

IV. FABRICACIÓN DE CUADROS ELÉCTRICOS

1 FUNCIONES Y COMPONENTES DE LOS CUADROS ELÉCTRICOS

Los cuadros o armarios eléctricos contienen:

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

1.1 **Aparata de protección**

1.1.1 Contra sobreintensidades

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

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



Fig. 107 Interruptor automático magnetotérmico modular de 4 polos para carril DIN.

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

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

La representación normalizada (Fig. 109) lleva una indicación del disparo térmico (onda cuadrada) y magnético (onda semicircular).

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

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

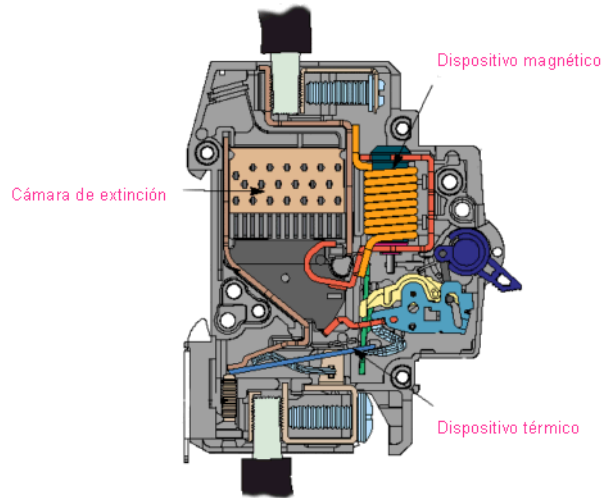


Fig. 108 Interior de un interruptor automático magnetotérmico. [<http://www.tuveras.com/aparamenta/magnetotermico.htm>]

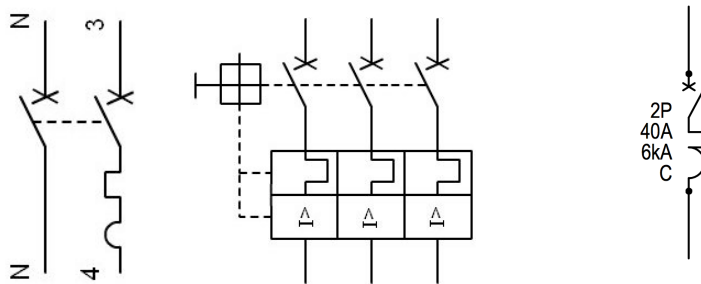


Fig. 109 Diversas representaciones de un interruptor magnetotérmico.

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

- Curva C: curva de referencia para la protección general de todo tipo de receptores en instalaciones domésticas, terciarias e industriales.
- Curva D: suele utilizarse para protección de motores por implicar tiempos de respuesta más largos a pequeñas intensidades (como las del arranque).
- Curva B: para la protección de equipos delicados.

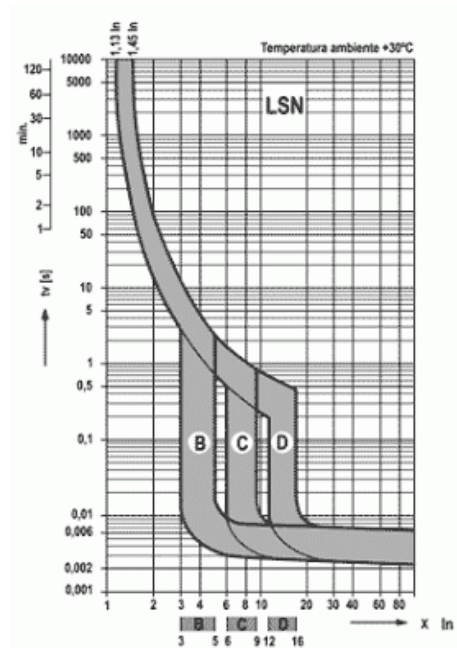


Fig. 110 Curvas normalizadas de disparo de los interruptores magnetotérmicos automáticos.

La identificación de los magnetotérmicos requiere indicar:

- Número de polos: para expresar cuántos hilos son supervisados por el interruptor. Las posibilidades van de uno a cuatro, con las siguientes variantes: I+N, II, III, III+N, IV.
- Intensidad nominal: aunque hay muchos calibres disponibles, sólo aquellos con elevado grado de utilización (demanda) tienen un precio realmente interesante.
 Calibres disponibles: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 A.
 En gama industrial: 80, 100, 125, 160, 250, 400, 630, 800 A.
 Para altas potencias: 1000, 1250, 1600, 2500 A.
- Curva de disparo: normalmente la C, y a veces la curva D.
- Intensidad de corte: los niveles normalizados son 4.5, 6, 10, 15, 30 kA.
 En altas potencias hay valores de 36, 50, 70, 150 kA.

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

Tabla 1.

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

1.1.2 Contra defectos a tierra

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

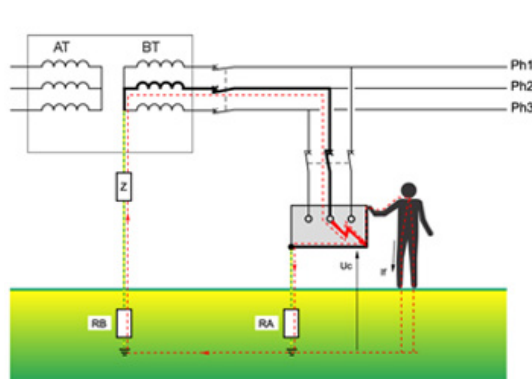


Fig. 111 Régimen IT

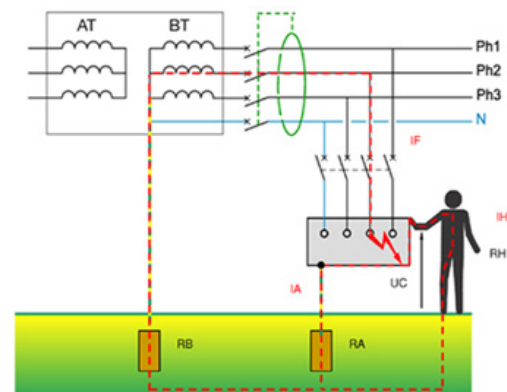


Fig. 112 Régimen TT

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

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

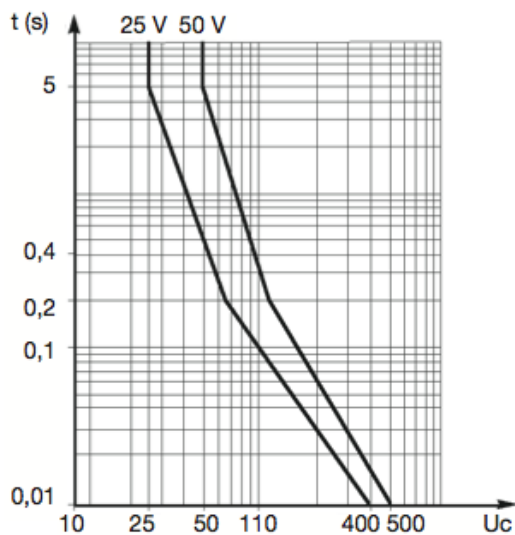


Fig. 114 Umbrales de tensión admisibles por el cuerpo humano, en V, según el REBT.

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

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

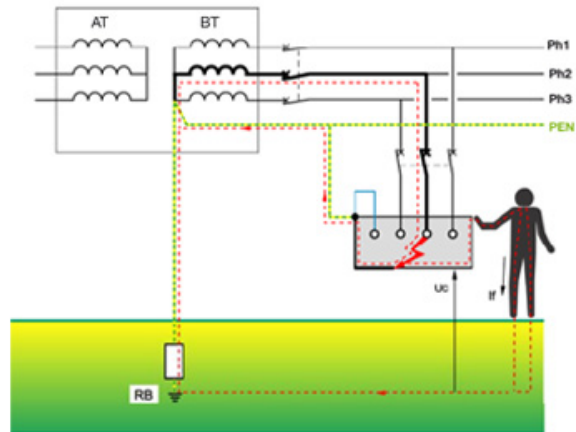


Fig. 113 Régimen TN-C

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

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

$$25(V) \ll R_t(\Omega) I_d(A)$$



Fig. 115 Interruptores automáticos diferenciales modulares.

Además hay *bloques diferenciales* (Fig. 116), que son un complemento a añadir a un interruptor magnetotérmico normal para añadirle la función de relé diferencial.

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

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



Fig. 116 Bloque diferencial acoplado a un interruptor automático magnetotérmico.

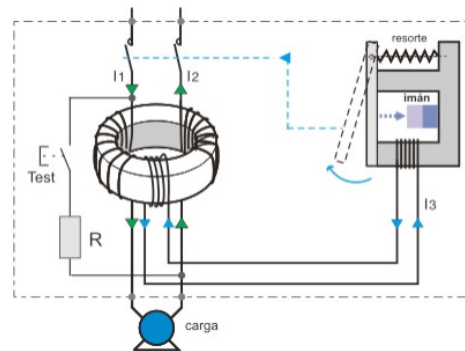


Fig. 117 Idea de funcionamiento de un interruptor diferencial.

La representación normalizada en el esquema unifilar (Fig. 118) indica que el relé dispone del toroidal sensible a la suma de intensidades. Al no llevar un aspa, se dice que no puede interrumpir intensidades de cortocircuito ni sobrecarga.

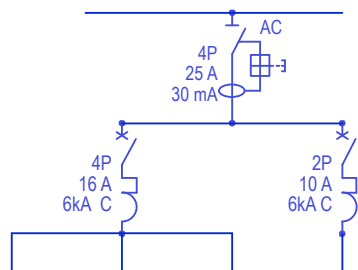


Fig. 118 Cascada de interruptor diferencial con dos interruptores automáticos *aguas abajo*.

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

En la ilustración de la izquierda (Fig. 118) aparece una combinación de interruptor automático diferencial con dos interruptores automáticos magnetotérmicos *aguas abajo* de él, es decir, conectados después en el sentido del flujo de la energía eléctrica.

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



Fig. 119 Interruptor magnetotérmico con bloque diferencial ajustable.

La mayoría de los dispositivos electrónicos producen pequeñas derivaciones a tierra de elevada componente continua o, al contrario, de muy alta frecuencia. En esos casos suelen ocurrir dos fenómenos:

- Los diferenciales habituales dejan de ser sensibles a corrientes de defecto a la frecuencia industrial, y la protección que proporcionan desaparece.
- Por el contrario, empiezan a disparar inesperadamente aun en el caso de que no haya defectos a tierra que cortar.

Estos fenómenos suelen darse en instalaciones con varios equipos electrónicos alimentados desde un mismo interruptor, o bien en instalaciones donde hay muchos aunque estén en diferentes sitios. En esos casos hay que elegir un diferencial no convencional. Existen los siguientes tipos:



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

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

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

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

Según UNE EN 61008 y 61009

La identificación de un interruptor automático diferencial requiere indicar:

- Número de polos: para expresar cuántos hilos son supervisados por el interruptor porque pasan por el transformador toroidal. Las posibilidades son 2P o 4P.
- Intensidad nominal: aunque hay varios calibres disponibles, sólo aquellos con

elevado grado de utilización (demanda) tienen un precio realmente interesante.

Calibres disponibles: 25, 40, 63 A.

En gama industrial: 80, 100, 125 A.

Para altas potencias: emplear bloque diferencial.

- Sensibilidad: Valores disponibles: 10, 30, 300, 500 mA.
 Otros valores: en relés ajustables.

- Tipo: si es necesario, indicar el tipo AC, A o B.

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

1.1.3 Contra sobretensiones

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

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

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

(*) Para limitar la corriente aguas abajo a 1.5 kV o menos.

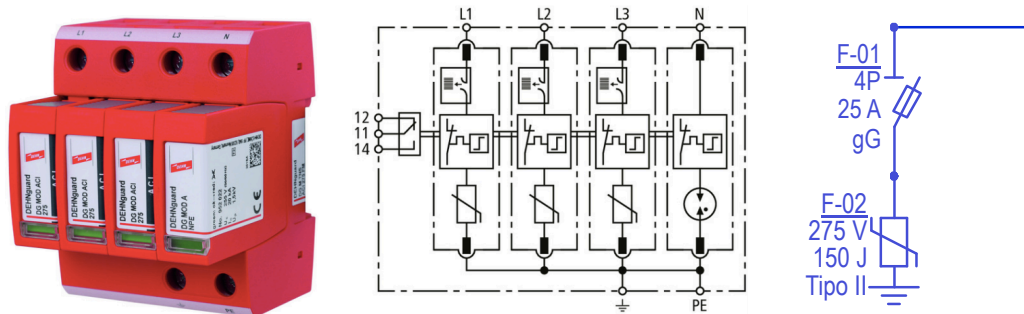


Fig. 120 Descargador de sobretensiones con contacto señalizador. [DEHN]
 Y representación unifilar a continuación de un seccionador con fusibles.

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

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

En general son aparatos modulares y pueden llevar contactos indicadores de su actuación como el de la Fig. 120.

1.1.4 Diseño de protecciones eléctricas

DIAGRAMAS DE BLOQUES Y ESQUEMA UNIFILAR

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

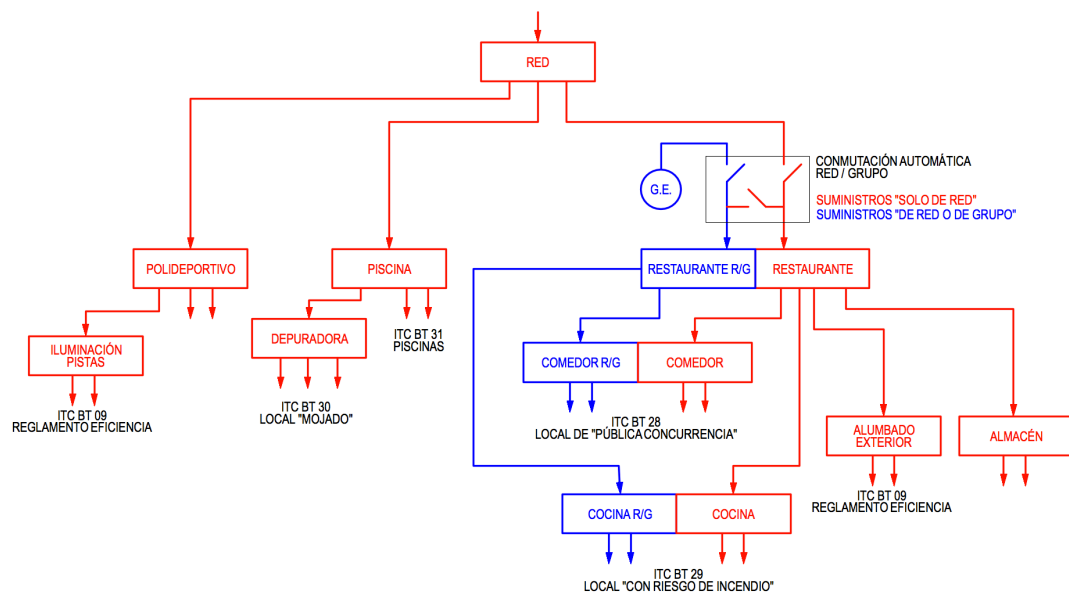


Fig. 121 Ejemplo de diagrama de bloques

Los diagramas de bloques identifican cuadros de protecciones y líneas generales. Cada bloque debe corresponder con un armario o una parte significativa de alguno más general. En la Fig. 121 la mayoría de los bloques en color rojo corresponden a armarios enteros. Pero hay tres que tienen adosados otros tres bloques 'gemelos' en azul: cada pareja representa un armario completo que, en el interior, realmente son dos conjuntos de protecciones distintos, las que se alimentan de la red (en color rojo) y las que se alimentan tanto de la red como del grupo electrógeno 'G.E.' (en color azul). Por eso a cada pareja de bloques le llegan dos líneas de alimentación distintas, una de cada color.

En la Fig. 122 se muestra un esquema unifilar de un único armario de protecciones doble o dividido, como los que se indican en el diagrama de la Fig. 121 en forma de par de bloques de dos colores. Se aprecian las dos líneas de alimentación y cómo el tramo horizontal o distribuidor de circuitos está interrumpido entre los circuitos marcados

como C11 y C12 (Fig. 122). Esto quiere indicar que los circuitos C1 a C11 se alimentan desde la línea general de la izquierda ('línea de conmutación') y los circuitos de C12 a C21 lo hacen desde la de la derecha ('línea 1 de cuadro de baja tensión C.T.').

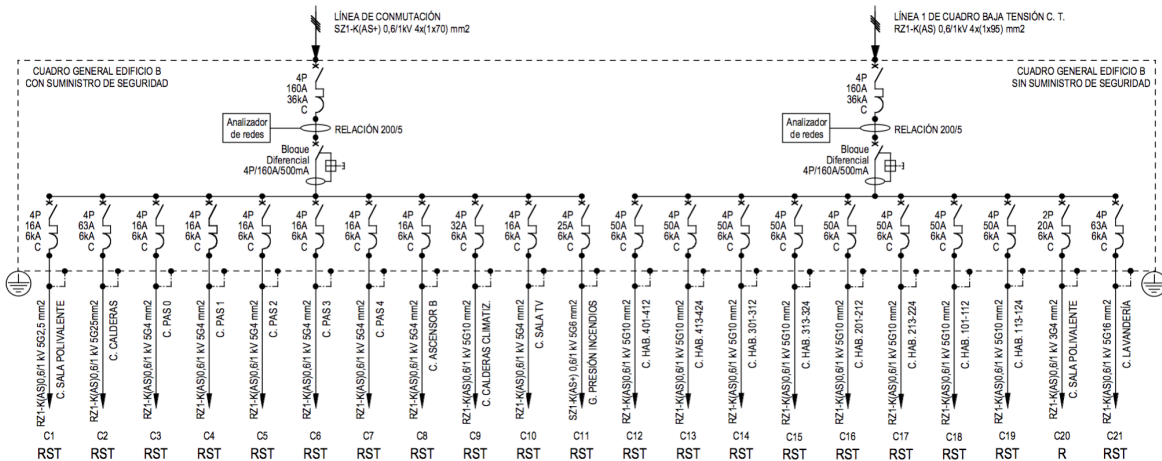


Fig. 122 Ejemplo de esquema unifilar

La Fig. 121 constituye un buen ejemplo de instalación receptora en baja tensión dotada de un suministro complementario o de socorro: en caso de falta de tensión de red el sistema de conmutación automático causa el arranque del motor auxiliar del grupo electrógeno, normalmente un motor de gasoil, que moviendo un alternador proporciona parte de la potencia eléctrica que necesita la instalación.

