1.2 Automatismos

Diálogo hombre-máquina // Mando de potencia //Adquisición de datos // Lógica programable

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. 17 donde no se representan nunca todos los hilos conductores de los circuitos, sino sólo uno por cada uno de ellos.

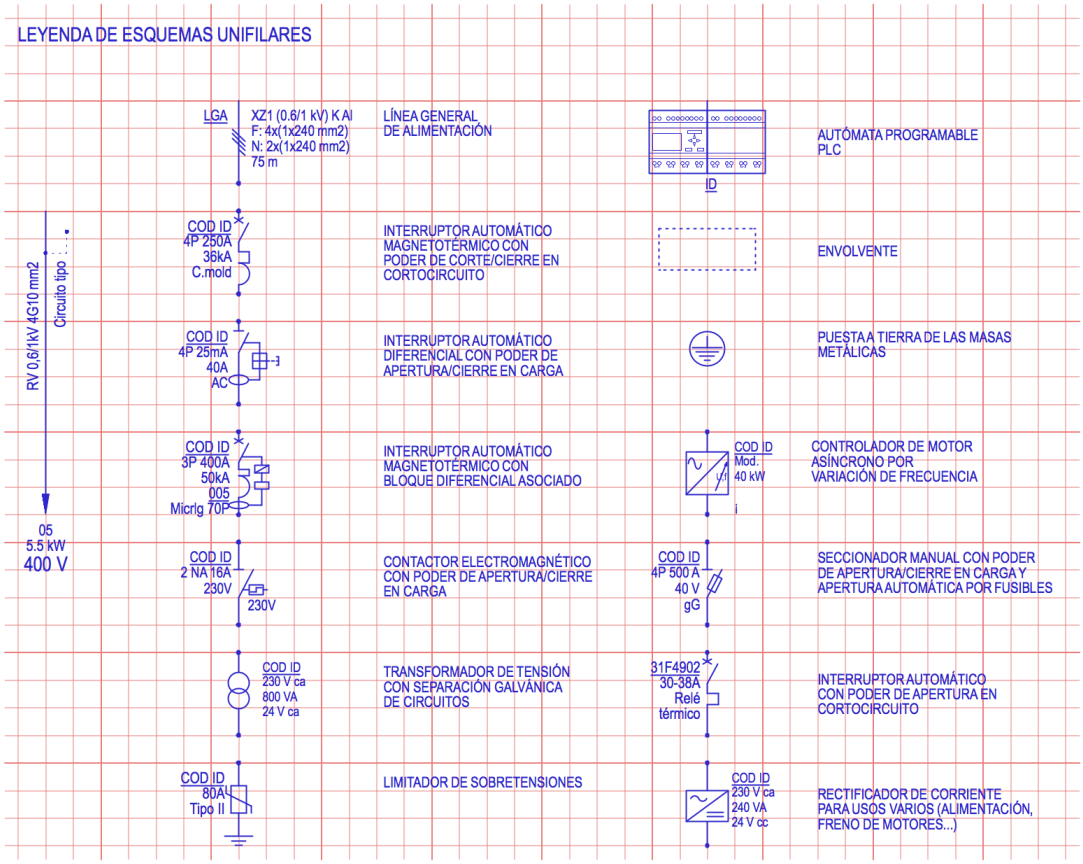

Fig. 17 Simbología habitual en esquemas unifilares.
Retícula 4 x 4 mm.

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.

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 escrupolosamente 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. 18 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:

Circuito	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.

