

Instal·lacions automatitzades mitjançant autòmats programables

Lluís Martínez Novoa

Automatismes industrials



Índex

Introducció	5
Resultats d'aprenentatge	7
1. Instal·lacions d'automatismes programables	
industrials aplicats a motors	9
1.1. Automatismes programables amb motors de corrent altern .	9
1.1.1. Comprovació del funcionament de circuits amb automatismes amb la maqueta PC_SIMU	11
1.1.2. Connexions d'entrades i sortides	16
1.2. Inversió de gir d'un motor III passant per zero	18
1.3. Inversió de gir d'un motor III sense passar per zero	19
1.4. Arrencada d'un motor III temporitzat a la connexió	20
1.5. Arrencada d'un motor III temporitzat a la desconexió	21
1.6. Arrencada d'un motor III en estrella-triangle	22
1.7. Arrencada d'un motor III en estrella-triangle amb inversió del sentit de gir	23
1.8. Arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques	24
1.9. Arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques i amb inversió del sentit de gir	26
1.10. Arrencada d'un motor Dahlander	27
1.10.1. Inversió del sentit de gir d'un motor Dahlander	28
2. Programació mitjançant Grafcet de processos seqüencials	
controlats per automats programables	29
2.1. Representació del Grafcet	30
2.1.1. Nivells del Grafcet	31
2.1.2. Etapes del Grafcet	32
2.1.3. Transicions del Grafcet	32
2.1.4. Receptivitats del Grafcet	33
2.1.5. Línies d'unió	34
2.1.6. Regles d'evolució	35
2.1.7. Accions associades a etapes	37
2.2. Estructures bàsiques del Grafcet	39
2.2.1. Seqüència única	39
2.2.2. Selecció de seqüència	40
2.2.3. Salts d'etapes	40
2.2.4. Seqüències simultànies	42
2.3. Implementació del Grafcet	42
2.3.1. Esquema d'activació d'etapes del Grafcet	43

2.3.2. Esquema d'activació d'accions	49
2.3.3. Implementació d'estructures bàsiques del Grafcet	52
3. Disseny i posada en marxa de programes amb PLC	
per a la detecció i diagnosi d'avaries	63
3.1. Tipus de manteniment de les instal·lacions	63
3.1.1. Manteniment preventiu	63
3.1.2. Manteniment predictiu	63
3.1.3. Manteniment correctiu	64
3.2. Avaries en els autòmats programables	64
3.2.1. Causes externes de les avaries	64
3.2.2. Causes internes de les avaries	66
3.3. Programes per detectar avaries en el funcionament	
d'una instal·lació d'automatisme	67
3.3.1. Actuador que pot fer dos moviments	67
3.3.2. Actuador que inicia un moviment	68
3.3.3. Element que té diversos punts d'aturada	69
3.3.4. Confirmació de senyal	70
3.3.5. Utilització d'un contacte del preactuador	72
3.3.6. Predeterminació del temps d'execució	72
3.3.7. Pèrdua de tensió	74
3.3.8. Pèrdua de pressió d'aire	74
3.3.9. Dispositius d'aturada	74
3.3.10. Dispositius d'emergència	75
3.4. Grafcet per al tractament d'avaries	76
3.4.1. Modificació Grafcet per detectar avaria	
en un sensor	79
3.4.2. Modificació per detectar una avaria en l'evolució d'un	
Grafcet	80
3.4.3. Modificació de Grafcet per aturar la màquina	
en un estat determinat	81
3.5. Guia GEMMA	82
3.5.1. Grup F. Procés de funcionament	85
3.5.2. Grup A. Procediments d'aturada	86
3.5.3. Grup D. Procés en defecte	87
3.6. Implementació de la guia GEMMA	87
3.6.1. Estat A1. Aturada en l'estat inicial	90
3.6.2. Estat F1. Producció normal	90
3.6.3. Estat A2. Aturada demanada a final de cicle	91
3.6.4. Estat D3. Producció malgrat els defectes	92
3.6.5. Estat F2. Marxa de preparació	93
3.6.6. Programa de la guia GEMMA	94

Introducció

Els autòmats programables, des que van aparèixer l'any 1968 com els substituïts dels armaris de relés, han evolucionat i s'han convertit en elements indispensables en el control de totes les instal·lacions automatitzades per la seva fiabilitat, facilitat d'utilització i la informació que faciliten mitjançant els sistemes de visualització i control de les instal·lacions.

La unitat "Instal·lacions automatitzades" està dissenyada per estudiar com es poden convertir els esquemes bàsics d'automatització en programes per als autòmats programables, mantenint la seguretat en les instal·lacions i millorant els sistemes de control.

La unitat "Instal·lacions automatitzades" està temporitzada dintre del mòdul, de manera que abans s'han tractat tots els aspectes relatius als sistemes de comandament i regulació fets de manera convencional mitjançant motors elèctrics i cilindres electropneumàtics, i que serviran de base per entendre'n millor el control des dels autòmats programables.

En l'apartat "Instal·lacions d'automatismes programables industrials aplicats a motors", es descriuen els circuits de potència i comandament corresponents a l'arrencada de diferents tipus de motors de corrent altern, s'especifica com cal fer les connexions de tots els elements que intervien en el circuit, a les entrades i sortides de l'autòmat programable, i s'estudia com es pot convertir l'esquema de comandament en un programa per controlar la instal·lació des d'un autòmat programable. Amb la posada en marxa des dels PLC d'aquests programes, es comproven els avantatges de la utilització dels autòmats programables en les instal·lacions automatitzades.

En l'apartat "Programació mitjançant Grafcet de processos seqüencials controlats per autòmats programables", s'analitzen les normes del diagrama funcional Grafcet, les diferents estructures que pot tenir un Grafcet per representar el funcionament d'instal·lacions automatitzades i com es poden convertir aquests diagrames de funcionament en circuits elèctrics que es puguin traduir en programes per al control des dels autòmats programables.

Finalment, en l'apartat "Disseny i posada en marxa de programes amb autòmats programables per a la detecció i diagnosi d'avaries" s'estudia la normativa de protecció i seguretat en automatismes i els circuits elèctrics que es poden programar amb els autòmats programables per dur a terme les tasques de manteniment i localització d'avaries en instal·lacions auto-

matitzades controlades per motors elèctrics i cilindres electropneumàtics.

Per treballar els continguts d'aquesta unitat, és convenient fer les activitats i els exercicis d'autoavaluació i consultar els recursos multimèdia.

Resultats d'aprenentatge

En acabar la unitat, heu de ser capaços del següent:

1. Elaborar el quadern de càrregues d'un automatisme a partir de les especificacions funcionals sol·licitades.
2. Seleccionar la solució més adient, mitjançant un sistema programable o no programable, per a cada aplicació que s'ha d'automatitzar, a partir de les seves característiques.
3. Elaborar diagrames de seqüències de controls automàtics programables amb metodologia Grafcet o diagrames de flux.
4. Codificar programes de control en algun llenguatge (contactes, llista d'instruccions i altres), a partir de les especificacions de projecte i diagrames de seqüències.
5. Posar a punt el conjunt equip-programa dins del sistema en què hagi de funcionar, mitjançant proves funcionals especificades en la documentació de projecte.
6. Verificar el correcte funcionament del quadre de comandament connectat al sistema controlat, mitjançant proves funcionals especificades en documentació de projecte.
7. Identificar els efectes de disfuncions i avaries en instal·lacions automàtiques.
8. Relacionar cada part de les instal·lacions automàtiques amb les funcions que duen a terme i els efectes observables en cas de mal funcionament.

1. Instal·lacions d'automatismes programables industrials aplicats a motors

En tots els processos industrials les accions que executen els diferents mecanismes per fabricar o manipular un producte les fan els actuadors, que bàsicament són motors elèctrics o cilindres.

Aquests actuadors es poden utilitzar amb automatismes cablejats o programats. Els circuits de control són molt semblant, però a l'hora de fer els programes amb un autòmat programable, s'han de tenir en compte alguns detalls, ja que l'autòmat no té components electromecànics i els canvis d'estat es produeixen molt ràpidament, normalment en mil·lsegons, a diferència dels relés i la resta de components electromecànics, que per la inèrcia i les característiques mecàniques triguen una mica més. Això farà que en automatismes programables, en què sigui important que dos preactuadors no puguin funcionar a la vegada com és el cas dels dos contactors d'una inversió de gir d'un motor, s'hagin de posar enclavaments mecànics i elèctrics per garantir la seguretat.

1.1. Automatismes programables amb motors de corrent altern

Per controlar un motor des d'un autòmat programable, el primer que s'ha de fer és connectar al PLC tots els elements que intervenen en el procés, i s'hauran de connectar com a entrades o com a sortides; els més freqüents en instal·lacions petites són:

- Entrades: pulsadors, selectors, detectors, contactes auxiliars de tèrmics i disjuntors, etc.
- Sortides: contactors, electrovàlvules, pilots, sirenes, etc.

En la figura 1 podeu veure les connexions de tots els elements que intervenen en el procés d'automatització que podeu simular amb la maqueta de la figura 2 del programari PC_SIMU. Fixeu-vos que els contactes del pulsador d'aturada i el tèrmic són contactes normalment tancats NC i el del pulsador de marxa és normalment obert NO.

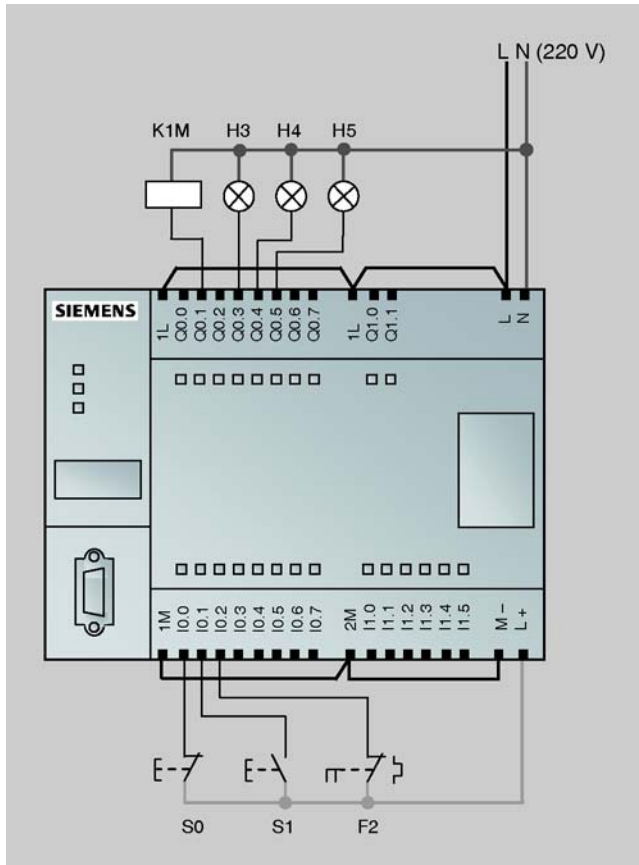
De motors n'hi ha de moltes classes,...

... però els més utilitzats són els motors trifàsics de corrent altern, i de cilindres us podeu trobar els pneumàtics, que funcionen amb aire, i els hidràulics, que funcionen amb oli.

Amb el programari PC_SIMU es poden dissenyar processos d'automatització fets amb motors elèctrics i cilindres electropneumàtics.

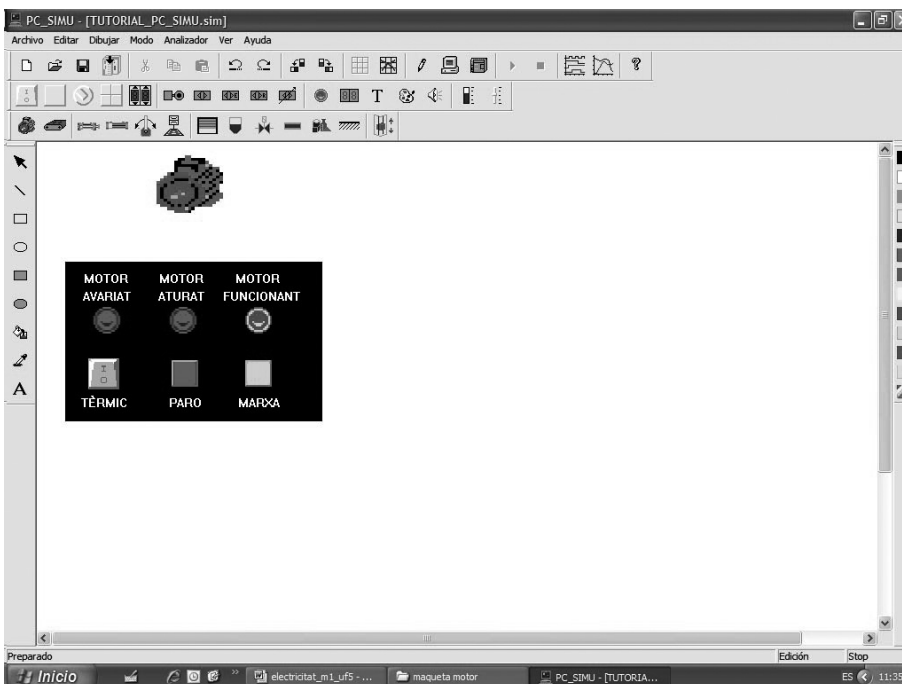
Quan hi ha un contacte normalment tancat NC connectat a l'entrada d'un PLC, heu de tenir en compte que estant sense activar arriba senyal elèctric al PLC i, per tant, l'entrada corresponent té valor lògic 1 en repòs.

Figura 1. Connexió d'entrades i sortides de la maqueta de la figura 2



En la figura 2 podeu veure la maqueta d'una instal·lació automatitzada molt senzilla (feta amb el programari simulador de maquetes PC_SIMU), formada per un motor amb tres bombetes de senyalització, els polsadors d'aturada i marxa i el relé tèrmic de protecció.

Figura 2. Maqueta del programari PC_SIMU per a motors



En la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest mòdul podeu trobar l'arxiu *maqueta8a.sim* corresponent al disseny de la maqueta.