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

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

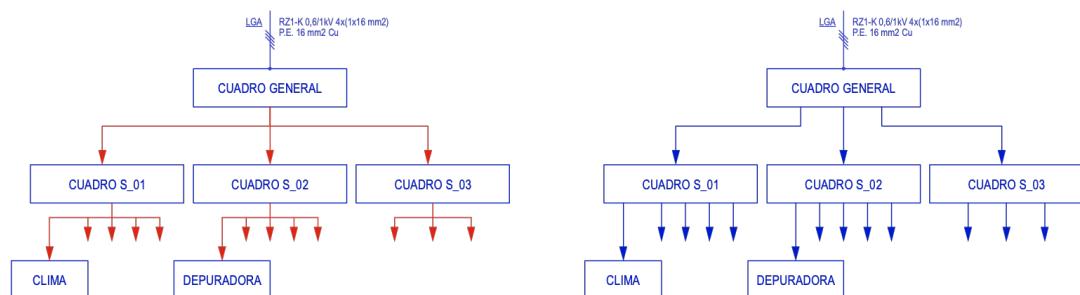


Fig. 123 En el esquema de la izquierda las líneas en rojo están mal: deben salir de un bloque, como a la derecha

El resultado habrá sido un corte total y sorpresivo del suministro a toda la instalación a consecuencia del fallo de la red, seguido del arranque en un tiempo breve (de 15 a 30 s) del grupo electrógeno, y la reposición parcial del servicio en los circuitos alimentados desde la 'parte azul'. Al recuperarse la tensión de red todos los circuitos de ambas partes vuelven a estar alimentados con normalidad y el grupo electrógeno dejará de

proporcionar energía a la instalación: el alternador es separado de la red interior, el grupo electrógeno pasa al ralentí, y superado el tiempo de enfriamiento programado según el fabricante, el motor de gasoil se detendrá completamente.

2 ESQUEMAS UNIFILARES Y ESQUEMAS DESARROLLADOS

Los símbolos gráficos y las anotaciones alfanuméricas sobre los esquemas eléctricos están normalizados por la UNE-EN 81082-1. En esta sección veremos cómo aplicar sus reglas correctamente.

2.1 Esquemas unifilares de cuadros de protecciones

Los esquemas unifilares aportan información suficiente para entender las funciones de las protecciones y algunos aparatos de los armarios eléctricos.

2.1.1 Simbología habitual

La simbología habitual es la de la Fig. 124 donde no se representan nunca todos los hilos conductores de los circuitos, sino sólo uno por cada uno de ellos.

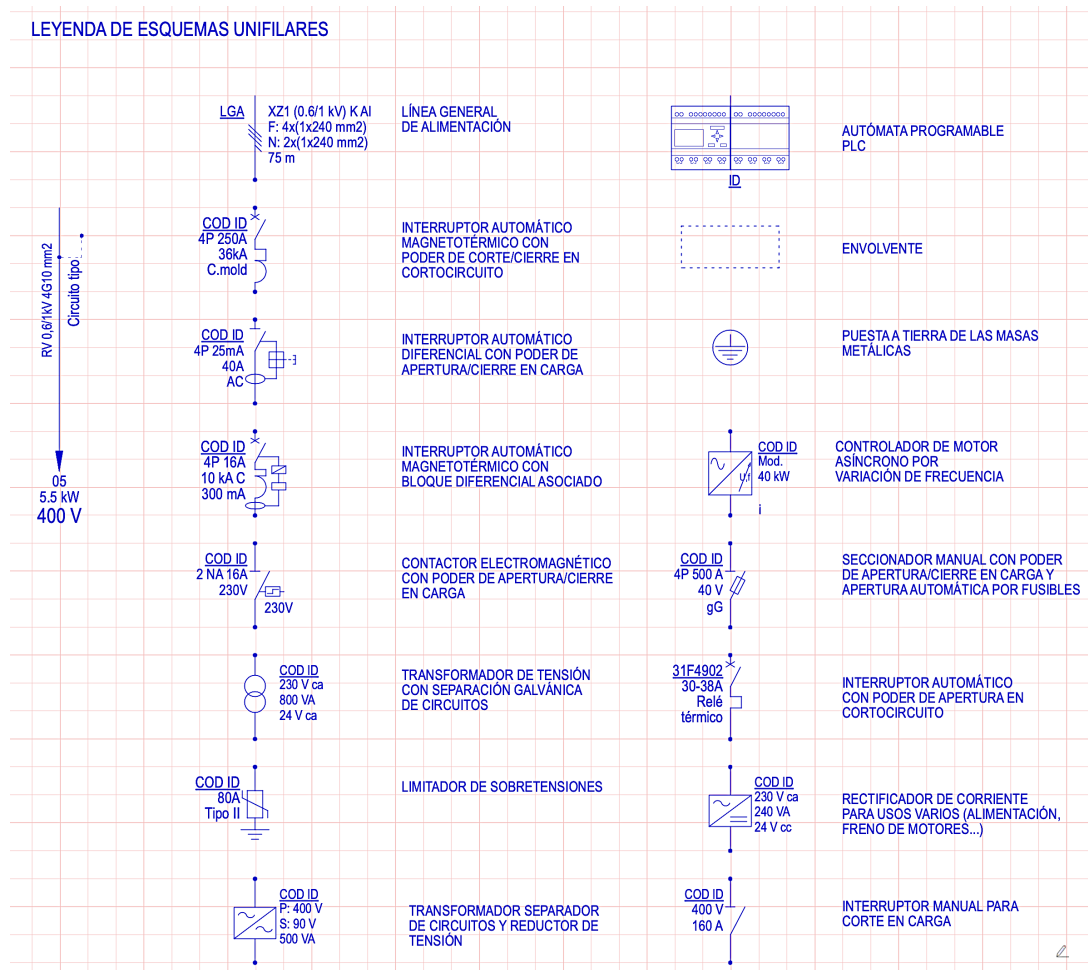


Fig. 124 Simbología habitual en esquemas unifilares.
 Retícula 4 x 4 mm.



Las protecciones eléctricas se deben instalar teniendo en cuenta los criterios de la ITC-BT 24, y también las ITCs 17 y 22 entre otras. Al menos se verificará que:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad \text{con}$$

I_B	Intensidad nominal del circuito o línea
I_n	Intensidad nominal o calibre de la protección magnetotérmica asociada a ese circuito o línea (para protección fusible el criterio varía ligeramente)
I_z	Intensidad admisible por el conductor en las condiciones de instalación.

Se distribuirán en cuadros y subcuadros, según un esquema ramificado en forma de árbol invertido, desde un tronco común hacia las ramas que serán los circuitos de utilización finales.

Es preciso respetar ciertas reglas o criterios para llegar a un diseño coherente desde el punto de vista de la seguridad, y fiable desde el punto de vista de la utilización.

2.1.2 Criterios de diseño

Es posible diseñar bien cuadros de protecciones respetando escrupulosamente los seis criterios que se explican a continuación:

Primero: Las protecciones de uso habitual son bastante baratas. Hay que emplear todas las que sean necesarias y, en caso de dudar si una protección es conveniente o no, hay que decidirse por añadirla.

Segundo: Siempre que sea posible deben configurarse sistemas de distribución de energía trifásicos antes que monofásicos. Y los sistemas trifásicos se procurará que queden equilibrados. Solo en caso de que un sistema trifásico sencillo vaya a quedar evidentemente desequilibrado puede estudiarse transformarlo en monofásico.

Tercero: La selectividad entre protecciones magnetotérmicas suele quedar establecida a partir de la jerarquía de sus valores nominales. Por ello las protecciones situadas aguas abajo deben ser más pequeñas que las que se van encontrando al recorrer el árbol del esquema de distribución aguas arriba. La de mayor calibre será la asignada a la protección de todo el sistema de distribución.

Cuarto: La selectividad entre protecciones diferenciales no existe. Por tanto, no pretenda inventarla con protecciones de distinto umbral de sensibilidad o con distinto calibre nominal. Es ridículo.

Por lo tanto son ridículos también los interruptores diferenciales en cascada: sobran todos salvo el situado aguas abajo.

Quinto: La protección contra contactos indirectos por corte automático de la alimentación no es el único modo de protección contra contactos indirectos que existe. El propio RBT ofrece varias alternativas más (ver ITC-BT 24 capítulo 4). De manera que los diferenciales se reservarán para el último lugar, aguas abajo, en que sea posible colocar una protección de este tipo. Aguas arriba de ellos se emplearán otros sistemas reglamentarios.

Sexto: Hay que poner atención en la selección de los calibres de los diferenciales para que no se les obligue nunca a cortar intensidades superiores a su valor nominal. Para ello se utiliza o un magnetotérmico de calibre adecuado en serie, o se comprueba que la suma de intensidades limitadas por los magnetotérmicos aguas abajo no va a superar el calibre del diferencial.

2.1.3 Diseño de cuadros de protecciones

En la Fig. 125 se muestra un cuadro de protecciones para los 5 circuitos de la tabla de la derecha. La versión de la izquierda presenta los siguientes errores:

Cir-cuito	P_{nom} (kW)	U_{nom} (V)
01	1.5	230
02	6.2	400
03	2.5	230
04	2.0	230
05	3.5	230

1. Q-01 no puede ser monofásico 2P si debe alimentar una carga en el circuito 02 de 400 V que es trifásica. Debe ser trifásico 4P. La línea de alimentación C12 ya es trifásica.
2. Q-02 está sobredimensionado: antes de que dispare por una eventual descarga excesiva del protector contra sobretensiones habrá disparado el interruptor general Q-01 cuyo calibre es de solo 40 A. Se sustituye por un seccionador con fusibles F-01 que facilita el mantenimiento (sustituir el protector de sobretensiones sin tener que abrir Q-01).
3. ID-01 no puede ser de solo 25 A ya que por la fase S la intensidad podría llegar a ser de 32 A (calibre de Q-04) y aguas arriba no hay limitación a 25 A (Q-01 es de 40 A). Deberá ser de 40 A que es el calibre superior disponible.
4. ID-03 está aguas abajo de ID-01 constituyendo una cascada de diferenciales injustificable. Uno de los dos sobra: o bien se une Q-03 al distribuidor a la salida de Q-01 y se deja ID-03, o bien se quita ID-03 (opción a la derecha).

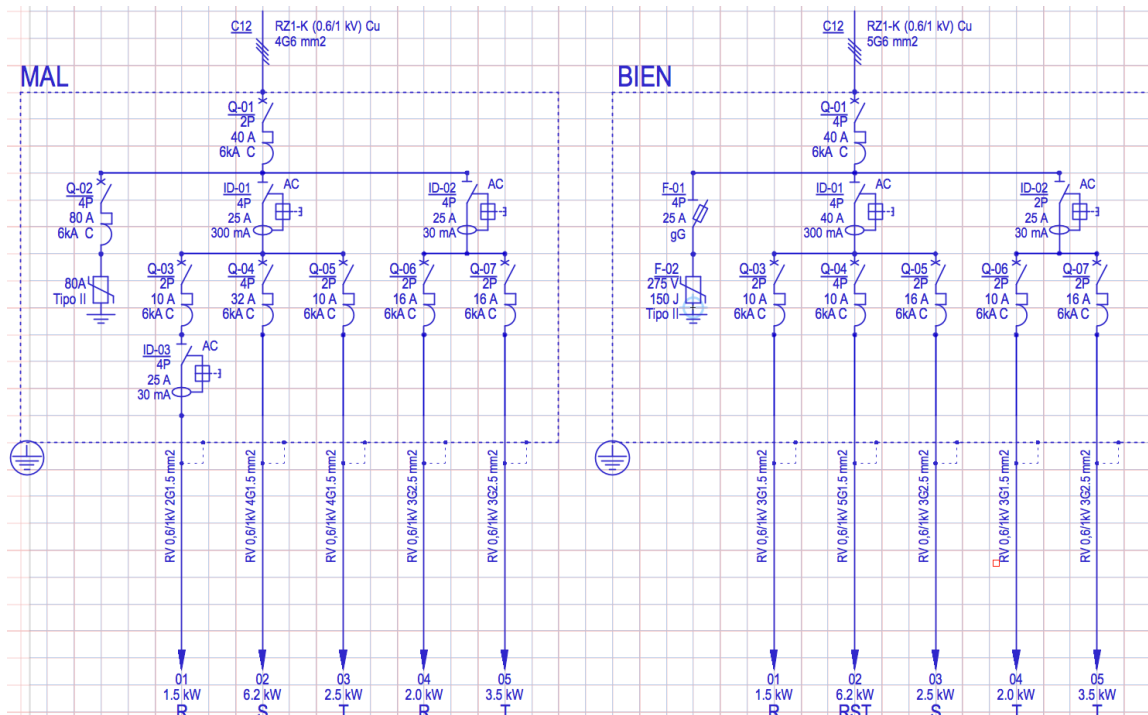




Fig. 125 Ejemplo 1 de cuadro de protecciones eléctricas.
 La versión de la izquierda tiene errores.



5. Q-04 está sobredimensionado: para una potencia trifásica (400 V) de 6.2 kW suelen bastar $I \geq \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{6200}{\sqrt{3} \times 400 \times 1} = 8.95 \text{ A} \approx 10 \text{ A}$. Si el receptor tuviera un malísimo factor de potencia podría requerir 16 A, pero no 32 A.
6. Q-05 es pequeño: con el calibre de 10 A solo se pueden alimentar cargas de $P = V I \cos\varphi = 230 \times 10 \times 1 = 2300 \text{ W}$, y la carga del circuito 05 es de 2.5 kW. Ha de ser de 16 A. [Nota: Con estos dos últimos cambios sustituir el diferencial ID-01 de 25 A por otro de 40 A que se hizo en el paso nº 3 ya no sería necesario y valdría el original de 25 A].
7. Q-06 es grande: para una carga monofásica de 2.0 kW bastan 10 A. Este cambio beneficia además al punto siguiente.
8. ID-02 es trifásico ya que indica 4P, pero realmente solo se utilizan luego dos fases aguas abajo de él, pues los circuitos 04 y 05 están conectados a las fases R y T dejando libre la S. Se puede sustituir por un diferencial monofásico 2P/25 A más barato, pues la potencia que debe pasar a través del diferencial sería la limitada por el calibre de Q-06 más el de Q-07 (Q-06 se reduce a 10 A por lo dicho antes), es decir, $10 + 16 = 26 \text{ A}$. Hay un amperio de diferencia ($26 > 25$) entre esa suma y el calibre del diferencial, pero este error es generalmente asumible como excepción.
9. El circuito 01 debe ejecutarse con cable 3G1.5 mm², que es una manguera de tres hilos (fase+neutro+protección), pues el esquema indica que ese conductor estará unido  al conductor de protección . La manguera 2G1.5 solo tendría dos hilos, uno de protección amarillo-verde y el otro activo, y no se fabrica. Para 10 A (calibre de la protección de este circuito 01) que hoy alimenta 1.5 kW la sección de 1.5 mm² es correcta.
10. El circuito 02 no se puede ejecutar con cable 4G1.5 mm² si el receptor necesita el cable del neutro como es muy habitual: tendrían que ser 5 hilos (tres fases + neutro + protección), es decir, 5G1.5 mm². Para un calibre de su protección Q-04 ya corregido a 10 A, la sección de 1.5 mm² sería correcta.
11. Como el circuito 02 alimenta una carga trifásica, en el esquema hay que indicar que se conecte a las tres fases, luego debe decir RST y no solo S.
12. El circuito 03 debe emplear manguera de tres hilos 3G2.5 mm² porque la carga es monofásica y el conductor debe incorporar el de protección, y porque para 16 A la sección de 1.5 mm² es normalmente insuficiente.
13. El circuito 04 debe llevar cable de 1.5 mm² para el calibre de 10 A de su protección magnetotérmica Q-06, salvo que por caídas de tensión sea exigible la sección de 2.5 mm² que se indica.
14. El circuito 05 no puede conectarse a la fase T si el 04 está en la R: al colgar ambos del mismo diferencial monofásico ID-02 las dos fases deben coincidir. Por intentar equilibrar la instalación, es prudente asignar a ambos la fase T, ya que la R y la S están ya solicitadas por los circuitos 01 y 03 respectivamente.

No hay problemas de selectividad de protecciones: los magnetotérmicos decrecen en calibre a medida que se encuentran más aguas abajo. En este caso solo hay dos niveles, el superior ocupado por Q-01 y el inferior de todos los demás. Como Q-01 es de 40 A y aguas abajo de él son todos de 10 ó 16 A, se cumple este criterio.

Y al retirar uno de los diferenciales en cascada tampoco hay fallos de *supuesta*

selectividad entre diferenciales a este respecto.

En número de módulos normalizados para carril DIN las 8 protecciones instaladas suman un total de 30 módulos de ancho, lo que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el armario que debe contenerlas. Seguramente un armario estándar de 3 filas para 12 módulos por fila sería el más adecuado. Y sobraría hueco para 6 módulos, que es un 17% de espacio libre para futuras ampliaciones. El Reglamento para baja tensión recomienda dejar un 20%.

2.1.4 Ejemplo de diseño

Se trata de diseñar el 'Cuadro General' y el 'Cuadro S-01' correspondiente al diagrama de bloques de la Fig. 126.

Es una instalación de un local de pública concurrencia (ITC-BT 28) por lo que debe cumplir ciertas especificaciones como que haya tres circuitos de alumbrado independientes o que todos los circuitos estén protegidos contra sobrecargas en su origen.

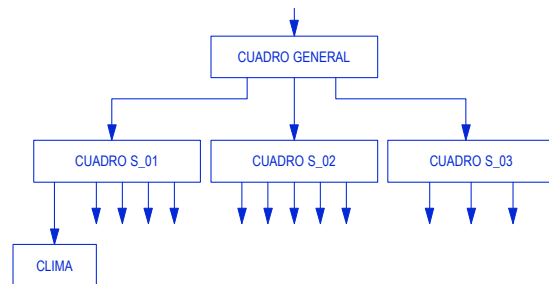


Fig. 126 Diagrama de bloques de la instalación del ejemplo.

Supongamos que del 'Cuadro S-01' se alimentan estos 8 circuitos receptores:

##	Descripción	V_n (V)	P_n (W)	fdp	I (A)	I_n prot (A)	Tipo (°C)	Secc (mm ²)
CUADRO GENERAL								
01	CUADRO S-01							
02	CUADRO S-02							
03	CUADRO S-03							
CUADRO S-01								
01	Alumbrado I	230	500	0.98	2.2	10	70	1.5
02	Alumbrado II	230	600	0.98	2.7	10	70	1.5
03	Alumbrado III	230	1000	0.98	4.4	10	70	1.5
04	Fuerza I	230			16	16	70	2.5
05	Fuerza II	230			16	16	70	2.5
06	Climatización	400	12000	0.85	20.4	25	90	4
07	Máquina I	400	5000	0.80	9.0	10	90	1.5
08	Máquina II	400	8000	0.95	12.2	16	90	1.5

Los datos de partida son las cinco primeras columnas:

- El número de circuito, asignado arbitrariamente.
- La descripción del receptor que alimenta cada uno.
- La tensión nominal: 230 V para receptores monofásicos, 400 V para receptores trifásicos.
- La potencia nominal de cada uno. A los circuitos de fuerza, que son líneas de enchufes, no se les asigna porque no se sabe qué conectará el usuario a cada uno, pero las tomas de corriente son todas de 16 A como máximo.