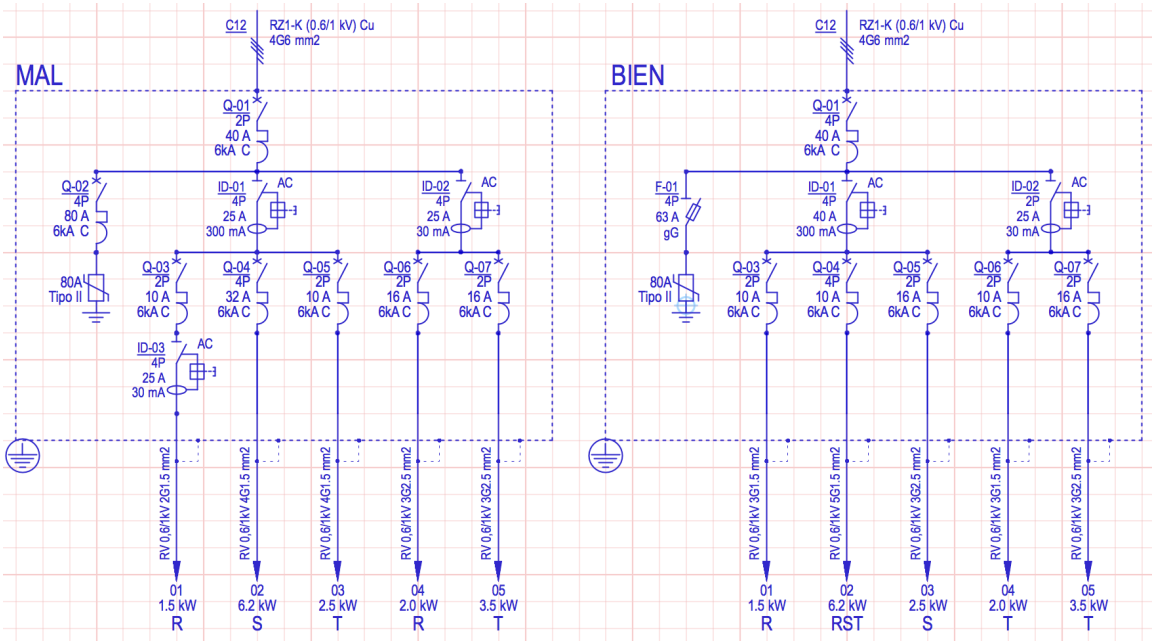

Fig. 18 Ejemplo 1 de cuadro de protecciones eléctricas.
La versión de la izquierda tiene errores.

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 representada a la derecha).

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 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 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.

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. 19.

Es una instalación de un local de pública concurencia (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.

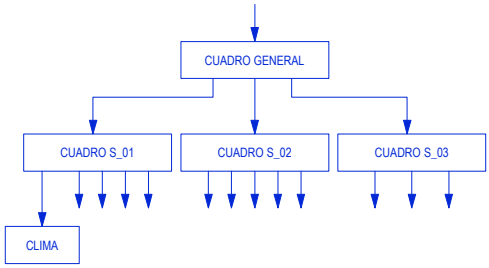

Fig. 19 Diagrama de bloques de la instalación del ejemplo.

Supongamos que del 'Cuadro S-01' se alimentan los 8 circuitos receptores de la tabla siguiente:

##	Descripción	V_n (V)	P_n (W)	fdp	I (A)	I_n (A)	Tipo (ºC)	Secc (mm²)
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		0,90	16	16	70	2,5
05	Fuerza II	230		0,90	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 luego se tendrá en cuenta que 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 tri-

fásico: $I_{I+N}(\mathrm{A}) = \dfrac{P_n(\mathrm{W})}{V_n(\mathrm{V})\cos\varphi}$ $\qquad I_{IV}(\mathrm{A}) = \dfrac{P_n(\mathrm{W})}{\sqrt{3}\,U_n(\mathrm{V})\cos\varphi}$

- 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:
  - 70ºC: cables de aislamiento PVC o poliolefinas, tipo H07V-K por ejemplo. Identificados como 'PVC' en la tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19.
  - 90ºC: cables de aislamiento de polietileno reticulado 'XLPE' 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.

Una solución podría ser la representada en los esquemas unifilares de la Fig. 20.

