

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

JULIAN MORENO CLEMENTE

MALAGA, AGOSTO DE 2.006

ÍNDICE

Contenido	Página
1.- CALCULO DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN	3
2.- PROTECCIONES CONTRA SOBREINTENSIDADES	
2.1.-Prescripciones reglamentarias	8
2.2.- Intensidades de cortocircuito	9
2.3.-Elementos de protección normalmente utilizados	13
2.4.-Coordinación o filiación de elementos de protección	21
2.5.-Selectividad de las protecciones	21
2.6.-Protección de cables contra cortocircuitos	23
2.7.-Protección de motores	26
2.8.- Conclusiones	27
3.- PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS	
3.1.- Introducción	28
3.2.- Relación entre la sensibilidad de un interruptor diferencial y la resistencia de la puesta a tierra de las masas	29
3.3.- Condiciones de funcionamiento de los interruptores diferenciales	30
3.4.- Clases de interruptores diferenciales	31
3.5.- Tiempos de funcionamiento de los interruptores diferenciales	32
3.6.-Instalaciones de puesta a tierra	32
3.7.-Otros procedimientos para la protección contra contactos indirectos	33
4.- PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS	35
5.- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	35
6.- GRADOS DE PROTECCIÓN DE LAS ENVOLVENTES	38

1.- CÁLCULO DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN.-

A los efectos del cálculo de la caída de tensión en una línea, hemos de considerar, en el caso más general:

- La resistencia óhmica del conductor
- La reactancia de la línea.

La resistencia óhmica se calcula por la ecuación:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Siendo

- ρ = Resistividad del material.
- l = Longitud del conductor.
- S = Sección del conductor.

Cuando la longitud l se mide en metros y la sección S en mm² los valores aproximados que se utilizan en la práctica para la resistividad son:

- Para el cobre 1/56 a 20°C ; 1/48 a 70°C ; 1/44 a 90°C
- Para el aluminio 1/35 a 20°C ; 1/30 a 70°C ; 1/28 a 90°C

El valor de la resistencia óhmica por Km se llama resistencia kilométrica. El valor de la resistencia del conductor de un circuito es igual al producto de la resistencia kilométrica por la longitud expresada en Km.

Los valores de las resistencias kilométricas para el cobre y el aluminio están contenidos en la Norma UNE 21-022. Los valores se dan a 20°C, facilitándose los coeficientes para obtener las resistencias a otras temperaturas.

El valor de la reactancia kilométrica de una línea viene dado por la ecuación:

$$X = \omega L$$

Siendo

- ω = Pulsación = $2 \pi f$ (f = frecuencia)
- L = Coeficiente de autoinducción, en Henrios/ km.

El coeficiente de autoinducción L , en Henrios/ km, para una línea monofásica o trifásica simétrica viene dado por la expresión:

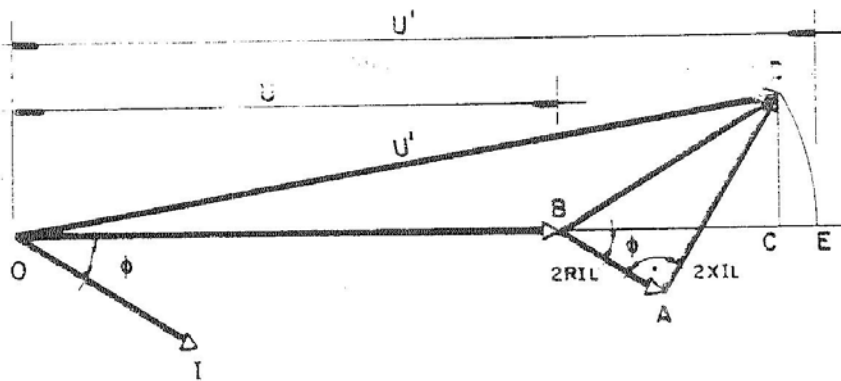
$$L = \left(0,05 + 0,46 \log \frac{2a}{d} \right) \times 10^{-3}$$

Siendo a la separación entre conductores y d el diámetro, expresadas ambas magnitudes en la misma unidad.

Consideremos el caso más general de una línea que alimenta a un receptor o grupo de receptores que consumen corriente inductiva. La intensidad está retrasada un ángulo ϕ con respecto a la tensión.

Nos referiremos en principio a un circuito monofásico. La caída de tensión viene representada por el vector BE de la figura, que puede ser sustituido con la suficiente aproximación por el BC, cuya magnitud es

$$BC = 2RI \cos \phi + 2X I \sin \phi = 2II (R \cos \phi + X \sin \phi)$$



La caída de tensión producida por la resistencia óhmica está en fase con la intensidad, mientras que la debida a la reactancia inductiva está desfasada 90° con respecto a la anterior.

El 2 que aparece en la ecuación se debe a que, por tratarse de un circuito monofásico, la corriente ha de circular por la fase y regresar por el neutro, por lo que la longitud recorrida es la del circuito multiplicada por 2.

Si en lugar de tratarse de un circuito monofásico existieran tres circuitos monofásicos constituidos por cada una de las fases y el neutro, con la misma carga en las tres fases (cargas equilibradas), no se produciría retorno por el neutro, por lo que la caída de tensión en tal caso sería

$$e = II (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

Si pasamos a considerar un circuito trifásico, con receptores conectados entre fases, multiplicando por raíz cuadrada de 3 los dos términos de la ecuación anterior, tenemos

$$e(\text{entre fases}) = \sqrt{3}II(R \cos \phi + X \sin \phi)$$

que es la ecuación general que da la caída de tensión en un circuito trifásico, considerando tanto la debida a la resistencia óhmica como a la reactancia de la línea.

Esta ecuación se puede transformar de la siguiente forma:

En un circuito trifásico es

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

De donde

$$\sqrt{3} I \cos \varphi = \frac{P}{U}$$

Quedando la ecuación general para el cálculo de la caída de tensión en un circuito trifásico en la forma

$$e = \frac{P l}{U} (R + X \operatorname{tg} \varphi)$$

En esta ecuación es

- e = Caída de tensión entre fases, en voltios.
- l = Longitud del circuito, en Km.
- U = Tensión entre fases, en voltios.
- R = Resistencia kilométrica del conductor en ohmios.
- X = Reactancia kilométrica en ohmios.
- ϕ = Angulo de desfase entre la intensidad y la tensión.

En el caso de que se considere despreciable la reactancia X, la ecuación queda

$$e = \frac{P l}{U} R$$

siendo

$$R = \rho \frac{1000}{S}$$

Si medimos P en W y l en m. llegamos a las ecuaciones, supuesta la temperatura de los conductores de 70°C :

Para el cobre

$$e = \frac{P l}{48 U S}$$

Para el aluminio

$$e = \frac{P l}{30 U S}$$

Que, como ha quedado indicado, pueden utilizarse expresando

P en vatios
l en metros

En las ecuaciones anteriores U es la tensión entre fases, en voltios

Para circuitos monofásicos, y para las mismas condiciones de temperatura anteriormente indicadas, las ecuaciones a utilizar son

Para el cobre

$$e = \frac{2P l}{48 U S}$$

Para el aluminio

$$e = \frac{2P l}{30 U S}$$

En este caso la caída de tensión e es la correspondiente entre fase y neutro. La tensión U a utilizar es igualmente la existente entre fase y neutro.

En el caso de líneas con distintas tomas a lo largo de su recorrido, el producto P l se transforma en $\sum P l$, siendo P la potencia total que transporta cada tramo, y l la longitud del tramo.

A $\sum P l$ se le denomina “momento eléctrico”

El valor de la reactancia kilométrica, que depende de la relación entre la separación entre conductores y su diámetro, resulta ser prácticamente constante para cada disposición adoptada.

Sin embargo, la resistencia kilométrica varía notablemente con la sección del conductor. Por ello, para secciones pequeñas, la influencia de la reactancia de la línea es despreciable, No así en el caso de conductores de secciones grandes, donde puede llegar a tener un peso importante en el cálculo de la caída de tensión.

Evidentemente el incremento de la caída de tensión por la reactancia se produce siempre que el factor de potencia sea inferior a la unidad. Para factor de potencia igual a 1 la $\tan \phi$ que aparece en la ecuación es 0, por lo que en tal caso no existe caída de tensión debida a la reactancia de la línea.

En los programas de cálculo que se han confeccionado, se ha aplicado lo anteriormente expuesto en relación con el cálculo de las caídas de tensión de diferentes formas, según las circunstancias concurrentes en cada caso.

En las instalaciones interiores de viviendas, los cálculos se han efectuado aplicando las ecuaciones correspondientes a los circuitos monofásicos, sin tener en cuenta la influencia de la reactancia, dada la sección relativamente pequeña de los conductores y el valor del factor de potencia, próximo a la unidad.

En las derivaciones individuales, el tratamiento ha sido el mismo anteriormente indicado.

Si por la potencia de viviendas o locales se ha estimado oportuno utilizar tres fases y neutro, los cálculos se han efectuado considerando un circuito trifásico. La sección del neutro se ha supuesto siempre igual a la de los conductores de fase.

En las instalaciones de servicios comunes de alumbrado, el cálculo se efectúa como circuito monofásico si la distribución es entre fase y neutro. Si por el contrario se ha hecho con 3 fases y neutro, conectando las lámparas de forma alternativa a las fases, se han considerado los receptores conectados a la fase más desfavorable, y se han calculado como tres circuitos monofásicos. No obstante, se ha estimado que por el neutro no circulará prácticamente corriente, por lo que la utilización de las ecuaciones correspondientes a los circuitos monofásicos se ha efectuado prescindiendo del 2 figurado en el numerador.

En el caso de las instalaciones de fuerza de servicios comunes se han efectuado los cálculos como circuitos trifásicos. Se ha prescindido de la posible influencia de la reactancia para el caso de conductores de unión del cuadro con los receptores. Sin embargo sí se ha tenido en cuenta para el cálculo de la línea de alimentación al cuadro desde el cuadro general, habida cuenta de que las secciones de conductores y posiblemente las distancias son normalmente mayores.

En el caso de las líneas de distribución subterráneas y aéreas con conductores trenzados, se ha tenido en cuenta la reactancia.

Para las instalaciones eléctricas de alumbrado público se han considerado igualmente las reactancias de las líneas. En este tipo de instalaciones, normalmente con apreciable longitud, se ha estimado el hecho de que en dos de cada tres tramos circula por el neutro la intensidad correspondiente a una lámpara, lo que se ha compensado en la forma que se explica detalladamente en el Capítulo dedicado a este tipo de instalaciones.

2.- PROTECCIONES CONTRA SOBREINTENSIDADES

2.1.-Prescripciones reglamentarias.-

La Instrucción ITC-BT-22 establece que todo circuito estará protegido contra los efectos de las sobreintensidades que puedan presentarse en el mismo, para lo cual la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente, o estará sobredimensionado para las sobreintensidades previsibles.

Se distingue entre:

- Sobrecargas debidas a los aparatos de utilización o defectos de aislamiento de gran impedancia.
- Cortocircuitos

-Protección contra sobrecargas:

El límite de intensidad de corriente en un conductor ha de quedar en todo caso garantizado por el dispositivo de protección utilizado.

El dispositivo de protección podrá estar constituido por un interruptor automático de corte omnipolar con curva térmica de corte o por cortacircuitos fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas.

Protección contra cortocircuitos:

En el origen de todo circuito se establecerá un dispositivo de protección contra cortocircuitos cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su conexión. Se admite, no obstante, que cuando se trata de circuitos derivados de uno principal, cada uno de estos circuitos derivados disponga de protección contra sobrecargas, mientras que un solo dispositivo general pueda asegurar la protección contra cortocircuitos para todos los circuitos derivados.