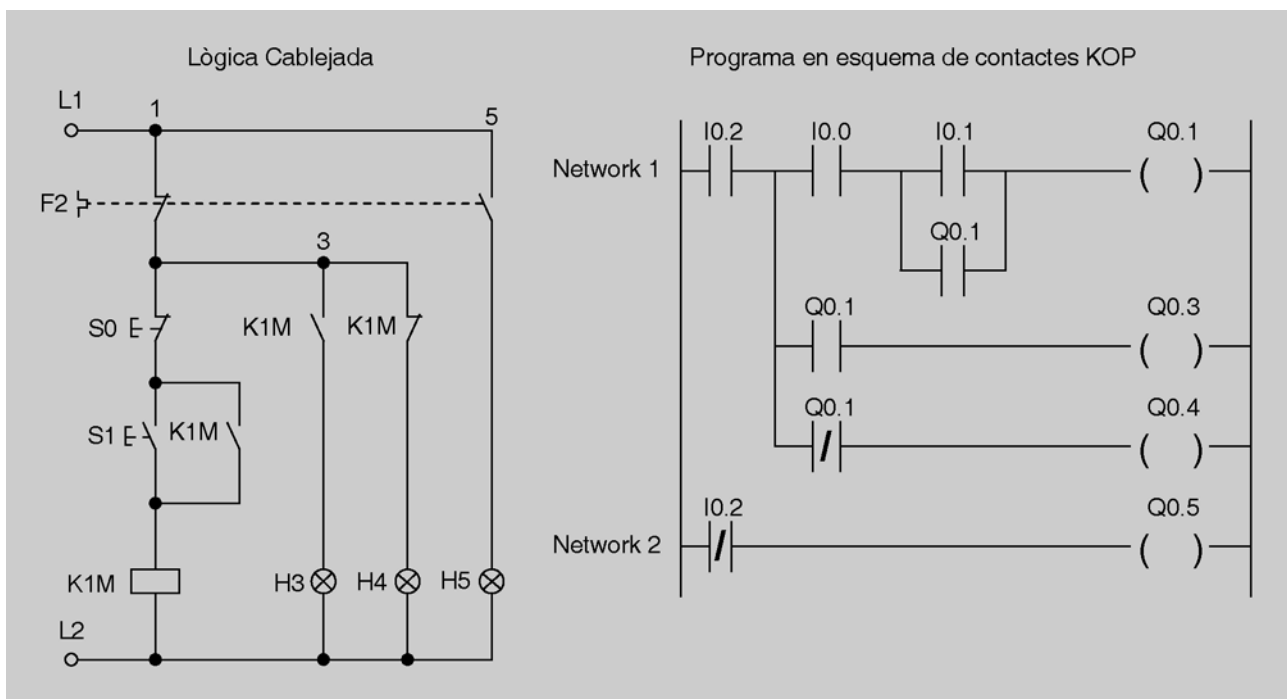
El programari simulador de maquetes PC_SIMU el trobareu a l'espai de l'Aula".

1.1.1. Comprovació del funcionament de circuits amb automatismes amb la maqueta PC_SIMU

Abans de carregar els programes dels PLC a la instal·lació real és convenient comprovar-ne el funcionament. Això es pot fer de diverses maneres: quan es vol provar el programa per parts el que s'acostuma a fer és carregar el programa a un PLC que tingui uns interruptors connectats simulant les entrades, però quan es vol provar tot el programa i fer-ho de manera que s'aproximi al funcionament real de la instal·lació, la manera més segura és utilitzar programaris de simulació, el PC_SIMU és un d'aquests programaris que destaca per la facilitat d'ús.

Podeu comprovar el funcionament de programes fets amb el programari MicroWin corresponents a instal·lacions automàtiques simulant els processos amb maquetes dissenyades amb el programari PC_SIMU. En la figura 3 teniu l'esquema de lògica cablada i el programa en esquemes de contactes corresponent a la posada en marxa d'un motor III amb pulsadors de marxa-aturada i protecció contra sobreintensitat mitjançant relé tèrmic amb bombetes de senyalització de motor aturat sense avaria, motor en marxa i motor aturat per disparament del tèrmic.

Figura 3. Posada en marxa d'un motor III



Per comprovar el funcionament d'un programa escrit amb el programari MicroWin amb el programari PC_SIMU, heu de seguir els passos següents:

1) Escriptura i arxivament del programa. Escriviu el programa amb el programari MicroWIN i deseu-lo amb l'opció *Exportar*, que el desa en el

format *.awl, que és el que accepta el programari S7_200 SIMU (en la figura 4 podeu veure com es fa). Si el deseu amb l'opció *Guardar* ho fa amb el format *.mwp, que és per al PLC; d'aquesta manera tindreu el programa corresponent a l'esquema preparat per comprovar el funcionament amb el simulador o directament amb el PLC.

2) Carregar el programa en el programari S7_200 SIMU. Carregueu el programa que voleu provar amb el programari de simulació de l'autòmat programable S7_200 SIMU (en la figura 5 podeu veure com es fa).

Figura 4. Escripció i arxivament del programa

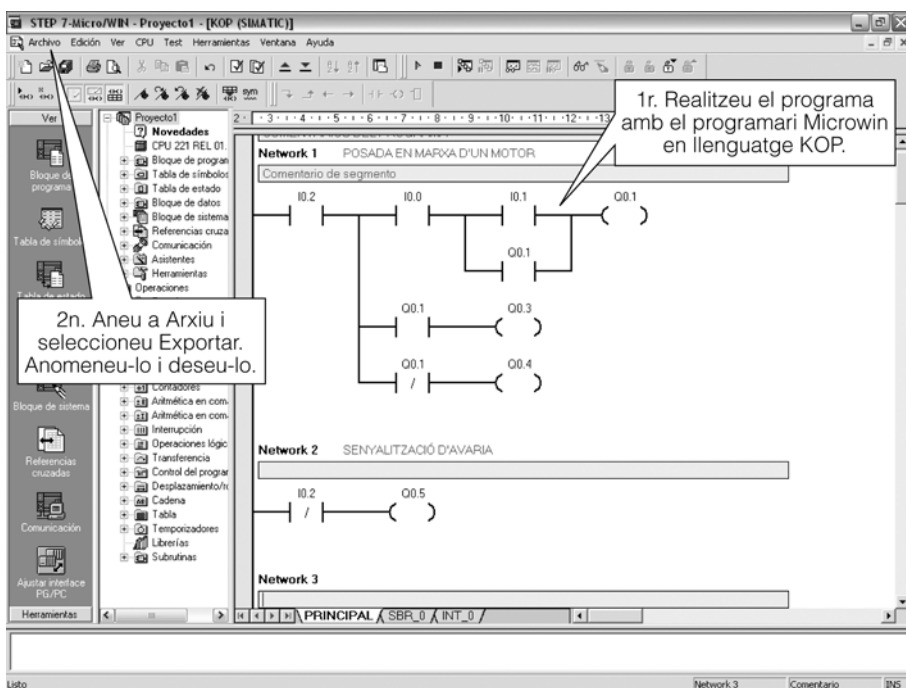
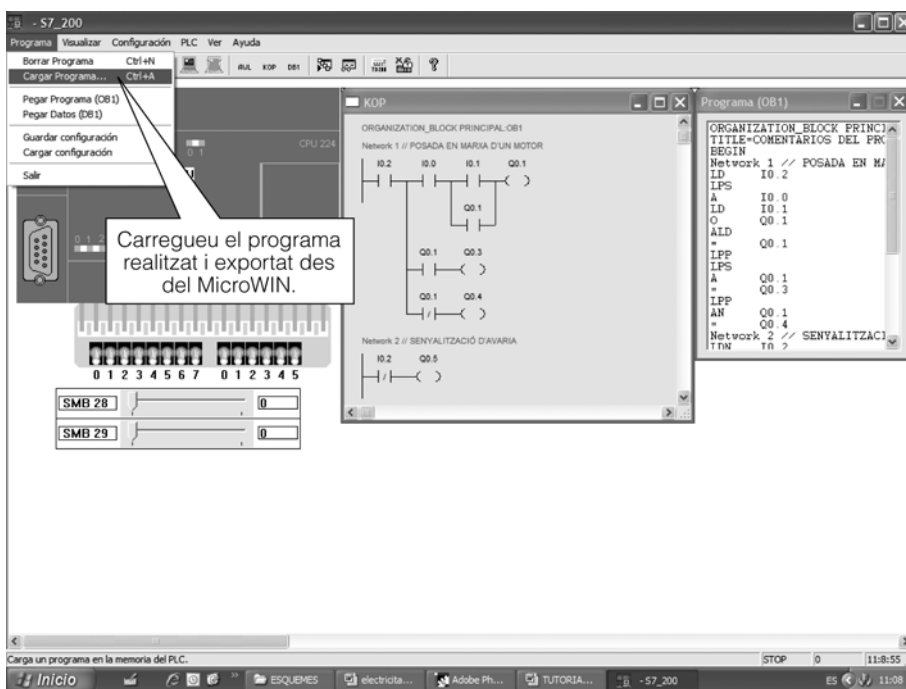


Figura 5. Càrrega de programa des del programari S7_200 SIMU



3) Obrir el programari PC_SIMU. En la figura 6 teniu els arxius del programari PC_SIMU i podeu veure l'arxiu executable, en el qual heu de fer clic perquè arranqui. En la figura 7 teniu la primera pantalla que surt, la de presentació, amb l'acció que heu de fer per continuar, i en la figura 8 teniu la manera d'introduir la clau que demana per poder treballar amb el programari. Aquest programari no és necessari que estigui instal·lat en l'ordinador, els seus arxius poden ser en una carpeta en qualsevol dispositiu d'emmagatzematge i una vegada en marxa podeu dissenyar instal·lacions automatitzades senzilles formades per motors, cilindres, detectors, polsadors, etc.