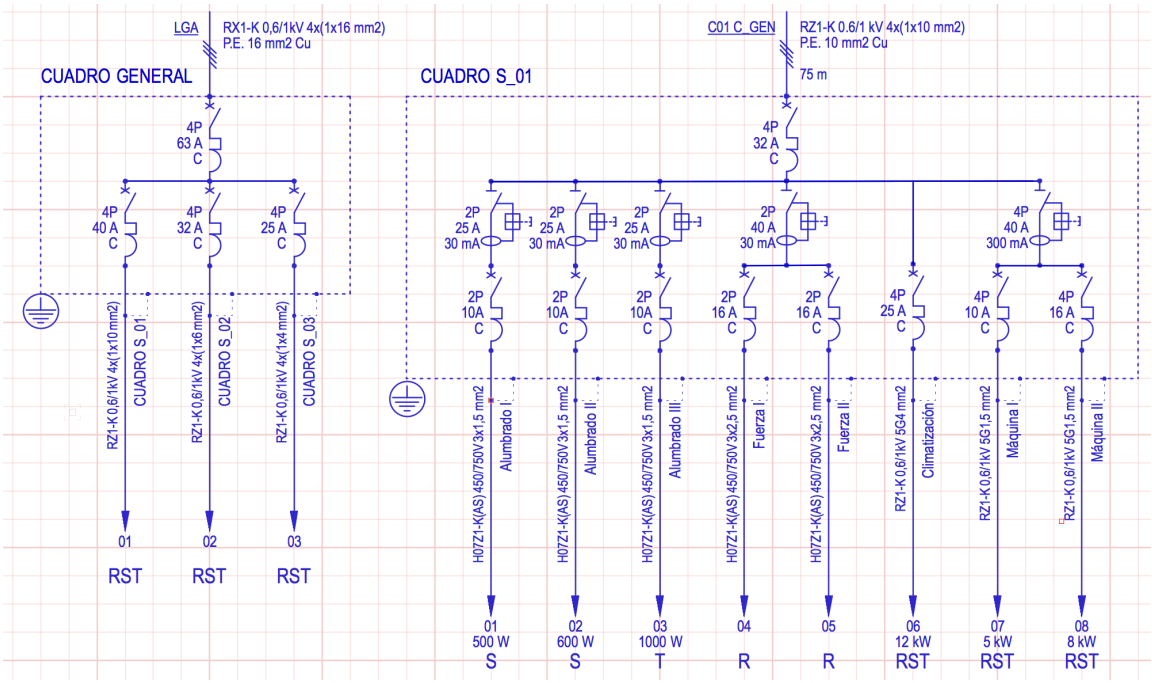

Fig. 20 Una solución para el 'Cuadro General' y el 'Cuadro S-01' de este ejemplo.

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. 21. 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.

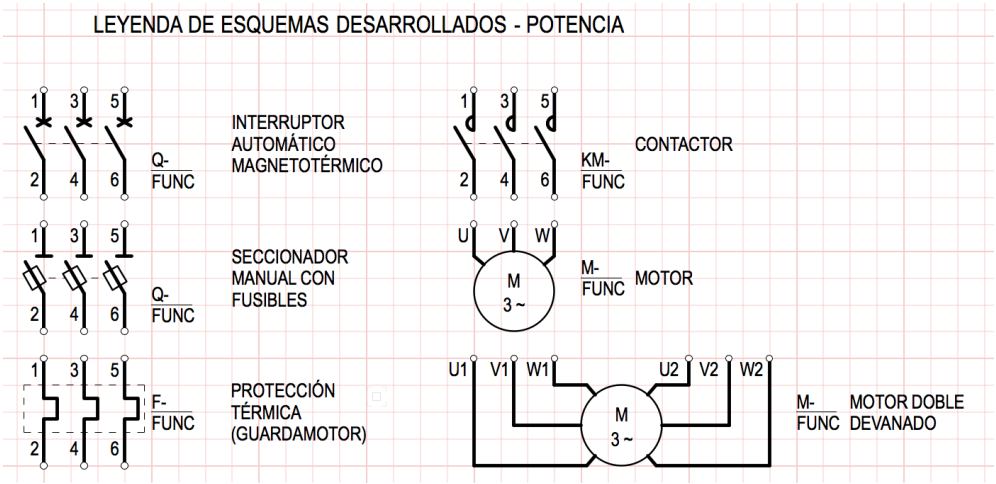

Fig. 21 Simbología de potencia en una retícula de 4x4 mm.

En la Fig. 22 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 símbolode enclavamiento: indica que en el circuito de control se ha impedido que ambos cierren a la vez (¡ cortocircuito trifásico !).