- El factor de potencia: 1.00 para resistencias; 0.80 para motores; valores intermedios para otras cargas.

Las cuatro columnas restantes son datos calculados:

- La intensidad que absorbe el receptor, en función de si es monofásico o trifásico: $I_{I+N}(A) = \frac{P_n(W)}{V_n(V) \cos\varphi}$ $I_{IV}(A) = \frac{P_n(W)}{\sqrt{3} U_n(V) \cos\varphi}$
- El calibre $I_n(A)$ de la protección magnetotérmica asociada a ese circuito, que cumplirá evidentemente que $I_n \geq I$ y será un calibre normalizado.
- El tipo de conductor a emplear:
 - 70°C: cables de aislamiento PVC (tipo H07V-K) o poliolefinas (tipo H07Z1-K(AS)), por ejemplo. Identificados como 'PVC' en la tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19.
 - 90°C: cables de aislamiento de polietileno reticulado 'XLPE' (que es del tipo RZ1-K) o etileno-propileno 'EPR' de la tabla de la ITC-BT 19.
- La sección del conductor que permite el paso en régimen permanente de la intensidad $I_n(A)$ de la protección magnetotérmica asociada.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes	3x	2x		3x	2x						
			PVC	PVC		XLPE o EPR	XLPE o EPR						
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos ⁹⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos ⁹⁾ en montaje superficial o empotrados en obra		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ¹⁰⁾				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre ⁸⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁹⁾					3x PVC		2x XLPE o EPR	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁸⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁹⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹¹⁾		
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁹⁾								3x PVC ¹⁰⁾		3x XLPE o EPR	
Cobre	mm ²		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-	-
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-	-
	4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-	-
	6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-	-
	10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-	-
	16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-	-
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	-
	35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206	-
	50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250	-
	70				149	160	171	188	202	224	244	321	-
	95				180	194	207	230	245	271	296	391	-
	120				208	225	240	267	284	314	348	455	-
	150				236	260	278	310	338	363	404	525	-
185				268	297	317	354	386	415	464	601	-	
240				315	350	374	419	455	490	552	711	-	
300				360	404	423	484	524	565	640	821	-	

Fig. 127 Tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19

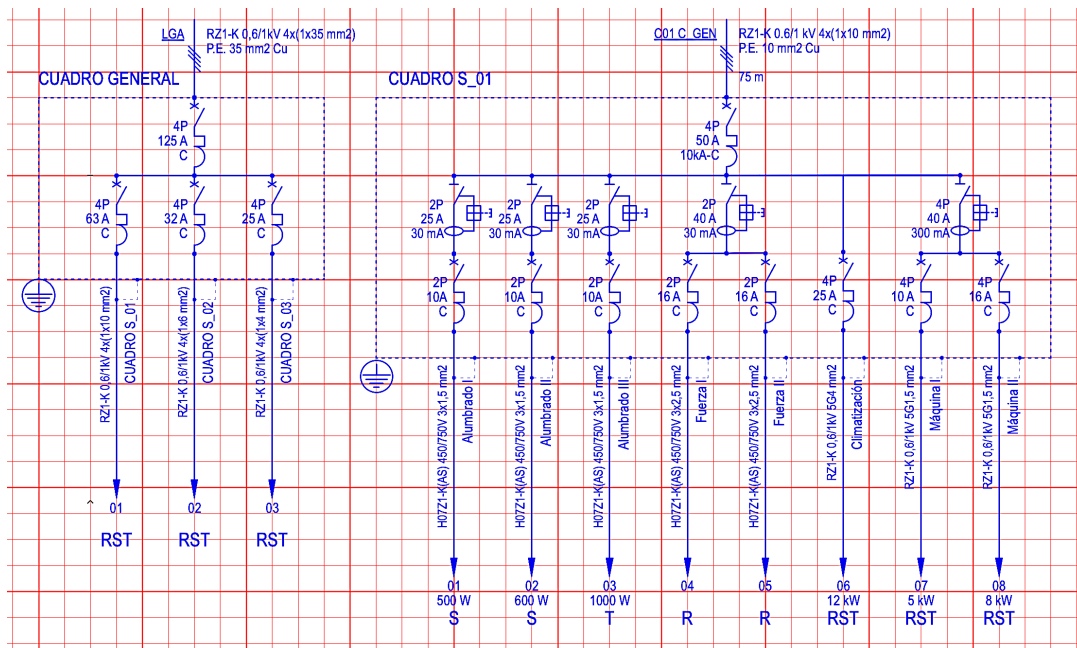


Fig. 128 Una solución para el 'Cuadro General' y el 'Cuadro S-01' de este ejemplo.

2.2 Esquemas desarrollados

Para los esquemas desarrollados es preciso, al contrario que con los unifilares, incluir todos los cables de todos los circuitos.

2.2.1 Simbología habitual de potencia

Los esquemas desarrollados de potencia se suelen dibujar con trazo sensiblemente grueso como se muestra en la Fig. 129. Aportan más detalle que los esquemas unifilares, pero solo son necesarios cuando el cableado entre los aparatos no es evidente y no basta la información de un simple esquema unifilar.

LEYENDA DE ESQUEMAS DESARROLLADOS - POTENCIA

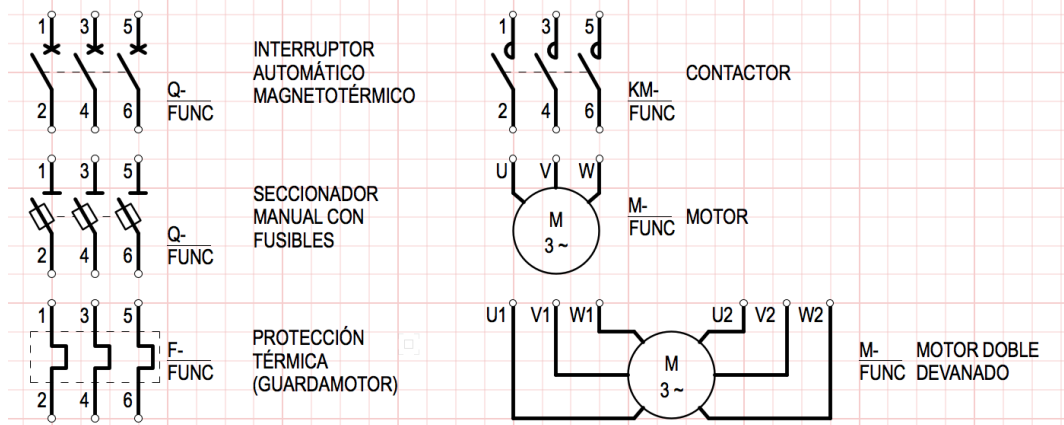


Fig. 129 Simbología de potencia en una retícula de 4x4 mm.

En la Fig. 130 se muestra el esquema desarrollado para invertir el sentido de giro de un motor trifásico de inducción de arranque directo:

1. Cuando el contactor KM1 cierra la fase U del motor se alimenta desde L1 y la fase W desde L3.
2. Si el que está cerrado es el contactor KM2, entonces la fase U se alimenta desde L3 y la W desde L1. El sentido de giro del motor es el opuesto al caso anterior.
3. Si ambos están abiertos el motor se queda sin alimentación y acabará parando.
4. El triángulo invertido en el enlace entre KM1 y KM2 es un símbolo de enclavamiento: indica que en el circuito de control se ha impedido que ambos cierren a la vez (¡cortocircuito trifásico!).

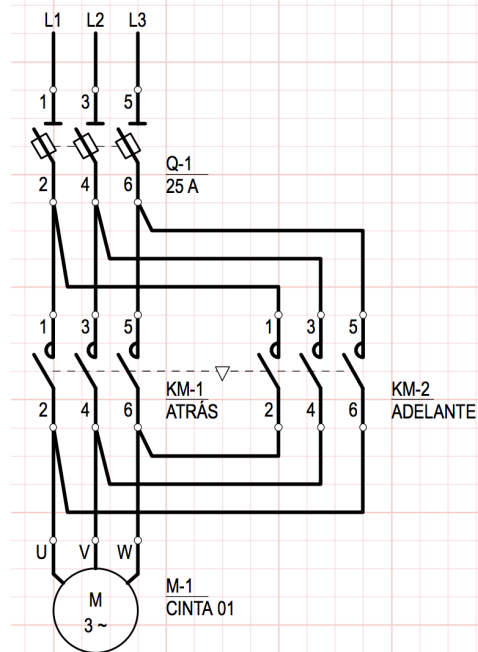


Fig. 130 Arranque directo de motor con inversión de giro.

2.2.2 Simbología habitual de automatismos y control

Los símbolos habituales de los esquemas desarrollados son los de la Fig. 132, y en el apartado siguiente se indican las reglas de referenciado para identificar cada aparato, cada borna y cada conductor.

En la Fig. 131 se muestra un contactor para gobernar la marcha / paro de un motor trifásico. Se representan sus tres contactos principales (trazo grueso, bornas 1 a 6) y sus dos contactos auxiliares (trazo fino, bornas 01 a 04) más la bobina de accionamiento. Esta representación mixta (desarrollados de potencia y elementos control) no es habitual. Lo normal es separar potencia por un lado y control por otro.

En la Fig. 1 se puede observar una aplicación de la simbología anterior para crear un sistema de control de motor con dos pulsadores y un selector.

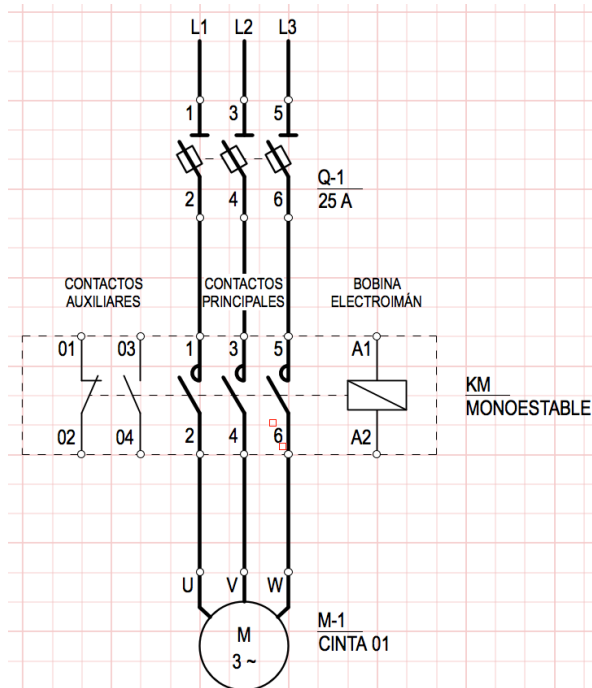


Fig. 131 Detalle de contactos auxiliares, contactos principales y bobina electroimán de un contactor de 3 polos normalmente abiertos.

LEYENDA DE ESQUEMAS DESARROLLADOS - CONTROL

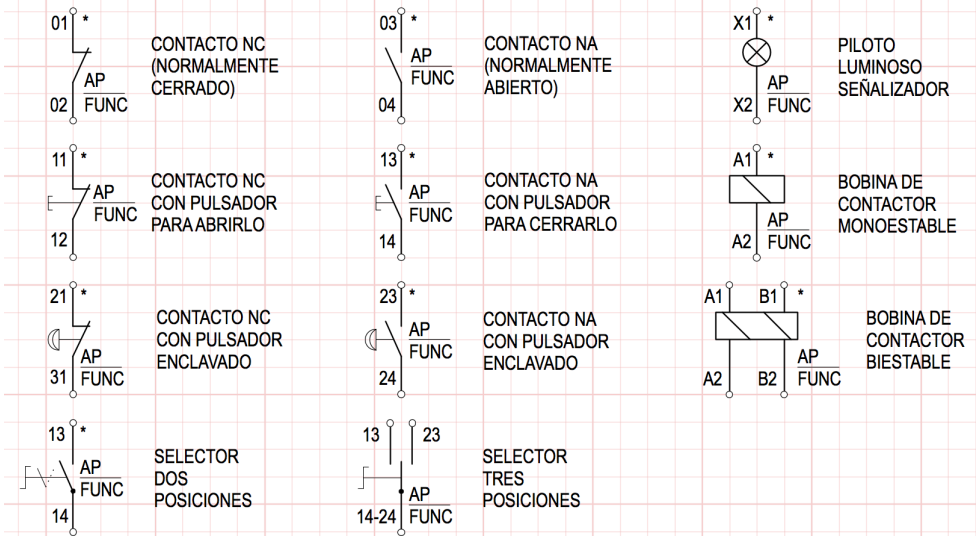
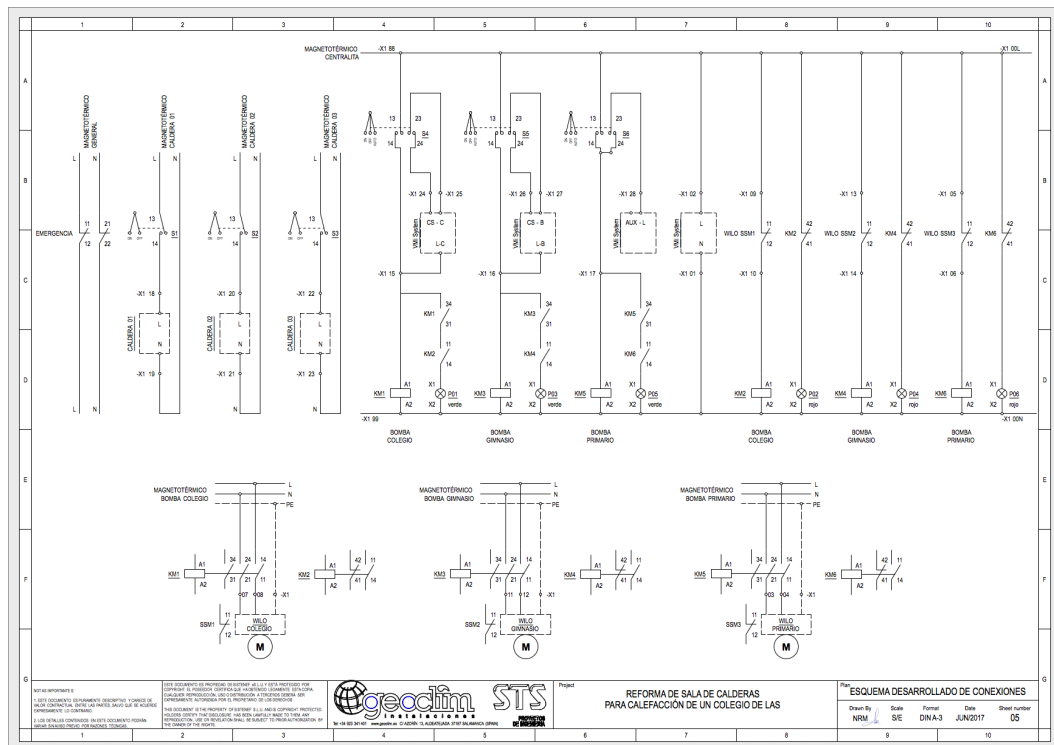


Fig. 132 Símbolos más habituales en los esquemas desarrollados de control.
Retícula 4 x 4 mm.



2.2.3 Reglas de dibujo

- Los planos se dividirán en una retícula invisible, mediante la inclusión en los márgenes de la identificación de filas (con letras) y columnas (con números).
- Los circuitos completos con significado propio deberán ocupar su columna particular y no invadir otras columnas.

- Se dibujarán con trazo grueso los circuitos de potencia, y con trazo fino los de control y automatización.
- Se emplearán únicamente los símbolos normalizados.
- Solo habrá dos orientaciones en el esquema para los códigos alfanuméricos: la horizontal y la vertical.

2.2.4 Reglas de referenciado de aparatos

El referenciado de los aparatos consiste en anotar junto al símbolo normalizado sus códigos de referenciado, tanto del nombre del aparato como del de sus bornas.

El código alfanumérico asignado a los aparatos indicará el tipo de aparato según la lista normalizada, vendrá precedido por un guion medio "-", o también pueden subrayarse (ver tabla de referencias normalizadas más adelante).

REFERENCIADO DE BORNAS

Se usará el número que el fabricante les ha asignado sobre el propio dispositivo físico, o bien en su placa de características. Las reglas a seguir son las siguientes:

CONTACTOS PRINCIPALES

La referencia de sus bornas consta de una sola cifra (de 1 a 8). Las impares se sitúan en la parte superior y la progresión va en sentido descendente y de izquierda a derecha.

En ocasiones se antepone la letra "R" para indicar que son polos de contactos con poder de corte ("ruptores").

CONTACTOS AUXILIARES

La referencia de sus bornas son dos cifras.

Las *unidades* son las cifras de función del contacto auxiliar:

- 1 y 2: contacto normalmente cerrado "NC" que requiere acción para abrirse.
- 3 y 4: contacto normalmente abierto "NA" que requiere acción para cerrarse.
- 5 y 6: contacto normalmente cerrado especial (temporizado, de disparo térmico, enclavado con otro, etc.)
- 7 y 8: contacto normalmente abierto especial (temporizado, de alarma, enclavado con otro, etc.)
- 9 (y el 0, si es necesario) quedan reservados para los contactos

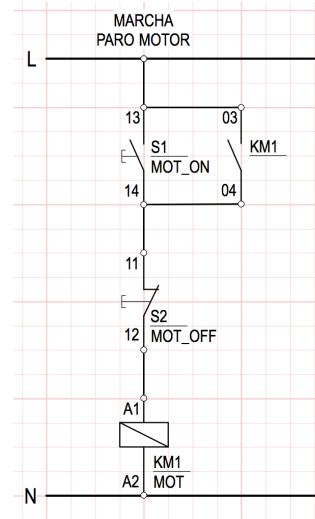


Fig. 1 Mando por dos pulsadores.

auxiliares de los relés de protección contra sobrecargas, y vendrán seguidos de la función 5 y 6 o 7 y 8 que por su construcción les corresponde.

Las *decenas* indican el número de orden de cada contacto en el aparato, y es asignado libremente por el fabricante, que puede seguir o no un orden concreto.

BOBINAS DE LOS CONTACTORES

Las bornas de las bobinas de accionamiento de los contactores llevan una identificación aparte:

Las referencias son alfanuméricas y la letra (A o B) ocupa la primera posición:

- Bobina simple: A1-A2. Para contactores monoestables, que en ausencia de tensión regresan solos a su posición de reposo.
- Bobina doble: A1-A2, y B1-B2. Para contactores biestables, que en ausencia de tensión quedan como estaban, requiriendo pulso en la bobina contraria para conmutar de posición.