Se admiten como dispositivos de protección contra cortocircuitos los fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas, y los interruptores automáticos con sistema de corte omnipolar

En la Instrucción ITC-BT-22 se incluye un resumen del contenido en la Norma UNE 20.460-4-473. En el sistema de distribución TT, que es el que

normalmente se utiliza, las protecciones deben situarse de acuerdo con lo que queda especificado a continuación:

Con carácter general, deben colocarse dispositivos de protección en todos los conductores de fase o polares, con alguna excepción que puede comprobarse examinando la tabla 1 de la ITC-BT-22.

En el neutro no es necesario colocar dispositivo de protección en distribuciones a 3 F + N, cuando la sección del neutro sea igual o mayor que la de las fases. Cuando sea menor, ha de colocarse dispositivo de protección sobre el neutro, salvo en el caso de que dicho conductor neutro esté protegido contra los cortocircuitos por el dispositivo de protección de los conductores de fase, y la intensidad máxima que recorre el conductor neutro en servicio normal sea netamente inferior al valor de la intensidad admisible en este conductor.

2.2- Intensidades de cortocircuito.-

Para la correcta elección de los dispositivos de protección, es necesario conocer las intensidades de cortocircuito que pueden presentarse en los distintos puntos de la instalación que estudiamos, que dependen:

- De la potencia del transformador que alimenta la instalación.
- De la impedancia de los cables y restantes elementos desde las bornas del transformador hasta el punto que consideramos.

Se denomina “tensión de cortocircuito” en un transformador, a aquella tensión, expresada en % de la nominal, que es necesario aplicar en el circuito primario para que, puenteadas en cortocircuito las bornas del secundario, circule por dichos puentes la intensidad nominal en baja tensión.

La “tensión de cortocircuito” es un parámetro constructivo del propio transformador, y su valor normal suele ser del 4 o 5 % en los aparatos habitualmente utilizados en instalaciones de distribución.

Si en un determinado transformador la tensión de cortocircuito es del 5 %, el valor real de dicha tensión es el de la tensión nominal dividido por 20. Quiere ello decir que si conservamos los puentes sobre las bornas de baja tensión del transformador, y aplicamos en el primario la tensión nominal, tendremos en el secundario una intensidad que, aproximadamente, será 20 veces la nominal.

Consideremos un transformador de 630 KVA. La intensidad nominal en baja tensión será

$$I = \frac{630.000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 909 \text{ A}$$

Luego la intensidad de cortocircuito en el caso que consideramos será aproximadamente de $909 \times 20 = 18.186 \text{ A}$, es decir alrededor de 20 kA.

A partir de la intensidad de cortocircuito en bornas del secundario del transformador, podemos calcular la que corresponde a los diversos puntos de la instalación, considerando la impedancia de los cables y demás elementos.

Este cálculo puede hacerse utilizando la Guía contenida en la Norma UNE 21240, si bien resulta suficientemente aproximado utilizar tablas, de las cuales incorporamos dos, obtenidas de un catálogo del Grupo Schneider, y que son:

- Intensidades de cortocircuito trifásico en el secundario de un transformador MT/BT calculadas para una tensión de 410 V.

INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO TRIFASICA EN EL SECUNDARIO DE UN TRANSFORMADOR MT/BT (Tensión entre fases 410 V) POTENCIA DEL TRANSFORMADOR EN KVA								
	25	50	100	160	250	400	630	1000
Intensidad Nominal In (A)	35	70	141	225	352	563	887	1408
Intensidad de Cortoc. (kA)	0,88	1,76	3,50	5,59	8,69	13,80	21,50	27,08

NOTA.- Se han incluido las potencias de transformadores normalmente utilizadas en las instalaciones de distribución, dentro de las normalizadas por la Norma UNE 20.138.

- Intensidades de cortocircuito en un punto de la red, conociendo
- La intensidad de cortocircuito en el inicio de un cable.
- La longitud, sección y constitución del cable.

Facilitándonos la tabla el valor de la intensidad de cortocircuito al final del cable, como consecuencia de la impedancia del mismo.

Por otra parte, hemos confeccionado un programa para el cálculo de intensidades de cortocircuito, para utilizar en lugar de las tablas.

Indicaremos que normalmente se utilizan los valores eficaces de las intensidades de cortocircuito. Sin embargo, los valores máximos o de cresta son superiores, toda vez que

En una onda senoidal, la intensidad máxima es igual al valor eficaz multiplicado por raíz cuadrada de 2.

Al iniciarse el cortocircuito, aparece una componente continua transitoria que ha de sumarse a la senoidal.

sección de los
conductores
de fase (mm²)

longitud de la
canalización (en m)

cobre (400V)

se fase (mm²)																														
1,5														0,8	1	1,3	1,6	3	6,5	8	9,5	13	16	32						
2,5														1	1,3	1,6	2,1	2,6	5	10	13	16	21	26	50					
4														0,8	1,7	2,1	2,5	3,5	4	8,5	17	21	25	34	42	85				
6														1,3	2,5	3	4	5	6,5	13	25	32	38	50	65	130				
10	0,8													1,1	2,1	4	5,5	6,5	8,5	11	21	42	55	65	85	110	210			
16	0,9													1	1,4	1,7	3,5	7	8,5	10	14	17	34	70	85	100	140	170	340	
25	1													1,3	1,6	2,1	2,6	5	10	13	16	21	26	50	100	130	160	210	260	
35	1,5													1,9	2,2	3	3,5	7,5	15	19	22	30	37	75	150	190	220	300	370	
50	1,1													2,1	2,7	3	4	5,5	11	21	27	32	40	55	110	210	270	320		
70	1,5													3	3,5	4,5	6	7,5	15	30	37	44	60	75	150	300	370			
95	0,9													1	2	4	5	6	8	10	20	40	50	60	80	100	200	400		
120	0,9													1	1,1	1,3	2,5	5	6,5	7,5	10	13	25	50	65	75	100	130	250	
150	0,8													1	1,1	1,2	1,4	2,7	5,5	7	8	11	14	27	55	70	80	110	140	270
185	1													1,1	1,3	1,5	1,6	3	6,5	8	9,5	13	16	32	65	80	95	130	160	320
240	1,21													1,4	1,6	1,8	2	4	8	10	12	16	20	40	80	100	120	160	200	400
300	1,5													1,7	1,9	2,2	2,4	5	9,5	12	15	19	24	49	95	120	150	190	240	
2x120	1,5													1,8	2	2,3	2,5	5,1	10	13	15	20	25	50	100	130	150	200	250	
2x150	1,7													1,9	2,2	2,5	2,8	5,5	11	14	17	22	28	55	110	140	170	220	280	
2x180	2													2,3	2,6	2,9	3,5	6,5	13	16	20	26	33	65	130	160	200	260	330	
3x120	2,3													2,7	3	3,5	4	7,5	15	19	23	30	38	75	150	190	230	300	380	
3x150	2,5													2,9	3,5	3,5	4	8	16	21	25	33	41	80	160	210	250	330	410	
3x180	2,9													3,5	4	4,5	5	9,5	20	24	29	39	49	95	190	240	290	390		
lcc arriba													longitud de la																	
(en kA)													canalización (en m)																	
100	94	94	93	92	91	83	71	67	63	56	50	33	20	17	14	11	9	5	2,4	2	1,6	1,2	1	0,5						
90	85	85	84	83	83	76	66	62	58	52	47	32	20	16	14	11	9	4,5	2,4	2	1,6	1,2	1	0,5						
80	76	76	75	75	74	69	61	57	54	49	44	31	19	16	14	11	9	4,5	2,4	2	1,6	1,2	1	0,5						
70	67	67	66	66	65	61	55	52	49	45	41	29	18	16	14	11	5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5						
60	58	58	57	57	57	54	48	46	44	41	38	27	18	15	13	10	8,5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5						
50	49	48	48	48	48	46	42	40	39	36	33	25	17	14	13	10	8,5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5						
40	9	39	39	39	39	37	35	33	32	30	29	22	15	13	12	9,5	8	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5						
35	34	34	34	34	34	33	31	30	29	27	26	21	15	13	11	9	8	4,5	2,3	1,9	1,6	1,2	1	0,5						
30	30	29	29	29	29	28	27	26	25	24	23	19	14	12	11	9	7,5	4,5	2,3	1,9	1,6	1,2	1	0,5						
25	25	25	25	24	24	24	23	22	22	21	20	17	13	11	10	8,5	7	4	2,3	1,9	1,6	1,2	1	0,5						
20	20	20	20	20	20	19	19	18	18	17	17	14	11	10	9	7,5	6,5	4	2,2	1,8	1,5	1,2	1	0,5						
15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	13	13	12	9,5	8,5	8	7	6	4	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9	0,5						
10	10	10	10	10	10	10	9,5	9,5	9,5	9,5	9	8,5	7	6,5	6,5	5,5	5	3,5	2	1,7	1,4	1,1	0,9	0,5						
7	7	7	7	7	7	7	7	7	6,5	6,5	6,5	6	5,5	5	5	4,5	4	2,9	1,8	1,6	1,3	1,1	0,9	0,5						
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,5	4	4	4	3,5	3,5	2,5	1,7	1,4	1,3	1,1	0,8	0,5						
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,5	3,5	3,5	3	3	2,9	2,2	1,5	1,3	1,2	1,1	0,8	0,4						
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	1,9	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,4						
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,4	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,4						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3					

lcc arriba (en kA)	longitud de la canalización (en m)																							
100	94	94	93	92	91	83	71	67	63	56	50	33	20	17	14	11	9	5	2,4	2	1,6	1,2	1	0,5
90	85	85	84	83	83	76	66	62	58	52	47	32	20	16	14	11	9	4,5	2,4	2	1,6	1,2	1	0,5
80	76	76	75	75	74	69	61	57	54	49	44	31	19	16	14	11	9	4,5	2,4	2	1,6	1,2	1	0,5
70	67	67	66	66	65	61	55	52	49	45	41	29	18	16	14	11	5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5
60	58	58	57	57	57	54	48	46	44	41	38	27	18	15	13	10	8,5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5
50	49	48	48	48	48	46	42	40	39	36	33	25	17	14	13	10	8,5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5
40	9	39	39	39	39	37	35	33	32	30	29	22	15	13	12	9,5	8	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1	0,5
35	34	34	34	34	34	33	31	30	29	27	26	21	15	13	11	9	8	4,5	2,3	1,9	1,6	1,2	1	0,5
30	30	29	29	29	29	28	27	26	25	24	23	19	14	12	11	9	7,5	4,5	2,3	1,9	1,6	1,2	1	0,5
25	25	25	25	24	24	24	23	22	22	21	20	17	13	11	10	8,5	7	4	2,3	1,9	1,6	1,2	1	0,5
20	20	20	20	20	20	19	19	18	18	17	17	14	11	10	9	7,5	6,5	4	2,2	1,8	1,5	1,2	1	0,5
15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	13	13	12	9,5	8,5	8	7	6	4	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9	0,5
10	10	10	10	10	10	10	9,5	9,5	9,5	9,5	9	8,5	7	6,5	6,5	5,5	5	3,5	2	1,7	1,4	1,1	0,9	0,5
7	7	7	7	7	7	7	7	7	6,5	6,5	6,5	6	5,5	5	5	4,5	4	2,9	1,8	1,6	1,3	1,1	0,9	0,5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,5	4	4	4	3,5	3,5	2,5	1,7	1,4	1,3	1,1	0,8	0,5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,5	3,5	3,5	3	3	2,9	2,2	1,5	1,3	1,2	1,1	0,8	0,4
3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	1,9	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,4
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,4	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3