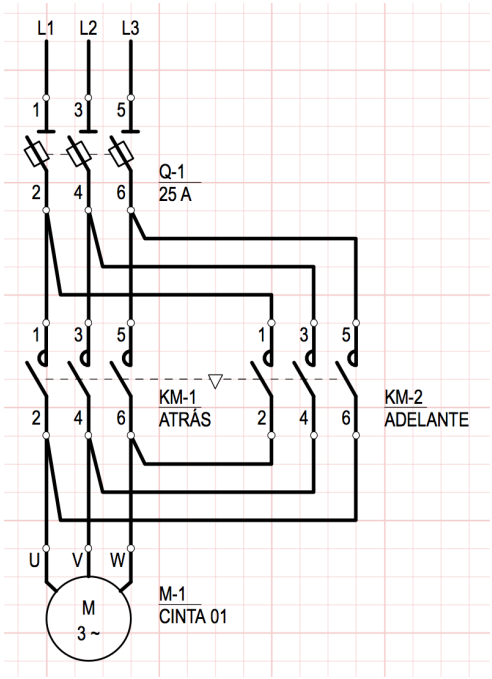

Fig. 22 Arranque directo de motor con inversión de giro.

2.2.2 Simbología habitual de automatismos y control

Los símbolos habituales de los esquemas desarrollados son los de la Fig. 23, y en el apartado siguiente se indican las reglas de referenciado para identificar cada aparto, cada borna y cada conductor.

En la Fig. 25 se puede observar una aplicación de la simbología anterior para crear un sistema de control de motor con dos pulsadores y un selector.

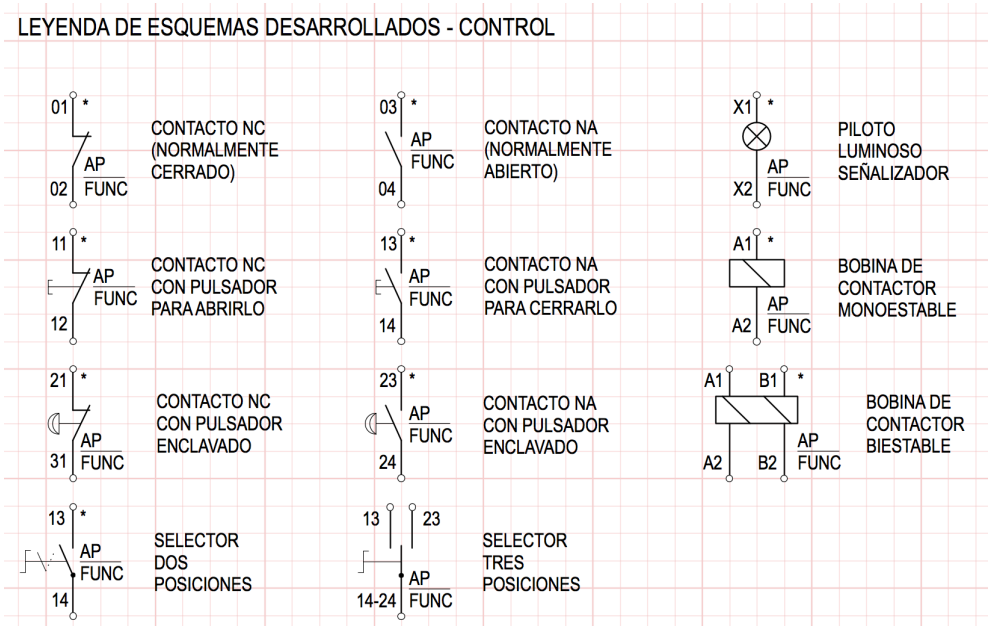

Fig. 23 Símbolos más habituales en los esquemas desarrollados de control.
Retícula 4 x 4 mm.

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).