Figura 6. Arrencada del programari PC_SIMU

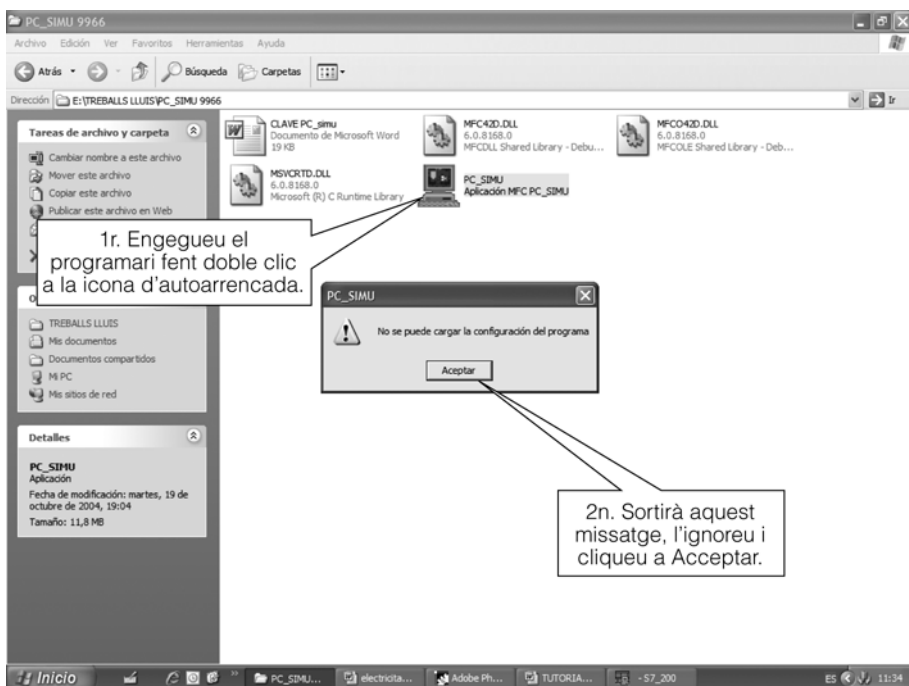


Figura 7. Pantalla de presentació del programari PC_SIMU

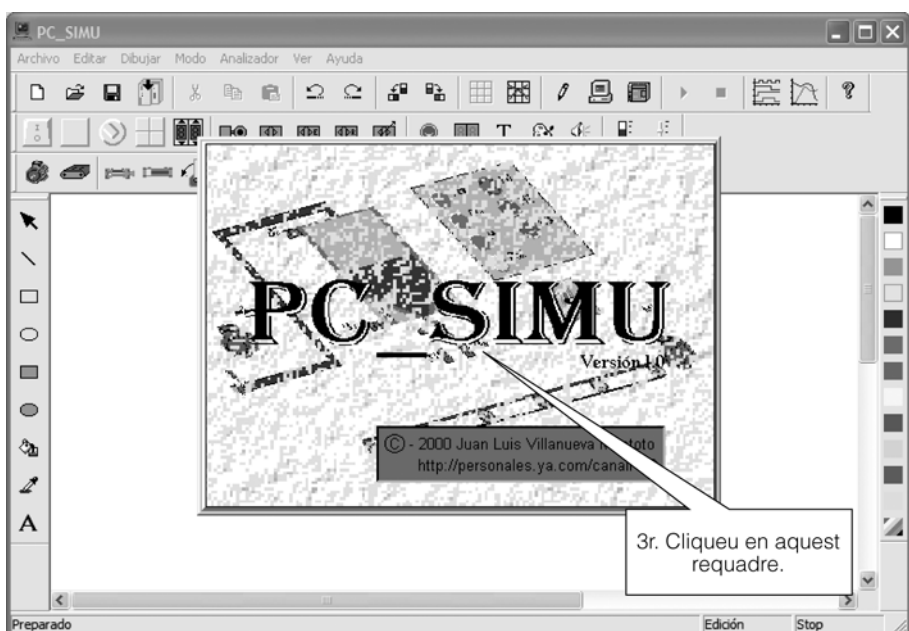
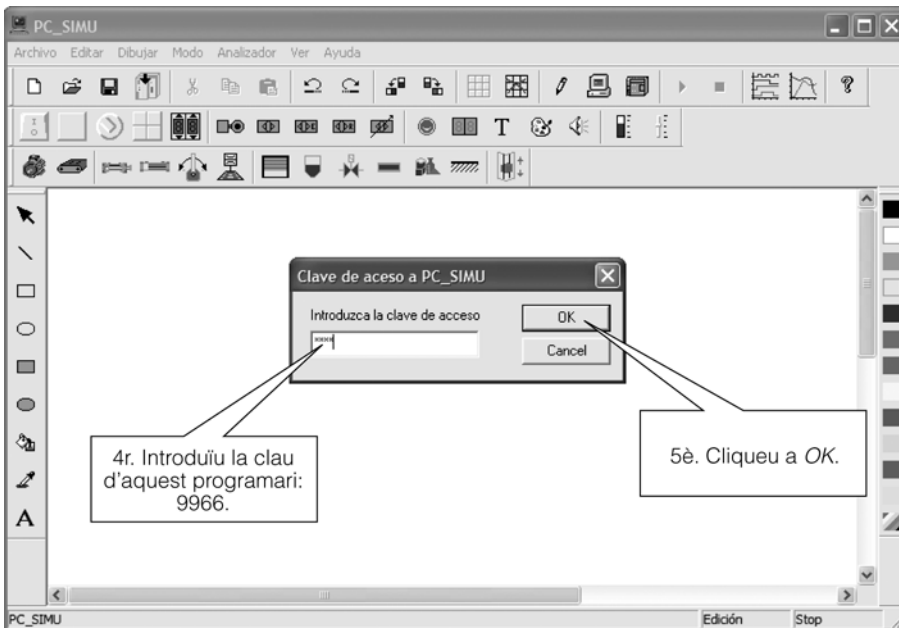
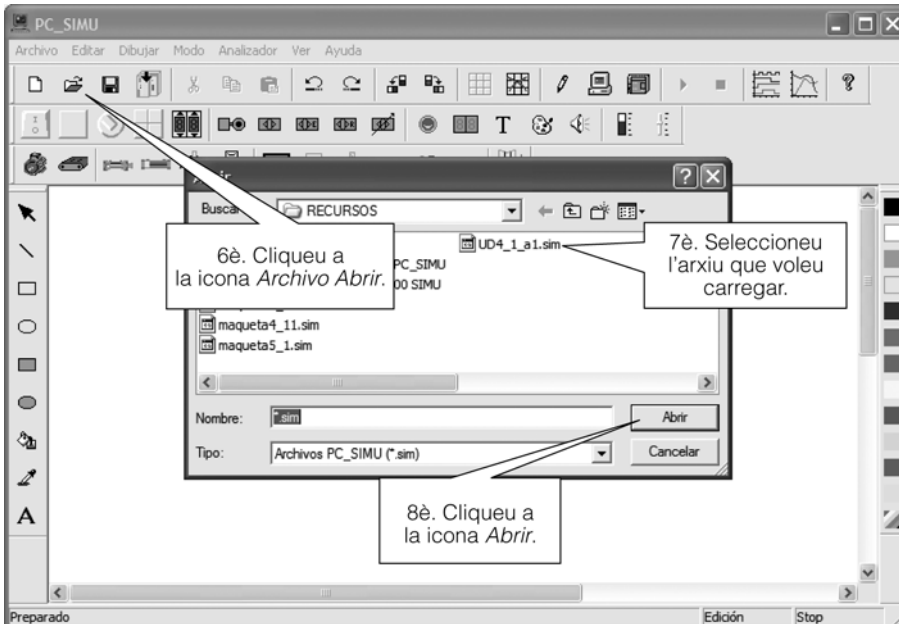


Figura 8. Introducció de la clau del programari PC_SIMU



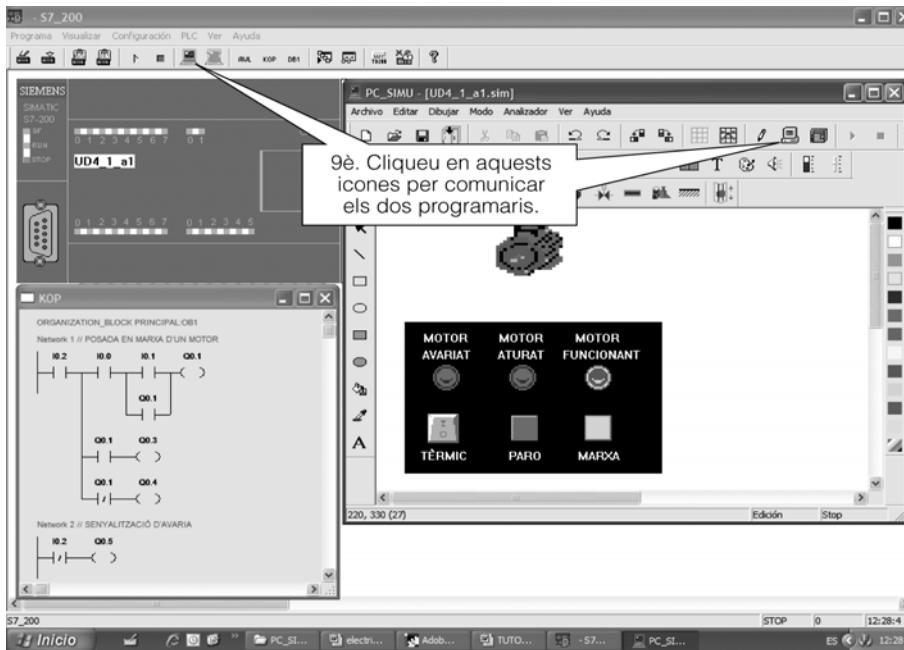
4) Obrir el disseny de la maqueta. Heu de seleccionar l'arxiu de la maqueta que voleu utilitzar per comprovar els programes fets; en la figura 9 teniu representats els passos que heu de seguir.

Figura 9. Selecció de l'arxiu de la maqueta



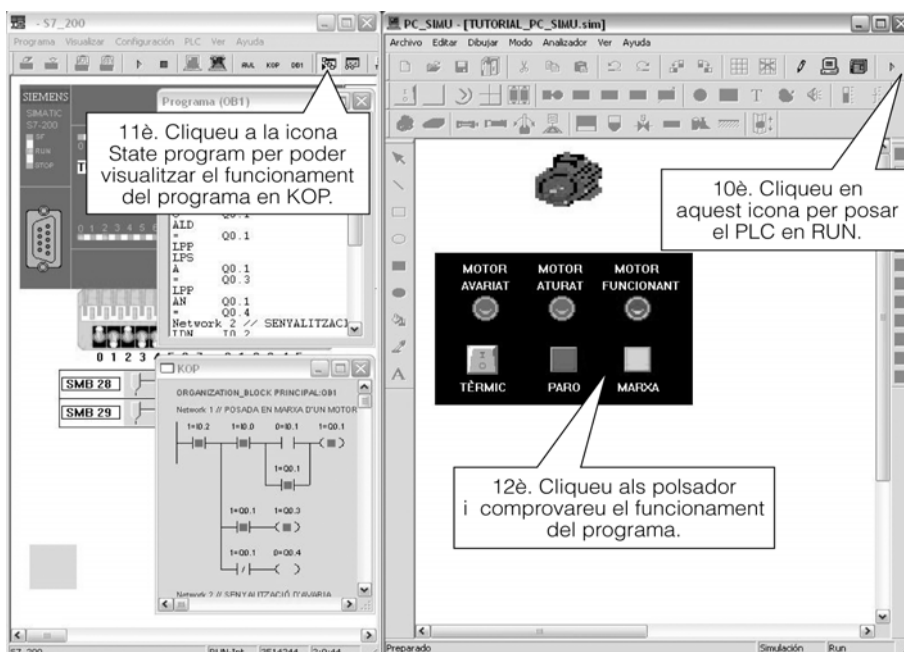
5) Comunicar els programaris S7_200 SIMU i PC_SIMU. Per comunicar els dos programaris, la primera cosa que heu de fer és visualitzar en pantalla el dos programaris amb els arxius corresponents carregats; a continuació moveu les finestres i col·loqueu-les al vostre gust i, per acabar, accioneu les icones corresponents a cada programari per dur a terme la comunicació, de manera que puguin intercanviar les dades entre ells. En la figura 10 teniu representada la manera de fer-ho.

Figura 10. Comunicació dels programaris S7_200 SIMU i PC_SIMU



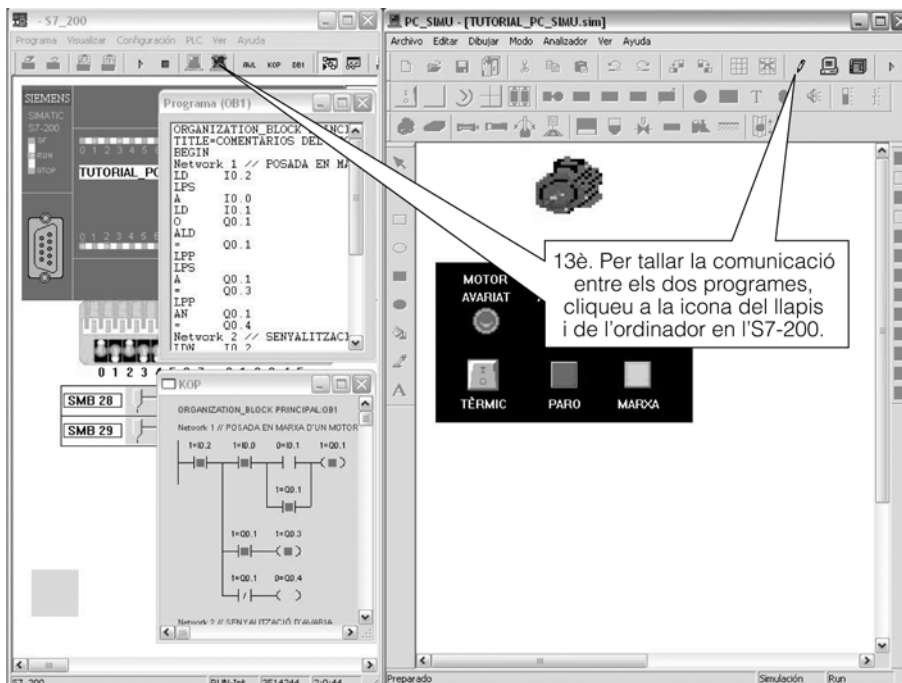
6) Comprovar el funcionament del programa. Per comprovar el funcionament del programa fet amb el programari MicroWin que, una vegada exportat, heu obert amb el simulador d'autòmat programable S7_200 SIMU, amb la maqueta virtual d'una màquina dissenyada amb el programari PC_SIMU, heu de posar el simulador de l'autòmat en *run* des del programari PC_SIMU, i a continuació la maqueta es comporta com la màquina real; teniu els polsadors de marxa i aturada i, si els accioneu, posen en marxa el motor, i es visualitza en la pantalla el gir del motor i l'encesa dels pilots de senyalització. En la figura 11 teniu representades les diferents opcions de posada en marxa de la maqueta.

Figura 11. Posada en marxa de la maqueta



7) Finalització de la comprovació: una vegada realitzada la comprovació del funcionament del programa, heu de tallar la comunicació entre els dos programaris, aquesta operació és necessària per poder editar programes nous (en la figura 12 teniu representat la manera de fer-ho).

Figura 12. Tall de la comunicació entre els programaris S7_200 SIMU i PC_SIMU



!!

Ara feu l'activitat "Posada en marxa d'un motor II", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

1.1.2. Connexions d'entrades i sortides

Tots els models d'autòmats fan la connexió d'entrades i sortides de manera molt semblant: sempre hi ha un fil de línia comú per a totes les entrades o sortides, l'altre fil de línia que alimenta la targeta corresponent d'entrades o sortides i un fil que va de cada sensor o actuator, és a dir, de cada entrada o sortida, a un born de connexió de l'autòmat, que en determina el paràmetre. En la figura 13 teniu un exemple de connexió d'entrades i sortides a un PLC que correspon als elements d'una instal·lació que està simulada en la maqueta representada en la figura 14.

Observeu que hi ha unes bobines que tenen una sèrie de contactes negats d'altres bobines; aquests contactes reben el nom d'**enclavament elèctric**, i es posen per assegurar que dues bobines, normalment de contactors, no puguin funcionar mai a la vegada.

Per evitar possibles curtcircuits, quan dos contactors fan la inversió de gir o l'arrencada estrella-triangle d'un motor, s'utilitzen els enclavaments elèctrics, a més dels enclavaments mecànics.

