UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Avda. Fernando Ballesteros,2
37700 BÉJAR
Fax 923 40 81 27
Telf. 923 40 80 80

ÁREA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

II. FABRICACIÓN DE CUADROS ELÉCTRICOS

1 FUNCIONES Y COMPONENTES DE LOS CUADROS ELÉCTRICOS

Los cuadros o armarios eléctricos contienen:

- Aparamenta de protección de circuitos
- Automatismos
- Aparatos de control de otros aparatos (para control de motores se pueden incluir en los armarios variadores de frecuencia, arrancadores progresivos o dispositivos de frenado)
- Aparamenta auxiliar (tomas de corriente, iluminación, ventilación, control de humedad)

1.1 Aparamenta de protección

1.1.1 Contra sobreintensidades

Tanto un contacto directo como uno indirecto pueden causar una sobreintensidad similar a la de cualquier sobrecarga e incluso a la de un cortocircuito.

Para el corte automático de la alimentación en esos casos se emplean interruptores automáticos de tipo magnetotérmico, del número de polos, calibre, capacidad de corte y curva de disparo adecuados. En montaje en carril DIN ocupan desde 1 a 4 módulos de ancho.

Fig. 1 Interruptor automático magnetotérmico modular de 4 polos para carril DIN.

El nombre indica que en su comportamiento, que queda puesto de manifiesto por sus curvas de disparo, hay siempre dos componentes: el magnético y el térmico:

- El componente magnético es esencialmente un dispositivo inductivo, como un transformador, que ofrece una potencia eléctrica proporcional a la intensidad del hilo supervisado. Esta potencia es suficiente para hacer saltar el resorte que traba los contactos del interruptor integrado y que los hace abrir de golpe.
- El componente térmico es similar a un bimetal que, por calentamiento debido a la intensidad del hilo supervisado, acaba liberando el mismo resorte de antes, abriendo también de golpe el circuito.

La representación normalizada (Fig. 3) lleva una indicación del disparo térmico (onda cuadrada) y magnético (onda semicircular).

Caben otras representaciones, como la unifilar, donde además se incluyen las características de cada aparato (ver página siguiente):

- Número de polos (contactos)
- Calibre (intensidad nominal)
- Poder de corte
- Curva de disparo

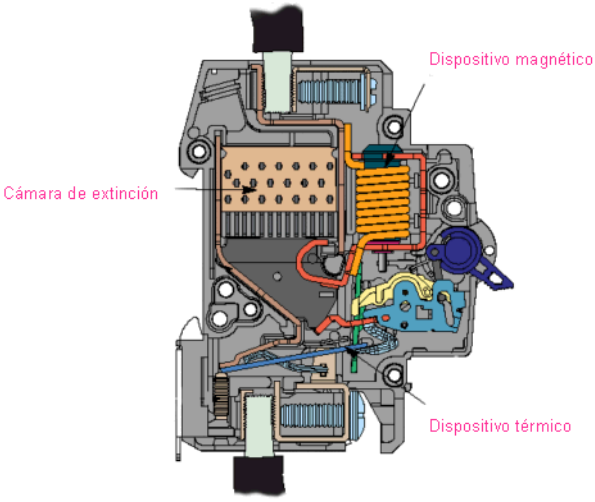
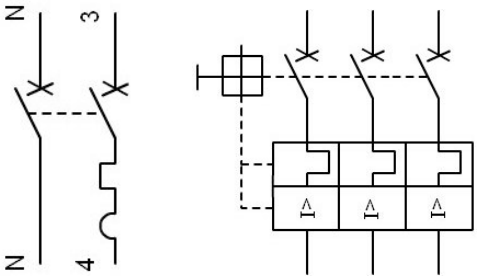


Fig. 2 Interior de un interruptor automático magnetotérmico. [*http://www.tuveras.com/aparamenta/magnetotermico.htm*]



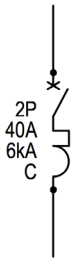


Fig. 3 Diversas representaciones de un interruptor magnetotérmico.

El tiempo de respuesta de los interruptores se determina a partir de gráficas en escala bi-logarítmica que están normalizadas en EN 60898 y se reconocen por letras.