sección de los
conductores
de fase (mm²)

longitud de la

canalización (en m)

aluminio (400V)

de fase (mm²)																0,8	1	1,3	1,6	3	6,5	8	9,5	13	16	32							
2,5																1	1,3	1,6	2,1	2,6	5	10	13	16	21	26	50						
4																0,8	1,6	2	2,4	3	4	8	16	20	24	32	40	80					
6																1,3	2,6	3,5	4	5,5	6,5	13	26	33	40	55	65	130					
10																0,8	1,1	2,1	4	5,5	6,5	8,5	11	21	42	55	65	85	105	210			
16																0,8	1	1,3	1,7	3,5	6,5	8,5	10	13	17	33	65	85	100	130	165	330	
25																0,9	1,2	1,4	1,8	2,3	4,5	9	12	14	18	23	46	90	120	140	180	230	
35																1,3	1,7	2	2,6	3,5	6,5	13	17	20	26	33	65	130	170	200	260	330	
50																0,9	1,8	2,3	2,8	3,5	4,5	9	18	23	28	37	46	90	180	230	280	370	
70																1,3	2,5	3	4	5	6,5	13	25	32	38	50	65	130	250	310	380		
95																0,8	1,7	3	4	4,5	6,5	8	17	32	40	47	65	80	160	320	400		
120																0,9	1,7	3,4	4,5	5	7	8,5	17	34	43	50	70	85	170	240			
150																0,9	1	2	4	5	6	8	10	20	40	50	60	80	100	240	400		
185																0,9	1	1,1	1,3	2,5	5	6,5	7,5	10	13	25	50	65	75	100	130	250	
240																0,9	1	1,2	1,4	1,5	3	6	7,5	9	12	15	30	60	75	90	120	150	300
300																0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	3	6,5	8	9,5	13	16	32	65	80	95	130	160	320
2x120																1	1,2	1,4	1,5	1,7	3,5	7	9	10	14	17	35	70	85	100	140	170	
2x150																1,2	1,4	1,6	1,8	2	4,1	8	10	12	16	20	41	80	100	120	160	200	
2x180																1,5	1,8	2	2,3	2,5	5	10	13	15	20	25	50	100	130	150	200	250	
2x240																1,4	1,7	1,9	2,1	2,4	4,5	9,5	12	14	19	24	48	95	120	140	190	240	
3x120																1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	5	10	13	15	21	26	50	100	130	150	210	160	
3x150																1,8	2,1	2,4	2,7	3	6	12	15	18	24	30	60	120	150	180	240	300	
3x180																2,3	2,7	3	3,5	4	7,5	15	19	23	30	38	75	150	190	230	300	380	
3x240																2,3	2,7	3	3,5	4	7,5	15	19	23	30	38	75	150	190	230	300	380	

Nota: para una tensión trifásica de 230V entre fases,
dividir las longitudes, arriba indicadas por $\sqrt{3}=1,732$

El valor de la componente transitoria es función del desfase existente entre el momento de producirse el cortocircuito, y el momento en que la corriente senoidal alcanza su valor máximo. En el caso más desfavorable, la corriente de cresta tiene por valor

$$I_m = K \sqrt{2} I_a$$

siendo I_a el valor eficaz de la corriente alterna, y K un coeficiente cuyo valor depende de la relación entre la resistencia y la reactancia del circuito.

Esta intensidad máxima de cresta está representada en algunos diagramas por una recta que normalmente aparece en los gráficos que se incluyen en los catálogos de los fabricantes.

2.3.- Elementos de protección normalmente utilizados.-

Fusibles.

Las características de los fusibles de protección para ser utilizados en las instalaciones de baja tensión, vienen definidas en las Normas UNE 21.103 (EN 60.269), que constan de una parte general, otra dedicada a los fusibles de tipo industrial, y una tercera aplicable a los fusibles que se utilicen en instalaciones de tipo domestico y similares.

Se distinguen los siguientes tipos de fusibles:

-gG.- Cartuchos fusibles para uso general, que pueden cortar todas las corrientes

-gM,- Cartuchos fusibles para la protección de circuitos de motores, que pueden cortar todas las corrientes

aM.- Cartuchos fusibles para la protección de circuitos de motores, que no pueden cortar más que una parte de las corrientes. Por ello se asocian a dispositivos de curva térmica de corte.

Se denomina poder de corte asignado la máxima intensidad de cortocircuito que el fusible puede cortar. Para los de tipo industrial se fija un poder de corte mínimo de 50 kA (en corriente alterna hasta 660 V), y para los de uso doméstico 6 kA para tensiones hasta 240 V y 20 kA para tensiones entre 250 y 500 V.

A continuación hacemos referencia a algunas características fundamentales de los fusibles, según Normas UNE

Tensión alterna asignada :

_230-400-500 y 660 V.

Para usos domésticos la tensión máxima es de 500 V.

Corriente asignada (Amperios) :

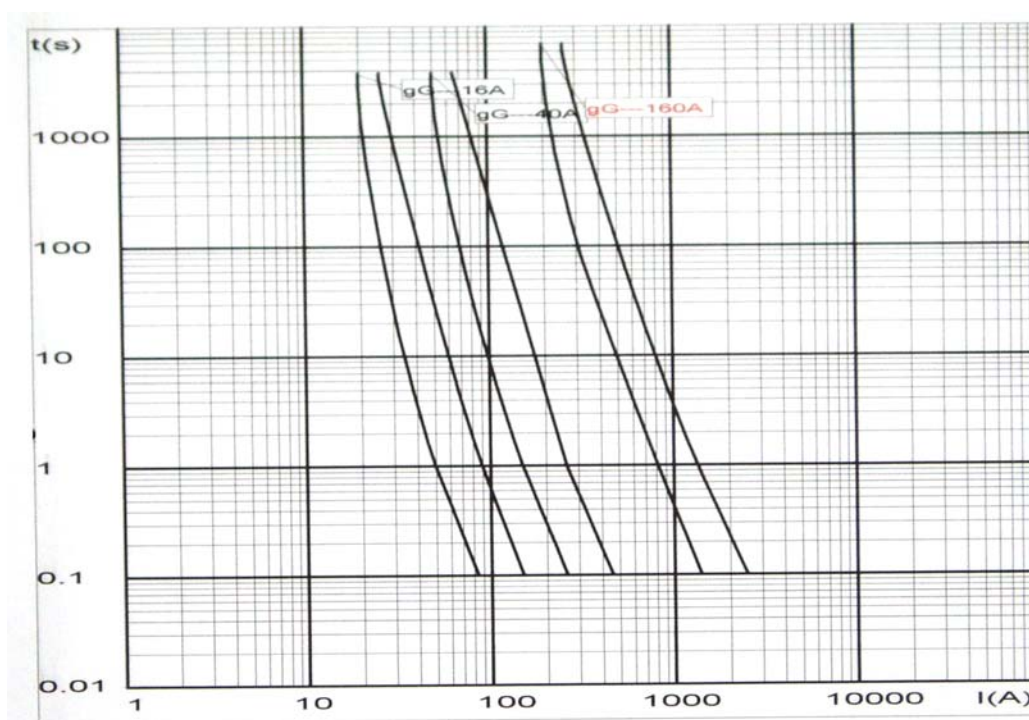
2-4-6-8-10-12-16-20-25-32-40-50-63-80-100-125-160-200-250-315-400-500-630-800-1000-1250

Relación entre el tiempo de fusión y la intensidad de la corriente.-

Las Normas contienen valores y balizas a los que han de ajustarse los fabricantes. Debemos indicar que existen programas comerciales como el ECODIAL del Grupo Schneider y el DOCwin de ABB que dibujan estos tipos de curvas , basándose en los datos proporcionados por las Normas UNE. Se incluye ejemplo.

Corrientes y tiempos convencionales para los cartuchos gG
Corriente asignada I_n Tiempo conven. (h) Corriente convencional

		I_{nf}	I_f
$I_n < 16$	1		
$16 < I_n < 63$	1		
$63 < I_n < 160$	2	1,25	1,6
$160 < I_n < 400$	3		
$400 < I_n$	4		



**CURVAS DE FUNCIONAMIENTO INTENSIDAD-TIEMPO
FUSIBLES PARA USO GENERAL TIPO gG
(Programa Ecodial de Grupo Schneider)**

Características $I^2 t$ de los fusibles.-

Hacen referencia a los valores máximos y mínimos de la energía que dejan pasar los fusibles (en $A^2 \cdot S$). Este valor representa la energía que se transformaría en calor en un conductor de 1 ohmio de resistencia

Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas.-

Estos aparatos, que conocemos normalmente como “magnetotérmicos”, son los que se utilizan en las instalaciones domésticas y en el sector comunmente llamado “terciario”. Disponen de relés térmicos y magnéticos (generalmente no regulables), por lo que protegen contra sobrecargas y cortocircuitos.

Le es de aplicación a estos aparatos la Norma UNE-EN-60.898

Tensión asignada :

230/400 V

Corriente asignada.-

Valor característico, que se designa por I_n , figurando para cada tipo de aparato en los catálogos de los fabricantes. El valor máximo de I_n contemplado en la Norma es de 125 A.

Temperatura de referencia.-

La temperatura de referencia es de 30° C. El fabricante define las características de funcionamiento a una temperatura de referencia, que ha sido fijada en la Norma en 30° C. Si dicho fabricante indica una temperatura de referencia diferente, debe facilitar los valores de corrección oportunos.

Poder de corte :

El máximo poder de corte se fija en 25 kA. Los valores normalizados son 1,5 – 3 – 4,5 – 6 – 10 – 15 – 20 – 25 kA.

Poder de corte de servicio I_{cs} :

Es la máxima corriente de cortocircuito que el aparato es capaz de interrumpir bajo condiciones específicas. Después de la prueba el aparato debe soportar una corriente del 85 % de I_{nt}

Se verifica que $I_{cs} = k \cdot I_{cn}$, siendo k un coeficiente al que se le asignan los valores que figuran en la tabla que se inserta a continuación

I_{cn} (A)	k
< 6.000	1
> 6.000 < 10.000	0,75 (1)
> 10000	0,50 (2)

(1) Valor mínimo de I_{cs} = 6.000 A

(2) Valor mínimo de I_{cs} = 7.500 A.

Lo indicado quiere decir desde un punto de vista práctico que para valores de la intensidad real de cortocircuito comprendidos entre I_{cn} e I_{cs} el aparato va a cumplir su misión de interrumpir la corriente en condiciones adecuadas, pero posiblemente quedaría inservible y habría que sustituirlo.

La intensidad de cortocircuito va disminuyendo a medida que avanzamos en el cable derivado, partiendo de las bornas del aparato. Luego se juega con la mayor probabilidad de que el cortocircuito que pueda producirse sea de intensidad inferior al poder de corte de servicio del aparato.

Esto puede tener importancia en el caso de instalaciones importantes, con aparatos que requieran un poder de corte muy elevado.

Puede ser interesante instalar aparatos de poder de corte de servicio inferior al poder de corte asignado, aunque en algún caso se produzca una avería que obligue a una determinada sustitución. Lo indicado será de aplicación fundamentalmente en aparatos de tipo industrial.

Condiciones de los disparadores térmicos :

Los disparadores térmicos deben cumplir las siguientes condiciones

Intensidad de no intervención $I_{nt} = 1,13 I_n$
Intensidad de disparo $I_t = 1,45 I_n$.