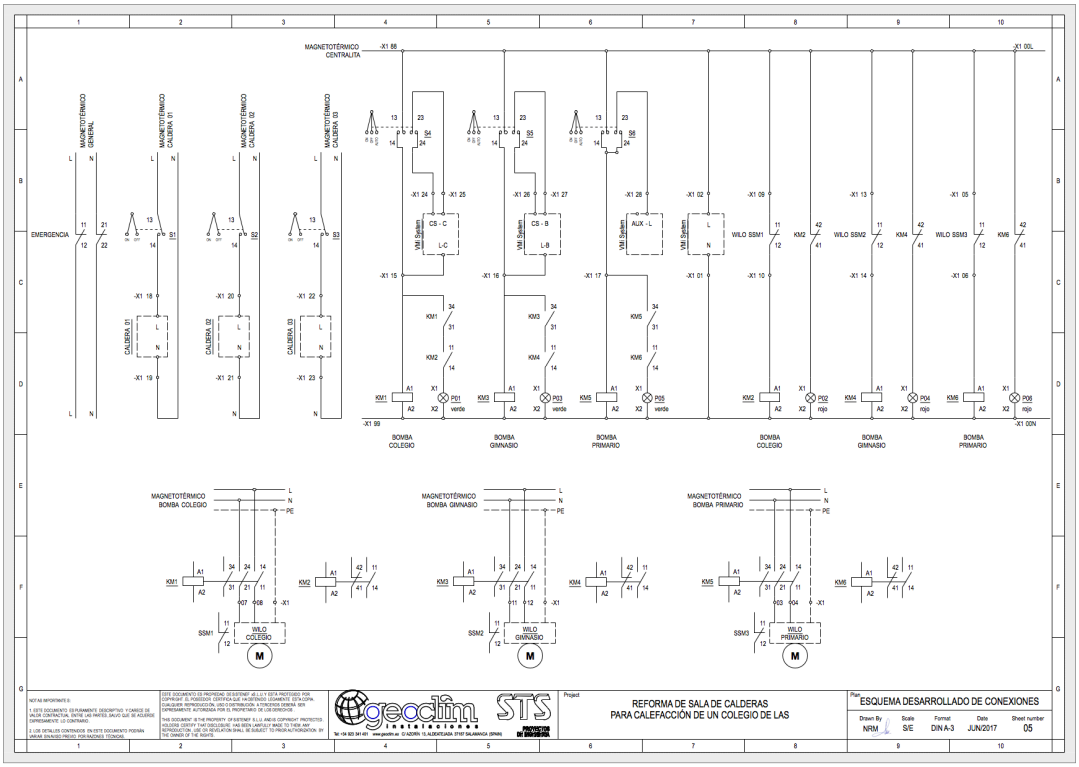

Fig. 24 El borde del plano se divide en filas y columnas para facilitar el referenciado de componentes según su posición en el dibujo.

- 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, que responderá al código normalizado de la tabla más abajo.

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").

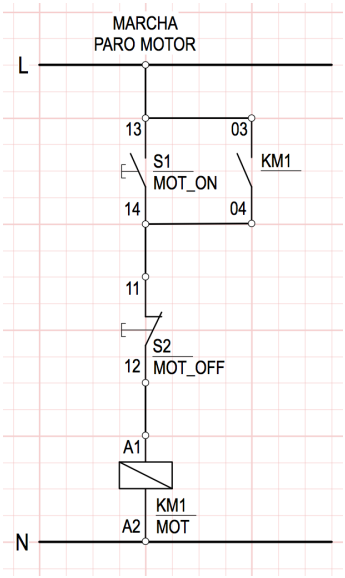

Fig. 25 Mando por dos pulsadores.

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 abrise.
- 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 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 corresponda.

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.

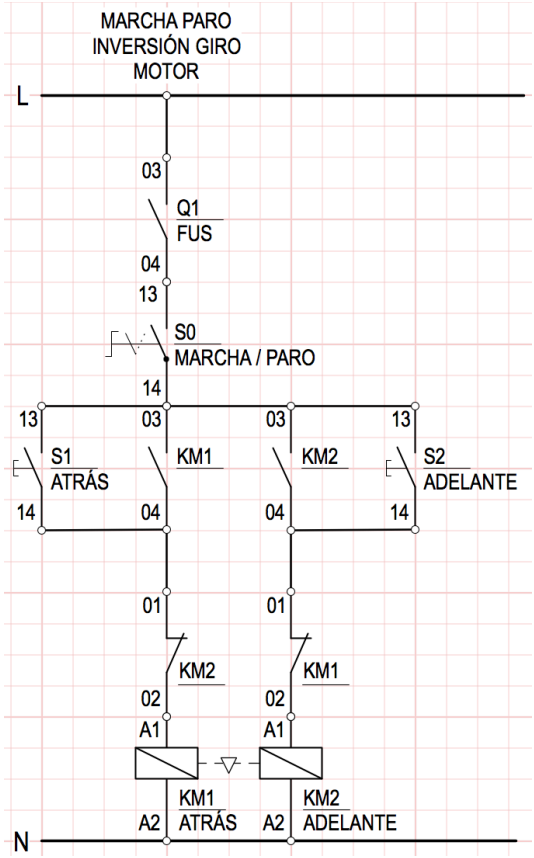

Fig. 26 Esquema de mando del motor de la Fig. 22 que *conmuta sólo al motor parado.*