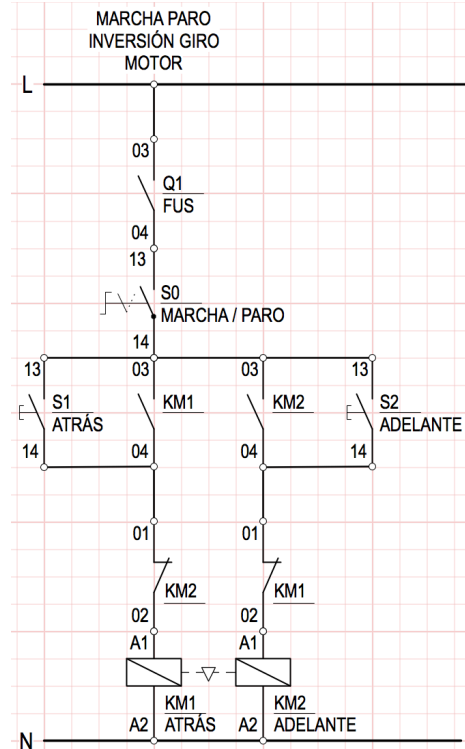


Fig. 134 Esquema de mando del motor de la Fig. 130 que conmuta sólo al motor parado.

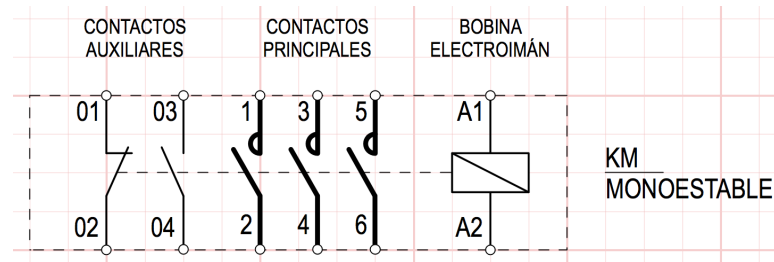


Fig. 135 El contactor KM1 monoestable, usado en los ejemplos anteriores, es un aparato de 12 bornas.

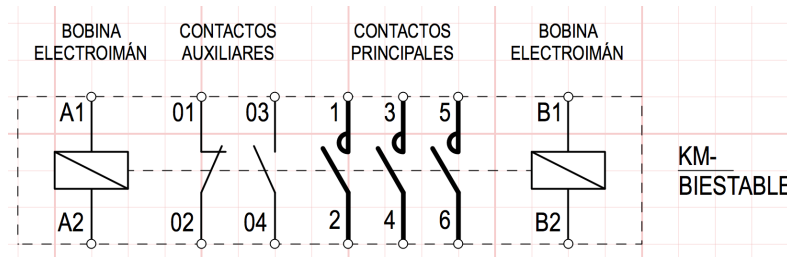


Fig. 136 Un contactor biestable necesita dos bobinas distintas para conmutar entre sus dos estados posibles. El representado tiene 14 bornas.



CLASIFICACIÓN NORMALIZADA DE APARATOS

	Referencia	Ejemplos
A	Conjuntos, subconjuntos funcionales (de serie)	Amplificador de tubos o de transistores, amplificador magnético, regulador de velocidad, autómata programable
B	Transductores de una magnitud cualquiera a una magnitud eléctrica o viceversa	Par termoeléctrico, detector termoeléctrico, detector fotoeléctrico, dinamómetro eléctrico, presostato, termostato, detector de proximidad
C	Condensadores	
D	Operadores binarios, dispositivos de temporización, de memoria	Operador combinatorio, línea de retardo, báscula biestable, báscula monoestable, registrador, memoria magnética
E	Materiales varios	Alumbrado, calefacción, elementos no incluidos en esta tabla
F	Dispositivos de protección	Cortocircuito fusible, limitador de sobretensión, pararrayos, relé de protección de máxima de corriente, de umbral de tensión
G	Generadores, dispositivos de alimentación	Generador, alternador, convertidor rotativo de frecuencia, batería oscilador, oscilador de cuarzo
H	Dispositivos de señalización	Piloto luminoso, avisador acústico
K	Relés de automatismo y contactores	Utilizar KM (contactor principal o de potencia) y KA (contactor auxiliar para control o señalización remota)
L	Inductancias	Bobina de inducción, bobina de bloqueo
M	Motores	
N	Subconjuntos (no de serie)	
P	Instrumentos de medida y de prueba	Aparato indicador, aparato grabador, contador, conmutador horario
Q	Aparatos mecánicos de conexión	Disyuntor, interruptor automático, magnetotérmico, seccionador para circuitos de potencia
R	Resistencias	Resistencia regulable, potenciómetro, reostato, shunt, termistores
S	Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de mando y control	Selectores manuales, pulsadores, interruptores de varias posiciones, conmutadores
T	Transformadores	Transformador de tensión, transformador de corriente
U	Moduladores, convertidores	Variador de frecuencia, fuente de tensión variable, convertidor-rectificador, ondulator (inversor)
V	Semiconductores, antiguos tubos electrónicos	Diodo, transistor, tiristor, tubo de vacío, tubo de gas, tubo de descarga, lámpara de descarga
W	Antenas, vías de transmisión de señal	
X	Bornas, clavijas, zócalos	Bornas de carril, bornas de prueba, tornillos de puesta a tierra
Y	Aparatos mecánicos accionados eléctricamente	Freno, embrague, electroválvula neumática, electroválvula hidráulica, electroimán retenedor
Z	Cargas correctivas	Condensador o bobina correctora de factor de potencia, filtro pasa-bajos, filtro pasa-altos

2.2.5 Referenciado de los borneros

Los borneros son filas de bornas que marcan la transición entre un cuadro eléctrico montado y probado en taller, y los cables exteriores a él pertenecientes al resto de la instalación.

Se compone de bornas preparadas para recibir los cables exteriores, del calibre adecuado y perfectamente etiquetadas.

Los borneros o bloques de bornas se identifican con "-X" más el número de orden que les corresponde (-X1, -X2, etc.) pues en un mismo armario eléctrico puede haber varios.

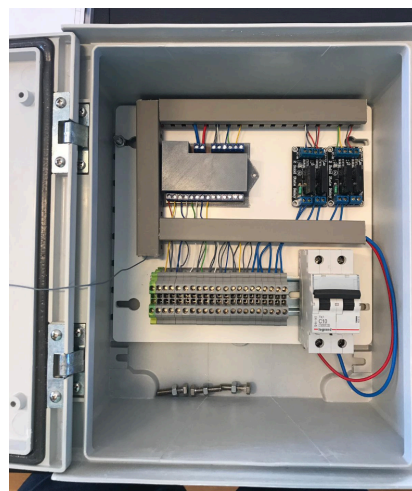


Fig. 137 Pequeño armario eléctrico con un bornero (abajo izquierda).

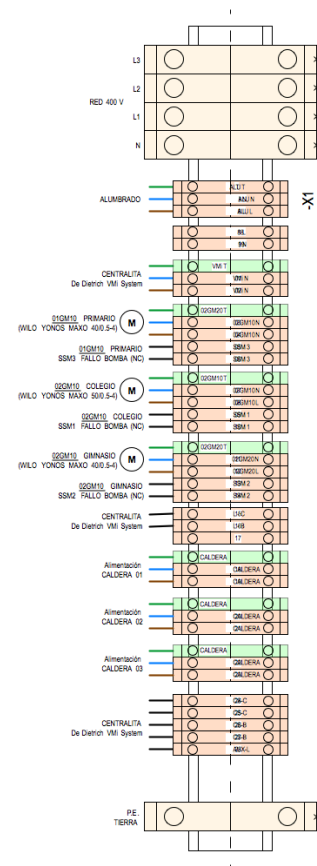


Fig. 138 En ocasiones conviene representar fielmente un bornero.

2.2.6 Cableado

Para identificar correctamente los cables en los planos y luego en obra, deben seguirse las siguientes reglas (ejemplo en la Fig. 139):

Nombre del cable: Solo se nombrarán las mangueras multifilares, que tienen muchos hilos o venas. Los cables unifilares basta identificarlos mediante los símbolos incorporados a sus dos extremos o puntas.

Puntas del cable: Se indicarán el origen y el destino del cable en cada uno de sus dos extremos (marcas en color naranja de la Fig. 139). Se procederá así:

El código más cercano a la punta debe indicar el número de borna al que deberá conectarse esa punta.

El código más alejado de la punta indicará el número de borna al que deberá conectarse la punta del otro extremo del cable.

Entre paréntesis figurará el número de vena utilizada.

En la documentación de la obra o proyecto se debe incluir una *tabla de comprobación* como la siguiente, para poder tener constancia de cómo se usa cada vena de cada cable

y permitir una fácil verificación de la instalación ejecutada, con lo que se pueden detectar errores más rápidamente:

TABLA DE CABLES PARA EL EJEMPLO DE LA Fig. 139

ORIGEN			CABLE				DESTINO			DESCRIPCIÓN	PLANOS
APARATO	BORNERO	BORNA	ID	VENA COLOR	LONG (m)	SECCIÓN (mm ²)	APARATO	BORNERO	BORNA	USO	HOJA
CG01	-X2	45	M21	1	20	0.75	CM12	-XA	122		003 010
CG01	-X2	46	M21	2	20	0.75	CM12	-XA	118		003 010
CG01	-X2	48	M21	3	20	0.75	CM12	-XA	119		10
CG01	-X2	49	M21	4	20	0.75	CM12	-XA	120		10
CG01	-X2	55	M21	5	20	0.75	CM12	-XA	121		21
CG01	-X2	56	M21	6	20	0.75	CM12	-XA	110		21

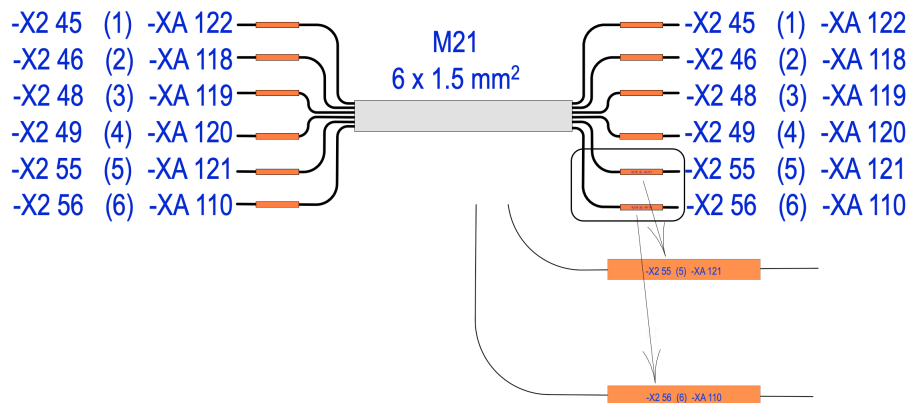


Fig. 139 La manguera de 6 venas llamada 'M21' conecta bornas de '-X2' con bornas de '-XA' y tiene sus 12 puntas identificadas con origen (*nº vena*) destino

3 DISEÑO DE ARMARIOS ELÉCTRICOS

3.1 Condiciones generales IEC 61439



Fig. 140 Armario de distribución para elevada potencia (SCHNEIDER ELECTRIC)
<https://blog.formatis.pro/prisma-p/>

La concepción general, las condiciones de diseño y las verificaciones de seguridad que deben cumplir los armarios eléctricos vienen detalladas en la norma UNE-EN IEC

61439-1 *Conjuntos de aparamenta de baja tensión, Parte 1: Reglas generales*. Las demás normas de la familia IEC 61439 detallan aspectos concretos o tipos particulares de armarios.

3.2 Diseño de embarrados

Los embarrados, o juegos de barras por traducción del francés de *jeu de barres*, o *bus-bars* en inglés, son barras o pletinas metálicas, de cobre o aluminio generalmente, que soportan grandes intensidades. Discurren por el interior del armario eléctrico y a ellas se conectan en paralelo todos los circuitos receptores alimentados desde dicho armario.

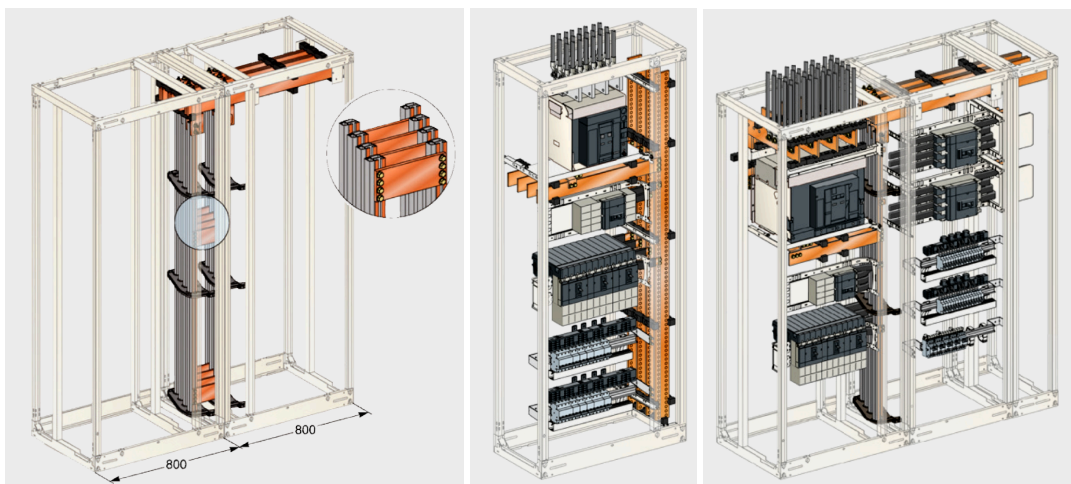


Fig. 141 Detalle de embarrados verticales y horizontales (SCHNEIDER ELECTRIC)
<https://blog.formatis.pro/prisma-p/>

3.2.1 Densidad de corriente

Los embarrados de cobre de una pletina simple por fase suelen diseñarse para densidades de corriente de entre 2.25 A/mm^2 a 3.25 A/mm^2 , en proporción inversa a su sección debido al efecto pelicular: soportan más densidad las menores pletinas porque tienen proporcionalmente más perímetro que las grandes.

Efecto pelicular (skin effect):

En corriente alterna el campo magnético inducido en el centro de la sección es mayor que en la periferia, por lo que la impedancia del interior es superior a la impedancia de la superficie del conductor. La corriente tiende a circular por la superficie, por la periferia, y la densidad de corriente disminuye exponencialmente hacia el interior. Por tanto, para una misma sección, geometrías con mayor perímetro admiten más corriente.

En corriente continua esto no pasa.

En aluminio las densidades de corriente son más bajas, y van desde 1.75 A/mm^2 a 2.50 A/mm^2 para las medidas usuales.

La tabla siguiente, representada en los gráficos de la Fig. 142, ofrece valores usuales. Para más concreción, acudir a la tabla K1 de la UNE-EN IEC 61439-1.

DENSIDAD DE CORRIENTE (A/mm²) EN PLETINAS DE 5 mm DE ESPESOR

	Perím. mm	Secc. mm ²	Per/ / secc	Cobre				Aluminio			
				1 b	2 b	3 b	4 b	1 b	2 b	3 b	4
20 x 5	50	100	0.50	3.25	5.60	7.20	9.40	2.50	4.40	5.60	7.40
30 x 5	70	150	0.47	3.07	5.47	7.00	9.20	2.40	4.27	5.47	7.20
40 x 5	90	200	0.45	2.75	4.95	6.30	8.25	2.15	3.85	4.90	6.45
50 x 5	110	250	0.44	2.60	4.68	5.96	7.80	2.04	3.64	4.68	6.12
60 x 5	130	300	0.43	2.53	4.57	5.87	7.67	2.00	3.50	4.67	6.00
80 x 5	170	400	0.43	2.50	4.50	5.75	7.50	1.95	3.50	4.48	5.85
100 x 5	210	500	0.42	2.40	4.32	5.52	7.20	1.88	3.38	4.32	5.64
160 x 5	330	800	0.41	2.25	4.05	5.18	6.75	1.75	3.16	4.05	5.29

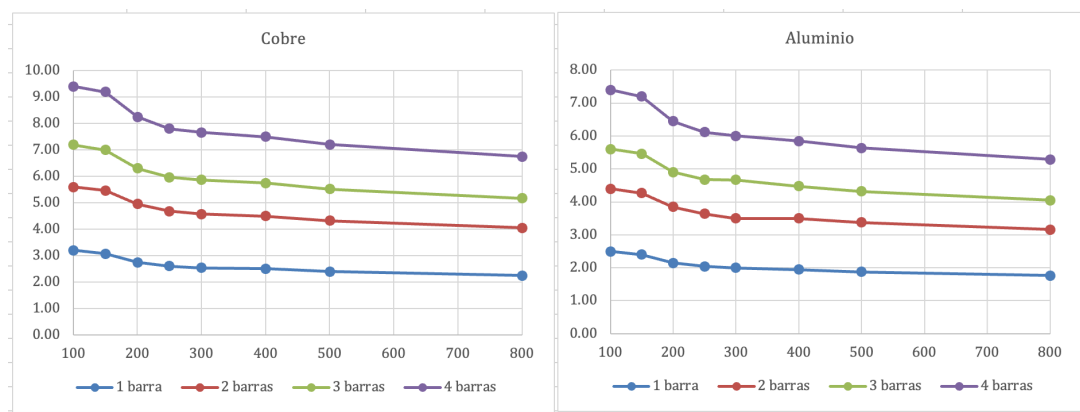


Fig. 142 Densidades de corriente habituales (A/mm²) para pletinas de varias secciones (mm²) y de 1 a 4 barras por fase, todas de 5 mm de espesor

3.2.2 Esfuerzos electromecánicos

Los embarrados o barras de cobre de los armarios son conductores paralelos, normalmente equiespaciados a distancia constante, sujetos por apoyos a intervalos regulares. Están sometidos a atracciones y repulsiones mutuas proporcionales a la intensidad de las corrientes que los recorren en cada momento. Las tensiones mecánicas a que esas fuerzas dan lugar son máximas en caso de cortocircuitos, cuando las intensidades por las barras son las mayores posibles.

Los embarrados deben estar diseñados para soportar las sollicitaciones electrodinámicas máximas generadas por los cortocircuitos más desfavorables esperados. La norma de cálculo de los esfuerzos a soportar debe ser la UNE-EN IEC 60865-1 *Corrientes de cortocircuito, Cálculo de efectos, Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.*

La fuerza de atracción o repulsión, en N, entre dos conductores paralelos es

$$F (N) = \frac{\mu_0}{2\pi} i_1 i_2 \frac{L}{a}$$

donde

μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío (del aire) y vale $4\pi \cdot 10^{-7}$ en unidades del Sistema Internacional

$i_1 i_2$ son los valores instantáneos de las intensidades que recorren esos conductores, en A

L es la distancia entre ejes de los soportes extremos de los conductores, que

se supone igual para ambos, en m

a es la distancia entre ejes de los conductores, en m

Esa sería la fórmula a emplear para un cortocircuito bifásico, que no suele ser el más frecuente ni el más relevante. Pero sí es la que se debe emplear para embarrados monofásicos o de corriente continua.