Bajo estas condiciones, los tiempos límite de disparo o no disparo son

1 hora para $I_n < 63 \text{ A}$; 2 horas para $I_n > 63 \text{ A}$

Condiciones de los disparadores magnéticos :

Responden a tres tipos de curvas, designadas por B, C y D.

Los márgenes de disparo son los siguientes:

CURVA	Límite inferior	Límite superior
B	$3 I_n$	$5 I_n$
C	$5 I_n$	$10 I_n$
D	$10 I_n$	$20 I_n$

Los tiempos límite de disparo o no disparo son:

- No disparo $> 0,1 \text{ s}$
- Disparo $< 0,1 \text{ s}$

Es decir, que para un interruptor de curva B por ejemplo, si le aplicamos una intensidad de prueba de $3 I_n$, debe tardar más de una décima de segundo en disparar, Pero si le aplicamos una intensidad $5 I_n$ debe tardar menos de una décima de segundo en disparar.

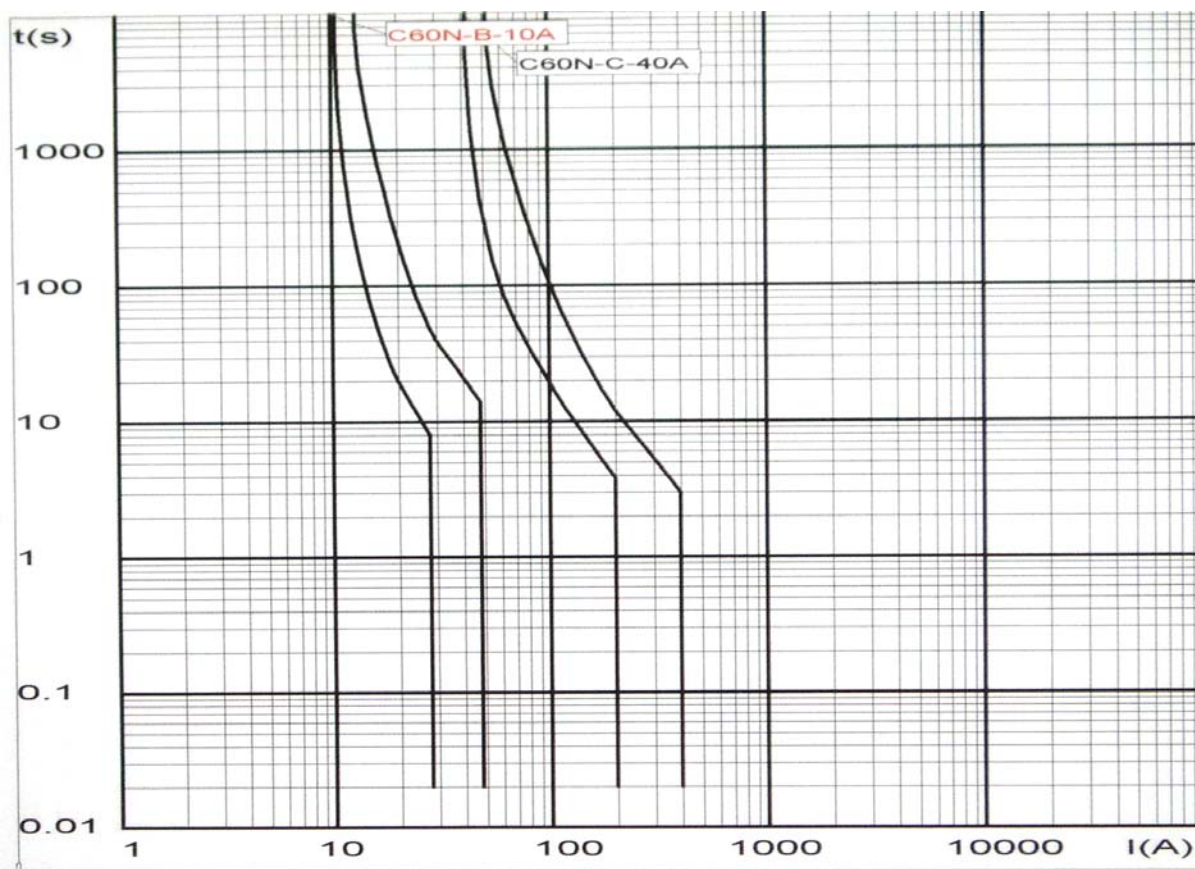
La adopción de una u otra curva depende de las características de la carga que protegen. En el caso concreto de motores ha de tenerse en cuenta que el límite de actuación de los disparadores magnéticos quede fuera de la corriente de punta en el arranque del motor.

Aparte de las curvas indicadas, pueden verse en los catálogos de los fabricantes otras entre las que citamos

Curva Z	Se utiliza para proteger circuitos electrónicos
Curva K	Se utiliza en la protección de motores

En estos aparatos los fabricantes facilitan normalmente en sus catálogos las curvas de disparo intensidad-tiempo, incluyéndose algunas de ellas a título de ejemplo, obtenidas por medio del programa ECODIAL del Grupo Schneider.

Indicaremos que estos interruptores magnetotérmicos son utilizados también en las instalaciones industriales. Por ello es frecuente que los fabricantes los homologuen tanto en relación con la Norma UNE 60.898 como con la referente a aparatos industriales. Por lo cual puede verse que en ocasiones se distinguen dos valores del poder de corte, uno para ser utilizado en instalaciones domésticas, y otro que puede adoptarse para instalaciones industriales.



**CURVAS DE FUNCIONAMIENTO INTENSIDAD-TIEMPO
INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS MAGNETOTÉRMICOS
(Programa Ecodial de Grupo Schneider)**

Interruptores automáticos para instalaciones industriales

Estos aparatos disponen generalmente de relés térmicos y magnéticos, que pueden ser del tipo convencional, o electrónicos. Los relés térmicos son normalmente regulables, y los magnéticos lo son a partir de un determinado calibre. La norma de aplicación para estos aparatos es UNE EN 60947-2

Poder de corte último asignado Icu : Es la máxima intensidad de cortocircuito que el aparato es capaz de cortar, aún cuando pudiera quedar inservible si dicha intensidad de cortocircuito es superior al poder de corte de servicio, del que se trata a continuación. A la hora de elegir un interruptor automático se debe verificar que

$$I_{cu} > I_{cc}$$

Expresión en la que Icc representa la máxima corriente de cortocircuito que puede presentarse en una instalación en el punto que se considera.

Poder de corte de servicio Ics : El poder de corte de servicio corresponde a la capacidad del interruptor para eliminar las corrientes de cortocircuito de valor inferior a Icc que tienen la mayor probabilidad de producirse. Después de un corte en tales condiciones el aparato puede ser puesto de nuevo en servicio.

El valor de Ics corresponde a un % del valor de Icu. Los valores normalizados son 25 – 50 – 75 y 100 %.

Categoría de aparatos :

En este tipo de aparatos se distinguen dos categorías, que son:

CATEGORIA A : Estos aparatos no están especialmente preparados para realizar una selectividad cronométrica, es decir, realizan una selectividad amperimétrica, aún cuando puedan estar dotados de un retardo intencionado de corta duración (corto retardo)

CATEGORIA B : Aparatos especialmente estudiados y preparados para realizar una selectividad cronométrica, es decir, dotados de dispositivos de retardo en el disparo para facilitar la selectividad en relación con otros aparatos conectados en serie en el circuito.

Esta categoría de interruptores posee obligatoriamente una característica adicional denominada “corriente asignada de corta duración admisible Icw” . Los valores fijados para la misma son:

In (A)	Valor de Icw
< 2500	Mayor valor entre 12 In o 5 kA 30 kA
> 2500	

El retardo de corta duración asociado a I_{cw} debe ser como mínimo de 0,05 s. Los valores preferenciales son

0,05 – 0,1 – 0,25 – 0,50 – 1 s.

Temperatura de referencia :

La Norma fija esta temperatura en 30° C. Si el fabricante adoptase otra, debe quedar grabada en el aparato.

Condiciones de los disparadores térmicos :

Corriente de no actuación : $1,05 \times I_r$
Corriente de actuación: $1,3 \times I_r$

siendo I_r la intensidad de regulación.

Los tiempos de referencia son.

Para $I_n (A) < 63$ 1 hora
Para $I_n (A) > 63$ 2 horas.

Condiciones de los disparadores magnéticos :

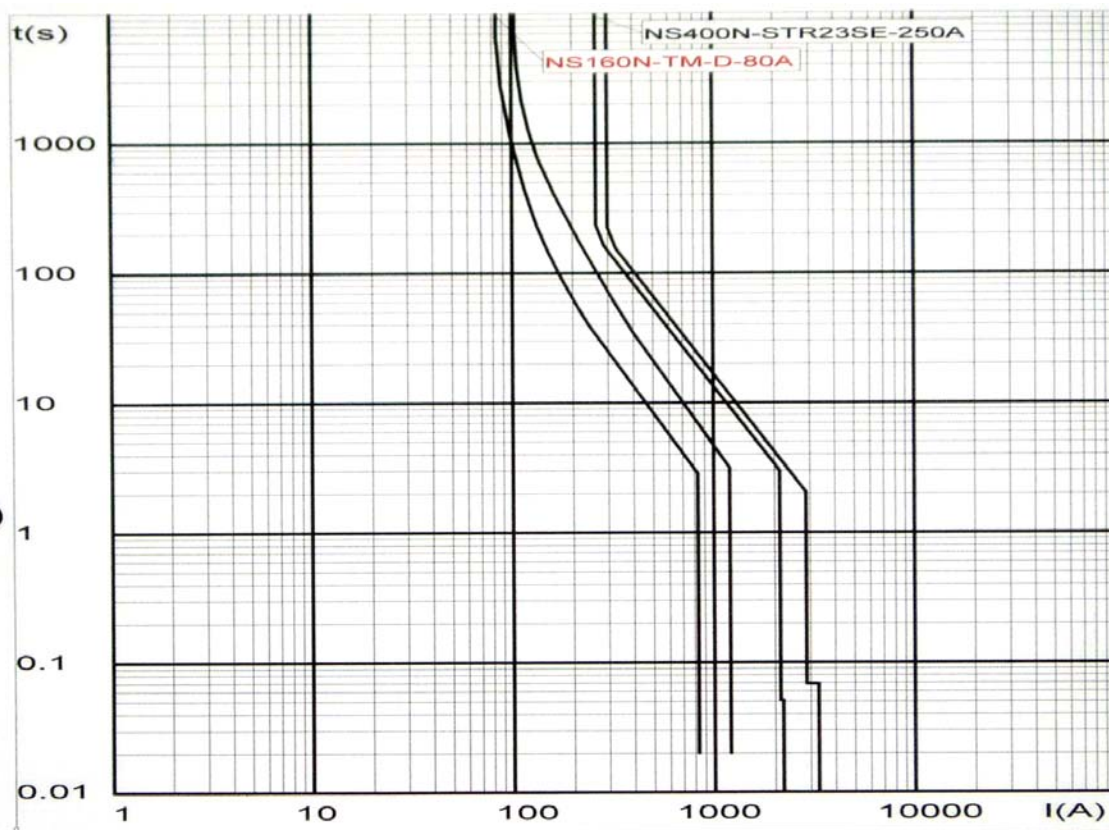
Serán las fijadas por el fabricante con límites de variación del + - 20 %

Decalaje por temperatura :

Los fabricantes incluyen en sus catálogos las correcciones a introducir cuando la temperatura a la que puedan estar sometidos los aparatos es distinta de la de referencia.