Curva C: curva de referencia para la protección general de todo tipo de receptores en instalaciones domésticas, terciarias e industriales.

Curva D: suele utilizarse para protección de motores por implicar tiempos de respuesta más largos a pequeñas intensidades (como las del arranque).

Curva B: para la protección de equipos delicados.

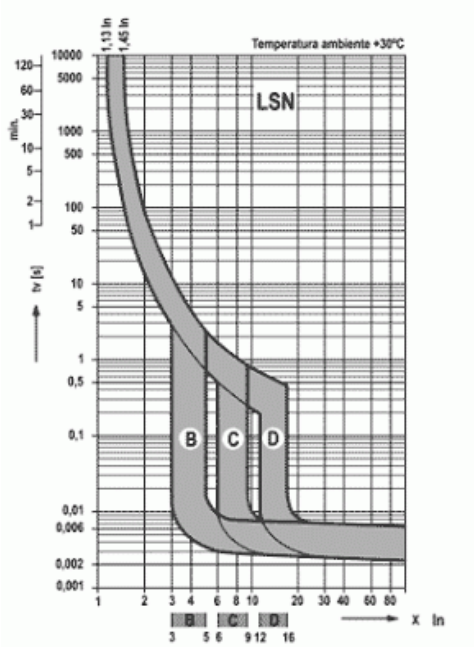


Fig. 4 Curvas normalizadas de disparo de los interruptores magnetotérmicos automáticos.

La identificación de los magnetotérmicos requiere indicar:

- Número de polos: para expresar cuántos hilos son supervisados por el inte-

rruptor. Las posibilidades van de uno a cuatro, con las siguientes variantes: I+N, II, III, III+N, IV.

- Intensidad nominal: aunque hay muchos calibres disponibles, sólo aquellos con elevado grado de utilización (demanda) tienen un precio realmente interesante.

  Calibres disponibles: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 A.

  En gama industrial: 80, 100, 125, 160, 250, 400, 630, 800 A.

  Para altas potencias: 1000, 1250, 1600, 2500 A.

- Curva de disparo: normalmente la C, y a veces la curva D.

- Intensidad de corte: los niveles normalizados son 4.5, 6, 10, 15, 30 kA.

  En altas potencias hay valores de 36, 50, 70, 150 kA.

Sobre el número de polos a supervisar, consúltese la tabla 1 de la ITC-BT 22:

Tabla 1.

Circuitos	3 F + N								3 F			F + N		2 F	
	$S_N \geq S_F$				$S_N < S_F$										
Esquemas	F	F	F	N	F	F	F	N	F	F	F	F	N	F	F
TN – C	P	P	P	-	P	P	P	- (1)	P	P	P	P	-	P	P
TN – S	P	P	P	-	P	P	P	P (3)(5)	P	P	P	P	-	P	P
TT	P	P	P	-	P	P	P	P (3)(5)	P	P	P (2)(4)	P	-	P	P (2)
IT	P	P	P	P (3)(6)	P	P	P	P (3)(6)	P	P	P	P	P (6)(3)	P	P (2)

1.1.2 Contra defectos a tierra

Es muy frecuente que los contactos directos e indirectos ocasionen derivaciones de corriente a tierra. Empecemos considerando los diferentes regímenes para las puestas a tierra de la instalación contempladas en el Reglamento electrotécnico español:

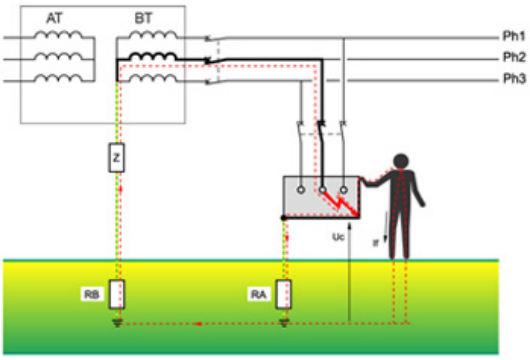


Fig. 5 Régimen IT

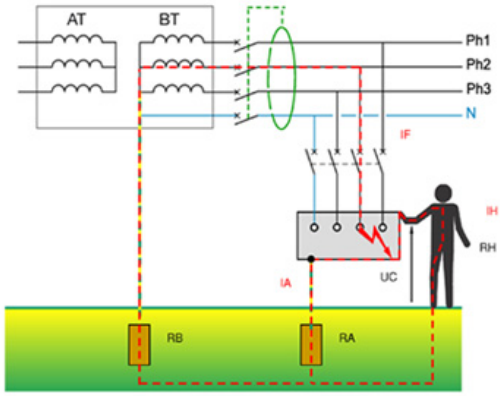


Fig. 6 Régimen TT

Según el régimen de puesta a tierra de la instalación a proteger las intensidades de esos defectos a tierra pueden ser grandes, pequeñas o muy pequeñas, pero siempre igualmente peligrosas.