Figura 13. Connexions d'entrades i sortides d'una instal·lació de motors

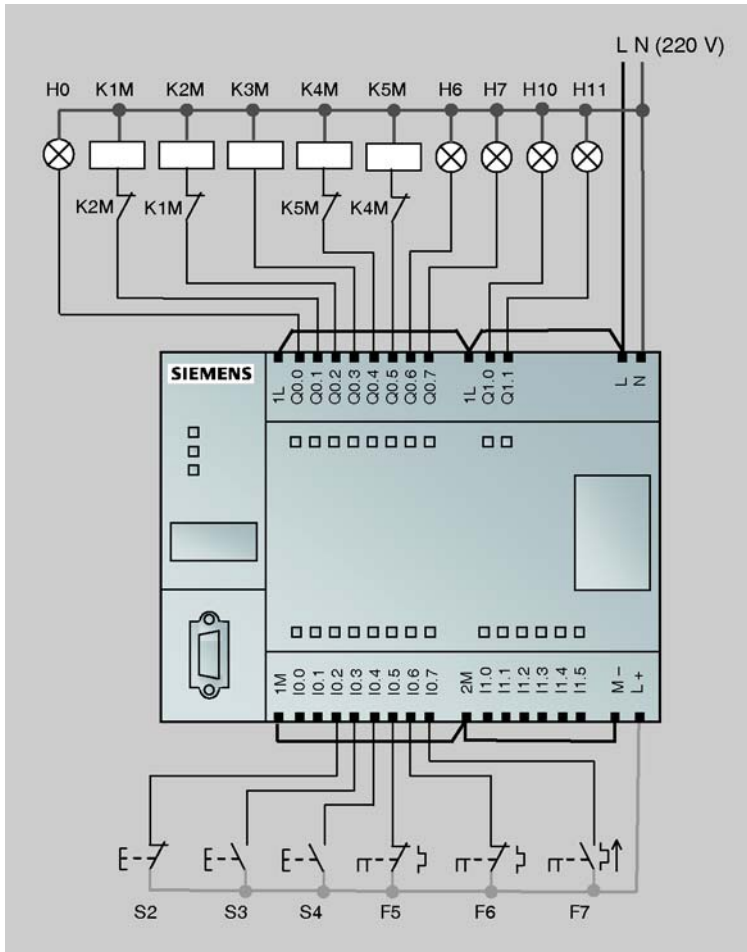
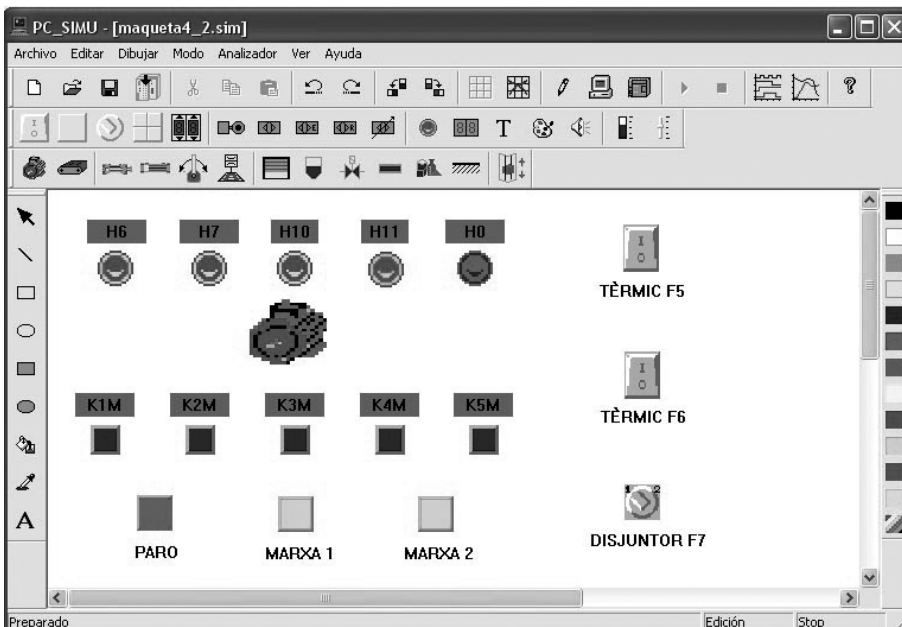


Figura 14. Maqueta d'arrencada de motors



!!

En la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest mòdul podeu trobar l'arxiu *maqueta8b.sim*.

!!

El programari simulador de maquetes PC_SIMU el trobareu a l'espai de l'Aula".

En la figura 14 podeu veure el disseny d'una maqueta fet amb el programari PC_SIMU, que conté un motor, una sèrie d'elements de protecció, pulsadors i bombetes de senyalització, que són les mateixes que estan connectades al PLC representat en la figura 13; podeu comprovar en la maqueta el funcionament dels programes que feu amb el programari MicroWin.

1.2. Inversió de gir d'un motor III passant per zero

En la figura 15 podeu veure l'esquema de potència i comandament de la posada en marxa d'un motor III amb inversió del sentit de gir sense passar per zero. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar el següent:

- Quan dispari el relé tèrmic de protecció F5, obrirà el contacte 95-96 i tallarà el senyal elèctric a tot el circuit de comandament; tancarà el contacte 97-98 i encendrà la bombeta de senyalització H0.
- Quan està en marxa un contactor obre el contacte 21-22 i impedeix que es pugui posar en marxa l'altre contactor.
- El contacte 13-14 de cada contactor realimenta el circuit una vegada que es deixa d'accionar el pulsador de marxa.
- Per canviar el sentit de gir del motor, s'ha d'accionar el pulsador d'aturada S2 i quan no funciona cap contactor ja es pot donar l'ordre de marxa amb el sentit de gir que es vulgui.
- Els contactes 43-44 de cada contactor accionen una bombeta de senyalització que indica el sentit de gir del motor.
- La bombeta de senyalització H10 s'encén quan no funciona el motor per mitjà dels contactes 31-32 de cada contactor.
- Com que els contactes del tèrmic F5 i del pulsador d'aturada S2 connectats al PLC són NC, és a dir, normalment tancats, en repòs l'entrada corresponent té valor lògic 1 i, per tant, els contactes que estan tancats en l'esquema s'han de programar oberts, i els oberts negats.



Ara feu l'activitat "Inversió de gir d'un motor III passant per zero", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 15. Inversió de gir d'un motor III passant per zero

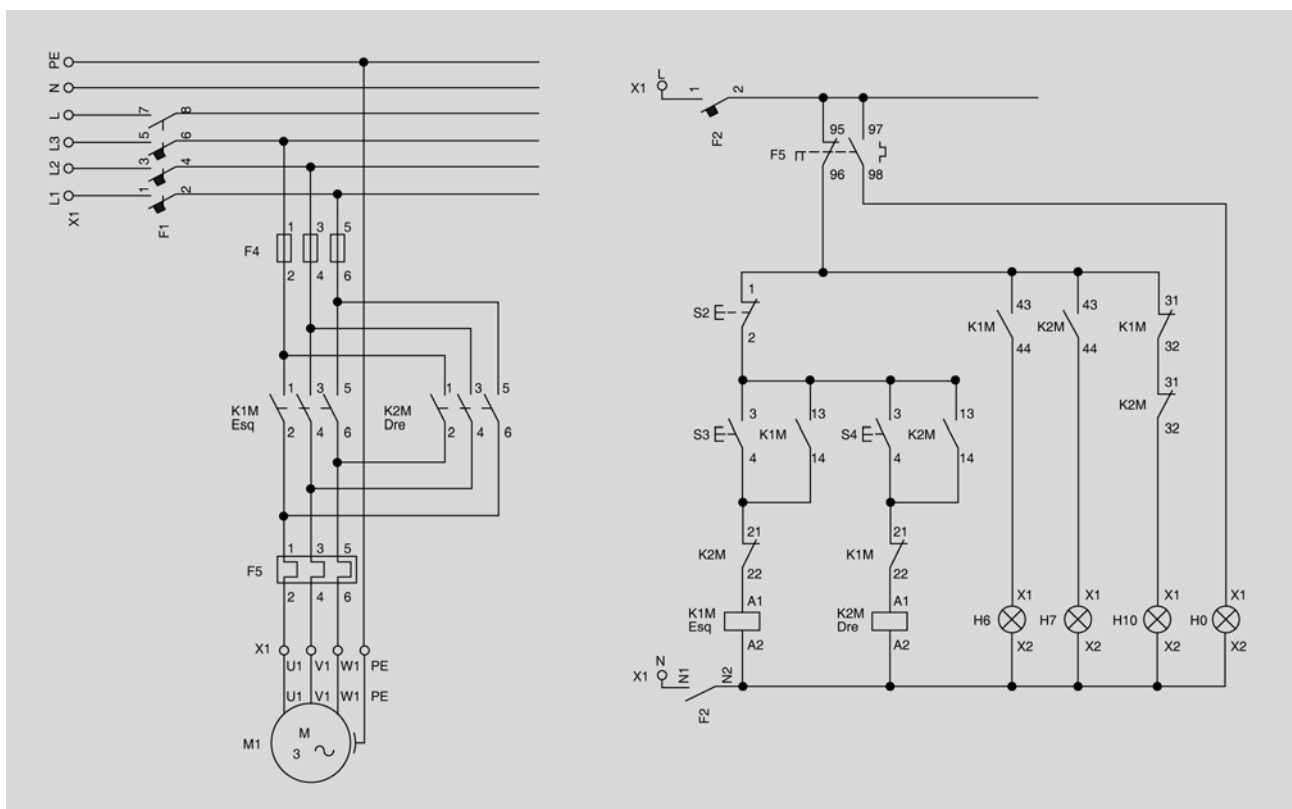
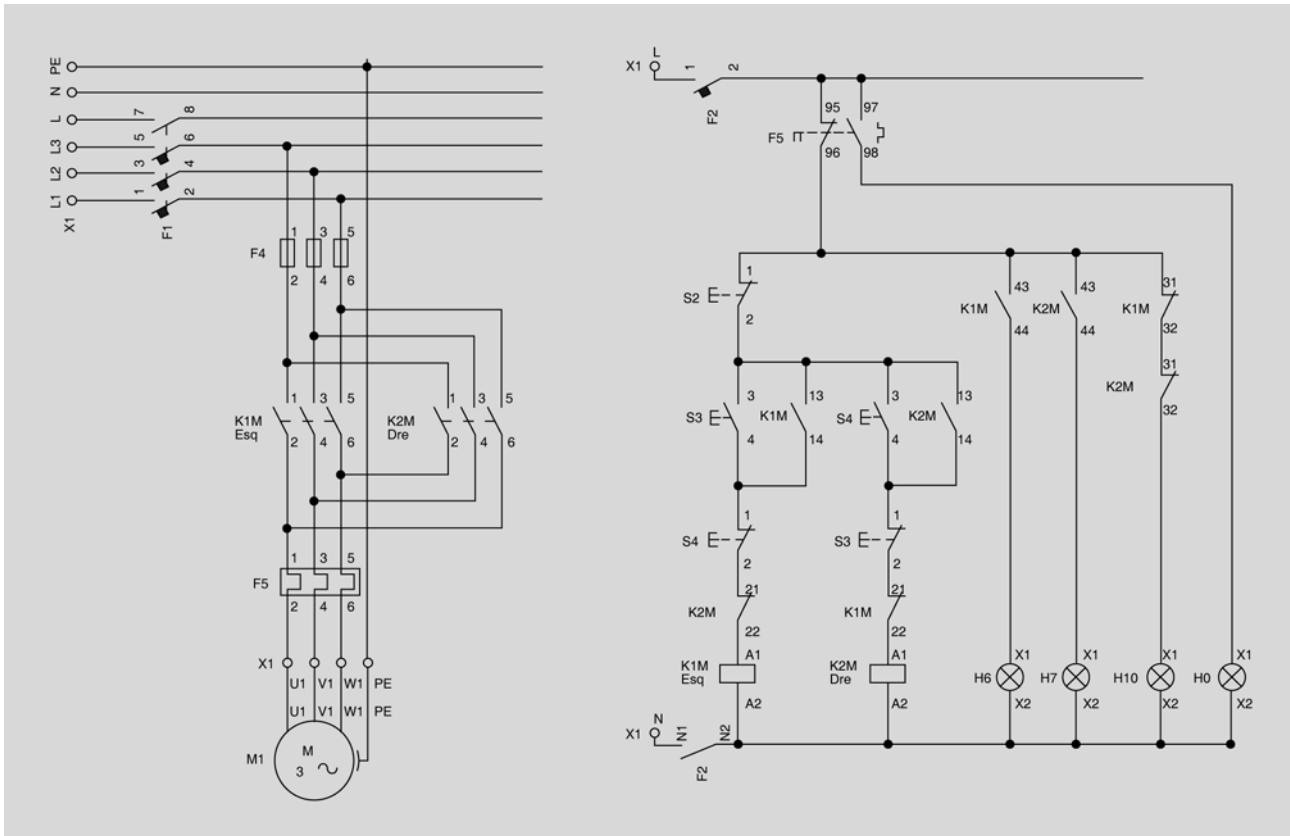


Figura 16. Inversió de gir d'un motor III sense passar per zero



1.3. Inversió de gir d'un motor III sense passar per zero

En la figura 16 podeu veure l'esquema de potència i comandament de la posada en marxa d'un motor III amb inversió del sentit de gir sense passar per zero. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar el següent:

- Quan dispari el relé tèrmic de protecció F5, obrirà el contacte 95-96 i tallarà el senyal elèctric a tot el circuit de comandament, i quan tanqui el contacte 97-98 encendrà la bombeta de senyalització H0.
- Quan un contactor està en marxa obre el contacte 21-22 i impedeix que els dos contactors puguin funcionar a la vegada.
- Quan accioneu un pulsador de marxa, aquest tanca el contacte 3-4 i dona l'ordre de marxa al contactor corresponent, però a la vegada obre el contacte 1-2 i desconnecta l'altre contactor; així doncs, el canvi de sentit de gir és automàtic, i no cal accionar el pulsador d'aturada S2. Cada vegada que accioneu un pulsador el motor gira en el sentit corresponent i si accioneu els dos pulsadors de marxa a la vegada el motor no funciona, ja que estan oberts els dos contactes 1-2 dels pulsadors.

- El contacte 13-14 de cada contactor realimenta el circuit una vegada que es deixa d'accionar el pulsador de marxa.
- Els contactes 43-44 de cada contactor accionen una bombeta de senyalització que indica el sentit de gir del motor.
- La bombeta de senyalització H10 s'encén quan no funciona el motor per mitjà dels contactes 31-32 de cada contactor.
- Com que els contactes del tèrmic F5 i del pulsador d'aturada S2 connectats al PLC són NC, és a dir, normalment tancats, en repòs l'entrada corresponent té valor lògic 1 i, per tant, els contactes que estan tancats en l'esquema s'han de programar oberts, i els oberts negats.