Curvas normalmente incluidas por los fabricantes en la información facilitada a los usuarios :

- a) Curvas de actuación tiempo-corriente, similares a las descritas al tratar de los aparatos de uso doméstico.
- b) Curvas de limitación de las intensidades de cresta.
- c) Curvas de energía pasante, que indican la energía que deja pasar cada aparato, expresada en $A^2 \cdot s$



CURVAS DE FUNCIONAMIENTO INTENSIDAD-TIEMPO
INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS DE CAJA MOLDEADA
 (Programa Ecodial de Grupo Schneider)
 Cada curva corresponde a las condiciones de regulación de los relés

Contactores y arrancadores estrella-triángulo.- Relés térmicos.

Los contactores son elementos de maniobra que en numerosas ocasiones acompañan a los de protección propiamente dicha. En el caso de los motores, a partir de una determinada potencia, se utilizan los arrancadores estrella-triángulo para reducir la intensidad punta de arranque. Estos arrancadores se componen, como es sabido, de tres contactores, uno de línea, el segundo para la conexión en estrella y el tercero para la conexión en triángulo, situación en la cual queda conectado el motor en su funcionamiento normal. El paso de una a otra conexión se efectúa por medio de un temporizador.

A estos aparatos le es de aplicación la Norma UNE EN60947-4, que distingue 4 categorías de empleo en corriente alterna, que son:

AC-1 AC-2 AC -3 AC-4

cuya utilización depende del tipo de receptores que alimente el circuito. En el caso concreto de motores de jaula de ardilla la categoría a utilizar es la AC-3. Las bobinas de los contactores pueden funcionar a la tensión entre fases, entre fase y neutro o a tensión reducida para aumentar las medidas de seguridad para las personas que manejen la instalación. En el último caso hay que prever

una fuente que proporcione la tensión requerida, que normalmente será un transformador monofásico.

La potencia de este transformador depende de los consumos de las bobinas en el caso más desfavorable, consumos que suelen figurar en los catálogos de los fabricantes.

Los relés térmicos se utilizan para proteger contra sobrecargas, y han de ir asociados a una protección contra cortocircuitos, que pueden ser fusibles de acompañamiento del tipo aM o interruptores automáticos que disponen solamente de relés magnéticos.

La protección separada contra sobrecargas por relés térmicos no tiene objeto si el interruptor automático ya incorpora relés térmicos regulables de adecuada sensibilidad.

En el caso de arrancadores estrella-triángulo, los relés térmicos separados pueden colocarse antes o después del arrancador. Si se colocan antes, han de preverse para la intensidad de línea. Si se colocan detrás, hay que tener en cuenta que en la conexión en triángulo la intensidad que pasa por los devanados es la de línea dividida por raíz de 3, lo que modifica las características y el margen de regulación del relé térmico.

2.4.- Coordinación o filiación de elementos de protección.-

La Norma UNE 20.460-4-43, al tratar de las características de los dispositivos de protección contra cortocircuitos, establece lo que sigue:

“ Su poder de corte debe ser como mínimo igual a la corriente de cortocircuito supuesta en el punto donde está instalado, salvo el caso citado en el párrafo siguiente.

Se admite un dispositivo que posea un poder de corte inferior, con la condición de que otro aparato protector que tenga el necesario poder de corte sea instalado por delante. En tal caso las características de los dos dispositivos deben estar coordinadas de tal forma que la energía que dejen pasar los dispositivos no sea superior a la que pueda soportar, sin daño, el dispositivo situado por detrás y las canalizaciones protegidas por estos dispositivos”

Esto quiere decir que el poder de corte de un determinado aparato en el caso de actuar por sí solo, queda reforzado por la existencia de un dispositivo situado aguas arriba de poder de corte adecuado.

La coordinación o filiación de los elementos de protección son definidas por los fabricantes, en tablas incorporadas a la información que facilitan a los usuarios.

2.5.- Selectividad de las protecciones

La selectividad de las protecciones se consigue cuando, en el caso de producirse un defecto, solamente actúa el aparato colocado en el punto que

protege el correspondiente circuito, sin afectar al funcionamiento del resto de la instalación.

Se distinguen tres tipos de selectividad

Selectividad amperimétrica:

Se produce en las sobrecarga. El distinto calibre del aparato situado aguas abajo con respecto al situado aguas arriba, y la regulación adoptada para los relés, hace que una determinada intensidad sea suficiente para disparar un aparato, pero no para disparar el otro.

Selectividad cronométrica:

Se produce en los cortocircuitos débiles. El aparato situado aguas arriba está ligeramente temporizado con respecto al aparato de aguas abajo, por lo que el retardo en el disparo proporciona la selectividad.

Selectividad energética :

Es la que tiene lugar en el caso de producirse cortocircuitos con intensidades elevadas. El aparato situado aguas abajo lo limita muy fuertemente. La energía que pasa por el aparato situado aguas arriba no es suficiente para provocar el disparo.

La selectividad entre dos aparatos puede ser total o parcial. Es total si se cumple para cualquier valor de la intensidad de cortocircuito. Es parcial si únicamente se cumple hasta un determinado valor de la intensidad de cortocircuito, lo que es indicado por el fabricante en la información que facilita.

Para estudiar la selectividad entre dos aparatos podemos recurrir

- a) A reproducir las curvas de funcionamiento tiempo-corriente.
- b) A consultar las tablas de selectividad proporcionadas por el fabricante
- c) A calcular las relaciones entre las intensidades de regulación de los relés térmicos y magnéticos en los dos aparatos.

Normalmente los fabricantes proporcionan para los distintos tipos de protecciones los valores mínimos de estas relaciones para que exista selectividad.

El conseguir o no una selectividad total en las protecciones de una instalación depende de las características de la misma y de las circunstancias concurrentes. Una selectividad total y completa puede encarecer la instalación hasta límites excesivos, ya que a veces para conseguir los valores mínimos de las relaciones indicadas en el apartado c) supone incrementar las secciones de conductores por encima de las inicialmente previstas, toda vez que en

cualquier caso la regulación del relé térmico debe ser inferior a la intensidad máxima admitida para el cable que se protege.

2.6.- Protección de cables contra cortocircuitos

La Norma UNE 20.460-4-43 establece que el tiempo de corte de toda corriente que resulte de un cortocircuito que se produzca en un punto cualquiera de un circuito, no debe ser superior al tiempo que tarda en alcanzar la temperatura de los conductores el límite admisible.

Para los cortocircuitos de una duración t como máximo igual a 5 segundos, la duración necesaria para que una corriente de cortocircuito eleve la temperatura de los conductores desde la temperatura máxima admisible en servicio normal al valor límite, puede calcularse, en primera aproximación, con ayuda de la fórmula siguiente:

$$\sqrt{t} = k \frac{S}{I}$$

Donde

t = Duración en segundos.

S = Sección del conductor en mm²

I = Corriente de cortocircuito efectiva en A, expresada en valor eficaz.

k = 115 para conductores de cobre aislados con P.V.C.

= 135 para conductores de cobre aislados con caucho para uso general, con butilo, con polietileno reticulado o con etileno-propileno.

= 74 para los conductores de aluminio aislados con P.V.C.

= 87 para los conductores de aluminio aislados con caucho para uso general, con butilo, con polietileno reticulado o con etileno-propileno

= 115 para canalizaciones soldadas con estaño en los conductores de cobre, correspondientes a una temperatura de 160° C.

La ecuación anterior la podemos transformar en la siguiente:

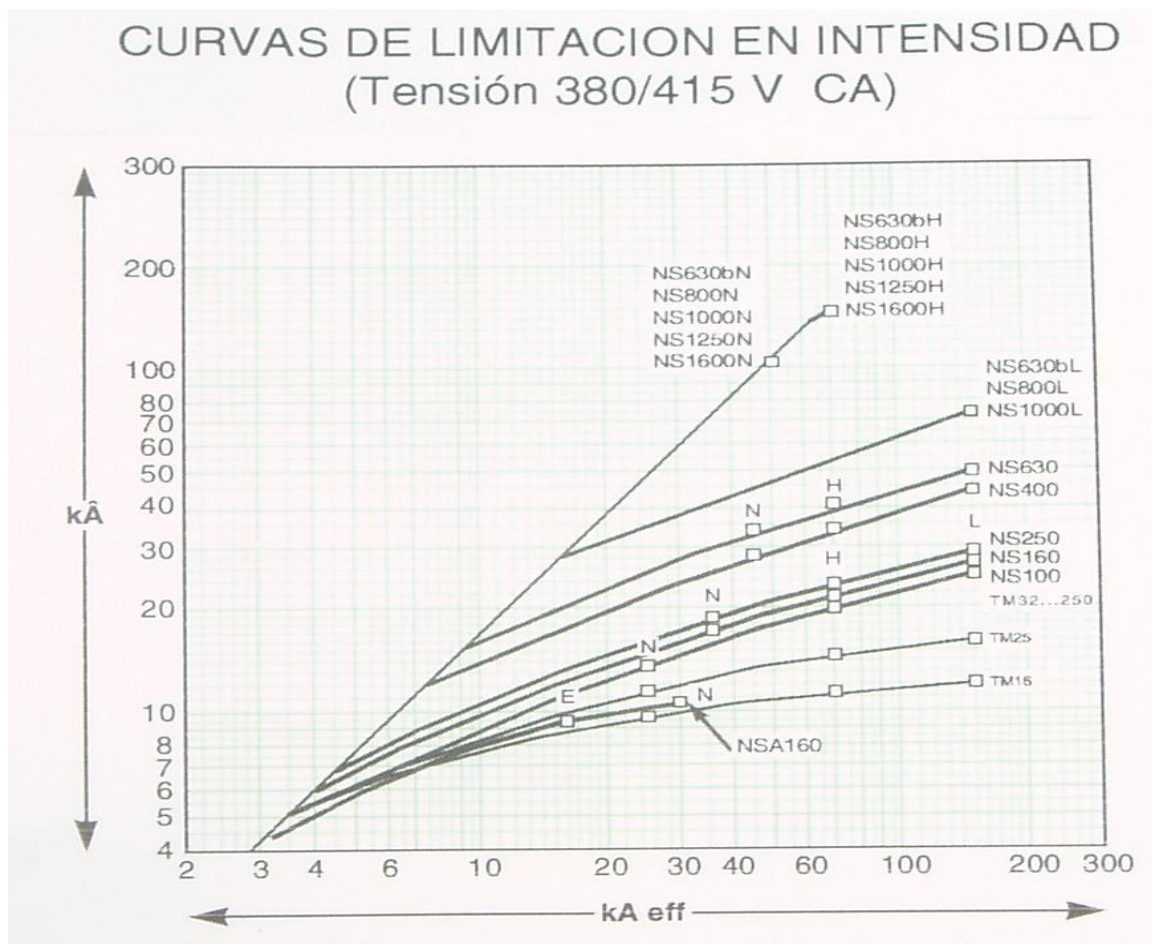
$$I^2 t = k^2 S^2$$

El primer término de esta ecuación representa la energía máxima que deja pasar el elemento de protección, mientras que el segundo puede calcularse fácilmente aplicando los coeficientes anteriores. Se debe cumplir pues que la energía que deja pasar el fusible o interruptor automático debe ser menor que la admisible por el cable, que viene representada por el segundo término.

La energía máxima que dejan pasar los fusibles la facilitan las tablas contenidas en las Normas UNE. Las que dejan pasar los interruptores automáticos las conocemos por las curvas de limitación de energía que proporcionan los fabricantes, una de las cuales se reproduce.

Luego aplicando lo indicado podemos saber si un cable queda debidamente protegido por el elemento correspondiente en el caso de producirse un cortocircuito.