En el reglamento de baja tensión se prefiere fijar umbrales de tensión admisibles por el cuerpo humano en lugar de intensidades, de donde se obtienen las curvas como la de la gráfica de aquí abajo.

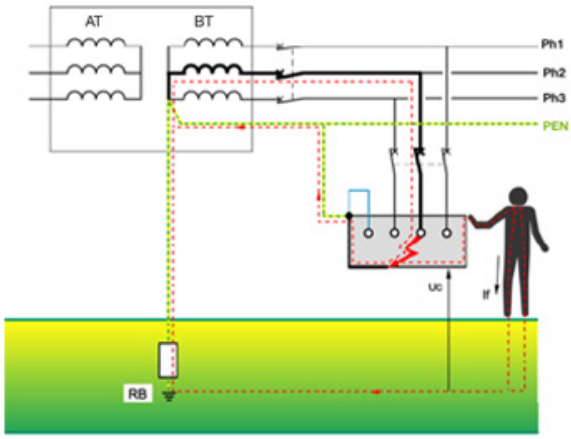


Fig. 7 Régimen TN-C

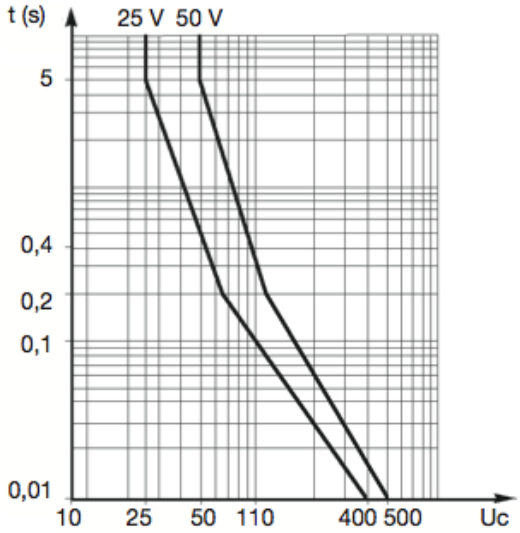


Fig. 8 Umbrales de tensión admisibles por el cuerpo humano, en V, según el REBT.

En ella, las tensiones aplicadas al cuerpo en caso de defecto se limitan en función del entorno de la instalación según dos curvas, una para zonas secas (50 V) y otra para zonas húmedas (25 V).

En una instalación segura la intensidad de defecto no dará lugar a tensiones superiores a las de la gráfica en la resistencia del defecto, que como mínimo incluye la resistencia de puesta a tierra de la instalación. Esa resistencia debe limitarse a valores lo más pequeños posible, para que ocurra que

$$25(V) << R_t(\Omega)\, I_d(A)$$

Se considera que una corriente de defecto de más de 500 mA es ya inaceptable, lo que exige que las resistencias de puesta a tierra no superen los 50 Ω en ningún caso. Sin embargo, es usual limitar a valores de 30 mA las intensidades admisibles en receptores domésticos y a 300 mA en receptores de tipo industrial.

La protección contra derivaciones a tierra por corte automático de la alimentación se confía a los interruptores diferenciales. Deben elegirse en función del número de polos y la sensibilidad del disparo. Hay equipos modulares para carril DIN de 2 ó 4 módulos. Cumplen la UNE EN 61008-2.

Fig. 9 Interruptores automáticos diferenciales modulares.

Además hay *bloques diferenciales* (Fig. 10), que son un complemento a añadir a un interruptor magnetotérmico normal para añadirle la función de relé diferencial.

También existen modelos que combinan ambos aparatos en un único dispositivo, conforme a la norma UNE EN 61009-1.