Ara feu l'activitat "Inversió de gir d'un motor III sense passar per zero", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

1.4. Arrencada d'un motor III temporitzat a la connexió

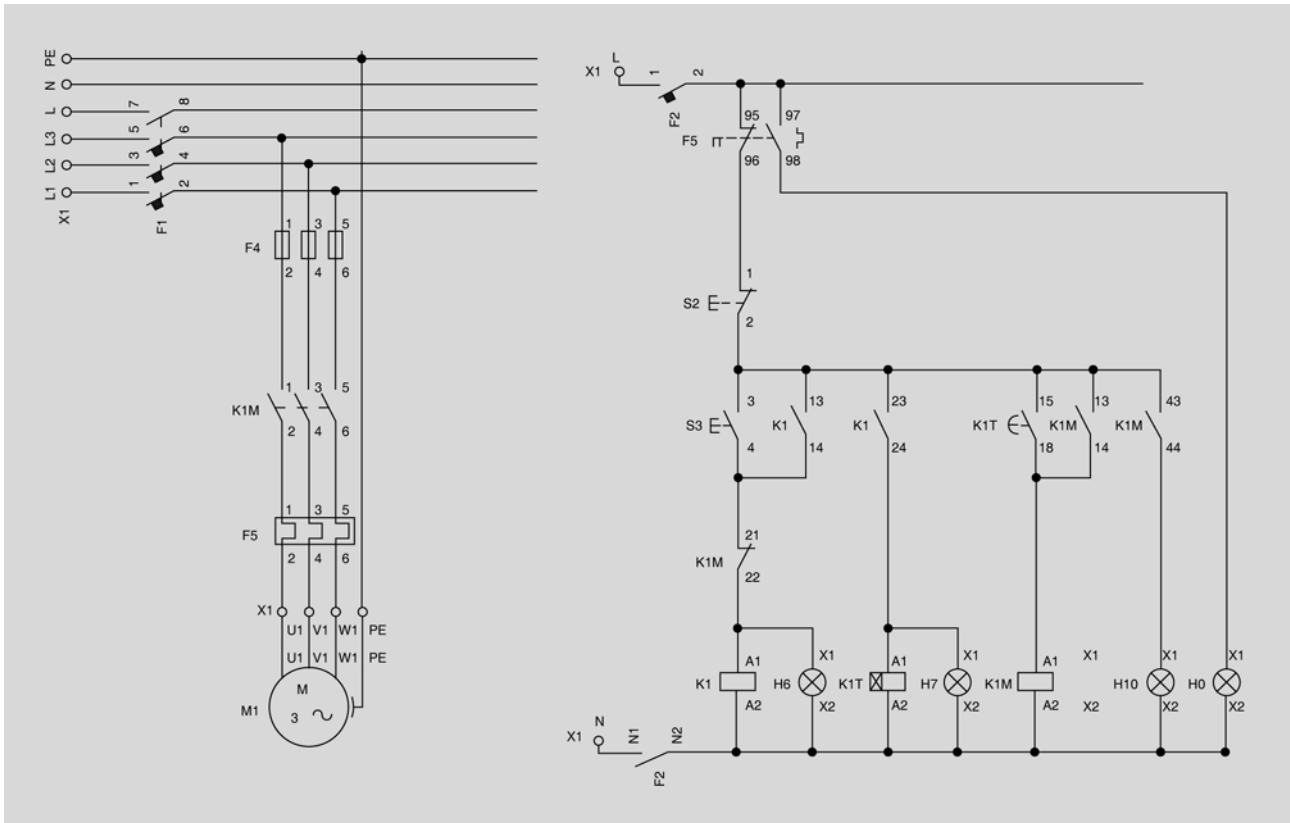
En la figura 17 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor III temporitzat a la connexió. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar-ne que:

- El pulsador d'aturada i marxa no acciona directament el contactor, sinó que actua sobre el relé K1.
- Quan el relé està accionat es posa en marxa el temporitzador i una vegada transcorregut el temps programat tanca el contacte 15-18 del temporitzador i es posa en marxa el contactor.
- Quan el contactor s'ha posat en marxa obre el contacte 21-22 i desconnecta el relé que, a la vegada, mitjançant el contacte 23-24, desconnecta el temporitzador.
- La bombeta H6 indica el funcionament del relé, la H7 del temporitzador i la H10 del contactor.
- Quan dispari el relé tèrmic de protecció F5, obrirà el contacte 95-96 i tallarà el senyal elèctric a tot el circuit de comandament, i quan tanqui el contacte 97-98 encendrà la bombeta de senyalització H0.
- Com que els contactes del tèrmic F5 i del pulsador d'aturada S2 connectats al PLC són NC, és a dir, normalment tancats, en repòs l'entrada corresponent té valor lògic 1 i, per tant, els contactes que estan tancats en l'esquema s'han de programar oberts, i els oberts negats.



Ara feu l'activitat "Arrencada d'un motor III temporitzat a la connexió", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 17. Arrencada d'un motor III temporitzat a la connexió



1.5. Arrencada d'un motor III temporitzat a la desconnexió

En la figura 18 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor III temporitzat a la desconnexió. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar el següent:

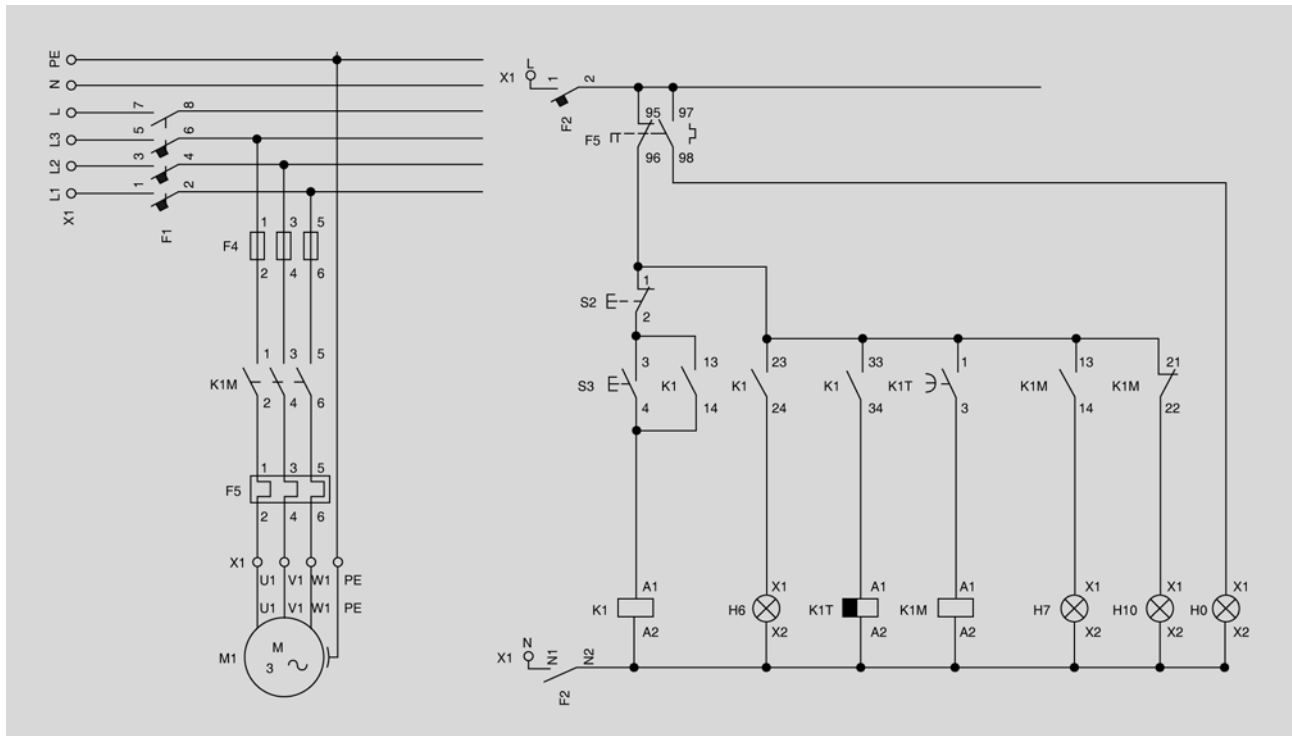
- El pulsador d'aturada-marxa no acciona directament el contactor, sinó que actua sobre el relé K1.
- Quan el relé està accionat, mitjançant el contacte 33-34 acciona el temporitzador, que tanca immediatament el contacte 1-3 i connecta el contactor; per tant, el contactor es posa en marxa en el mateix moment que es dona l'ordre amb el pulsador de marxa S3.
- Quan s'acciona el pulsador d'aturada S2, es desconnecta el relé, obre el contacte 33-34 i desconnecta la bobina del temporitzador, però el seu contacte 1-3 continua tancat i, per tant, el contactor segueix en marxa; en aquest moment comença a comptar el temps programat i quan ha transcorregut aquest temps obre el contacte 1-3 i desconnecta el contactor.
- La bombeta H6 indica el funcionament del relé K1, la H7 del contactor K1M i la H10 que el motor està aturat.

- Quan dispari el relé tèrmic de protecció F5, obrirà el contacte 95-96 i tallarà el senyal elèctric a tot el circuit de comandament, i quan tanqui el contacte 97-98 s'encendrà la bombeta de senyalització H0.
- Com els contactes del tèrmic F5 i del pulsador d'aturada S2 connectats al PLC són NC, és a dir, normalment tancats, en repòs l'entrada corresponent té valor lògic 1 i, per tant, els contactes que estan tancats en l'esquema s'han de programar oberts i els oberts negats.



Ara feu l'activitat "Arrencada d'un motor III temporitzat a la desconexió", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 18. Arrencada d'un motor III temporitzat a la desconexió



1.6. Arrencada d'un motor III en estrella-triangle

En la figura 19 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor III en estrella-triangle. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar el següent:

- El motor està protegit mitjançant un disjuntor protector de motor amb el contacte 13-14 NO, normalment obert, que es tanca quan s'acciona i que obre quan dispara; per tant, aquest s'ha de programar obert i el contacte tancat 11-12 negat.
- Quan accioneu el pulsador de marxa es connecta el contactor general K1M, el temporitzador K1T i el contactor estrella K5M; en aquest moment el temporitzador comença a comptar el temps programat i quan aquest ha finalitzat canvia l'estat dels seus contactes i obre el 15-16, que desconnecta el contactor K5M, i tanca el 15-18, que connecta el

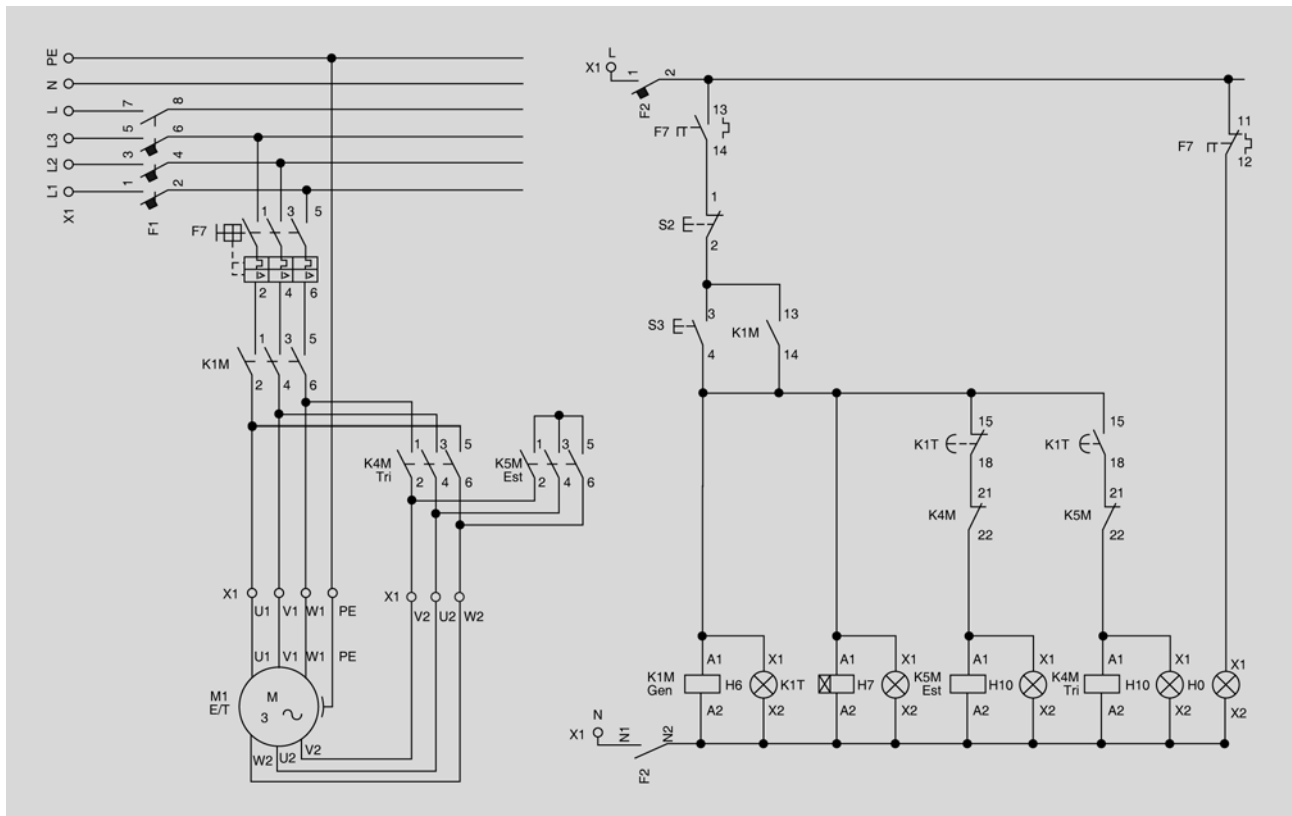
contactor K4M, de manera que deixa al motor funcionant en triangle fins que s'acciòni el polsador d'aturada S2.

- Els contactors K4M i K5M tenen l'enclavament elèctric mitjançant els contactes 21-22.
- La bombeta H6 indica el funcionament del contactor general, la H7 del temporitzador, la H10 del contactor d'estrella i la H11 del contactor triangle.
- Quan dispari el disjuntor protector de motor F7, s'obrirà el contacte 13-14 i es tallarà el senyal elèctric a tot el circuit de comandament, i quan es tanqui el contacte 11-12 s'encendrà la bombeta de senyalització H0.