Se incluye una tabla donde se reflejan los valores $k^2 S^2$ para distintos conductores

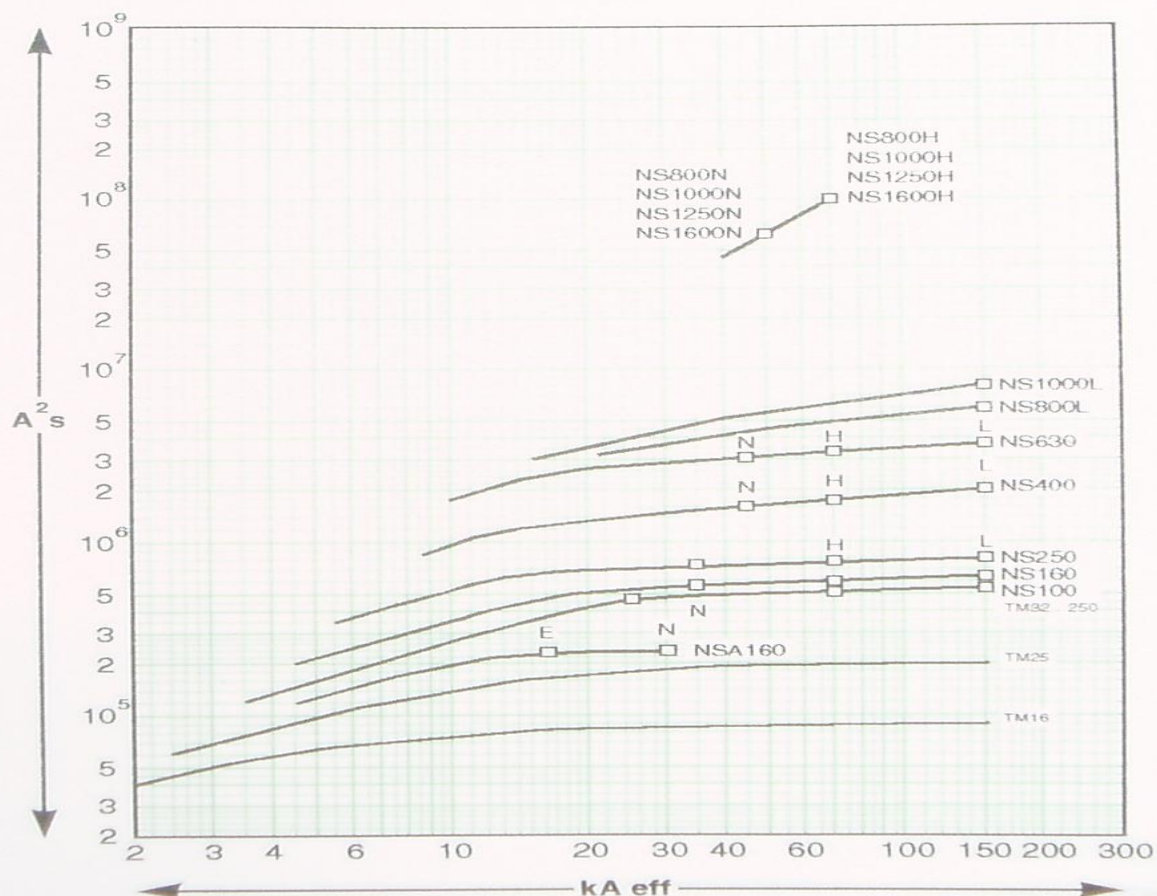


Curvas obtenidas del Catálogo Informático del Grupo Schneider

En la figura anterior, la recta situada a la izquierda corresponde a la intensidad máxima de cresta, que se produciría si no existiese la limitación proporcionada por el aparato de protección

Las curvas situadas a la derecha son las curvas de limitación de intensidad.

CURVAS DE LIMITACION EN ENERGIA (Tensión 380/415 V. CA)



ENERGIA MAXIMA ADMITIDA POR LOS CONDUCTORES EN CASO DE CORTOCIRCUITO

Valores en $A^2 \cdot S$

SECCION mm ²	COBRE P.V.C.	COBRE Polie.Retic.	ALUMINIO P.V.C.	ALUMINIO Polie.Retic.
1,5	$2,98 \times 10^4$	$4,10 \times 10^4$	-	-
2,5	$8,27 \times 10^4$	$1,14 \times 10^5$	-	-
4	$2,12 \times 10^5$	$2,92 \times 10^5$	-	-
6	$4,76 \times 10^5$	$6,56 \times 10^5$	-	-
10	$1,32 \times 10^6$	$1,82 \times 10^6$	$5,48 \times 10^5$	$7,57 \times 10^5$
16	$3,39 \times 10^6$	$4,67 \times 10^6$	$1,40 \times 10^6$	$1,94 \times 10^6$
25	$8,27 \times 10^6$	$1,14 \times 10^7$	$3,42 \times 10^6$	$4,73 \times 10^6$
35	$1,62 \times 10^7$	$2,23 \times 10^7$	$6,71 \times 10^6$	$9,27 \times 10^6$
50	$3,31 \times 10^7$	$4,56 \times 10^7$	$1,37 \times 10^7$	$1,89 \times 10^7$
70	$6,48 \times 10^7$	$8,93 \times 10^7$	$2,68 \times 10^7$	$3,71 \times 10^7$
95	$1,19 \times 10^8$	$1,64 \times 10^8$	$4,94 \times 10^7$	$6,83 \times 10^7$
120	$1,90 \times 10^8$	$2,62 \times 10^8$	$7,89 \times 10^7$	$1,08 \times 10^8$
150	$2,98 \times 10^8$	$4,10 \times 10^8$	$1,23 \times 10^8$	$1,70 \times 10^8$
185	$4,53 \times 10^8$	$6,24 \times 10^8$	$1,87 \times 10^8$	$2,59 \times 10^8$
240	$7,62 \times 10^8$	$1,05 \times 10^9$	$3,15 \times 10^8$	$4,36 \times 10^8$

En caso de cortocircuito, la energía admitida por el cable debe ser superior a la que deja pasar el elemento de protección aguas arriba (fusible o interruptor automático) que podemos conocer por medio de tablas o curvas.

2.7.- Protección de motores.

Para la protección de motores contra sobreintensidades se utiliza generalmente uno de los aparatos o combinaciones que se indican:

- Fusibles de tipo gM.
- Guardamotor o interruptor automático con relés térmicos regulables y relés magnéticos.
- Fusibles de acompañamiento tipo aM + relé térmico regulable.
- Interruptor automático con sólo relés magnéticos+ relé térmico regulable. Por razones económicas a veces se sustituye el interruptor con relés magnéticos por un magnetotérmico, lo cual es posible hasta intensidades de 125 A.

Estos aparatos van acompañados de los de maniobra que procedan (contactores o arrancadores estrella-triángulo).

En el caso particular de protección de motores no solamente debe existir la coordinación adecuada entre los elementos de protección del motor y el interruptor automático situado aguas arriba, sino que también debe existir la debida coordinación entre los distintos elementos del conjunto de la protección del motor. La Norma UNE EN 60.947-4 prevé dos tipos de coordinación:

Tipo 1 : No debe presentar ningún riesgo para el operador. No debe dañarse ningún elemento distinto del contactor y los relés. El aislamiento debe conservarse después de cada incidente.

Tipo 2 : No se admite ningún daño ni desajuste. El aislamiento debe mantenerse después de cada incidente. El riesgo de soldadura de los contactos del contactor es admisible, si dichos contactos pueden separarse fácilmente.

Evidentemente la coordinación tipo 1 tiene un costo más reducido, y puede utilizarse cuando no es imperativa la continuidad del servicio. En caso contrario debe utilizarse la tipo 2.

Recordemos que en el caso de utilización de arrancador estrella-triángulo para reducir la magnitud de la corriente de arranque, la intensidad que circula hasta el arrancador es la de línea, mientras que, en la conexión en triángulo la que circula del arrancador al motor por cada uno de los seis conductores de unión, es la de línea dividida por raíz cuadrada de 3.

Por otra parte, en relación con los relés térmicos de protección de motores, las normas definen cuatro tipos: 10-A, 10, 20 y 30. La elección del tipo de relé es función del tiempo de arranque del motor. Las protecciones térmicas de clase

10 son las adecuadas en la mayoría de las ocasiones (duración del arranque inferior a 20 segundos).

Las protecciones térmicas de las clase 20 y 30 son indispensables para los arranques largos. La clase 30 necesita por otro lado un sobrecalentamiento de los aparatos de mando y de la protección contra los cortocircuitos, así como de la línea.

Las condiciones establecidas en la Norma UNE son

CLASE	TIEMPOS DE INTERVENCION			
	No disparo		Disparo	
	1,05 Ir	1,2 Ir	1,5 Ir	7,2 Ir
10-A	2 h	< 2 h	< 2 m	2 a 10 s
10	2 h	< 2 h	< 4 m	4 a 10 s
20	2 h	< 2 h	< 8 m	6 a 20 s
30	2 h	< 2 h	< 12 m	9 a 30 s

Los fabricantes en sus catálogos ofrecen distintas soluciones utilizando sus productos, indicando las características de los elementos a utilizar en cada caso, con distinción según el tipo de coordinación y la clase de protección térmica, en función del tipo de arranque.

En determinados casos se utilizan arrancadores estáticos o variadores de velocidad. Las características y funciones de protección deben consultarse en los catálogos de los fabricantes.

Los arrancadores estáticos funcionan a base de tiristores, y tienen la posibilidad de regular las rampas de arranque y de parada del motor. Los variadores electrónicos de velocidad se suelen utilizar, entre otras aplicaciones, en las fuentes públicas para conseguir los efectos especiales relativos a variaciones de caudales y altura de los chorros de agua.

Los tiristores tienen la particularidad de introducir armónicos en la instalación, produciendo unas distorsiones en las ondas senoidales que son ampliadas por los condensadores, si existen. En estos casos es aconsejable elevar el aislamiento de los condensadores y colocar filtros de armónicos

2.8.- Conclusiones.

Cuando proyectamos una instalación, en función de la situación de los receptores instalados, sus características, sus potencias, y el régimen de funcionamiento, habremos efectuado unos cálculos en virtud de los cuales determinaremos:

- La intensidad de funcionamiento normal en cada punto.
- La intensidad máxima de cortocircuito que puede presentarse en cada punto.

-Las secciones y características de los conductores para que se cumplan las condiciones reglamentarias en lo que a intensidades máximas y caídas de tensión en los conductores se refiere.

Por otra parte, conocemos las intensidades máximas admisibles en servicio normal en los cables previstos, información que obtenemos del Reglamento en función de las condiciones de instalación.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto, a la hora de diseñar las protecciones contra sobreintensidades hemos de tener en cuenta lo siguiente:

-La intensidad nominal de cada aparato (bases portafusibles o intensidades asignadas en los interruptores automáticos), debe ser superior a la intensidad calculada en régimen normal en el punto que corresponda.

--La intensidad nominal o regulada del aparato de protección contra sobrecargas (fusible o relé térmico), debe ser inferior a la máxima admitida por el cable que protege.

- El poder de corte último asignado del aparato debe ser superior a la máxima intensidad de cortocircuito calculada para el punto correspondiente. No obstante, de acuerdo con lo establecido por la Norma UNE 20.460-4-43 puede adoptarse un aparato de poder de corte inferior con la condición de que otro aparato de protección que tenga el poder de corte necesario sea instalado por delante. En tal caso la coordinación o filiación de aparatos debe ser establecida por el fabricante.

