

► Verificaciones para realizar en conductores y protecciones al momento de proyectar una instalación eléctrica

Una vez que en nuestro proyecto de instalación eléctrica tengamos estudiadas las influencias externas, seleccionadas las canalizaciones y los tipos de cables y/o conductores, preseleccionadas las secciones de los cables y/o conductores y los calibres de sus protecciones por medio de la verificación de la primera condición de protección contra las corrientes de sobrecarga dada por:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

(en la ecuación, " I_b " es la corriente de proyecto, intensidad proyectada de la corriente de carga o corriente de empleo para la cual el circuito fue diseñado; " I_n ", la corriente asignada o nominal del dispositivo de protección, e " I_z ", la intensidad de corriente admisible en régimen permanente por los cables o conductores a proteger) ,este valor de corriente deberá estar afectado por los factores de corrección correspondientes a la forma de instalación (agrupamiento, temperatura ambiente distinta a la de referencia, etc.), entonces llegó el momento de efectuar las siguientes verificaciones a los cables y/o conductores y sus protecciones:

- » Verificación de la segunda condición de protección contra corrientes de sobrecarga.
- » Verificación al cortocircuito por medio de la regla del poder de corte.
- » Verificación al cortocircuito por medio de la regla del tiempo de corte.

- » Verificación de la actuación de la protección por corriente de cortocircuito mínima.
- » Verificación de la caída de tensión.
- » Verificación de la segunda condición de protección contra corrientes de sobrecarga.

Está dada por la siguiente expresión:

$$(1) I_2 \leq 1,45 I_z$$

En esta ecuación, " I_2 " es la corriente que asegura el funcionamiento del dispositivo de protección en el tiempo convencional en las condiciones definidas; la corriente I_2 está definida en la norma de producto o puede ser obtenida del fabricante. " I_z " es la corriente admisible en régimen permanente por los cables o conductores a proteger.

Para el caso de los interruptores termomagnéticos que cumplen con la norma IEC 60898, esta verificación ya se encuentra satisfecha con el cumplimiento de la primera condición de protección contra sobrecargas, ya que la I_2 que en este caso representa la corriente de operación o disparo seguro, se calcula:

(2) $I_2 = 1,45 I_n$, para $I_n \leq 63$ A (tiempo convencional, una hora).

(3) $I_2 = 1,45 I_n$, para $I_n > 63$ A (tiempo convencional, dos horas)

Reemplazando (2) o (3) en (1), nos queda:

$$1,45 I_n \leq 1,45 I_z$$

$$I_n \leq I_z$$

Por lo que se demuestra que "siempre" que se haya cumplido con la primera condición de protección contra corrientes de sobrecargas, en los interruptores termomagnéticos según norma IEC 60898 se verificará automáticamente la segunda condición.

Para otro tipo de protecciones como, por ejemplo, los fusibles gG, según norma IEC 60269, la segunda condición de protección contra corrientes de sobrecarga (larga duración), no se cumple automáticamente cumpliendo la primera, ya que la I_z es la corriente de fusión de los mencionados fusibles y se calcula como se describe a continuación.

Para corrientes nominales mayores a 16 A y menores o iguales a 63 A:

(4) $16 A < I_n \leq 63 A$, en tiempo convencional de una hora el valor de $I_z = 1,6 I_n$

Para corrientes nominales mayores a 63 A y menores o iguales a 160 A:

(5) $63 A < I_n \leq 160 A$, en tiempo convencional de dos horas el valor de $I_z = 1,6 I_n$.

Reemplazando (4) o (5) en (1), nos queda:

$$1,6 I_n \leq 1,45 I_z$$

Por lo tanto, vemos que no existe, como en el caso de los interruptores termomagnéticos según norma IEC 60898, un cumplimiento "automático" y hace que sea indispensable realizar la verificación de la segunda condi-

ción de protección contra corrientes de sobrecarga, ya que puede darse el caso de verificar la primera condición pero no la segunda, lo que llevará a tener que recalcularse I_n y/o I_z (por ejemplo, aumentando la sección del conductor), y realizar nuevamente las verificaciones de ambas condiciones de protección contra sobrecargas, hasta que queden satisfechas.

Aclaración: se recuerda que conforme a la Reglamentación AEA 90364, en las viviendas, oficinas y locales no se permite el empleo de fusibles, y solamente pueden utilizarse en locales de otras características con presencia permanente de personal calificado como BA4 o BA5.

Verificaciones contra corrientes de cortocircuito

Para realizar la verificación de los conductores y dispositivos de maniobra y protección al cortocircuito, es imprescindible contar con el dato de la corriente máxima de cortocircuito presunta en los bornes de entrada del interruptor principal del inmueble.