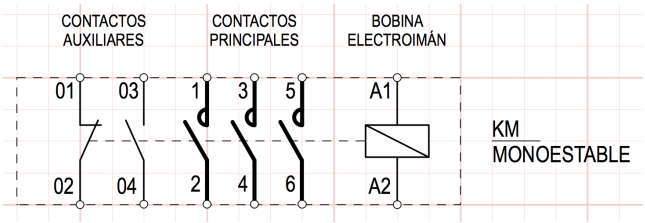

Fig. 27 El contactor KM1 monoestable, usado en los ejemplos anteriores, es un aparato de 12 bornas.

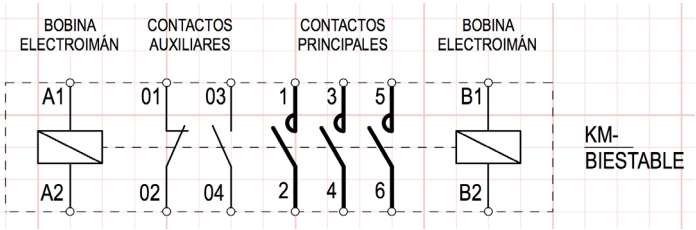

Fig. 28 Un contactor biestable necesita dos bobinas distintas para conmutar entre sus dos estados posibles. El representado tiene 14 bornas.

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, ondulador (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. 29 Pequeño armario eléctrico con un bornero (abajo izquierda).

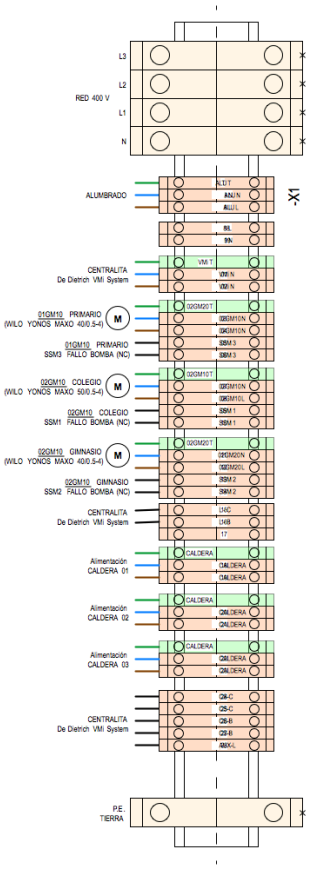

Fig. 30 En ocasiones conviene representar fielmente un bornero.

3 BUENAS PRÁCTICAS EN EL DISEÑO DE CUADROS ELÉCTRICOS

Para el buen diseño de armarios de protecciones y control deben respetarse estos criteros 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. 31 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. 31 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.