Ara feu l'activitat "Arrencada d'un motor III en estrella-triangle", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 19. Arrencada d'un motor III en estrella-triangle



1.7. Arrencada d'un motor III en estrella-triangle amb inversió del sentit de gir

En la figura 20 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor III en estrella-triangle amb inversió del sentit de gir. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne a terme el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar el següent:

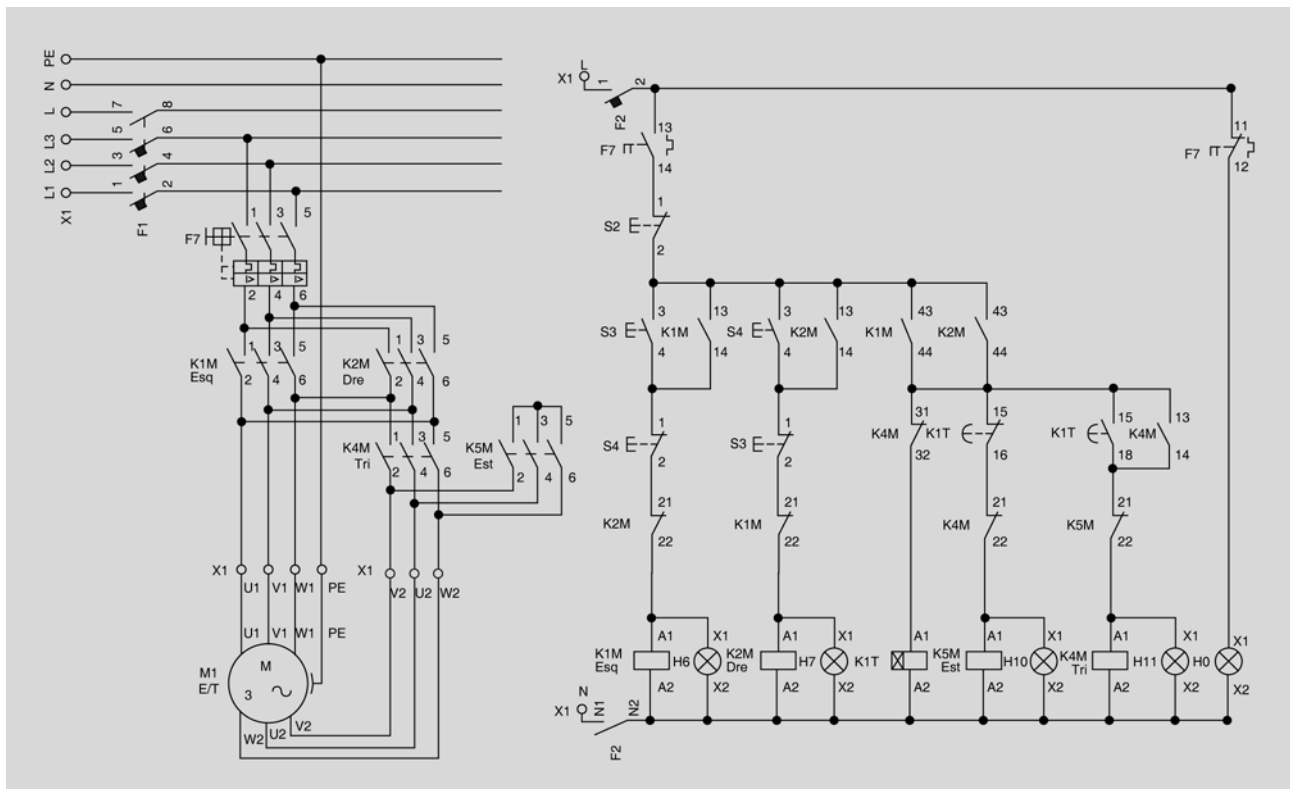
- El motor està protegit mitjançant un disjuntor protector de motor amb el contacte 13-14 NO, normalment obert, que es tanca quan s'acciona i

que s'obre quan dispara el disjuntor; per tant, aquest s'ha de programar obert i el contacte tancat 11-12 negat.

- Quan accioneu un dels pulsadors de marxa S3 o S4 es connecta el contactor K1M o K2M i gira el motor en el sentit accionat; mitjançant els contactes 43-44 es connecta el temporitzador i el contactor estrella K5M, el temporitzador comença a comptar i quan finalitza el temps programat obre el contacte 31-32 i desconnecta el contactor K5M, i tanca el contacte 15-18 i connectant el contactor K4M, de manera que deixa el motor funcionant en triangle.
- Els contactors K1M i K2M estan enclavats mecànicament, ja que fan la inversió de gir, i K4M i K5M també fan la connexió estrella-triangle.
- Les bombetes H6 i H7 indiquen el sentit de gir del motor, la H10 i H11 si el motor està en connexió estrella o triangle.
- Quan dispari el disjuntor protector de motor F7, obrirà el contacte 13-14 i tallarà el senyal elèctric a tot el circuit de comandament, i quan tanqui el contacte 11-12 encendrà la bombeta de senyalització H0.

Ara feu l'activitat "Arrencada d'un motor III en estrella-triangle amb inversió del sentit de gir", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 20. Arrencada d'un motor III en estrella-triangle amb inversió del sentit de gir



1.8. Arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques

En la figura 21 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques. El progra-

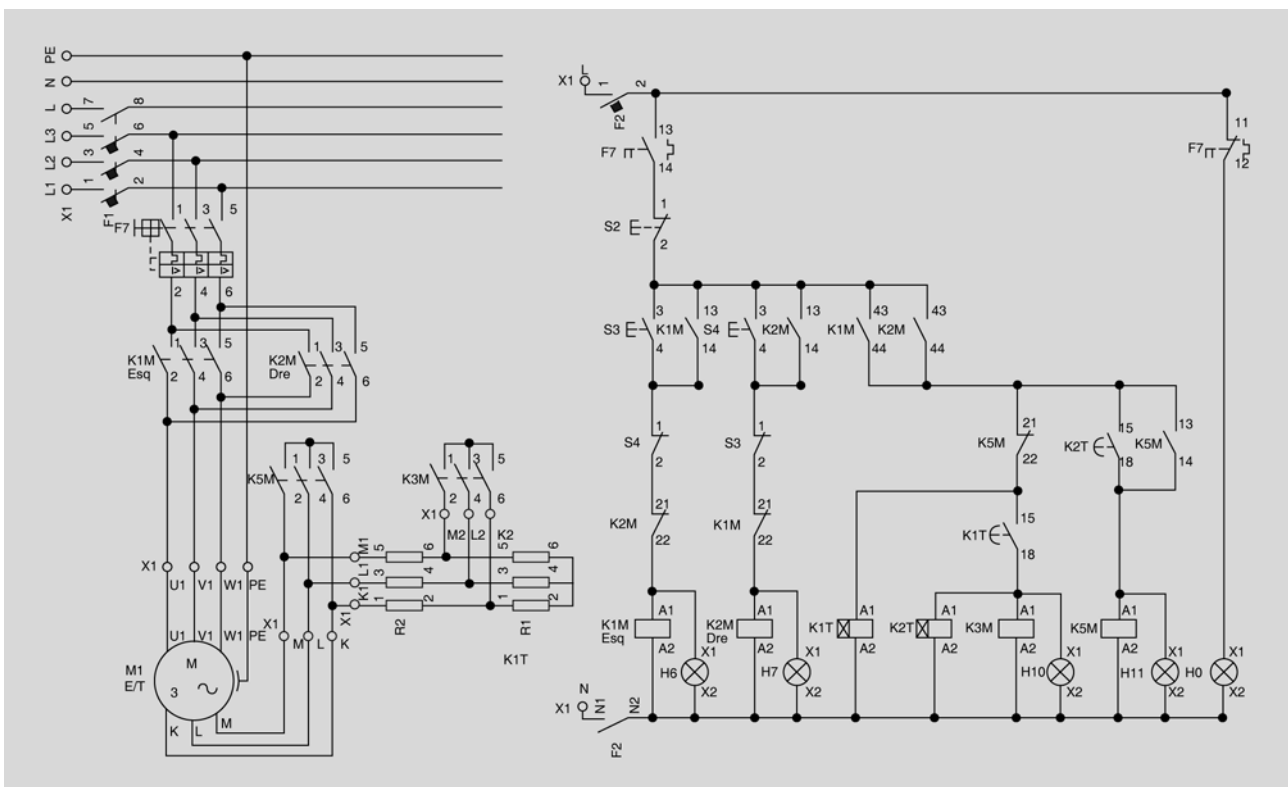
1.9. Arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques i amb inversió del sentit de gir

En la figura 22 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques i amb inversió de gir. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar el següent:

- El motor està protegit mitjançant un disjuntor protector de motor amb el contacte 13-14 NO, normalment obert, que es tanca quan s'acciona i que obre quan dispara; per tant, aquest s'ha de programar obert i el contacte tancat 11-12 negat.
- Quan accioneu un dels pulsadors de marxa S3 o S4 es connecta el contactor K1M o K2M i gira el motor en el sentit accionat; mitjançant els contactes 43-44 es connecta el temporitzador K1T, i quan ha transcorregut el temps programat per mitjà del contacte 15-18 es connecta el contactor K3M i el temporitzador K2T; quan ha transcorregut el temps programat en K2T es tanca el contacte 15-18 i es connecta el contactor K5M, que obre el contacte 21-22 i desconnecta els temporitzadors i el contactor K3M, que es realimenta pel contacte 13-14.
- Les bombetes H6 i H7 indiquen el sentit de gir del motor, la H10 que estan connectades les resistències R1 i R2 i la H11 que només estan connectades les resistències R2.
- Quan dispari el disjuntor protector de motor F7, obrirà el contacte 13-14 i tallarà el senyal elèctric a tot el circuit de comandament, i quan tanqui el contacte 11-12 s'encendrà la bombeta de senyalització H0.

Ara feu l'activitat "Arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques i amb inversió del sentit de gir", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 22. Arrencada d'un motor III mitjançant resistències rotòriques i amb inversió del sentit de gir



1.10. Arrencada d'un motor Dahlander

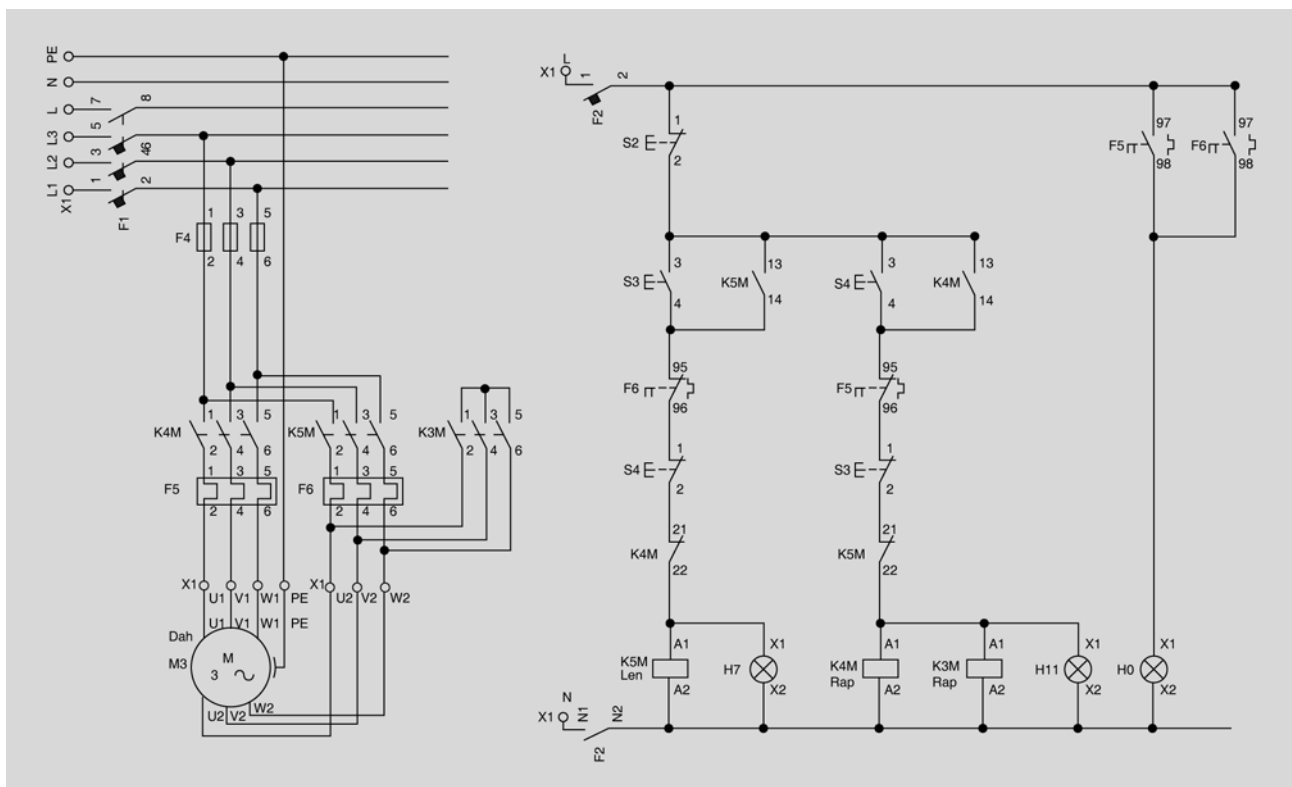
En la figura 23 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor Dahlander, que pot funcionar a dues velocitats diferents. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar el següent:

- El motor està protegit mitjançant dos relés tèrmics de protecció: F6 per a la velocitat lenta i F5 per a la ràpida.
- Si accioneu el pulsador S3, mitjançant el contacte 3-4 es connecta el contactor K5M, que posa en marxa el motor a velocitat lenta.
- Si accioneu el pulsador S4, mitjançant el contacte 3-4 es connecten els contactors K4M i K3M, que posen en marxa el motor a velocitat ràpida.
- Observeu que el pulsador de marxa lenta S3 té un contacte normalment tancat 1-2 en sèrie amb el circuit de la marxa ràpida, i impedeix que es pugui accionar el circuit de marxa ràpida mentre es dona l'ordre de marxa lenta. A l'inrevés passa el mateix: quan accioneu el pulsador de marxa ràpida S4, s'obre el contacte 1-2 en el circuit de marxa lenta.
- Els contactes 21-22 de K4M i K5M actuen d'enclavament elèctric i impedeixen que aquests contactors puguin funcionar a la vegada.
- Les bombetes H7 i H11 indiquen la velocitat a la qual gira el motor i la H0 es connecta quan es disparen qualsevol dels dos relés tèrmics de protecció.