Este dato puede aportarlo la empresa distribuidora de energía correspondiente, o puede calcularse en función de las características del transformador de distribución y de los conductores de la red de alimentación intercalados entre el transformador y el suministro, tal como lo indica el punto 771-H.2 (anexo H) denominado "Consideraciones acerca de las corrientes de cortocircuito" de la sección 771 de la Reglamentación AEA 90364.

Verificación de la regla del poder de corte

La regla del poder de corte está dada por la siguiente expresión:

$$P_{dccc} \geq I^2 k$$

En la fórmula, " P_{dccc} " es la capacidad de ruptura del dispositivo de protección; " $I^2 k$ " es la intensidad máxima de corriente de cortocircuito presunta en el punto donde se encuentra instalado el dispositivo.

El cumplimiento de la regla del poder de corte garantiza que el dispositivo de protección podrá abrir sin problemas sus contactos cuando tenga que interrumpir el máximo valor de corriente de cortocircuito presunta que se puede presentar en el punto de la instalación donde se encuentra instalado.

Ejemplo: supongamos que el valor de la corriente de cortocircuito presunta en bornes de entrada del interruptor principal es de 3200 A, y que tenemos además que los valores normalizados de capacidad de ruptura para interruptores termomagnéticos que cumplen la norma IEC 60898 son de 1500 (prácticamente en la actualidad no se comercializan), 3000, 4500, 6000 y 10.000 A. Para este ejemplo, a fin de verificar la condición de la regla de poder de corte, podemos seleccionar un interruptor termomagnético según norma IEC 60898 de 4500 A de poder de ruptura, que corresponde al valor superior más próximo a los 3200 A de I''_k que teníamos como dato.

Verificación de la regla del tiempo de corte

Cuando se produce un cortocircuito, la corriente que circula por los conductores hace que aumente la temperatura de estos, de manera que las protecciones asociadas deberán estar dimensionadas para que puedan despejar la falla en un tiempo tal que evite que se exceda la temperatura máxima admisible de los conductores.

La regla a cumplir es:

$$\sqrt{t} \geq k \cdot (S/I)$$

En la expresión, "t" es el tiempo de desconexión en segundos (válido entre 0,1 y 5 s); "S", la sección del conductor en milímetros cuadrados; "I", la corriente de cortocircuito en amperes, expresada en valor eficaz; "k", el factor que toma en cuenta la resistividad, el coeficiente de temperatura y la capacidad térmica volumétrica del conductor, y las temperaturas inicial y final. El factor k para

conductores de línea, de cobre, de secciones de hasta 300 milímetros cuadrados y aislado en PVC es de 115 (ver tabla 771.19.II del Reglamento AEA 90364).

Para el caso de los interruptores termomagnéticos según norma IEC 60898, se puede observar de las curvas características que el valor del tiempo t de desconexión para cortocircuitos es de 0,1 segundos.

En caso de no verificarse la condición de la regla del tiempo de corte, existen dos alternativas de solución: la primera consiste en aumentar la sección del conductor por una que sí verifique la condición de la regla del tiempo de corte; la segunda consiste en seleccionar interruptores termomagnéticos según norma IEC 60898 limitadores. Estos dispositivos limitan la energía específica pasante ($I^2 \cdot t$), actuando más rápidamente que los dispositivos no limitadores. En consecuencia cuando se empleen estos interruptores, la duración del cortocircuito se considerará menor a 0,1 segundos.

Existen interruptores termomagnéticos de características limitadoras clase 2 y clase 3, donde los de clase 3 son más limitadores que los de clase 2. La identificación de la clase de limitación se realiza por medio de un número indicativo (el 2 o el 3 según corresponda) encerrado en un cuadrado.

Para el caso de interruptores termomagnéticos limitadores según IEC 60898, dicho cuadrado se encuentra debajo de la indicación de la capacidad de ruptura o poder de corte del dispositivo (dada en amperes), por ejemplo:



Capacidad de ruptura del dispositivo de protección P_{dCcc}

Clase de limitación

Aquellos interruptores termomagnéticos según norma IEC 60898 que no indiquen en su marcado un número 2 o un 3 encerrado en un cuadrado, tal como se lo indicó anteriormente, son interruptores denominados de clase 1, los cuales no son limitadores de energía específica pasante.

De optar por el empleo de interruptores termomagnéticos según norma IEC 60898 limitadores (cortocircuito de duración menor a 0,1 segundos), se deberá verificar la siguiente condición:

$$k^2 \cdot S^2 \geq I^2 \cdot t$$

El primer término " $k^2 \cdot S^2$ " indica la energía máxima que el conductor o cable soporta sin dañarse al paso de una corriente de cortocircuito, y se calcula con el cuadrado de la constante k (valor conocido por las características del cable o conductor), multiplicado por el cuadrado de la sección predeterminada del cable o conductor (S), que queremos verificar.