- La energía que deja pasar el elemento de protección en el caso de producirse un cortocircuito (que se transforma en calor en el cable), debe ser inferior a la energía admisible para dicho cable, que ha sido calculada y consignada en tabla que se acompaña.

-Ha de procurarse conseguir una selectividad adecuada en las protecciones, en función de las características de la instalación y las exigencias de su explotación, en la medida que ello sea compatible con el costo.

3.- PROTECCION CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS

3.1.- Introducción.

La protección contra contactos indirectos viene contemplada en la Instrucción ITC-BT-24.

En el sistema de distribución en el cual están conectados a tierra tanto el neutro del transformador de distribución como las masas del circuito de utilización (sistema TT), los aparatos de protección generalmente utilizados son los interruptores de corriente diferencial residual, sin perjuicio de que en determinados casos se utilicen otros sistemas, como por ejemplo los transformadores de separación de circuitos.

Es por ello por lo que vamos a exponer fundamentalmente la protección a base de interruptores de corriente diferencial residual

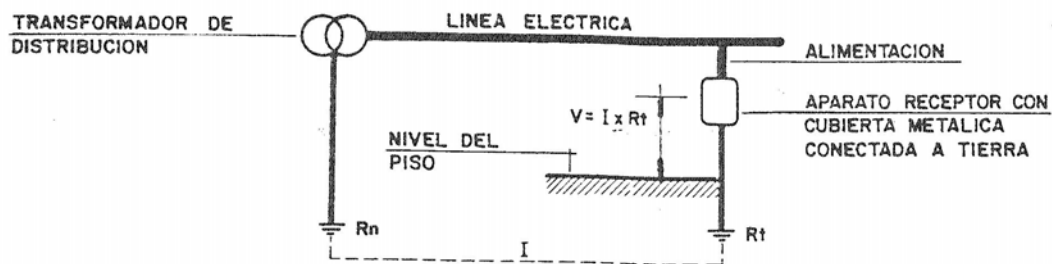
3.2.- Relación entre la sensibilidad de un interruptor diferencial y la resistencia de la puesta a tierra de las masas.

Aparte de su clase, a la que nos referiremos más adelante, las características de los interruptores diferenciales son:

- La intensidad nominal o asignada.
- La intensidad de defecto nominal (sensibilidad).

Supongamos una instalación como la representada en la figura. En una determinada instalación receptora, existe un aparato con carcasa metálica conectada a tierra. El neutro del transformador de distribución está conectado a una toma de tierra diferente.

En el caso de producirse un defecto franco en el aislamiento del receptor, la carcasa metálica se pondrá en tensión, lo que producirá el paso a tierra de una intensidad de defecto, cerrándose el circuito a través de la toma de tierra del neutro del transformador.



Para una distribución trifásica a la tensión de 400 V entre fases y 230 V entre fase y tierra, la intensidad de defecto será

$$I = \frac{230}{R_t + R_n} \quad (\text{Amperios})$$

El potencial adquirido por la masa metálica con respecto al piso del local será

$$V = R_t \times I \quad (\text{Voltios})$$

Lo anteriormente expuesto se producirá en el caso de no existir un elemento de corte de la alimentación, que actúe cuando la intensidad de defecto alcance un determinado valor. Precisamente esta es la misión de los interruptores de corriente diferencial residual.

Los aparatos de este tipo que normalmente se utilizan son:

- De media sensibilidad, con intensidad nominal de defecto de 0,3 A
- De alta sensibilidad, con intensidad nominal de defecto de 0,03 A

En la Instrucción ITC-BT-18 (Instalaciones de puesta a tierra) se especifica que el valor de la resistencia a tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a

- 24 V en local o emplazamiento conductor
- 50 V en los demás casos.

En concordancia con lo anterior, en la ITC-BT-24 se indica que la tensión límite convencional es igual a 50 V, valor eficaz en corriente alterna, en condiciones normales. En ciertas condiciones pueden especificarse valores menos elevados, como por ejemplo 24 V para las instalaciones de alumbrado público.

La condición a cumplir es

$$R \times I_a = U$$

Siendo

- R = Resistencia de puesta a tierra de las masas.
- I_a = Corriente diferencial residual asignada
- U = Tensión de contacto límite convencional.

Así pues, con un interruptor de corriente diferencial residual de 0,3 A y una tensión de contacto límite de 50 V, para que se cumplan las condiciones reglamentarias la resistencia a tierra R debe tener un valor máximo de

$$R = \frac{U}{I_a} = \frac{50}{0,3} = 166 \text{ ohmios}$$

En el caso de instalaciones interiores de viviendas, queda establecido en la ITC-BT-25 que los interruptores diferenciales deben ser de 30 mA de corriente diferencial residual máxima.

En la ecuación anterior en la que se relacionan la corriente diferencial residual con la tensión de contacto límite convencional y con la resistencia de la toma de tierra, debe entenderse que el valor límite deducido para la resistencia R debe ser el máximo que pueda alcanzar dicha resistencia en el caso más desfavorable, teniendo en cuenta que la misma normalmente variará en función de la humedad del terreno, debiendo considerarse por otra parte un posible deterioro a lo largo del tiempo.

3.3.- Condiciones de funcionamiento de los interruptores diferenciales

Los interruptores diferenciales responden a las siguientes Normas UNE

- 61008 y 61009 para los aparatos de uso doméstico
- 60947-2 para los aparatos de uso industrial

Para el funcionamiento las normas establecen lo siguiente:

-Un aparato no debe disparar con intensidades de defecto que sean iguales o inferiores a la mitad de la corriente diferencial residual asignada.

-El aparato debe funcionar siempre cuando la corriente de defecto alcance el valor de la corriente diferencial residual asignada.

Cuando el valor real de la intensidad de defecto está entre el de la corriente diferencial residual asignada y su mitad, no es seguro que se produzca el disparo.

Es frecuente, especialmente en instalaciones industriales establecer dos o más niveles de protección en serie. En tal caso denominaremos por:

I_d (A) la corriente diferencial residual asignada del aparato A

I_d (B) la corriente diferencial residual asignada del aparato B

Para que exista selectividad entre los dos interruptores, es decir, , para que dispare únicamente el que se encuentra colocado inmediatamente antes del defecto, se ha de verificar :

I_d (A) > 2 I_d (B)

T_{nf} (A) > TTC (B)

Siendo

T_{nf} (A) = Tiempo máximo de no funcionamiento de A

TTC (B) = Tiempo total de apertura de (B)

Para que se cumpla lo indicado es necesario establecer diferencias en las sensibilidades de los aparatos, y además frecuentemente dotar al aparato situado aguas arriba de retardo en la desconexión.

En las instalaciones industriales es frecuente utilizar aparatos con sensibilidades y retardos regulables , que permitan establecer los correspondientes ajustes con vistas a la selectividad.

3.4.- Clases de interruptores diferenciales.

Se distinguen las siguientes clases de interruptores:

- Clase AC : Se utiliza para corrientes senoidales.
- Clase A : Se utiliza en el caso de corrientes alternas senoidales, corrientes pulsantes o corrientes pulsantes con una componente continua de 6 mA.
- Clase B : Para las mismas corrientes de la clase A, y además para las procedentes de rectificadores.

3.5.- Tiempos de funcionamiento de los interruptores diferenciales

**NORMA UNE EN 60947-2.- USOS INDUSTRIALES
TIEMPOS MAXIMOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES
DIFERENCIALES EN FUNCION DE LA INTENSIDAD NOMINAL DE
DEFECTO (Ind)**

VALOR DE INTENSIDAD DE DEFECTO IGUAL A					
	Ind	Ind	2 Ind	5 Ind	10 Ind
No temporizado	Todas	0,3 s	0,15 s	0,04 s	0,04 s
Temporizado (1)	>0,03	0,5 s	0,2 s	0,15 s	0,15 s

(1) Valores suponiendo un tiempo mínimo de no respuesta de 0.06 s.

En relación con la tabla anterior, se ha de añadir lo siguiente:

-El tiempo de no respuesta se define a 2 Ind; el valor mínimo admitido es de 0,06 s y el máximo de 1 s (para protección contra contactos indirectos)

-Los valores preferenciales de tiempo de no respuesta son: 0,06, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 1 s

**NORMAS UNE 61008 Y 61009.- USOS DOMESTICOS
TIEMPOS MAXIMOS DE FUNCIONAMIENTO**

VALOR DE INTENSIDAD DE DEFECTO IGUAL A					
	Ind	Ind	2 Ind	5 Ind	500 A
General o inst. (G)	-	0.3 s	0.15 s	0.04 s	0.04 s
Selectivo S (2)	> 0,03 A	0.5 s	0.2 s	0.15 s	0.15 s

(2) Intensidad nominal > 25 A.

TIEMPOS MINIMOS DE NO RESPUESTA

Selectivo S	0.13 s	0.06 s	0.05 s	0.04 s
-------------	--------	--------	--------	--------

3.6.- Instalaciones de puesta a tierra.-

En relación con las instalaciones de puesta a tierra nos parece oportuno hacer las siguientes observaciones.

En la Instrucción ITC-BT-26 se describen las condiciones de las instalaciones de puesta a tierra en edificios de viviendas.

En la Instrucción ITC-BT-18 se describen las condiciones de las instalaciones de puesta a tierra en las instalaciones receptoras. La sección de los conductores

de tierra vienen determinadas en la tabla 1 de dicha Instrucción. En cuanto a los conductores de protección, se establecen las siguientes condiciones.

Sección de los conductores de fase S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección Sp (mm ²)
S < 16	Sp = S
16 < S < 35	Sp = 16
S > 35	Sp = S/2

El Reglamento en la Instrucción ITC-BT-18 establece que la sección de los conductores de protección será la indicada en la tabla anterior, con unos determinados valores mínimos, o bien se obtendrá por cálculo conforme a lo indicado en la Norma UNE 20.460-5-54, cuyo contenido resumimos a continuación.

Se utiliza la ecuación, aplicable a tiempos de desconexión no superiores a 5 s.

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

Siendo

- S = Sección del conductor de protección en mm²
- I = Valor eficaz de la corriente de defecto que puede atravesar el dispositivo de protección para un defecto de impedancia despreciable, en Amperios
- t = Tiempo de funcionamiento del dispositivo de protección, en segundos
- k = Coeficiente cuyos valores quedan reflejados en la Norma.

3.7.- Otros procedimientos para la protección contra contactos indirectos

En todo lo anteriormente expuesto se ha contemplado el procedimiento contenido en la ITC-BT-24, consistente en el corte automático de la alimentación en el caso de producirse un defecto. Como ya se indicó con anterioridad, hemos tratado del procedimiento de protección a base de dispositivos de protección de corriente residual, por ser los utilizados en el sistema TT de distribución.

No obstante, la ITC-BT-24 expone otros procedimientos para la protección contra contactos indirectos, que exponemos a continuación:

- a) Protección por empleo de equipos de la clase II o por aislamiento equivalente.
- b) Protección en los locales o emplazamientos no conductores

Se consideran locales o emplazamientos no conductores aquellos en los que las paredes presentan resistencias no inferiores a

- 50 k Ω para tensión nominal igual o inferior a 500 V.
- 100 k Ω para tensión nominal superior a 500 V.

Las masas deben estar dispuestas de manera que, en condiciones normales, las personas no hagan contacto simultáneo ; bien con dos masas, bien con una masa y cualquier elemento conductor, si estos elementos pueden encontrarse a tensiones diferentes en caso de un fallo del aislamiento principal de las partes activas.

En estos locales no debe estar previsto ningún conductor de protección.