Ara feu l'activitat "Arrencada d'un motor Dahlander", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 23. Arrencada d'un motor Dahlander



1.10.1. Inversió del sentit de gir d'un motor Dahlander

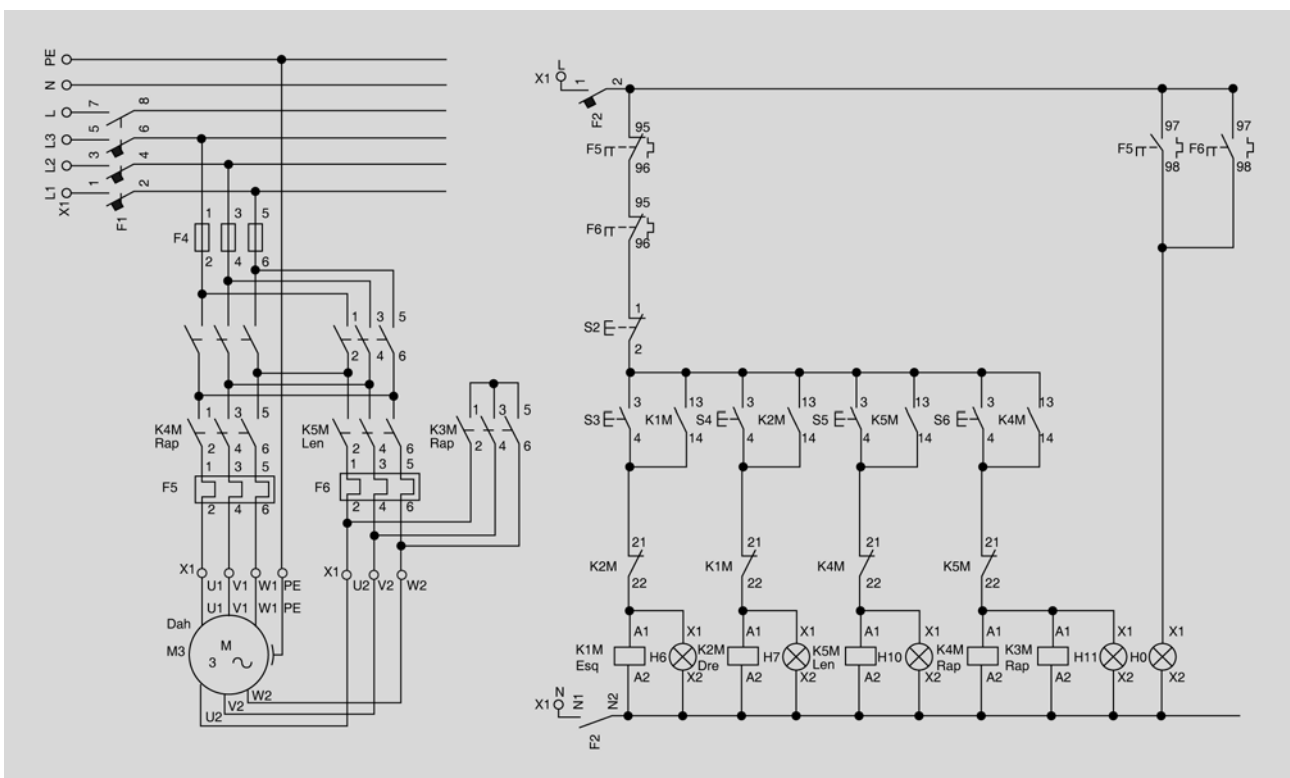
En la figura 24 podeu veure l'esquema de potència i comandament per a l'arrencada d'un motor Dahlander, que pot funcionar a dues velocitats diferents amb inversió del sentit de gir. El programa que s'ha de confeccionar per fer-ne el control des d'un PLC correspon a l'esquema de comandament, i cal destacar-ne el següent:

- El motor està protegit mitjançant dos relés tèrmics de protecció, F6 per a la velocitat lenta i F5 per a la ràpida.
- El pulsador S5 connecta el contactor K1M, que fa que el motor giri a l'esquerra, i el S4 connecta K2M, que fa que giri a la dreta.
- Els contactes 21-22 dels contactors K1M i K2M actuen d'enclavament elèctric; per tant, per canviar el sentit de gir s'ha d'accionar abans el pulsador d'aturada S2.
- El pulsador S5 connecta el contactor K5M, que fa que el motor giri a marxa lenta, i el pulsador S6 connecta els contactors K4M i K3M, que fan que el motor giri a marxa ràpida.
- Els circuits de selecció del sentit de gir i el de velocitat del motor són independents: es pot seleccionar primer qualsevol dels dos, però el motor no es posa en marxa fins que no s'hagi seleccionat un sentit de marxa i una velocitat.
- Les bombetes de senyalització H6 i H7 indiquen el sentit de gir, les bombetes H10 i H11 la velocitat del motor i la H0 el disparament de qualsevol dels dos relés tèrmics de protecció.



Ara feu l'activitat "Inversió del sentit de gir d'un motor Dahlander", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 24. Inversió del sentit de gir d'un motor Dahlander



2. Programació mitjançant Grafcet de processos seqüencials controlats per automats programables

El funcionament de les instal·lacions automatitzades es pot definir mitjançant circuits combinacionals o seqüencials.

Un **circuit combinacional** és un sistema lògic en el qual les sortides, en un moment donat, depenen només dels valors binaris de les entrades; correspon a la realització física de les funcions booleanes i, per tant, es pot definir mitjançant la taula de la veritat. Per implementar els circuits combinacionals senzills es poden utilitzar portes lògiques, circuits integrats que tenen funcions més complexes, i els quals és més freqüent la combinació de diferents circuits integrats.

Un **automatisme seqüencial** és aquell en què les sortides en cada instant no depenen únicament de les entrades, sinó que també depenen dels estats anteriors i de la seva evolució.

El **Grafcet** és una de les diferents maneres en què es pot representar un quadern de càrregues, com els diagrames de flux, diagrames espai-fase, espai-temps, etc. necessaris, entre altres motius, per les dificultats que comporta la descripció d'automatismes seqüencials de manera literal, que acostuma a ser un procés llarg, incòmode, imprecís i a vegades incomplet. Grafcet descriu les especificacions tecnològiques i funcionals d'una instal·lació i permet l'estudi de l'automatisme de manera rigorosa i fàcil d'aplicar a la indústria.

El **Grafcet** és un diagrama funcional que permet descriure els comportaments de l'automatisme en relació amb les informacions que rep, defineix un funcionament rigorós, clar i entenedor, i evita incoherències, bloquejos o conflictes en el funcionament.

El Grafcet ('gràfic funcional de comandament d'etapes i transicions'), fou creat l'any 1970 fruit de la col·laboració de dues empreses elèctriques, Telemecanique i Aper, i dues associacions, AFCET (Associació Francesa per a la Cibernetica, Economia i Tècnica) i ADEPA (Agència Nacional per al Desenvolupament de la Producció Automatitzada), totes franceses. El mes de juny de 1982 es va crear la norma francesa UTE NF C 05-190 Grafcet per a la descripció dels sistemes lògics de comandament. Actualment és un mètode homologat a França i Alemanya, amb la norma DIN, i l'any 1988 es reconegué amb la norma

Quadern de càrregues

Nom genèric que reben tots els gràfics que representen el funcionament dels automatismes seqüencials.

internacional IEC 848, però no amb el nom de Grafcet sinó amb el terme *preparació de diagrames funcionals per a sistemes de control*. Avui dia és una eina imprescindible per automatitzar processos seqüencials complexos mitjançant PLC.

2.1. Representació del Grafcet

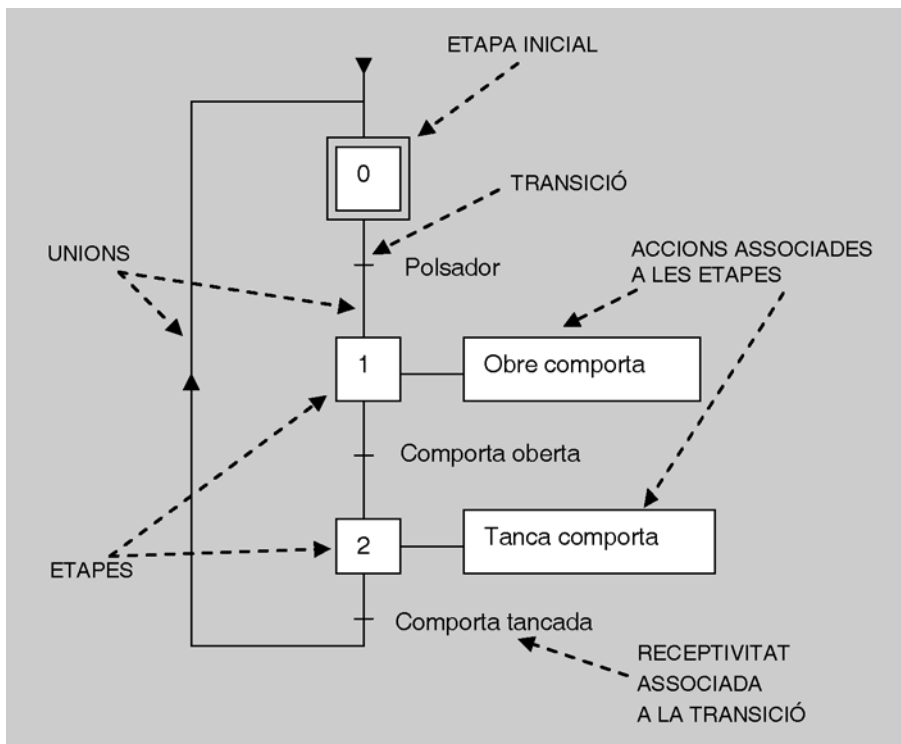
Un Grafcet és una successió d'etapes que tenen les seves accions associades de manera que quan l'etapa està activa es duen a terme les accions que hi té associades.

Les etapes estan unides mitjançant línies d'unió i, enmig de cada línia, entre dues etapes, hi ha una transició, i a cada transició correspon una **receptivitat**, és a dir, una condició que s'ha de complir per poder franquejar la transició. Es diu que una transició està validada quan l'etapa immediatament anterior està activa, i que en aquest moment si la receptivitat associada es compleix la transició és franquejable. En franquejar una transició es desactiven totes les etapes anteriors i s'activen les posteriors.

Les etapes inicials es representen amb doble línia i s'han d'activar automàticament en posar en marxa el sistema.

En la figura 25 podeu veure la representació d'un Grafcet amb els elements que el configuren.

Figura 25. Elements d'un Grafcet



2.1.1. Nivells del Grafcet

En funció del tipus de descripció que feu en el Grafcet, s'estableixen tres nivells d'especificació. En la taula 1 podeu veure representats aquests tres nivells.

Taula 1. Nivells del Grafcet

Grafcet de nivell 1	Grafcet de nivell 2	Grafcet de nivell 3
Descripció funcional	Descripció tecnològica	Descripció operativa
Es descriuen els moviments que fa la instal·lació.	Es representen els símbols dels components.	Es representen les entrades i sortides del PLC.

1) Descripció funcional

En el primer nivell es fa una descripció global de l'automatisme en què es reflecteixen els moviments que fa la instal·lació i que permeten comprendre'n ràpidament el funcionament. És el tipus de gràfic que faríeu per explicar de manera concreta i entenedora el que voleu que faci la instal·lació als tècnics que l'han de dissenyar.

En aquest nivell no es fa cap referència a les tecnologies utilitzades, és a dir, no s'especifica si la comporta s'obrirà utilitzant un cilindre pneumàtic o un motor, ni quin tipus de detector senyalitzarà que la comporta està oberta. En la figura 26 teniu representat un gràfic de nivell 1 amb la descripció funcional.

2) Descripció tecnològica

En aquest nivell es fa una descripció a escala tecnològica i operativa de l'automatisme, representant els símbols que corresponen als components de la instal·lació que fan els moviments; per tant, han de quedar perfectament definides les tecnologies utilitzades per a cada funció i les tasques que han de dur a terme els elements escollits.

En la descripció tecnològica es concreta, per exemple, si una comporta s'obre mitjançant un motor o un cilindre pneumàtic.