El funcionamiento se basa en la primera ley de Kirchhoff: la suma de las intensidades que entran en el nudo situado después del toroidal debe ser cero. Si no lo son es que hay alguna intensidad más que no entra al nudo por el toroidal, y se tratará de una corriente de defecto que es peligrosa y habrá que interrumpir. El relé hace actuar al contacto encargado de ello.

Fig. 10 Bloque diferencial acoplado a un interruptor automático magnetotérmico.

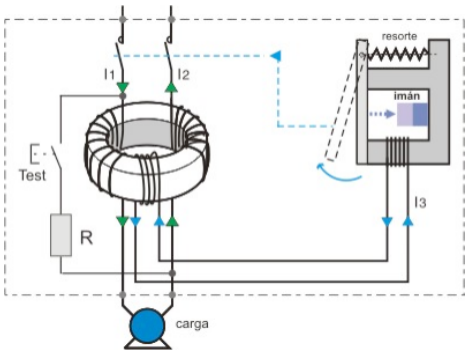


Fig. 11 Idea de funcionamiento de un interruptor diferencial.

La representación normalizada en el esquema unifilar (Fig. 12) indica que el relé dispone del toroidal sensible a la suma de intensidades. Además se dice con un aspa que puede interrumpir corrientes hasta el valor nominal del aparato.

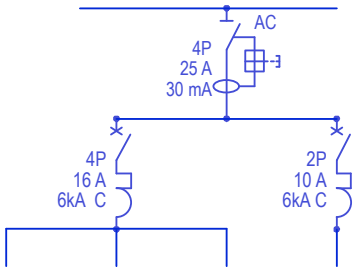


Fig. 12 Cascada de interruptor diferencial con dos interruptores automáticos *aguas abajo*.

Generalmente se añade un pulsador para señalar no solo la posibilidad de accionamiento manual, sino también la presencia del botón de prueba 'test' que todos deben llevar.

En la ilustración de la izquierda (Fig. 12) aparece una combinación de interruptor automático diferencial con dos interruptores automáticos magnetotérmicos *aguas abajo* de él, es decir, conectados después en el sentido del flujo de la energía eléctrica.

El tiempo de respuesta es instantáneo, cuestión de unos pocos milisegundos, siempre cierto cuando la intensidad de defecto supere el umbral de sensibilidad nominal del aparato, y posible en valores próximos a dicho umbral. A mitad del umbral no debe haber disparo. En algunos modelos se pueden ajustar la *sensibilidad* y el *tiempo de disparo* utilizando una pequeña herramienta.

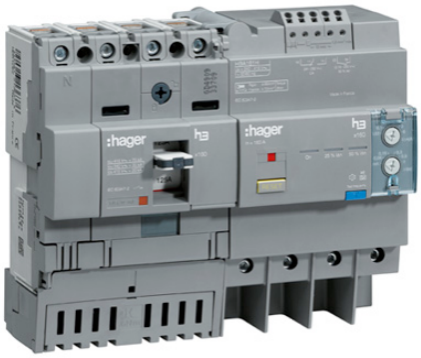
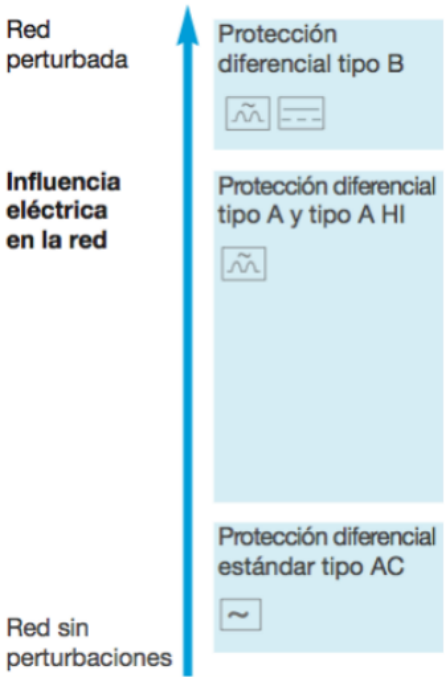


Fig. 13 Interruptor magnetotérmico con bloque diferencial ajustable.