Cuando se trata de un embarrado trifásico que soporta un cortocircuito la expresión anterior se transforma a

$$F(N) = \frac{\mu_0 \sqrt{3}}{2\pi} \frac{i_p^2}{2} \frac{L}{a_m}$$

donde

i_p es la máxima intensidad que soportará el embarrado, en A, que se produce en la cresta de la primera onda de intensidad tras el cortocircuito

a_m es la distancia equivalente entre ejes de los conductores, en m. Su cálculo implica introducir factores de corrección que se explican en el apartado 5.3 de la norma UNE-EN IEC 60865-1

Las tensiones mecánicas a que dan lugar son esfuerzos de flexión de las barras simplemente apoyadas (como las vigas de los ejemplos clásicos) sometidas a una fuerza uniformemente distribuida de valor F/L . Esta fuerza causa un momento flector máximo que debe ser resistido por el material sin sobrepasar la tensión mecánica de su límite elástico, pues de lo contrario sufriría indeseables deformaciones permanentes. La relación entre el momento flector y la tensión mecánica es el módulo de inercia de la sección en torno al eje de la flexión.

La norma UNE-EN IEC 60865-1 especifica factores de corrección aplicables en función de si el sistema trifásico tiene reenganches automáticos y de qué tipo.

EJEMPLO 1

Veamos un ejemplo de cálculo sencillo con simplificaciones del lado de la seguridad:

Intensidad de cortocircuito trifásico (valor eficaz) $I_{cc} = 21.1 \text{ kA}$

Valor máximo (cresta primera onda) $I_{cc \text{ max}} = 1.8 \sqrt{2} I_{cc} = 53 \text{ 712 A}$

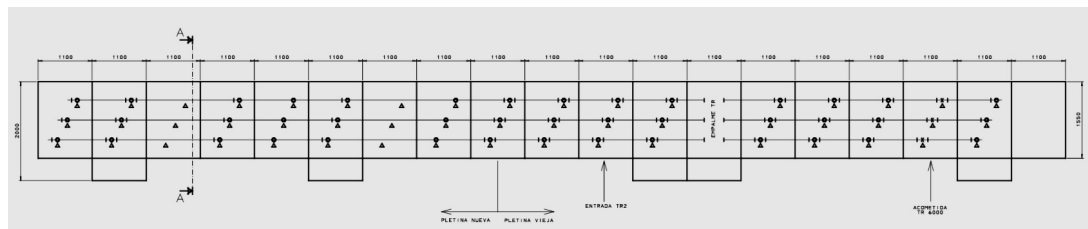


Fig. 143 Plano de diseño del embarrado de un bloque de armarios de una fábrica
 Interdistancia entre apoyos: 1100 mm

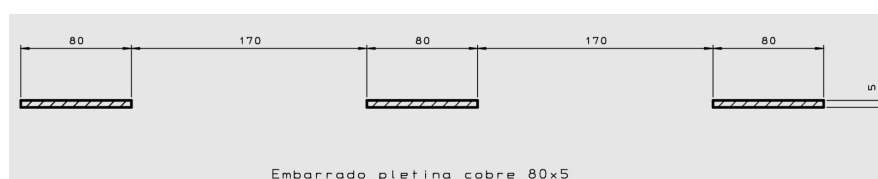


Fig. 144 Detalle de pletinas: espesor, anchura, separación entre barras y disposición

Para una permeabilidad magnética del aire $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m los esfuerzos mecánicos entre dos barras contiguas cuando soportan la corriente máxima de cortocircuito $I_{cc\ max}$ implican fuerzas de atracción y repulsión que dependen de las variables geométricas de la Fig. 145 y del coeficiente que se extrae del ábaco de DWIGHT (Fig. 146) así:

$$\begin{aligned} a &= 80 \text{ mm} \\ b &= 5 \text{ mm} \\ c &= 170 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = \frac{a}{2} + c + \frac{a}{2} = a + c = 250 \text{ mm}$$

Para las relaciones

$$\frac{b}{a} = \frac{5}{80} = 0.0625 \text{ y } \frac{d}{a} = \frac{250}{80} = 3.125$$

el ábaco ofrece un valor de $k = 1.05$

Cuando los conductores son cortos, es decir, la longitud entre dos apoyos no supera 20 veces la distancia entre ejes de pletinas d , la fuerza entre conductores que llevan una intensidad I (A) vale [SCH]

$$F(\text{N}) = 2 \times 10^{-7} I^2 \frac{L}{a_m} \sqrt{1 + \frac{d^2}{L^2} - \frac{d}{L}}$$

$$\text{con } a_m = \frac{d}{k} = \frac{250}{1.05} = 238 \text{ mm}$$

y $L = 1100$ mm (separación entre apoyos)

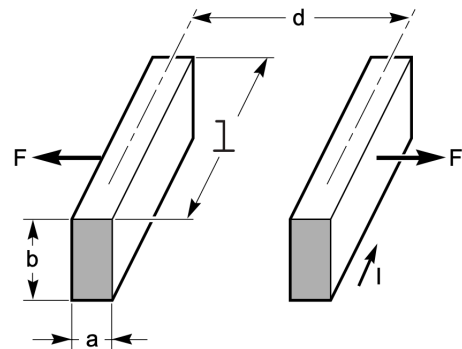


Fig. 145 Variables geométricas para calcular un embarrado [SCH 162]

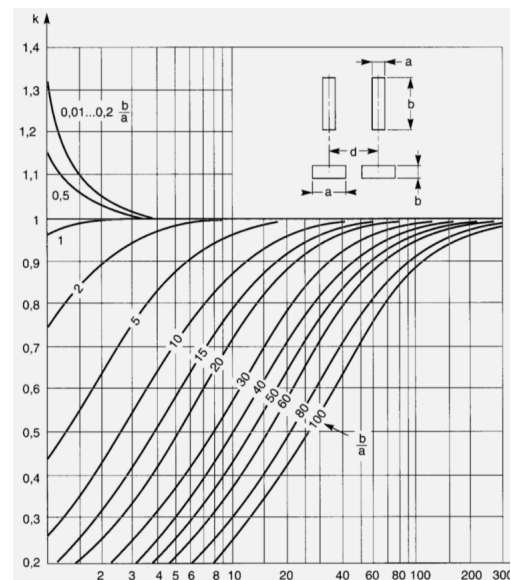


Fig. 146 Ábaco de DWIGHT
 (ver también UNE-EN 60865-1 fig. 1)

La fuerza de atracción/repulsión que genera la $I_{cc\ max} = 53\ 712$ A es, entonces

$$F_{m\acute{a}x} = 2420 \text{ N}$$

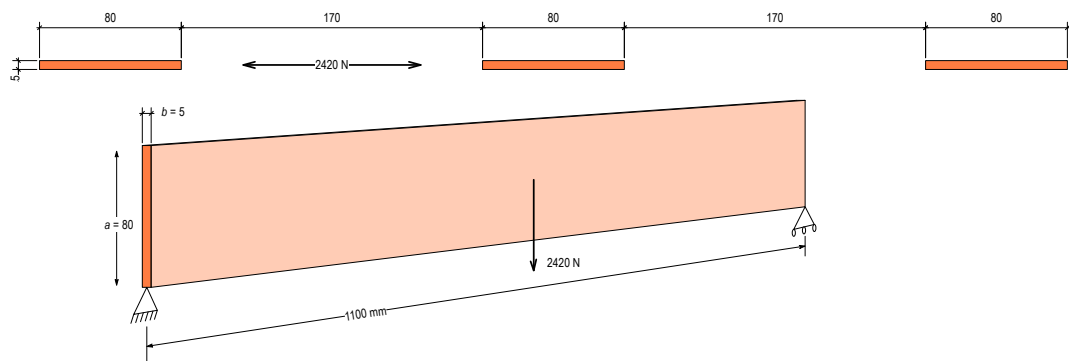


Fig. 147 Hipótesis simplificada de carga puntual y centrada para verificación del embarrado

El momento flector que causa esa fuerza en las barras puede estimarse (Fig. 147) utilizando la hipótesis de viga de longitud L simplemente apoyada en sus extremos, sometida a una carga puntual en su centro de valor $F_{m\acute{a}x}$ según la fórmula $M_{f\ m\acute{a}x} = F_{m\acute{a}x} \frac{L}{4}$.

Como la fuerza realmente se distribuye a lo largo de toda la pletina el momento flector máximo debería calcularse a partir de esta hipótesis y sería la mitad que el obtenido en la fórmula anterior. El problema a resolver sigue siendo sencillo (Fig. 148).

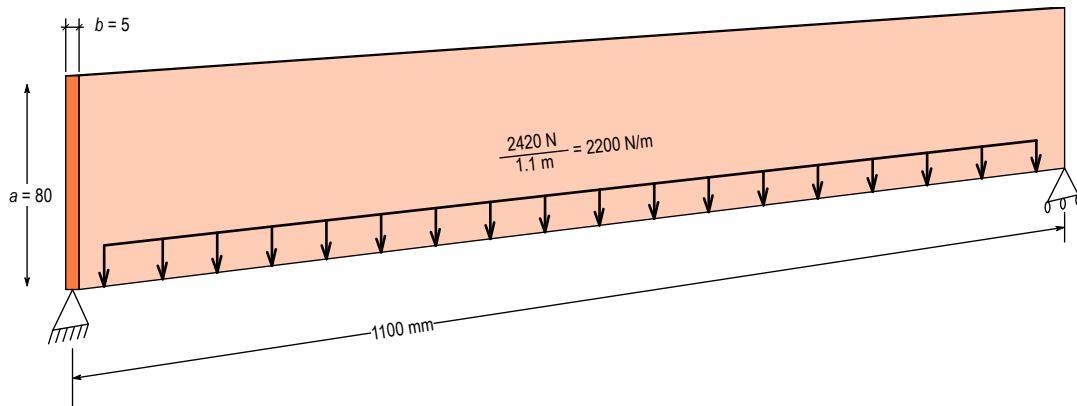


Fig. 148 Hipótesis de carga uniforme sobre embarrado simplemente apoyado

Para una fuerza uniforme $q_{m\acute{a}x}$ en todo el vano L ,

$$M_{f\ m\acute{a}x} = q_{m\acute{a}x} \frac{L^2}{8} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{L} \frac{L^2}{8} = F_{m\acute{a}x} \frac{L}{8}$$

En realidad un embarrado se compone de piezas muy largas sujetas en muchos puntos, por lo que un cálculo riguroso debería considerar la hipótesis de *viga continua* que es una estructura indeterminada. Y al hacerlo se comprobaría que el embarrado puede soportar mayores esfuerzos que los que se deducen del cálculo como viga bi-apoyada de la Fig. 148. Este cálculo de viga bi-apoyada queda, por tanto, del lado de la seguridad, y puede adoptarse sin problemas por ello, beneficiándonos de su simplicidad.

El momento flector que debe soportar cualquier pletina es, entonces:

$$M_{f\ m\acute{a}x} = F_{m\acute{a}x} \frac{L}{8} = 2420 \frac{1100}{8} = 332\ 750\ \text{Nmm}$$

Como el módulo resistente de las pletinas frente a la flexión que sufrirán en torno a su eje neutro (en este caso eje z) vale

$$W_z = \frac{a^2 b}{6} = \frac{80^2 \cdot 5}{6} = 5333\ \text{mm}^3$$

el cobre de las barras se verá solicitado hasta una tensión de

$$\sigma = \frac{M_{f\ m\acute{a}x}}{W_z} = \frac{332\ 750\ (\text{Nmm})}{5333\ (\text{mm}^3)} = 62.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Habitualmente se considera que el límite elástico de este tipo de cobre es

$$f_y = \sigma_{m\acute{a}x} = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

que no se supera en este caso con un coeficiente de seguridad de 4.0 (*). Luego el

embarrado CUMPLE para soportar las solicitaciones de cortocircuito calculadas para la instalación.

Más información en:

[SCH] SCHNEIDER ELECTRIC, *Los esfuerzos electrodinámicos en los juegos de barras de BT*, cuaderno técnico nº 162, enero 2000.

(*) La UNE-EN 60865-1 determina que son aceptables embarrados en los que incluso se supere en una cantidad q el límite elástico del material (Fig. 149) porque se considera admisible que el material entre en su zona plástica sin merma de la seguridad.

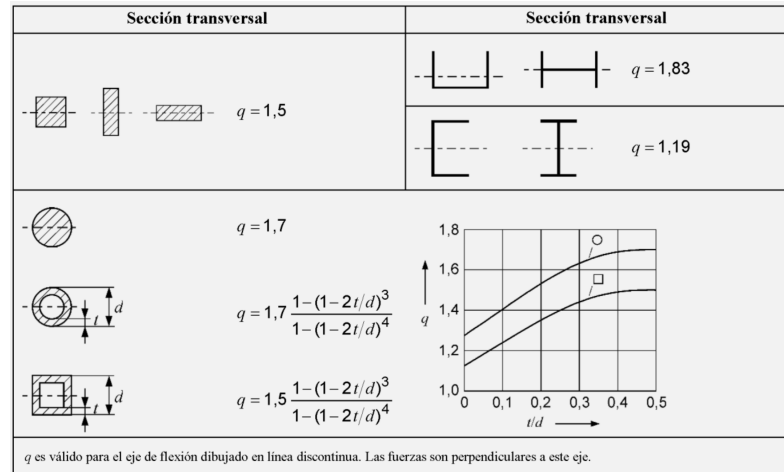


Fig. 149 Factor q por el que se permite superar el límite elástico f_y del conductor según UNE-EN 60865-1

EJEMPLO 2

Se debe pasar un embarrado trifásico horizontal con neutro, de 4 barras, tensión 400 V, por los huecos entre una larga fila de armarios como se muestra en la Fig. 150. El embarrado debe soportar 630 A de intensidad nominal y 31.5 kA de intensidad de cortocircuito trifásico máximo, con un coeficiente de seguridad de 1.50 en este último caso. Considerar 40 mm de separación entre barras y bordes de los huecos.

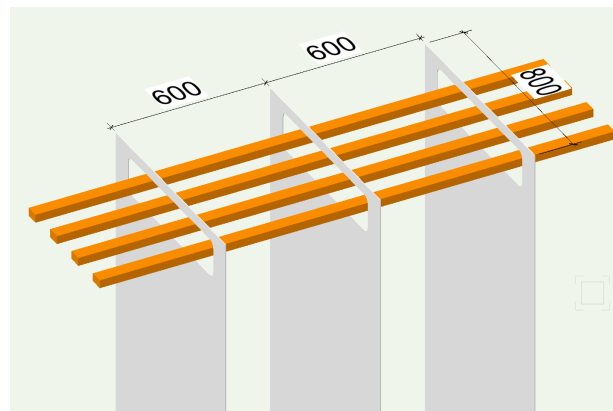


Fig. 150 Embarrado 400 V del ejemplo

Una solución puede consistir en emplear una pletina por fase de 50 x 5 mm que, de acuerdo con la tabla que acompaña a la Fig. 142, permite una densidad de corriente de 2.60 A/mm². En efecto, esa pletina puede llevar

$$2.60 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \times 50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 650 \text{ A}$$

y se pueden colocar de forma plana separadas 105 mm como se indica en la Fig. 151, lo que implica practicar entre los armarios un orificio de 595 x 85 mm para respetar una distancia de 40 mm a cualquier borde.

Es suficiente una sujeción por armario, separadas por tanto 600 mm entre sí:

$$\begin{aligned} \text{Intensidad de cortocircuito trifásico (valor eficaz)} \quad I_{cc} &= 31.5 \text{ kA} \\ \text{Valor máximo (cresta primera onda)} \quad I &= 1.8 \sqrt{2} I_{cc} = 80 \text{ 186 A} \end{aligned}$$

$$a = 50 \text{ mm} \quad b = 5 \text{ mm} \quad c = 105 \text{ mm}$$

$$d = \frac{a}{2} + c + \frac{a}{2} = a + c = 155 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{5}{50} = 0.10, \quad \frac{d}{a} = \frac{155}{50} = 3.10, \quad k = 1.02, \quad a_m = \frac{d}{k} = \frac{155}{1.02} = 152 \text{ mm}$$

$$\text{Como } L = 600 \text{ mm,} \quad F = 2 \times 10^{-7} I^2 \frac{L}{a_m} \sqrt{1 + \frac{d^2}{L^2} - \frac{d}{L}} = 4565 \text{ N}$$

$$M_{f \text{ máx}} = F_{\text{máx}} \frac{L}{8} = 4565 \frac{600}{8} = 342 \,390 \text{ Nmm}$$

$$W_z = \frac{a^2 b}{6} = \frac{50^2 \cdot 5}{6} = 2083 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_{f \text{ máx}}}{W_z} = \frac{342 \,390 \text{ (Nmm)}}{2083 \text{ (mm}^3\text{)}} = 164.35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_y = \sigma_{\text{máx}} = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad \text{luego } C.S. = \frac{f_y}{\sigma} = \frac{250}{164.35} = 1.52 \quad \text{CUMPLE}$$

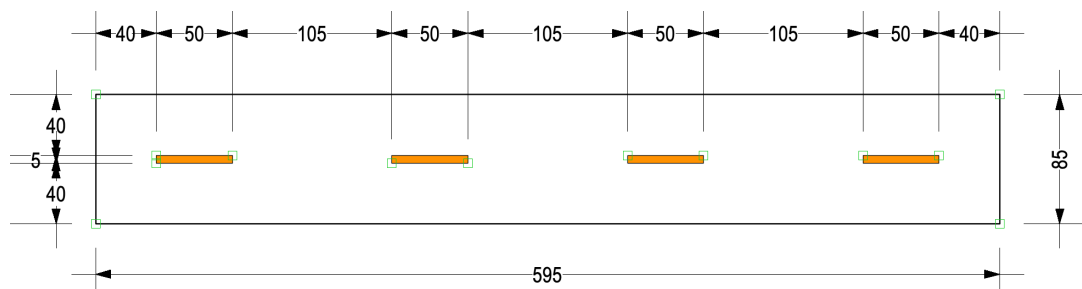


Fig. 151 Una solución al ejemplo 2 mediante pletinas de 50 x 5 mm de cobre

EJEMPLO 3

En muchas ocasiones los embarrados deben adoptar formas curvas e incluso sinuosas, como en el caso de la Fig. 152. El método de cálculo de los ejemplos anteriores puede aplicarse a sus zonas rectas y paralelas, y servirá para estimar la idoneidad de las pletinas y sus sujeciones, pero no es aplicable a las zonas curvas porque en ellas aparecen momentos torsores debido a su geometría. Se necesita, en estos casos, acudir a un método de verificación por cálculo mediante elementos finitos.

Las dimensiones de las pletinas, su forma y las posiciones de las sujeciones son las de la Fig. 153. La intensidad nominal son 1250 A y la de cortocircuito trifásico 31.5 kA. Las barras son de cobre ($f_y = 250 \text{ MPa}$).

