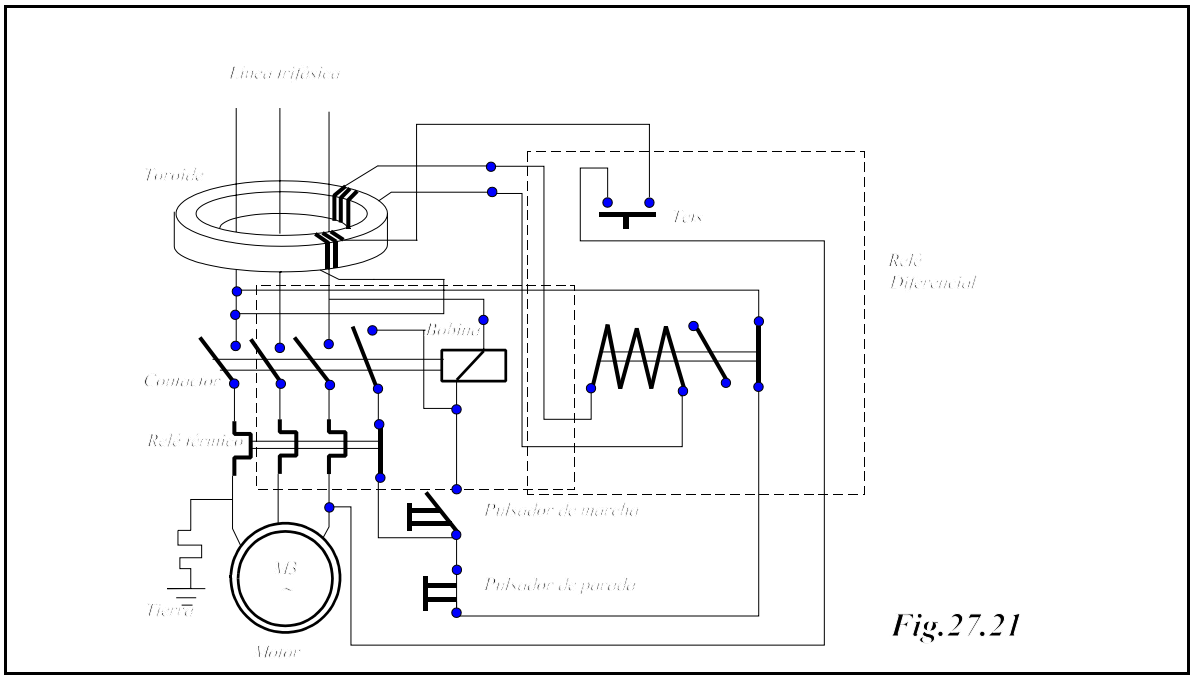


Fig.27.21

Básicamente está constituido por un núcleo toroidal capaz de actuar sobre un interruptor conectado al circuito de alimentación de la bobina del contactor, el cual conecta el motor a la línea de alimentación.

Si la corriente de defecto es nula, la suma de las corrientes que atraviesan el núcleo toroidal es cero, pero sí se produce una corriente de defecto; tanto por contacto directo como indirecto, la corriente de defecto. $\mathbf{I_d}$ induce en el núcleo toroidal una fuerza electromotriz, lo que origina una corriente que, circulando por la bobina del relé actúa sobre el interruptor del mismo, lo que se traduce en la apertura del circuito de alimentación de la bobina del contactor.

Existe un test de prueba capaz de crear una corriente que circulando por el núcleo toroidal, produce el mismo efecto que la corriente de defecto.

La sensibilidad de un aparato *es el valor mínimo de la corriente de defecto, a partir del cual el interruptor diferencial debe abrir automáticamente, en un tiempo conveniente, la instalación a proteger.*

La elección de la sensibilidad del diferencial que debe utilizarse en cada caso, viene determinada por la condición de que el valor de la resistencia a tierra de las masas, medida en cada punto de conexión de los mismos, debe cumplir la relación:

$R \leq 50/I_s$ para locales secos.

$R \leq 50/I_s$ para locales húmedos.

Donde $\mathbf{I_s}$ es la sensibilidad en amperios del diferencial.

Cuando el diferencial es de alta sensibilidad, esto es, cuando $\mathbf{I_s}$ es del orden de **30 mA**, puede utilizarse en instalaciones existentes en las que no haya conductores de protección para la puesta a tierra, o puesta a neutro.