La elevada sensibilidad de los diferenciales puede causar disparos intempestivos cuando la corriente de defecto está causada por dispositivos electrónicos funcionando normalmente. Este fenómeno suele darse en instalaciones con varios equipos alimentados desde un mismo interruptor, o bien en instalaciones donde hay muchos aunque estén en diferentes sitios. El tipo de diferencial se elige así:



Tipo AC: interruptores diferenciales de tipo habitual, no especialmente inmunizados.

Tipo A: interruptores con mejor comportamiento frente a corrientes que saturan el núcleo magnético del toroidal (normalmente corrientes continuas), y que consiguen alimentar con más seguridad el mecanismo de disparo.

Tipo B: sensibles a corrientes de defecto habituales, o con elevada componente continua aunque sea pulsante, o con frecuencias distintas de la nominal de la red, o para combinaciones de todas ellas. Suelen utilizarse para proteger circuitos de inversores o variadores electrónicos de velocidad.

Tipo	In (A)	IΔn (A)	Valores normalizados del tiempo (s) de funcionamiento y de no respuesta para una corriente residual con IΔn igual a:				
			IΔ	2IΔn	5IΔn	500A	
General	Cualquier valor	Cualquier valor	0,3	0,1	0,04	0,04	tiempo de funcionamiento máximo
Selectivo	⩾25	> 0,030	0,5	0,2	0,15	0,15	tiempo de funcionamiento máximo
			0,1	0,06	0,05	0,04	tiempo de no respuesta

Según UNE EN 61008 y 61009

La identificación de un interruptor automático diferencial requiere indicar:

- Número de polos: para expresar cuántos hilos son supervisados por el interruptor porque pasan por el transformador toroidal. Las posibilidades son 2P o 4P.

- Intensidad nominal: aunque hay varios calibres disponibles, sólo aquellos con elevado grado de utilización (demanda) tienen un precio realmente interesante.

  Calibres disponibles: 25, 40, 63 A.

  En gama industrial: 80, 100, 125 A.

	Para altas potencias: emplear bloque diferencial.
- Sensibilidad:	Valores disponibles: 10, 30, 300, 500 mA.
	Otros valores: en relés ajustables.
- Tipo:	si es necesario, indicar el tipo AC, A o B.

Dado que un interruptor diferencial no es una protección frente a cortocircuitos, su poder de corte y de cierre no resultan relevantes. Pero por lo mismo no debe olvidarse combinar adecuadamente uno o varios magnetotérmicos en el circuito protegido por el diferencial, para que asuman la debida protección frente a esos fenómenos.

1.1.3 Contra sobretensiones

La instrucción ITC BT-23 trata de la protección de las instalaciones eléctricas interiores contra las sobretensiones transitorias que se transmiten por las redes de distribución y que se originan por descargas atmosféricas sobre redes aéreas, apertura de circuitos fuertemente inductivos y malas conexiones accidentales.

Para reducir las sobretensiones se adopta una estrategia de protección en cascada en varios niveles de protección según UNE-EN 61643-11. En cada nivel (ver tabla) se trata de derivar a tierra la corriente de la intensidad necesaria para disminuir la tensión aguas abajo de la protección a niveles asumibles, y que los equipos de protección no queden destruidos a la primera actuación.

Nivel de protección (*)	Intensidad de descarga a tierra	Ubicación aconsejada
Tipo 1 (basta)	hasta 50 kA	Acometidas en baja tensión y cajas generales de protección
Tipo 2 (media)	hasta 20 kA	Armarios de protecciones en entorno industrial
	hasta 5 kA	Armarios de protecciones en sector terciario
Tipo 3 (fina)	hasta 1 kA	Tomas de corriente y aparatos delicados

(*) Para limitar la corriente aguas abajo a 1,5 kV o menos.

La energía proveniente de la perturbación será disipada hacia tierra en la cascada de protecciones instalada, repartiéndose entre todos los descargadores de manera que ninguno quede destruido y la instalación no sufra daños.

En redes TT o IT, los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores, incluyendo el neutro, y la tierra de la instalación. En redes TN-S, los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores de fase y el conductor de protección. En redes TN-C, los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores de fase y el neutro.

En general son aparatos modulares y pueden llevar contactos indicadores de su actuación como el de la Fig. 14.