En el apartado 4.3 de la ITC-BT-24 se incluyen aclaraciones y dibujos para que se consideren cumplidas las condiciones expuestas.

c) Protección mediante conexiones equipotenciales locales no conectadas a tierra.

Las conexiones de equipotencialidad deben conectar todas las masas y todos los elementos conductores que sean simultáneamente accesibles. La conexión equipotencial local así realizada no debe estar conectada a tierra, ni directamente ni a través de masas o de elementos conductores.

d) Protección por separación eléctrica

Alimentación a través de un transformador de aislamiento, o una fuente con grado de seguridad equivalente.

Las condiciones a cumplir vienen reseñadas en el apartado 4.5. de la ITC-BT-24.

Protección por dispositivos de tensión de defecto.

El Reglamento no excluye la utilización de dispositivos de protección de tensión de defecto para aplicaciones especiales cuando no puedan utilizarse los interruptores diferenciales .

Nos parece sin embargo que hay casos en los que pueden ser de utilidad estos dispositivos de corte por tensión de defecto.

Esta protección consiste en disponer un relé conectado por una parte a la masa a proteger, y por otra a un electrodo de tierra suficientemente alejado para que no pueda adquirir potenciales por el paso de intensidades de defecto en la instalación. El aparato está pues, midiendo el potencial adquirido por la masa con respecto a tierra.

Cuando la tensión así medida alcanza un determinado valor, manda una orden de desconexión a la bobina del interruptor general colocado a la entrada de la alimentación. La tensión de desconexión es regulable.

4.- PROTECCION CONTRA CONTACTOS DIRECTOS

La Instrucción ITC-BT-24 en su apartado 3 establece los distintos medios de protección contra contactos directos, que son

- Protección por aislamiento de las partes activas.
- Protección por medio de barreras o envolventes.
- Protección por medio de obstáculos.
- Protección por puesta fuera del alcance por alejamiento.
- Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual.

En la Instrucción ITC-BT-24, y en relación con el sistema consignado en penúltimo lugar, se define el volumen de accesibilidad, que en líneas generales se delimita a 1,25 m en horizontal, y 2,5 m en altura. Se incluyen dibujos.

5.- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

El Reglamento en su Instrucción ITC-BT-23 contempla la protección contra sobretensiones en las instalaciones de baja tensión.

El nivel de sobretensión que puede aparecer en una red es función fundamentalmente de

- Nivel isoceraúnico estimado.
- Tipo de acometida (aérea o subterránea).
- Proximidad del transformador MT/BT.

La incidencia que la sobretensión puede tener en la seguridad de las personas, instalaciones y equipos, así como su repercusión en la continuidad del servicio es función de:

- La coordinación del aislamiento de los equipos.
- Las características de los dispositivos de protección contra sobretensiones, su instalación y su ubicación.
- La existencia de una adecuada red de tierras.

A los efectos de las sobretensiones, el Reglamento distingue 4 categorías, en relación con las tensiones soportadas a la onda de choque que deben tener los diversos equipos.

Categoría I

-Se aplica a los equipos muy sensibles a las sobretensiones, y que estén destinados a ser conectados a la instalación eléctrica fija. En este caso las medidas de protección se toman fuera de los equipos a proteger, ya sea en la instalación fija o entre la instalación fija y los equipos, con objeto de limitar las

sobretensiones a un nivel específico. Ejemplo: ordenadores, equipos electrónicos muy sensibles, etc.

Categoría II.-

Se aplica a los equipos destinados a conectarse a una instalación fija. Ejemplo: electrodomésticos, herramientas portátiles y otros equipos similares

Categoría III.-

Se aplica a los equipos y materiales que forman parte de la instalación eléctrica fija y a otros equipos para los cuales se requiere un alto nivel de fiabilidad. Ejemplo: armarios de distribución, aparataje (interruptores, seccionadores, tomas de corriente.....), canalizaciones y sus accesorios (cables, cajas de derivación.....), motores con conexión eléctrica fija (ascensores, máquinas industriales.....), etc.

Categoría IV.-

Se aplica a los equipos y materiales que se conectan en el origen o muy próximos al origen de la instalación, aguas arriba del cuadro de distribución. Ejemplo: contadores de energía, aparatos de telemedida, equipos principales de protección contra sobreintensidades, etc

Se distinguen dos tipos de sobretensiones:

- Las producidas como consecuencia de la descarga directa del rayo. La Instrucción no trata este caso.

- Las debidas a la influencia de las descargas lejanas del rayo, conmutaciones de la red, defectos de la red, efectos inductivos, capacitivos, etc.

Se presentan dos situaciones diferentes:

- Situación natural: Cuando no es precisa la protección contra sobretensiones transitorias.

- Situación controlada: Cuando es precisa la protección contra sobretensiones transitorias

Situación natural.-

Cuando se prevé un bajo riesgo de sobretensiones en una instalación (debido a que está alimentada por una línea subterránea en su totalidad), se considera suficiente la resistencia a las sobretensiones de los equipos que se indica en la tabla 1, y no se requiere ninguna protección suplementaria.

Una línea constituida por conductores aislados con pantalla metálica unida a tierra en sus dos extremos, se considera equivalente a una línea subterránea.

Situación controlada.-

Cuando una instalación se alimenta por, o incluye una línea aérea con conductores desnudos o aislados, se considera necesaria una protección contra las sobretensiones de origen atmosférico en el origen de la instalación.

El nivel de sobretensión puede controlarse mediante dispositivos colocados en las líneas aéreas (siempre que estén suficientemente próximos al origen de la instalación), o en la instalación eléctrica del edificio.

También se considera situación controlada aquella situación natural en la que es conveniente incluir dispositivos de protección para una mayor seguridad (por ejemplo, continuidad del servicio, valor económico de los equipos, pérdidas irreparables, etc).

TABLA 1

Tensión nominal de la instalación V		Tensión soportada a impulsos 1,2/50 kV			
Sistemas trifásicos	Sistemas monofásicos	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
230/400	220	6	4	2,5	1,5
400/690	----	8	6	4	2,5
1.000	----				

Los dispositivos de protección contra sobretensiones de origen atmosférico deben seleccionarse de forma que su nivel de protección sea inferior a la tensión soportada a impulsos de la categoría de los equipos y materiales que se prevé se vayan a utilizar.

En las redes TT o IT los descargadores se conectarán en cada uno de los conductores, incluyendo el neutro o compensador y la tierra de la instalación.

En redes T-NS los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores de fase y el conductor de protección. En las redes TN-C los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores de fase y el neutro. No obstante, se permiten otras formas de conexión, siempre que se demuestre su eficacia.

Los equipos y materiales deben escogerse de manera que su tensión soportada a impulsos no sea inferior a la tensión soportada prescrita en la tabla 1, según su categoría.

Los equipos y materiales que tengan una tensión soportada a impulsos inferior a la indicada en la tabla 1, pueden utilizarse no obstante:

- En situación natural, cuando el riesgo sea aceptable.
 - En situación controlada si la protección contra sobretensiones es la adecuada.
- Algunos fabricantes ofrecen métodos para la elección de los limitadores de tensión de su fabricación.

6.- GRADOS DE PROTECCIÓN DE LAS ENVOLVENTES.

CLASIFICACIÓN DE LOS GRADOS DE PROTECCIÓN

GRADOS IP		GRADOS IK
Grados de protección proporcionados por las envolventes Definidos en la UNE 20324-93 (Versión española EN 60529:91)		Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra impactos mecánicos externos. Definidos en la UNE-EN 50102 (Versión española EN 50102)
PRIMERA CIFRA Protección contra cuerpos sólidos	SEGUNDA CIFRA Protección contra cuerpos líquidos	
0 Sin protección	0 Sin protección.	0 Sin protección.
1 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm. (ej.: contactos involuntarios de la mano)	1 Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación).	01 Energía de choque: 0,150 julios.
2 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm. (ej.: dedos de la mano)	2 Protegido contra las caídas verticales de de agua hasta 15° de la vertical.	02 Energía de choque: 0,200 julios.
3 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm. (ej.: herramientas, cables, ...)	3 Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° de la vertical.	03 Energía de choque: 0,350 julios.
4 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm. (ej.: herramientas finas, pequeños cables, ...)	4 Protegido contra las proyecciones de agua en todas direcciones.	04 Energía de choque: 0,500 julios.
5 Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales)	5 Protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones.	05 Energía de choque: 0,700 julios.
6 Totalmente protegido contra el polvo	6 Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes de mar.	06 Energía de choque: 1,00 julios.
	7 Protegido contra la inmersión.	07 Energía de choque: 2,00 julios.
	8 Protegido contra los efectos de la inmersión bajo la presión.	08 Energía de choque: 5,00 julios.
		09 Energía de choque: 10,00 julios.
		10 Energía de choque: 20,00 julios.

GRADOS DE PROTECCIÓN CONTRA PENETRACIÓN DE LIQUIDOS EN LOCALES QUE CONTIENEN UNA BAÑERA O DUCHA

Volumen 0	7	
Volumen 1	4	Con carácter general
Volumen 1	2	Por encima del nivel más alto de un difusor fijo.
Volumen 1	5	En equipo eléctrico de bañeras de hidromasaje y en los baños comunes en los que se puedan producir chorros de agua durante la limpieza de los mismos.
Volumen 2	4	Con carácter general
Volumen 2	2	Por encima del nivel más alto de un difusor fijo.
Volumen 2	5	En los baños comunes en los que se puedan producir chorros de agua durante la limpieza de los mismos.
Volumen 3	5	En los baños comunes, en los que se puedan producir chorros de agua durante la limpieza de los mismos.
Volumen 3	1	Grado de protección mínimo del equipo eléctrico según UNE 20460-7-701

Espacio bajo bañeras o duchas que sea accesible sólo mediante el uso de una herramienta:
Grado de protección 4.

Bloques de alimentación de afeitadoras que cumplan con las Normas UNE correspondientes, instalados en el volumen 2:
Grado de protección: 1

Las cajas de conexión deberán instalarse fuera de los volúmenes 0, 1 y 2, de acuerdo con la Norma UNE 20460-7-701.

Condiciones especiales para bañeras de hidromasaje , cabinas de duchas con circuitos eléctricos y aparatos análogos:

Debe garantizarse que una vez instalado el cable o tubo en la caja de conexiones de la bañera o cabina, el grado de protección mínimo que se obtiene sea el 5.

La conexión de las bañeras de hidromasaje y cabinas se efectuará mediante cable bajo tubo aislante con conductores de tensión asignada 450/750 V. El cable H05VV-F que se cita en el Reglamento para estas instalaciones, responde a la Norma UNE 21.031-5. La Guía Técnica indica también como posible conductor a utilizar en estos casos el cable H07V-U según Norma UNE 21-031-3

Las designaciones (-U), (-R) y (-K) se refieren según Norma UNE 21022 a lo siguiente:

- (-U) Conductor rígido de un solo alambre.
- (-R) Conductor rígido de varios alambres cableados.
- (-K) Conductor flexible de varios alambre finos, no apto para usos móviles.
- (-F) Conductor flexible de varios alambre finos. Apto para usos móviles.

Todas las cajas de conexión localizadas en paredes o suelo del local bajo la bañera o plato de ducha , o en las paredes o techos del local, situadas detrás de paredes o techos de una cabina por donde discurren tubos o depósitos de agua, vapor u otros líquidos, deben garantizar, junto con su unión a los cables o tubos de la instalación eléctrica, un grado de protección mínimo IPX5. Para su apertura será necesario el uso de una herramienta.

No se admiten empalmes en los cables y canalizaciones que discurren por los volúmenes determinados por dichas superficies salvo si éstos se realizan con cajas que cumplan el requisito anterior.