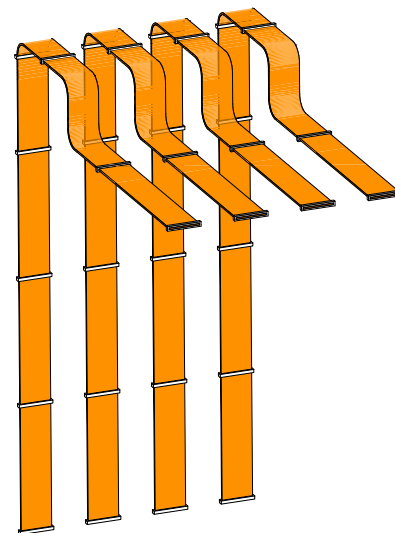


Fig. 152 Embarrados curvados

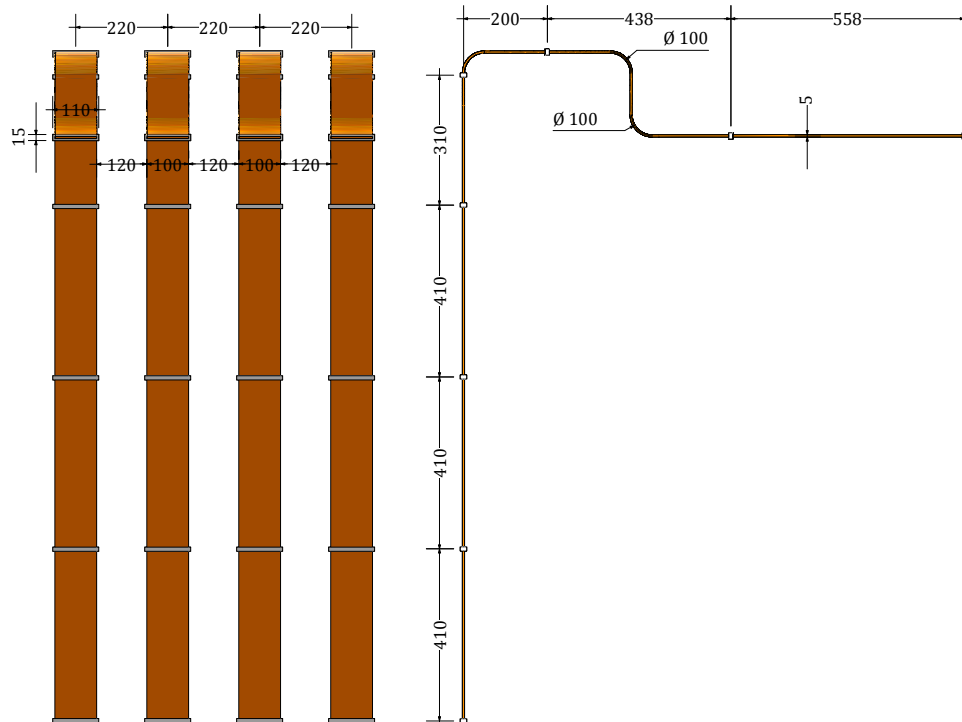


Fig. 153 Forma y dimensiones de las barras para el ejemplo

Para los tramos verticales, donde la distancia entre soportes es de 410 mm, el cálculo de los ejemplos anteriores es:

L (mm)	410	I_{cc} (A)	31500
a (mm)	100	f_y (N/mm ²)	250
b (mm)	5		
c (mm)	120	$I_{cc \max}$ (A)	80186
		F (N)	2160
d (mm)	220	F (N/m ³)	10538640
b/a	0.05		
d/a	2.20	$M_f \max$ (Nmm)	110722
k	1.04	W_z (mm ³)	8333
a_m (mm)	211.5	Tensión (N/mm ²)	13.29
		C.S.	18.82
J (A/mm ²)	2.60		
S (mm ²)	500		
I_{nom} (A)	1300		
Vol (m ³)	0.000205		

En el tramo final donde $L = 558$ mm y $k = 1.04$ resulta C.S. = 10.09. Por tanto, la solución adoptada en los tramos rectos es más que aceptable.

Para los tramos curvos se recurre a un modelo de cálculo por elementos finitos, empleando la plataforma online SIMSCALE, de uso gratuito, aunque con limitaciones, para fines docentes.

Se parte del modelo en formato Parasolid X_T exportado desde el programa de diseño en 3D que se prefiera usar, que se puede importar directamente a SIMSCALE. Conviene simplificar al máximo la geometría: aquí se estudiarán las interacciones entre dos barras (Fig. 155).

Lo siguiente es definir las superficies de contacto, los materiales (cobre y ABS para los soportes) y las condiciones de contorno.

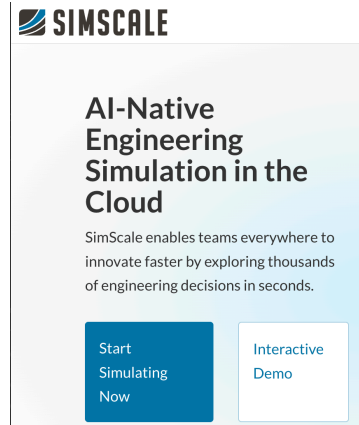


Fig. 154 <https://www.simscale.com/>

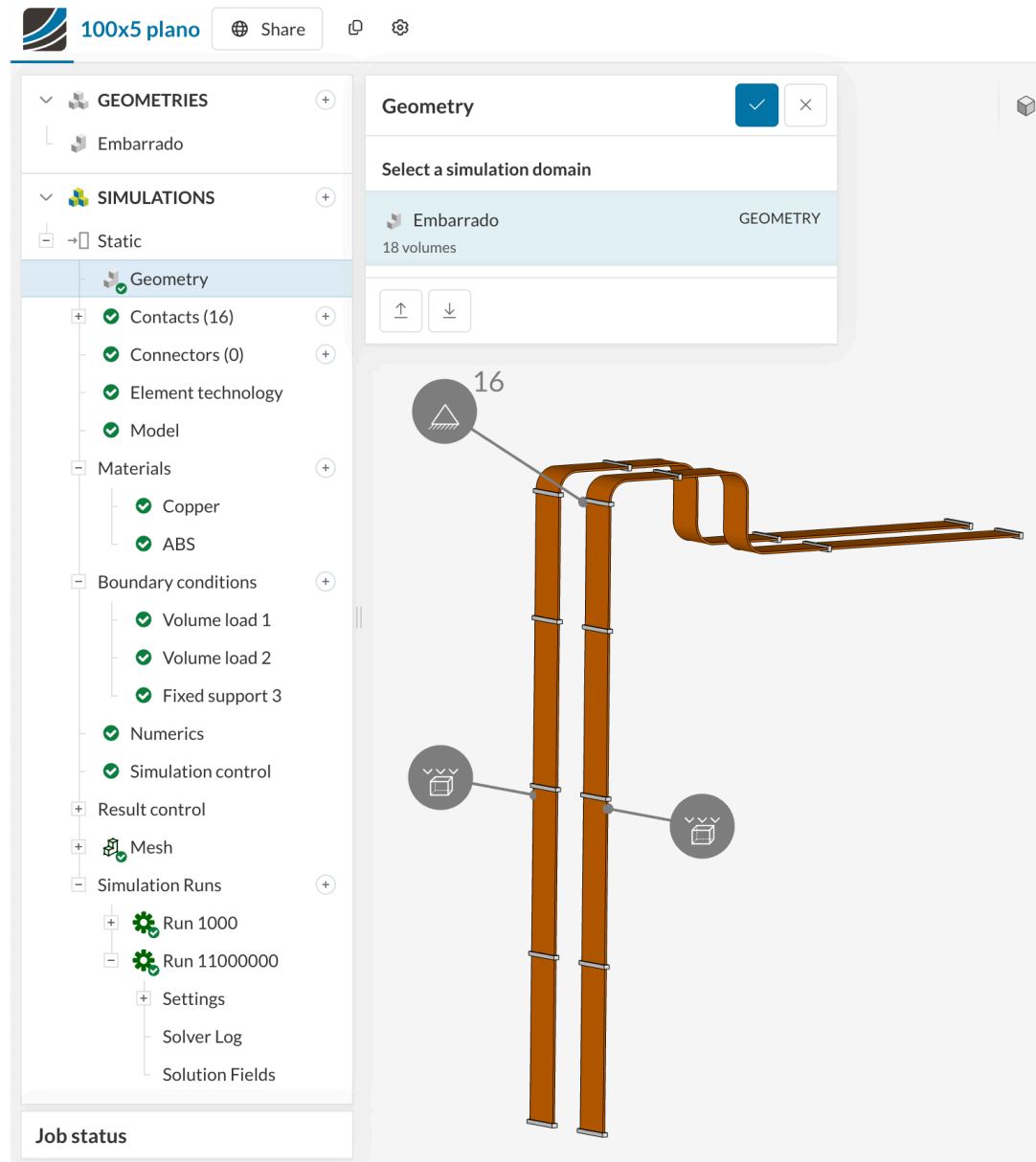


Fig. 155 Definición del modelo de cálculo en SIMSCALE

- Contactos entre piezas: serán de tipo *Bonded* (unidas, sujeción fuerte) de manera que las barras sean el elemento *master* y las caras internas de cada pieza de sujeción sean el elemento *slave* (Fig. 156).
- Carga volumétrica de atracción entre las dos barras: *Volume load* 11 000 000 N/m³ (Fig. 157 y Fig. 158).
- Restricciones al movimiento: *Fixed support* en una de las caras largas exteriores de cada sujeción (Fig. 159).

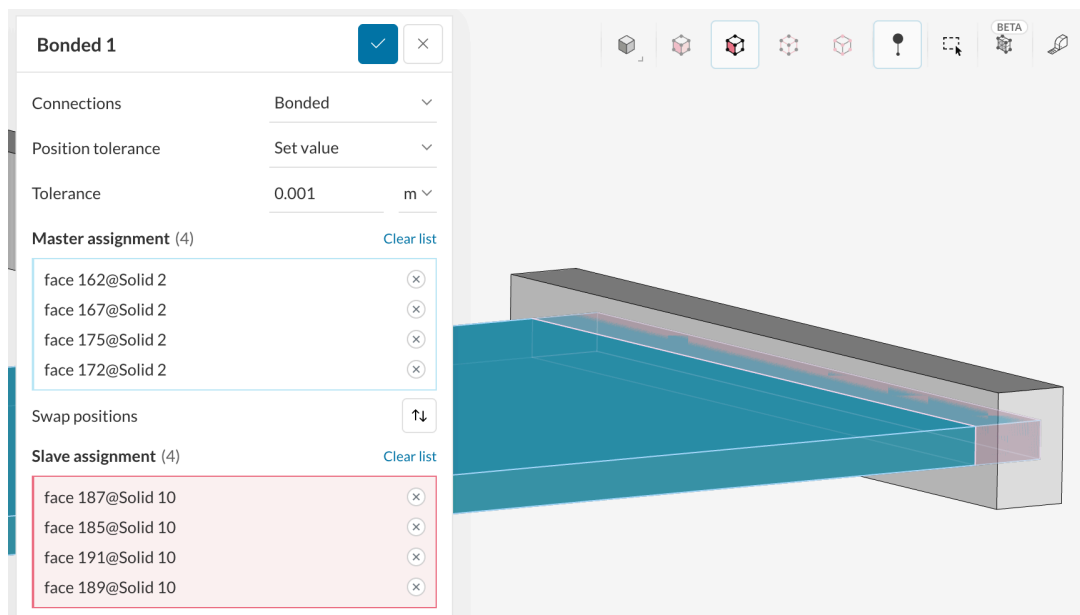


Fig. 156 Todas las sujeciones deben modelarse como se indica: la barra (Solid 2) es *master* y la sujeción (Solid 10) tiene todas las caras interiores como *slave*

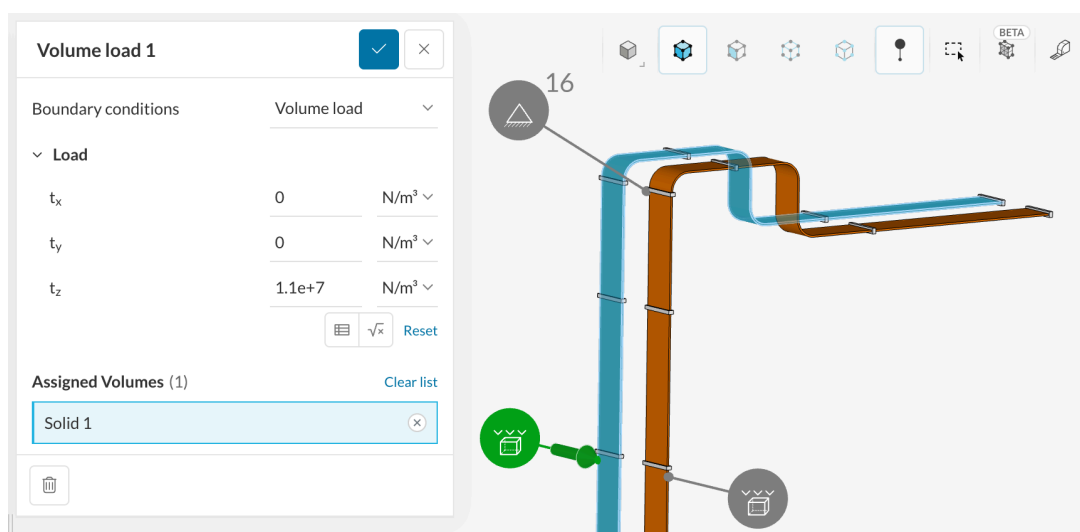


Fig. 157 Carga en todo el volumen de la barra izquierda de +11 MN/m³ en el eje Z

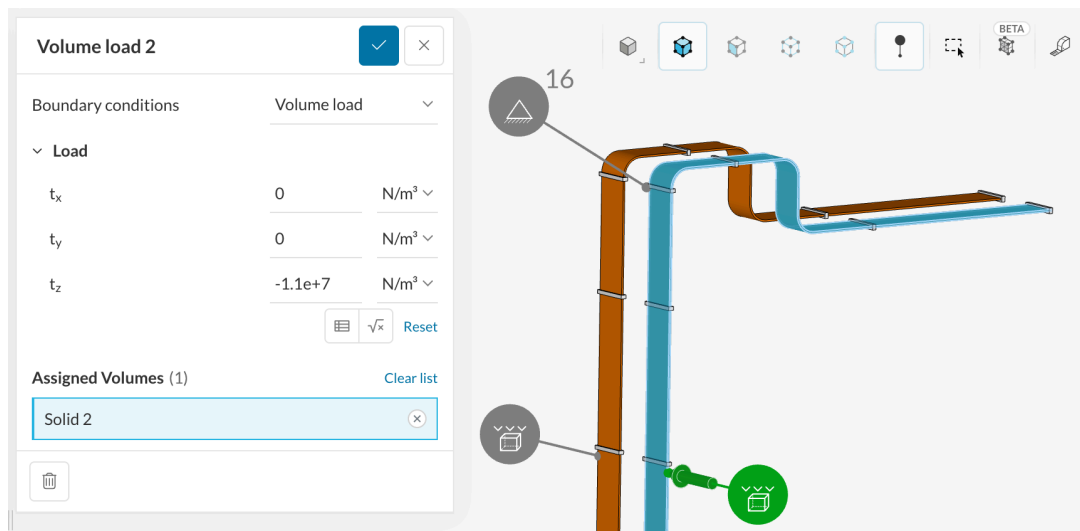


Fig. 158 En la barra de la derecha es de -11 MN/m^3 , también en el eje Z

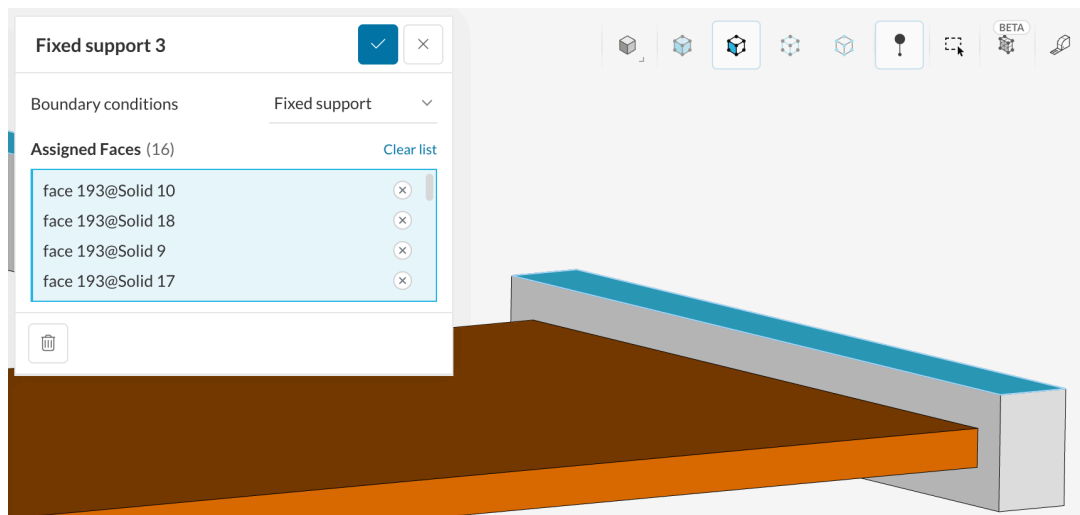


Fig. 159 Se asigna la condición de Fixed support a una cara larga exterior de la sujeción (Solid10)

La definición del modelo se completa creando la malla de triángulos que cubre todas las barras y sus sujeciones. Según sea el parámetro de la finura (*Fineness*, Fig. 160) la malla tendrá menos (*coarse*) o más (*fine*) nodos. Muchos nodos significará alargar mucho el cálculo, pero también obtener más detalle y veracidad en los resultados.

Una práctica frecuente consiste en efectuar una primera simulación con una malla no demasiado fina para poder detectar qué zonas son las más problemáticas, y definir luego en ellas un mallado más compacto que proporcione mayor veracidad de cálculo.

El programa SIMSCALE permite hacerlo en superficies o volúmenes concretos, por lo que estos deberán pre-definirse antes en el diseño CAD como elementos individualizados para que luego, tras la importación de la geometría, aparezcan con superficies y volúmenes individualizados a los que imponer una malla de mayor número de nudos que al resto, empleando la opción *Refinement*.

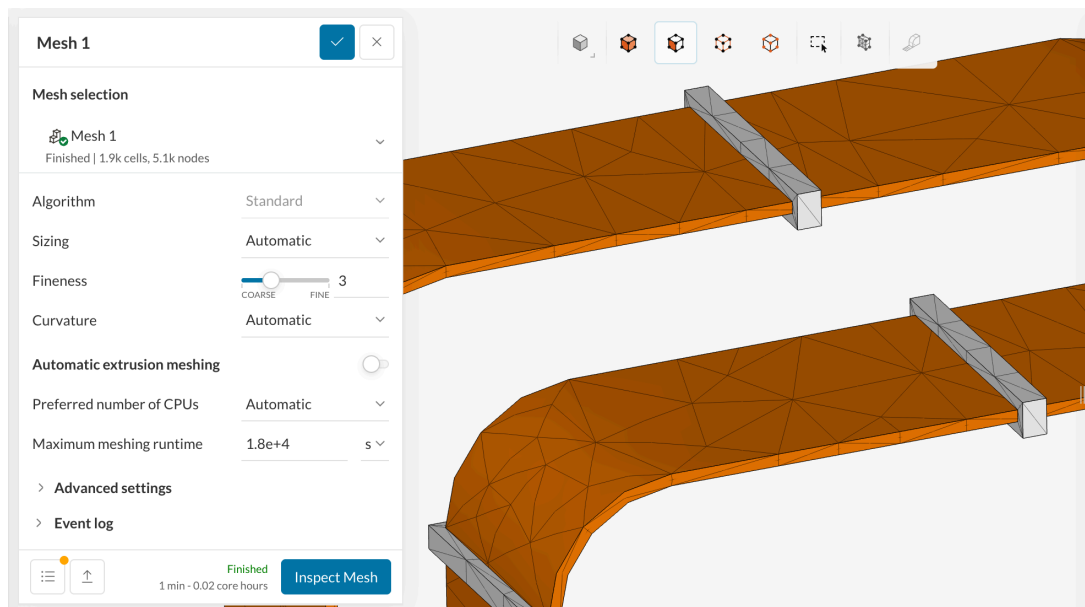


Fig. 160 Malla de triángulos considerada para la simulación (*Fineness* = 3)

El resultado obtenido tras unos minutos de cálculo ejecutado en un servidor remoto se debe post-procesar para visualizar los resultados en forma de mapa de colores (Fig. 161).