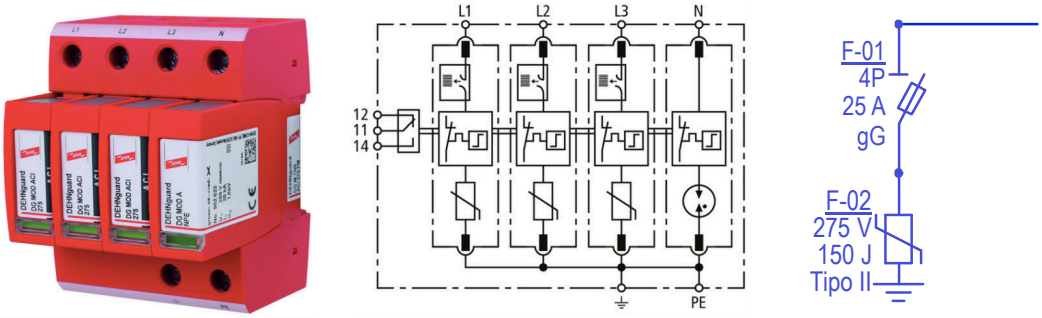


Fig. 14 Descargador de sobretensiones con contacto señalizador. [DEHN]
Y representación unifilar a continuación de un seccionador con fusibles.

1.1.4 Diseño de protecciones eléctricas

DIAGRAMAS DE BLOQUES Y ESQUEMA UNIFILAR

Para una adecuada representación de los esquemas de protecciones eléctricas suelen requerirse diagramas de bloques y esquemas unifilares:

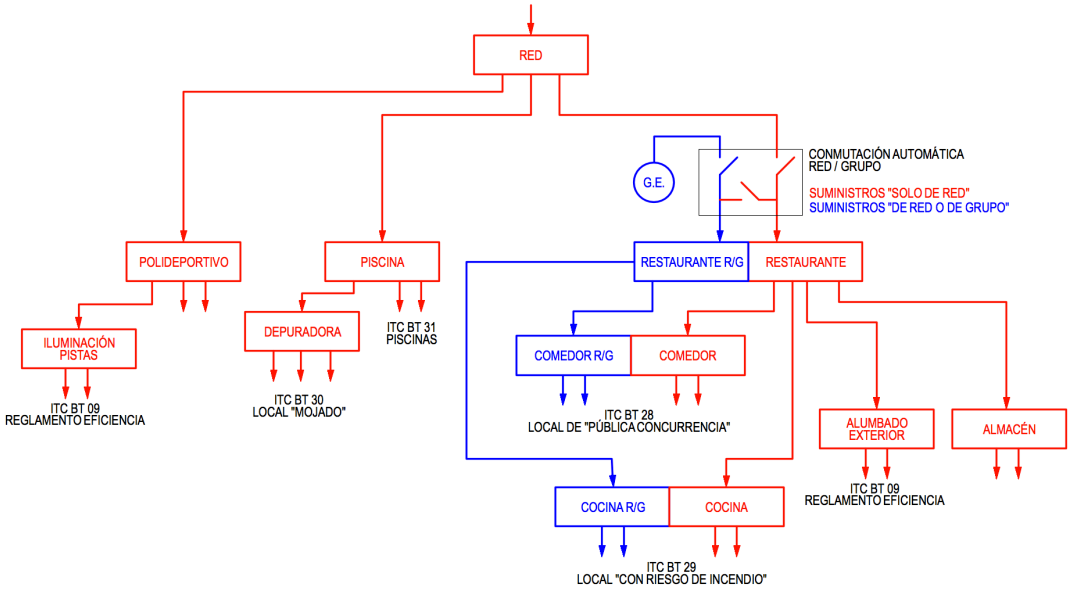


Fig. 15 Ejemplo de diagrama de bloques

Los diagramas de bloques identifican cuadros de protecciones y líneas generales. Cada bloque debe corresponder con un armario o una parte significativa de alguno más general. En la Fig. 15 la mayoría de los bloques en color rojo corresponden a armarios enteros. Pero hay tres que tienen adosados otros tres bloques 'gemelos' en azul: cada pareja representa un armario completo que, en el interior, realmente son dos conjuntos de protecciones distintos, las que se alimentan de la red (en color rojo) y las que se alimentan tanto de la red como del grupo electrógeno 'G.E.' (en color azul). Por eso a cada pareja de bloques le llegan dos líneas de alimentación distintas, una de cada color.