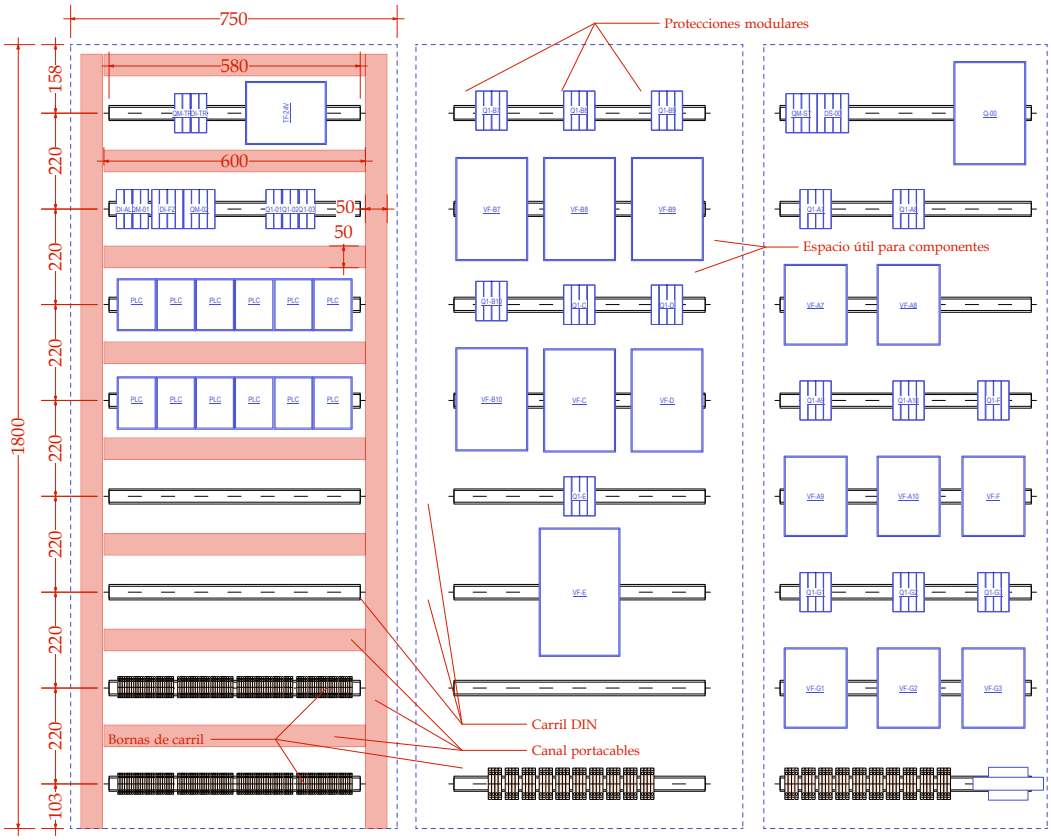

Fig. 31 Cuadro eléctrico de protección y control de tres cuerpos.

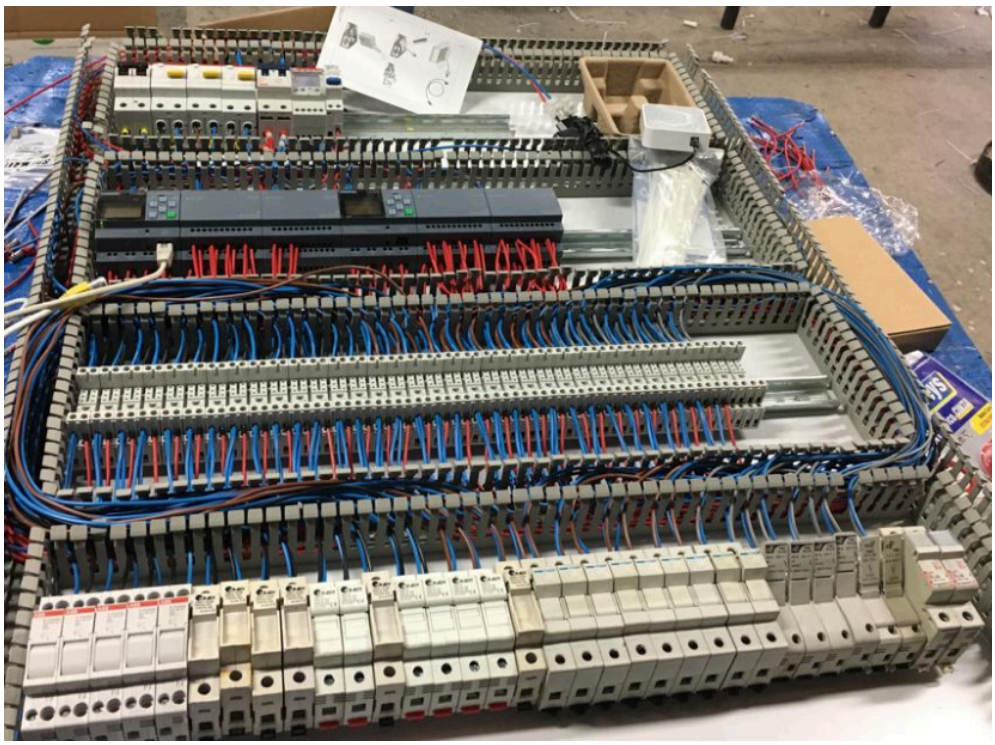

Fig. 32 En ocasiones los armarios llevan muchísimo cableado.
Las canales portacables con tapa son esenciales.