Cada tono corresponde a un rango de valores de la magnitud representada. Eligiendo la tensión de Von Mises se mostrará dicha tensión en la unidad que se desee (MPa = N/mm²) de forma que el valor rojo corresponderá siempre al máximo alcanzado en la simulación completa.

Haciendo zoom sobre la imagen se puede obtener más detalle (Fig. 162).

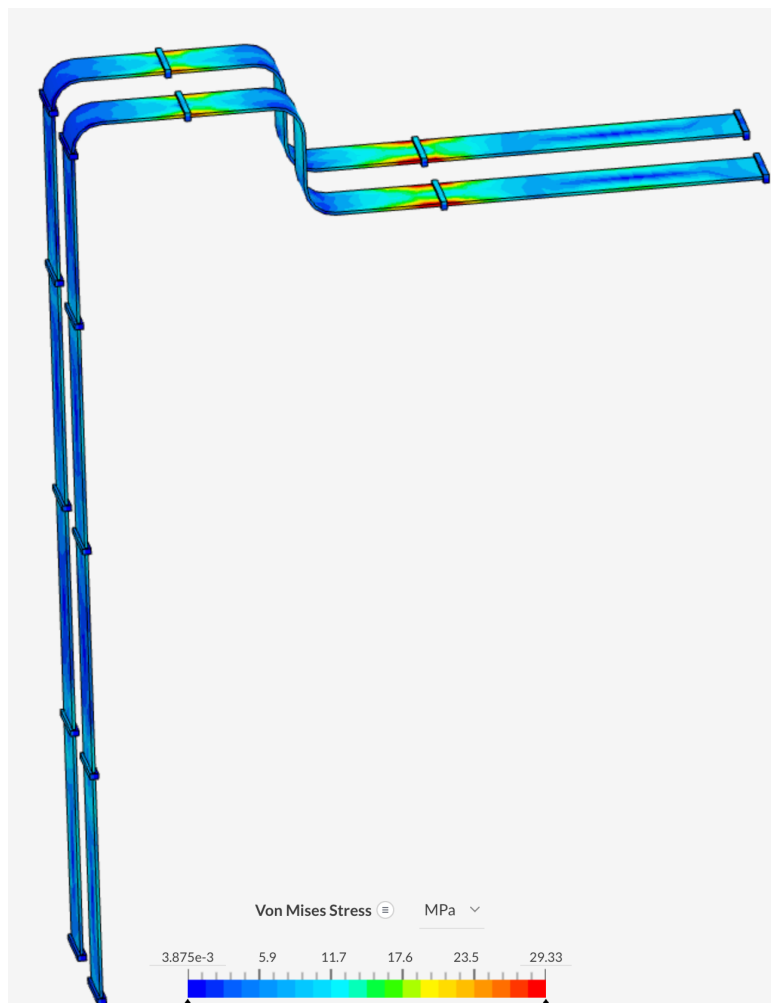


Fig. 161 Resultado ya post-procesado de una simulación ejecutada sin errores

En este caso se comprueba que la tensión máxima, evaluada con el criterio de Von Mises, llega a 29.33 MPa, muy lejos del límite elástico del cobre fijado en 250 MPa. El coeficiente de seguridad es de 8.5 en esas zonas, con lo que se puede concluir que el embañado cumple.

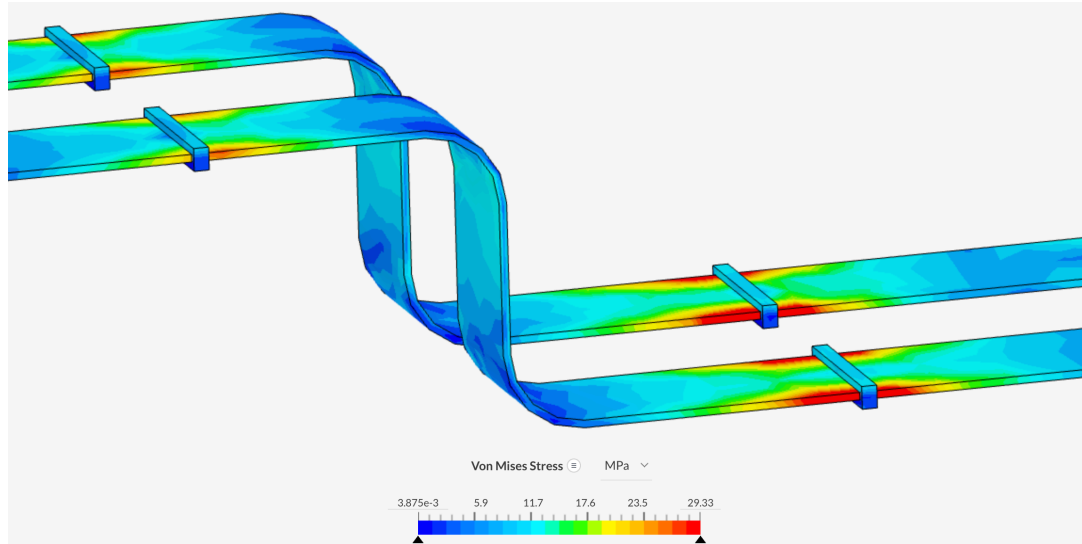


Fig. 162 La máxima tensión en el cobre resulta ser de 29.33 MPa y ese valor se alcanza en las zonas coloreadas en rojo

3.3 Cableado interno

De nuevo la norma de referencia es la UNE-EN IEC 61439-1 *Conjuntos de aparcamiento de baja tensión, Parte 1: Reglas generales*.

Entre sus muchas previsiones se encuentran las tablas que determinan la intensidad admisible y las pérdidas por calentamiento de los conductores, en W/m, del cableado interno de los armarios eléctricos.

No ofrece secciones de cable pequeñas, así que para ellas habrá que usar los criterios de la UNE-HD 60364-5-52 que es la norma general.

Disposición de los conductores		Cables unifilares en una canalización de cable en una pared, colocada horizontalmente y verticalmente. 6 de los cables (dos circuitos trifásicos) cargados continuamente		Cables unifilares tocándose libres en el aire o en una bandeja perforada. 6 de los cables (dos circuitos trifásicos) cargados continuamente		Espacio de al menos el diámetro de un cable	
		Cables unifilares, distanciados horizontalmente libres en el aire					
Sección del conductor	Resistencia del conductor a 20 °C R_{20}^a	Corriente máxima de empleo $I_{máx}^b$	Pérdidas por conductor P_v	Corriente máxima de empleo $I_{máx}^c$	Pérdidas por conductor P_v	Corriente máxima de empleo $I_{máx}^d$	Pérdidas por conductor P_v
mm ²	mΩ/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m
50	0,387	65	2,0	90	3,7	134	8,3
70	0,268	83	2,2	116	4,3	171	9,4
95	0,193	101	2,4	142	4,7	208	10,0
120	0,153	117	2,5	165	5,0	242	10,7
150	0,124			191	5,4	278	11,5
185	0,099 1			220	5,7	318	12,0
240	0,075 4			260	6,1	375	12,7
300	0,060 1			301	6,6	432	13,5

a Valores de la columna 8 (conductores cableados y planos de cobre) de la tabla 2 de la Norma IEC 60228:2004.
 b Corriente admisible I_{30} para un circuito trifásico de la columna 4 (Método de referencia de instalación: Punto B.1 de la tabla B.52.1) de la tabla B.52.4 de la Norma IEC 60364-5-52:2009. $k_2 = 0,8$ (punto 1 de la tabla B.52.17, dos circuitos).
 c Corriente admisible I_{30} para un circuito trifásico de la columna 5 (Método de instalación: Punto F de la tabla B.52.1) de la tabla B.52.10 de la Norma IEC 60364-5-52:2009. Valores de secciones menores de 25 mm² calculados siguiendo el anexo D de la Norma IEC 60364-5-52:2009. $k_2 = 0,88$ (Basado en la experiencia punto 4 de la tabla B.52.17, dos circuitos, se usa con preferencia a la tabla B.52.21).
 d Corriente admisible I_{30} para un circuito trifásico de la columna 7 (Método de instalación: Punto G de la columna 1 de la tabla B.52.1) de la tabla B.52.10 de la Norma IEC 60364-5-52:2009. Valores de secciones menores de 25 mm² calculados siguiendo el anexo D de la Norma IEC 60364-5-52:2009. ($k_2 = 1$).
 e Los coeficientes se basan en cables en recorrido horizontal ya que tiene un impacto despreciable en cables en recorrido vertical dentro de un conjunto.

Fig. 163 Parte de la tabla H.1 de la UNE-EN IEC 61439-1

3.4 Buenas prácticas

Para el buen diseño de armarios de protecciones y control deben respetarse estos criterios básicos:

1. El espacio libre alrededor de los aparatos no es un despilfarro de material: aunque las envolventes de los cuadros eléctricos no son baratas, es preciso dejar sitio suficiente para la entrada y salida de cables.
2. Se deben respetar al menos 200 mm entre ejes de carriles omega (carriles DIN) paralelos. En la Fig. 164 se han dejado 220 mm.
3. Es imprescindible una canal portacables cubierta vertical, más una canal al menos por cada carril DIN. En la Fig. 164 se han colocado canales en todos los huecos posibles.
4. Las filas de bornas deben quedar lo más cerca posible de la entrada de cables desde el exterior del armario. Normalmente es la parte inferior, pues es la que más protección otorga frente al agua, pero tiene el inconveniente de obligar al operario a trabajar agachado si en la ubicación definitiva del armario quedan demasiado bajas.

Cualquier aplicación de CAD permite hacer, en muy poco tiempo, diseños como el de la Fig. 165. No obstante, existen soluciones como las del apartado siguiente.

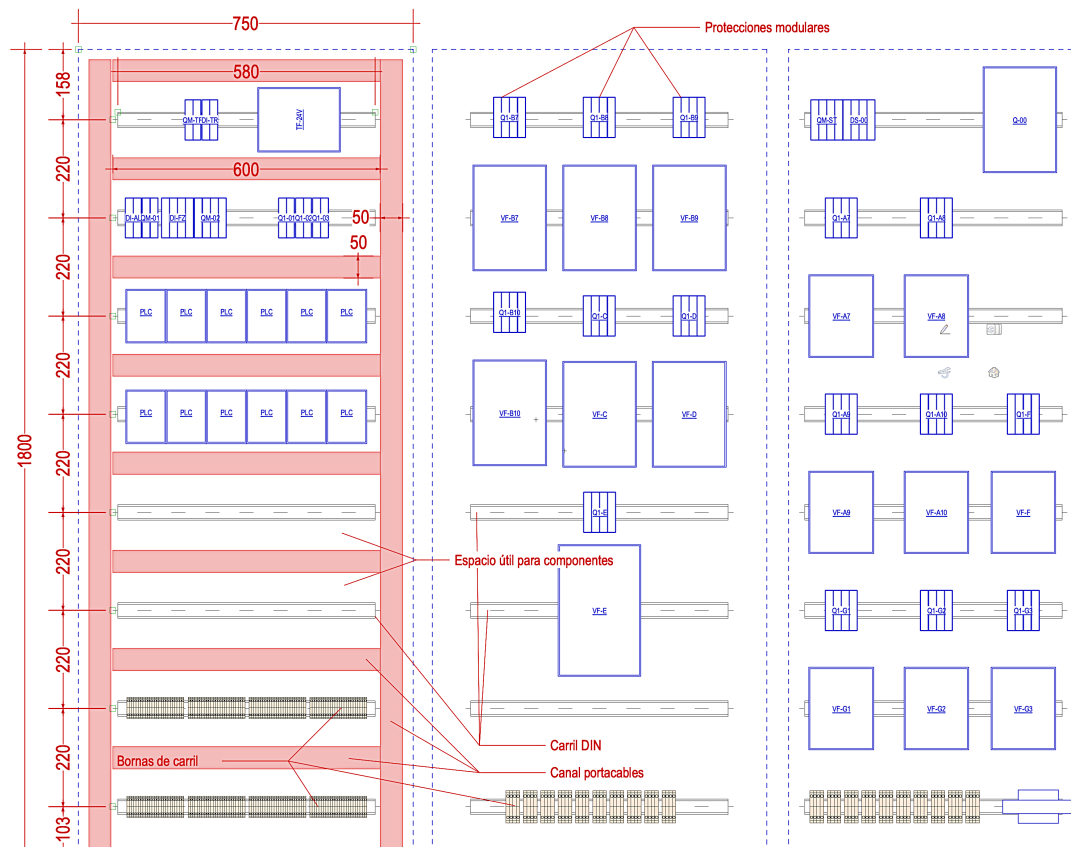


Fig. 164 Cuadro eléctrico de protección y control, de tres cuerpos.

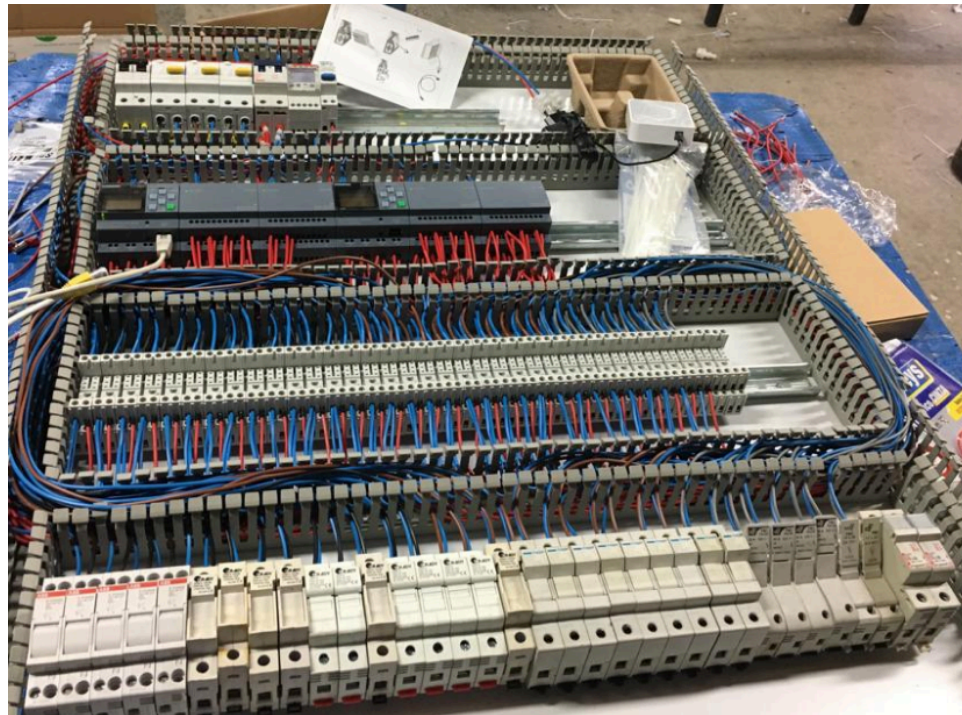


Fig. 165 En ocasiones los armarios llevan muchísimo cableado. Las canales portacables con tapa son esenciales.

4 USO DE APLICACIONES DE TERCEROS

Cada vez más fabricantes de armarios y componentes para armarios eléctricos ponen a disposición de sus clientes, y de todo el mundo en general, herramientas de diseño muy curiosas para planificar cuadros eléctricos de prácticamente cualquier tamaño.

4.1 HagerCAD.project de HAGER

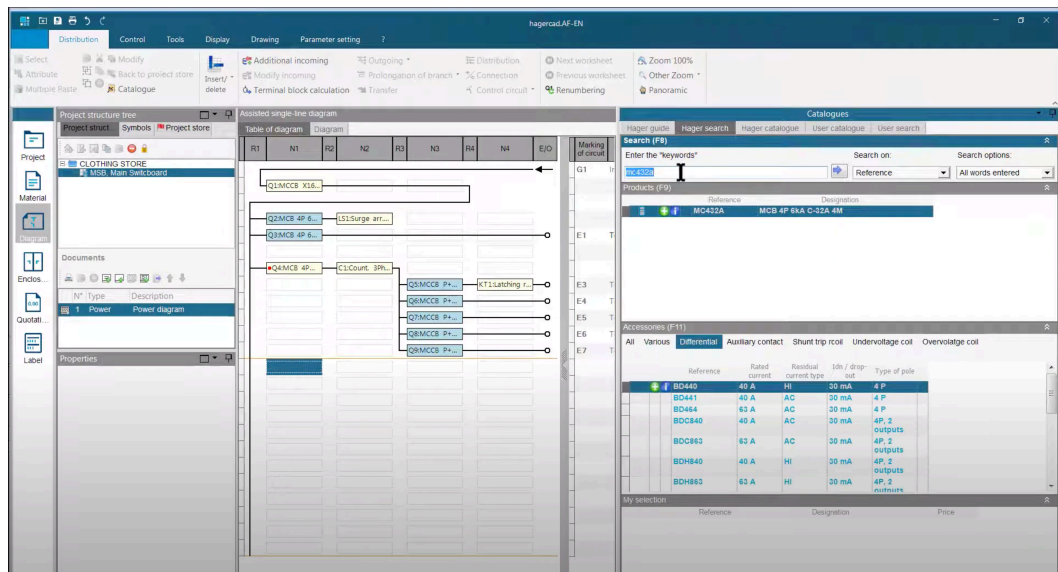


Fig. 166 Aplicación de diseño de cuadros eléctricos de HAGER

Esta aplicación gratuita permite diseñar cualquier tipo de cuadro eléctrico hasta 4000 A de intensidad nominal. Con muchas prestaciones accesorias además para definir correctamente cualquier solución doméstica, terciaria o industrial.