En la Fig. 16 se muestra un esquema unifilar de un único armario de protecciones doble o dividido, como los que se indican en el diagrama de la Fig. 15 en forma de par de bloques de dos colores. Se aprecian las dos líneas de alimentación y cómo el tramo horizontal o distribuidor de circuitos está interrumpido entre los circuitos marcados como C11 y C12 (Fig. 16). Esto quiere indicar que los circuitos C1 a C11 se alimentan desde la línea general de la izquierda ('línea de conmutación') y los circuitos de C12 a C21 lo hacen desde la de la derecha ('línea 1 de cuadro de baja tensión C.T.').

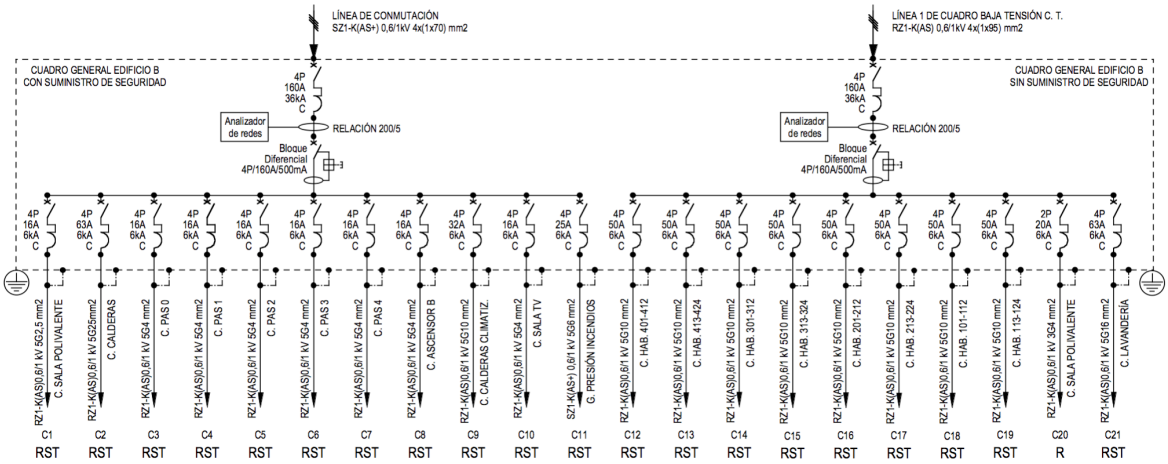


Fig. 16 Ejemplo de esquema unifilar

La Fig. 15 constituye un buen ejemplo de instalación receptora en baja tensión dotada de un suministro complementario o de socorro: en caso de falta de tensión de red el sistema de conmutación automático causa el arranque del motor auxiliar del grupo electrógeno, normalmente un motor de gasoil, que moviendo un alternador proporciona parte de la potencia eléctrica que necesita la instalación.

Esa potencia estará disponible solo para los circuitos de la 'parte azul' del esquema de bloques, que deberán alimentar equipos sensibles o de especial relevancia, como el alumbrado para evitar el pánico, los ascensores y escaleras mecánicas para facilitar la evacuación, o los sistemas de protección contra incendios, entre otros.

Cuando se recupere la tensión de red el mecanismo de conmutación automático devolverá el suministro a la 'parte roja' manteniendo en servicio también la 'parte azul'.

El resultado habrá sido un corte total y sorpresivo del suministro a toda la instalación a consecuencia del fallo de la red, seguido del arranque en un tiempo breve (de 15 a 30 s) del grupo electrógeno, y la reposición parcial del servicio en los circuitos alimentados desde la 'parte azul'. Al recuperarse la tensión de red todos los circuitos de ambas partes vuelven a estar alimentados con normalidad y el grupo electrógeno dejará de proporcionar energía a la instalación: el alternador es separado de la red interior, el grupo electrógeno pasa al ralentí, y superado el tiempo de enfriamiento programado según el fabricante, el motor de gasoil se detendrá completamente.