El segundo término " $I^2 \cdot t$ " indica la máxima energía que permite pasar el dispositivo de protección antes de interrumpir la alimentación. Dicho valor depende del dispositivo de protección que se utiliza.

La metodología a seguir para esta verificación será la siguiente: en primer lugar determinaremos el valor del primer término de la desigualdad ($k^2 \cdot S^2$). Luego ingresamos a las tablas que figuran en el punto 771-H.2.4 "Tablas de orientación para conocer la máxima energía específica pasante $I^2 \cdot t$ en los interruptores automáticos fabricados según las normas IEC 60898" de la sección 771 de la Reglamentación AEA 90364, a fin de seleccionar en función del poder de corte del interruptor, su corriente nominal y su tipo de curva, alguna de las alternativas que satisfaga la condición a cumplir.

Veamos un ejemplo en el que repasaremos todo lo anteriormente mencionado.

Supongamos un valor de corriente máxima de cortocircuito presunta de 3200 A, una línea seccional de conductores según norma IRAM NM 247-3 de sección preseleccionada de 4 mm², la que se desea proteger a la sobrecarga por un interruptor termomagnético según norma IEC 60898 de 25 A de corriente nominal, curva "C", clase 1 (es decir sin limitación de energía específica pasante, y por lo tanto puede estimarse en 0,1 segundos la duración del cortocircuito).

De acuerdo a lo visto, para cumplir con la condición de la regla del poder corte, la capacidad de ruptura (P_{dccc}) del interruptor será como mínimo de 4500 A (valor que adoptaremos para el desarrollo del ejemplo). A fin de verificar la regla del tiempo de corte, utilizamos la siguiente expresión:

$$\sqrt{t} \geq k \cdot (S/I)$$

$$\text{Despejamos la sección "S", quedando: } S \geq I/k \cdot \sqrt{t}$$

Nota: se recuerda que k es un factor que toma en cuenta la resistividad, el coeficiente de temperatura y la capacidad térmica volumétrica del conductor, y las temperaturas inicial y finales. El factor K para conductores de línea de cobre, de secciones de hasta 300 mm² y aislado en PVC es de 115 (ver tabla 771.19.II del Reglamento AEA 90364).

Por lo tanto, reemplazando los valores del ejemplo en la expresión anterior, obtendremos el mínimo valor de sección de conductor que soportará la corriente de cortocircuito presunta sin dañarse.

$$S \geq 3200 \text{ A} / 115 \cdot \sqrt{0,1 \text{ s}}$$

$$S \geq 8,9 \text{ mm}^2$$

Del resultado obtenido vemos que la sección prede-

terminada de 4 mm² no verifica la regla del tiempo de corte, es decir que la sección predeterminada no es apta para soportar durante un tiempo de 0,1 segundos una corriente de cortocircuito máxima presunta de 3200 A.

Por lo tanto, para lograr el cumplimiento de la regla del tiempo de corte tendremos dos opciones:

- » Aumentar la sección de conductor a un valor igual o mayor a los 8,9 mm² obtenidos, por lo que 10 mm² sería la mínima sección comercial de conductores normalizados que satisface la condición de la regla del tiempo de corte del ejemplo.
- » Optar por el empleo de un interruptor termomagnético según norma IEC 60898 con limitación de energía específica pasante I² · t.

Para continuar con el desarrollo del presente ejemplo, optaremos por la alternativa b), por lo que deberemos emplear la siguiente expresión:

$$k^2 \cdot S^2 \geq I^2 \cdot t$$

Calculando el primer término con los datos del ejemplo tenemos (K: 115 y S: 4 mm²), da como resultado:

$$k^2 \cdot S^2 = 211.600 \text{ (A}^2 \cdot \text{s)}$$

Luego, con este valor ingresamos a las tablas del punto 771-H 2.4 de la sección 771 de la Reglamentación AEA 90364, a fin de obtener la clase de limitación de energía que corresponda al interruptor, en función de su poder de corte (o capacidad de ruptura), su valor de corriente nominal y su tipo de curva.

En nuestro caso, utilizaremos la tabla 771.H.X, que es para interruptores automáticos según norma IEC 60898 de corrientes nominales mayores a 16 A y hasta 32 A (rango donde se ubica el valor de 25 A de nuestro ejemplo), en la que observamos que para 4500 A de poder de

corte y curva "C", podemos utilizar tanto un interruptor termomagnético limitador clase 2 o clase 3, ya que en ambos casos el valor indicado en la tabla de I² · t es menor a los 211.600 (A² · s) calculados anteriormente.