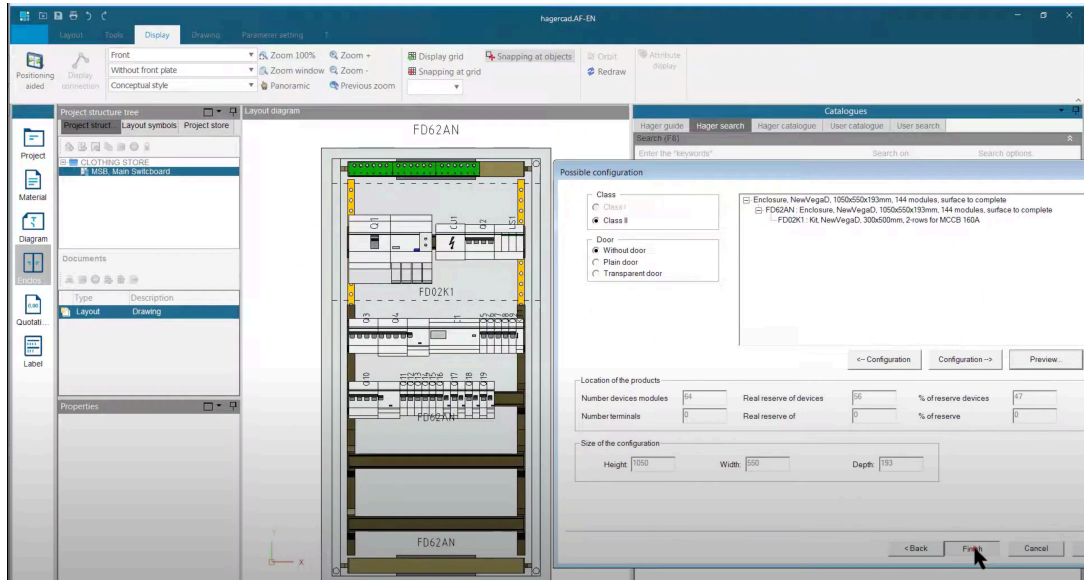


Fig. 167 Es posible incluso visualizar un detalle en 2D de toda la aparamenta a incluir



Fig. 168 La aplicación incluso permite crear esquemas unifilares y presupuestos detallados.

El cuadro eléctrico "S_01" del ejemplo de la Fig. 128, pág. 141, diseñado con esta aplicación, podría tener el aspecto siguiente:

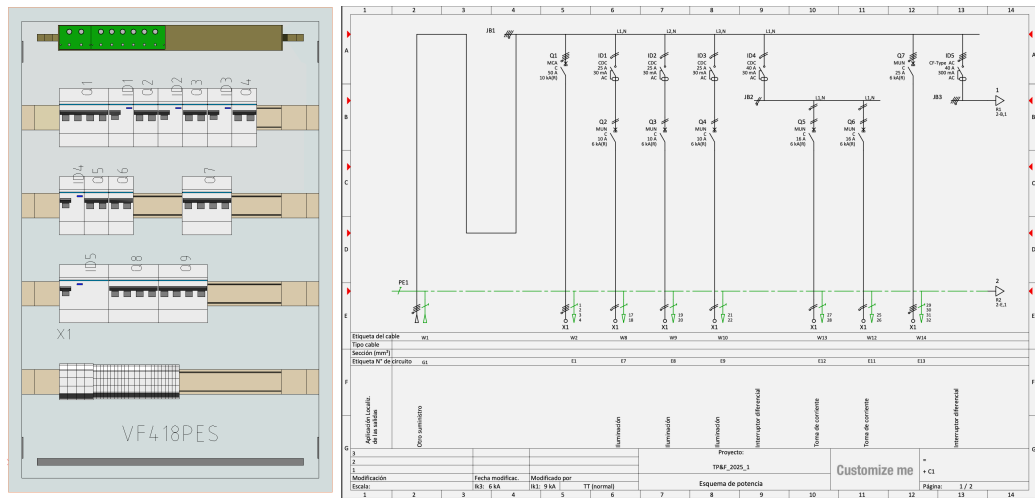


Fig. 169 Cuadro eléctrico del ejemplo "S_01" diseñado con HagerCAD.project

Proyecto		Obra		28/10/2025	
TP&F_2025_1					
Etiqueta					
Índice: a					
Cantidad	Unidad	Referencia	Descripción	Precio unitario de venta	Precio total venta
C1			Cantidad: 1		
Material Hager					
18	Unidad	Blocks-02mm-L	Borne de fase 2,5mm ² (material no suministrado por hager)	5,00	90,00
4	Unidad	Blocks-06mm-L	Borne de fase 6mm ² (material no suministrado por hager)	5,00	20,00
4	Unidad	Blocks-16mm-L	Borne de fase 16mm ² (material no suministrado por hager)	5,00	20,00
3	Unidad	CDC225M	Interruptor diferencial tipo AC, 2P, 25A, 30mA	32,34	97,01
1	Unidad	CDC240M	Interruptor diferencial tipo AC, 2P, 40A, 30mA	33,33	33,33
1	Unidad	CFC440M	Interruptor diferencial tipo AC, 4P, 40A, 300mA	50,75	50,75
1	Unidad	MCA450	Interruptor automático magnetotérmico serie M, 4P, 50A, curva C, 6/10kA	65,76	65,76
3	Unidad	MUN210A	Interruptor automático magnetotérmico serie MU, 2P, 10A, curva C, 6KA	4,52	13,56
2	Unidad	MUN216A	Interruptor automático magnetotérmico serie MU, 2P, 16A, curva C, 6KA	4,60	9,19
1	Unidad	MUN410A	Interruptor automático magnetotérmico serie MU, 4P, 10A, curva C, 6KA	20,00	20,00
1	Unidad	MUN416A	Interruptor automático magnetotérmico serie MU, 4P, 16A, curva C, 6KA	20,21	20,21
1	Unidad	MUN425A	Interruptor automático magnetotérmico serie MU, 4P, 25A, curva C, 6KA	21,61	21,61
1	Unidad	VF418PES	Caja empotrable golf serie VF, 4 filas, 72M, puerta blanca, regleta QC y chasis	108,00	108,00
2	Juego	VZ842N	Bolsa 10 obturadores cajas golf VF/VS, de 2,5 módulos, precortados a 1/2 módulo	1,02	2,03
Total material Hager					571,45
Total material C1					
Unitario					571,45
Total (x1)					571,45
Peso total 7 Kg					
Totales proyecto					
Total material Hager					571,45
Total del material del proyecto					571,45

Fig. 170 Ejemplo "S_01" presupuestado con HagerCAD.project

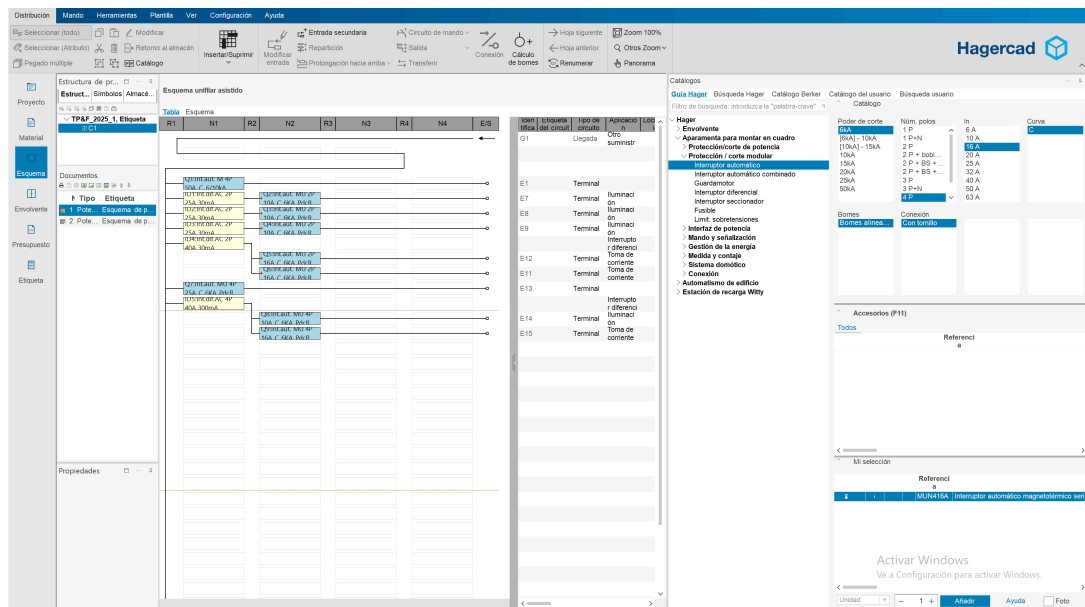


Fig. 171 Definición del esquema unifilar del ejemplo "S_01" en HagerCAD v.6.8

4.2 XL Pro3 de LEGRAND

Este fabricante francés también ofrece un programa gratuito para el diseño de armarios eléctricos de potencia, para la gama industrial. Realmente se trata de un conjunto de tres programas distintos:

- **XL Pro3:** diseño de sistemas eléctricos en baja tensión. Permite construir esquemas unifilares, establecer las notas de cálculo y el balance de potencia y calcular las protecciones necesarias con sus ajustes.
- **XL Pro3 Panel:** software para el diseño de los cuadros eléctricos incluyendo aparatos para la medida de la energía, transformadores de corriente y relés de conversión.
- **XL Pro3 Tool CAD:** selectividad y filiación. Permite conocer los límites de selectividad y filiación entre los diferentes dispositivos importados desde la base de datos, mostrando las curvas de disparo de estos dispositivos junto a los valores de filiación.

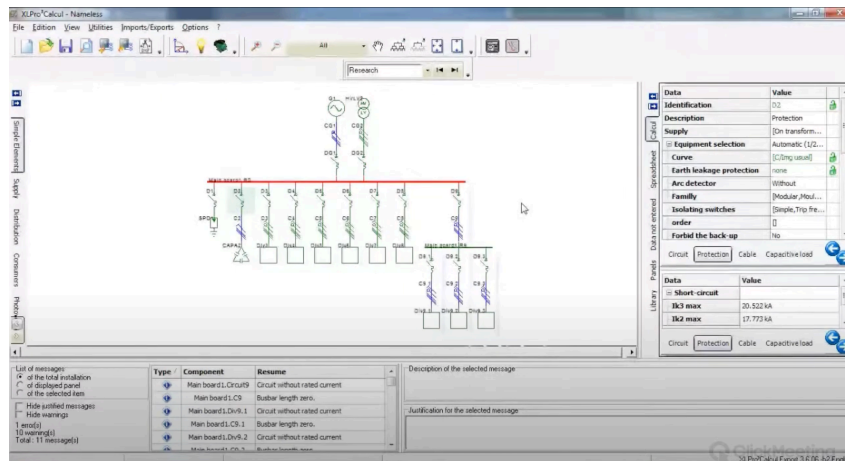


Fig. 172 XL Pro3 Calcul de Legrand para diseñar esquemas unifilares.

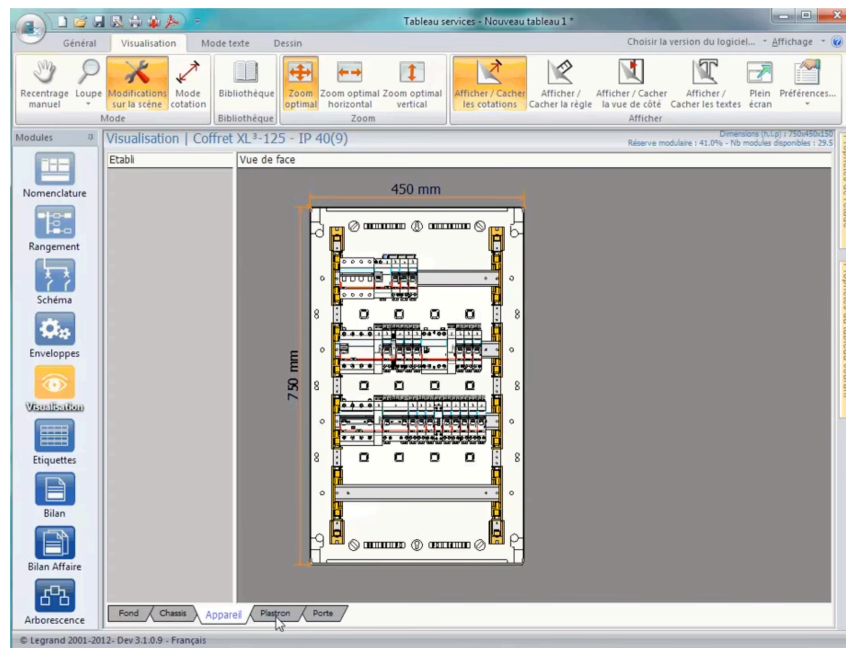


Fig. 173 XL Pro3 Dimensionamiento de Legrand para el diseño de cuadros eléctricos

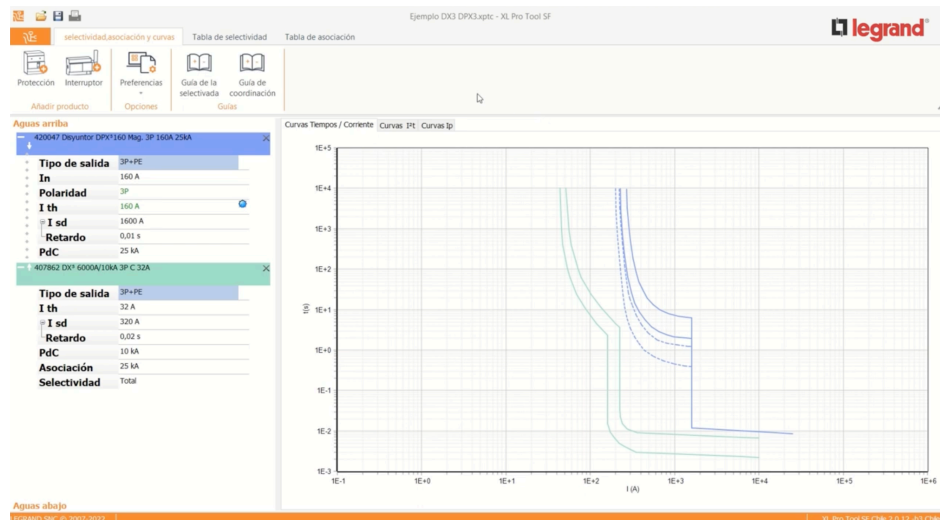


Fig. 174 XL Pro3 Tool de Legrand para el estudio de protecciones.

4.3 SEE Electrical de ETAP

Se trata de una colección de módulos o programas independientes que heredan información unos de otros, y sirven para el diseño avanzado de complejos sistemas de distribución de energía y de control y automatización, como los que hay en las subestaciones eléctricas.

No son gratuitos pero algunos de ellos pueden usarse sin muchas restricciones durante 30 días.

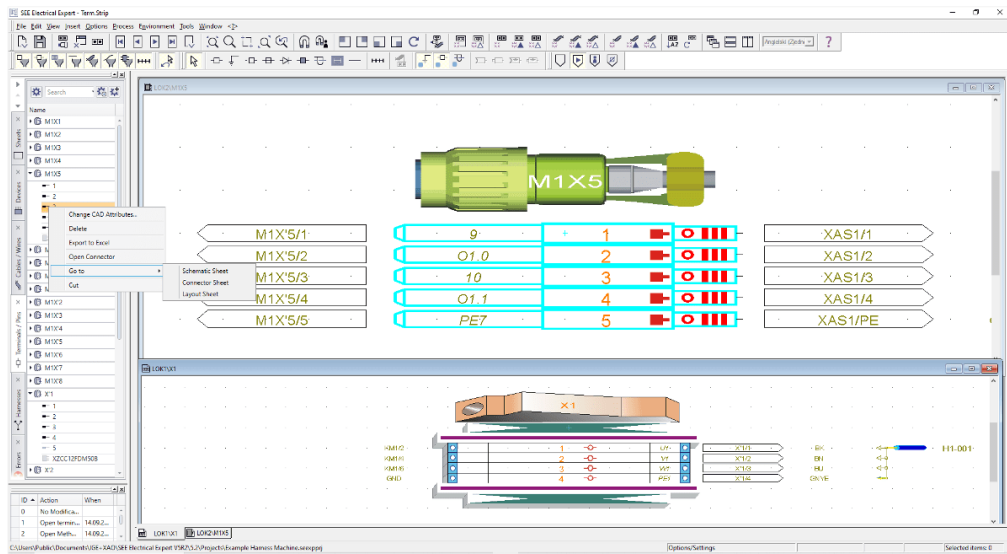


Fig. 175 SEE Electrical Expert: gestión de cables, terminales y bornas

Las versiones más avanzadas ofrecen prestaciones como las siguientes:

- Listados automáticos de materiales eléctricos y componentes mecánicos
- Enrutamiento automático óptimo de cables y listado de cables con identificación FROM >> TO, sección, longitud, tipo y denominación
- Comprobación de duplicaciones, verificación de inconsistencias y errores de diseño
- Creación automática de vistas de planos y esquemas, con referenciado cruzado personalizable
- Creación automática de archivos para fabricación, como los de mecanizado CNC (perforación de armarios, corte de conductores) y de gestión de terminales (etiquetado, rotulado)

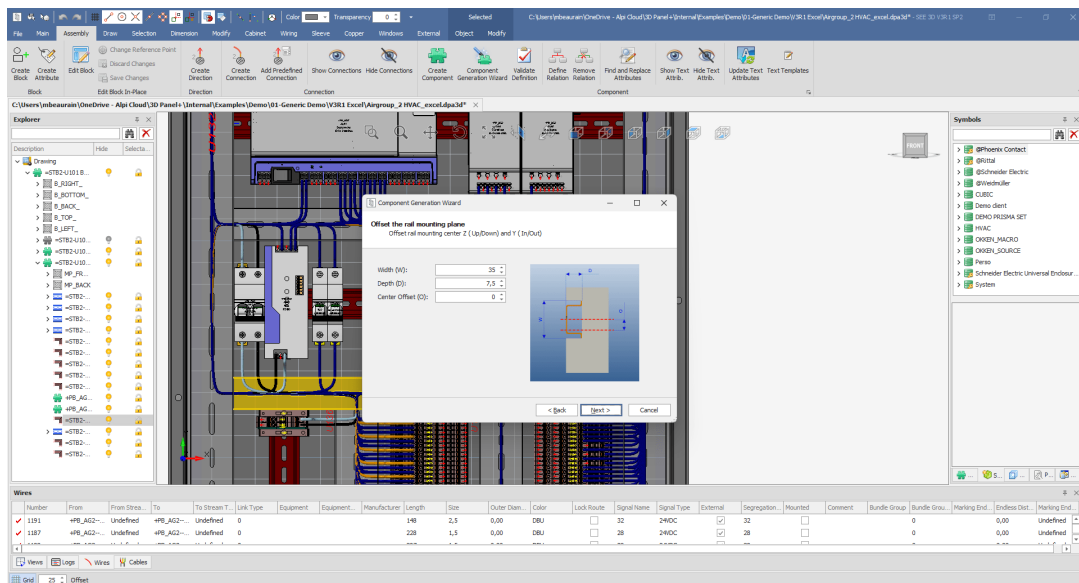


Fig. 176 SEE Electrical 3D Panel: diseño electromecánico