Tabla 771-H.X para pequeños interruptores automáticos de 16 A < I_n ≤ 32 A.

Poder de corte asignado	Clases de limitaciones de energía				
	1		2		3
	I ² · t máx. (A ² s)		I ² · t máx. (A ² s)		I ² · t máx. (A ² s)
	Tipos B y C	Tipo B	Tipo C	Tipo B	Tipo C
3000	Sin límite especificado	40.000	50.000	18.000	22.000
4500		80.000	100.000	32.000	39.000
6000		130.000	160.000	45.000	55.000
10.000		310.000	370.000	90.000	110.000

Verificación de la actuación de la protección por corriente de cortocircuito mínima

En ocasiones puede ocurrir que la corriente de un cortocircuito que se produce en un punto de la instalación esté por debajo del valor de la corriente de la protección magnética instantánea de los interruptores termomagnéticos, de manera que los dispositivos ven dicho "cortocircuito" (corta duración) como si fuera una sobrecarga (larga duración), lo que resulta inapropiado, ya que pueden generarse deterioros en las aislaciones de los conductores debido a calentamientos puntuales, chispas que pueden ser causales de incendios, etc., por lo tanto es necesario verificar la longitud máxima de los conductores para garantizar la correcta actuación de la protección.

De manera que para conocer la longitud máxima de los conductores que garanticen la correcta actuación de las protecciones, podemos recurrir a las tablas 771-H-VII para líneas seccionales y 771-H-VIII para circuitos terminales, de la sección 771 de la Reglamentación AEA 90364.

Ejemplo: si tenemos un circuito terminal de tomaco-

**Corriente de cortocircuito en tablero seccional (A) 1500 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10.000**

Sección de cobre (mm ²)	Intensidad asignada del fusible o interruptor automático				Longitud máxima de los conductores para la actuación de la protección (m)									
	IRAM 2245 o IEC 60269	IRAM 2169	IEC 60898	Tipo curva										
1,5	10				69	72	73	73	74	74	74	74	74	
		10	10	B	160	163	163	164	164	164	164	164	165	
				C	77	80	81	81	81	81	81	82	82	82
				D	36	38	39	40	40	40	40	40	40	40
2,5	16				96	101	102	103	104	104	104	104	105	
		16	16	B	163	167	169	169	170	170	170	171	171	
				c	77	81	83	83	84	84	84	84	85	85
				D	33	38	39	40	41	41	41	41	41	42

rrientes de uso general (TUG), alimentado con conductores según norma IRAM NM 247-3 de 2,5 mm² de sección, en cañería, protegido con un interruptor termomagnético según norma IEC 60898 de 16 A curva "C" y el valor de corriente de cortocircuito máxima presunta en el tablero seccional del que dicho circuito deriva es de 1500 A, el dato que podemos obtener de la tabla es la longitud máxima de los conductores para la correcta actuación de la protección, que en el ejemplo ilustrado será de 77 metros.

Es decir que si utilizamos una longitud de conductores mayor a la máxima obtenida de la tabla, puede ocurrir que el dispositivo "vea" el cortocircuito como una sobrecarga, no actuando en forma instantánea (protección magnética), pudiendo esto ser causa de incendio.

Verificación de la caída de tensión

El cumplimiento de la verificación por caída de tensión en los conductores de la instalación tiene el objeto de garantizar un nivel de tensión aceptable en condiciones de servicio en toda la instalación, de manera de evitar daños en el equipamiento eléctrico conectado a ella o una calidad de servicio deficiente.

Los niveles máximos de caída de tensión admisibles son:

- » Para circuitos terminales, de uso general o especial y específico, 3%.
- » Para circuitos de uso específico que alimentan solo

motores, 5% en régimen y 15% durante el arranque.

En el punto 771.19.7 de la sección 771 de la Reglamentación AEA 90364, se dan métodos de cálculo para obtener la caída de tensión en cables y conductores.

Para el cálculo de la caída de tensión, los circuitos de iluminación y tomacorrientes se considerarán cargados con su demanda de potencia máxima simultánea (DPMS) en el extremo más alejado del tablero seccional, y para el cálculo de la caída de tensión en los conductores de la línea seccional, se considerarán cargados con su DPMS.

Aclaración: se debe tener en cuenta que la caída de tensión total de un circuito terminal comprende la caída propia del circuito terminal y la caída de la línea seccional que alimenta el tablero del que deriva dicho circuito terminal.

En caso de superar los valores máximos establecidos, deberá aumentarse la sección de los conductores y realizar nuevamente la verificación. ■

Por Gustavo Capo y Daniel Leuzzi

Asociación para la Promoción de la Seguridad Eléctrica (APSE)

www.apse.org.ar