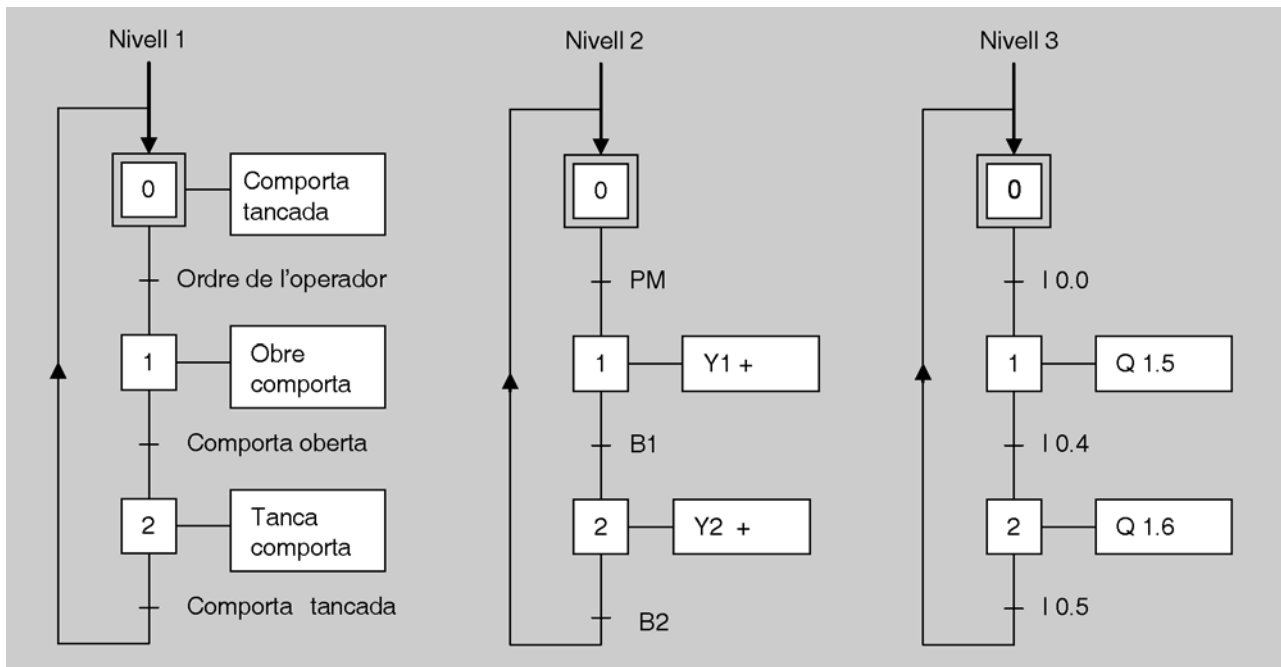
En la figura 26 podeu observar que és un gràfic idèntic al de nivell 1, substituint la descripció dels moviments pels moviments que els fan, i es veu que en aquest nivell s'especifica el tipus de tecnologia emprat, tot indicant, per exemple, que l'actuador, que fa que la comporta s'obri, és un cilindre pneumàtic (Y1), i que el senyal que indica que està oberta és un detector inductiu (B1).

3) Descripció operativa

Es representen les entrades i sortides de l'autòmat programable en què estan connectats tots els components.

En la figura 26 podeu observar que és un gràfic idèntic al de nivell 2, substituint els símbols dels elements que representen els actuadors i sensors per les entrades i sortides per on estan connectats al PLC.

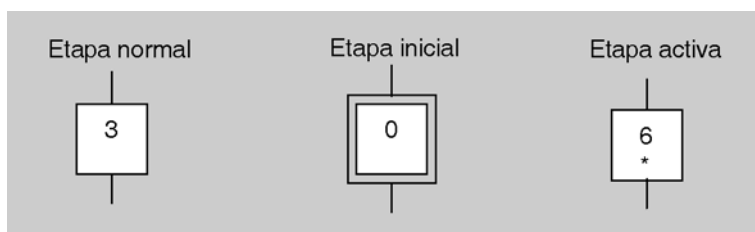
Figura 26. Representació dels tres nivells del Grafset



2.1.2. Etapes del Grafset

Les etapes defineixen la seqüència de funcionament de la instal·lació. Es representen per un quadrat amb un nombre en la part superior per identificar-la, una línia a la part superior, que correspon a l'entrada, i una altra a la part inferior, que correspon a la sortida. Poden estar actives o inactives. Una etapa està activa quan correspon al moment concret de l'evolució de l'automatisme d'una instal·lació i es representa mitjançant un punt a la part inferior. Les etapes inicials es representen amb doble requadre. En la figura 27 podeu veure la representació de diferents tipus d'etapes

Figura 27. Representació d'etapes

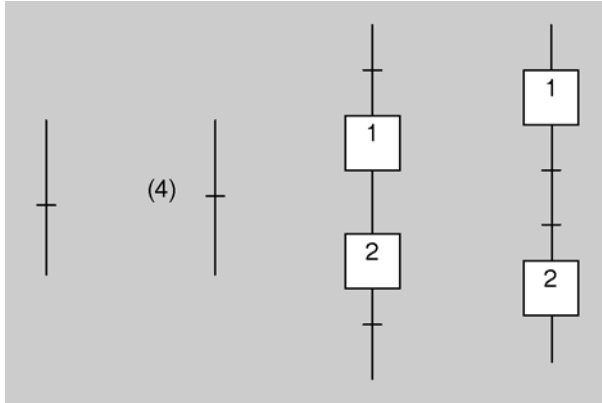


2.1.3. Transicions del Grafset

Les transicions indiquen la possibilitat d'evolució entre etapes; es representen mitjançant una línia perpendicular a la línia d'unió entre les dues eta-

pes. No és obligatori enumerar-les però si es fa, el nombre ha d'anar entre parèntesis a l'esquerra de la transició, i no hi pot haver mai dues transicions consecutives sense una etapa entre mig ni dues etapes consecutives sense una transició. En la figura 28 teniu diversos exemples de representació de les transicions.

Figura 28. Representació de les transicions



2.1.4. Receptivitats del Grafcet

La receptivitat correspon a una expressió algebraica i sempre està associada a una transició; es representa a la dreta de la transició i és la condició que s'ha de complir per franquejar la transició i que el Grafcet evolucioni i passi d'una etapa a una altra.

En la taula 2 teniu uns exemples de diferents expressions algebraiques corresponents a receptivitats.

Taula 2. Exemples de receptivitats

Expressió	Condicció per franquejar la transició
$T > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura superior a 25 graus
C 3	El comptador 3 ha arribat al valor preseleccionat
$S2 + B3$	Estan accionats el pulsador S23 i el detector B3
$B1 * B4$	Estan accionats els detectors B1 i B4
$S2 * (B4 + S3)$	Està accionat el pulsador S2 i el detector B4 o B3
= 1	Receptivitat sempre validada

Les receptivitats normalment corresponen a elements externs que estan connectats al PLC, com entrades o interns del PLC mateix, com temporitzadors, comptadors, registres, etc., però també hi pot haver receptivitats condicionades per altres etapes del Grafcet o per senyals amb flancs positius o negatius.

En la figura 29 teniu uns exemples d'aquests tipus de receptivitats.

Figura 29. Tipus de receptivitats

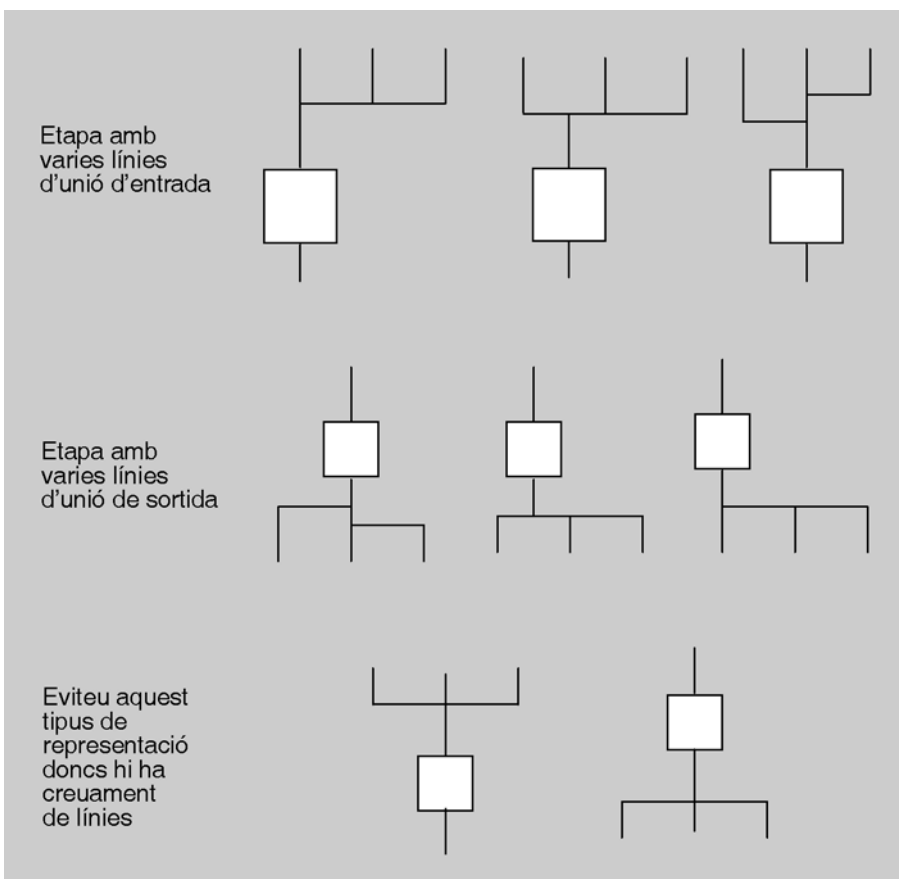


2.1.5. Línies d'unió

Les línies d'unió uneixen les etapes amb les transicions i les transicions amb les etapes, indiquen el camí de les evolucions. Es dibuixen habitualment en sentit vertical o horitzontal i aquesta evolució és sempre en sentit descendent; en cas que no sigui així s'ha d'especificar el sentit amb una fletxa.

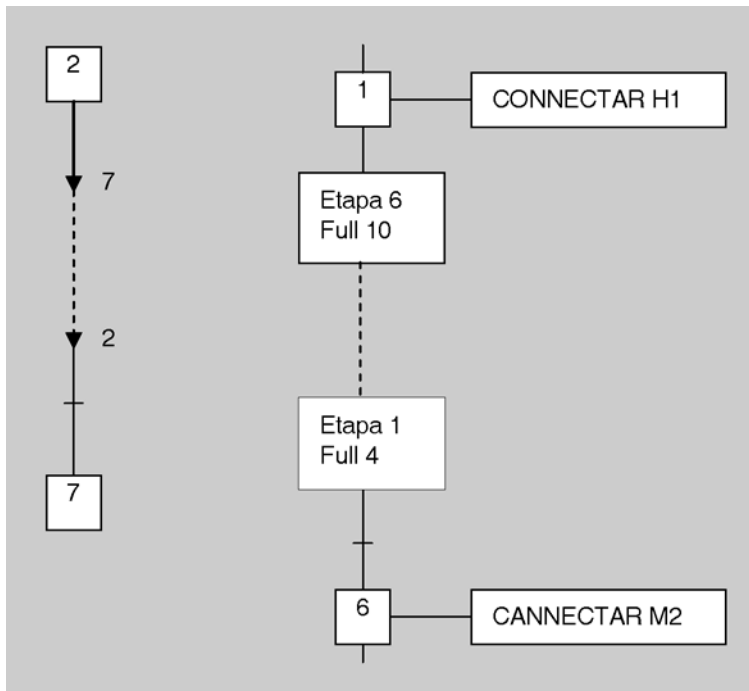
És molt freqüent trobar etapes amb diverses línies d'entrades o de sortida; en aquests casos s'han d'encreuar línies per evitar confusions. En la figura 30 teniu uns exemples de com es poden solucionar els casos d'etapes amb diverses entrades o sortides.

Figura 30. Representació d'etapes amb diverses entrades o sortides



Quan una línia uneix dues etapes que estan molt allunyades o fins i tot en diferents fulls del plànol es pot representar com indica la figura 31.

Figura 31. Representació de línies d'unió complexes



2.1.6. Regles d'evolució

El Grafcet representa el funcionament d'una instal·lació automatitzada amb un procés seqüencial. En cada etapa es fa una acció concreta, i a mesura que passa d'etapa dona les ordres als actuadors perquè el procés dugui a terme les tasques concretes. El pas d'una etapa a una altra del Grafcet s'entén com **evolució del Grafcet**.

Perquè un Grafcet evolucioni, és a dir, perquè executi la seqüència de funcionament etapa a etapa, s'han de complir les regles següents:

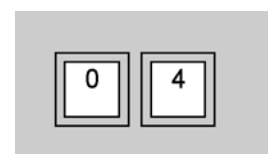
Regla 1. Inicialització

En la inicialització del sistema s'han d'activar totes les etapes inicials, i només les inicials. Les etapes inicials poden començar per qualsevol nombre. En la figura 32 teniu un exemple de representació d'etapes inicials, amb doble requadre i amb el nombre corresponent.

Regla 2. Evolució de les transicions

Una transició està validada quan totes les etapes immediatament anteriors a aquesta estan actives.

Figura 32. Representació d'etapes inicials



Una transició és franquejable quan està validada i la seva receptivitat és certa. Tota transició franquejable ha de ser immediatament franquejada.

Una **transició evoluciona** quan les etapes anteriors estan actives i les seves receptivitats associades són certes.

En la figura 33 teniu representades les condicions perquè evolucioni una transició, l'etapa anterior activa i la receptivitat associada certa.

Regla 3. Evolució de les etapes actives

En franquejar una transició s'han d'activar totes les etapes immediatament posteriors i desactivar simultàniament totes les immediatament anteriors.

En la figura 34 podeu veure com quan la transició està franquejada estan actives les etapes anteriors 4 i 5 i desactivades les posteriors 2 i 3.

Figura 33. Evolució d'una transició

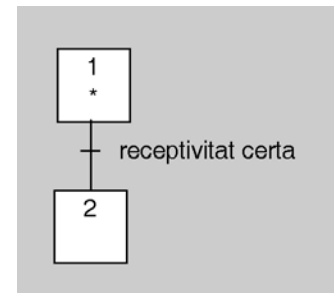
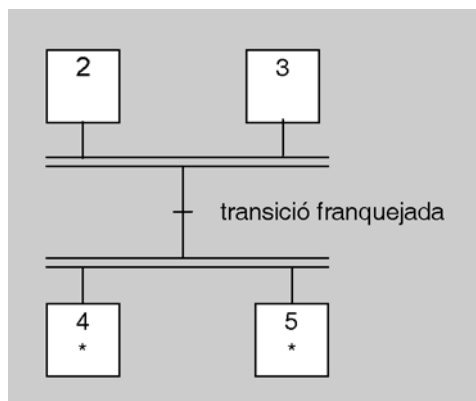


Figura 34. Evolució d'etapes actives



Regla 4. Simultaneïtat en el franquejament de les transicions

Les transicions simultàniament franquejables han de ser simultàniament franquejades. Normalment s'assenyalen amb un * i un nombre.

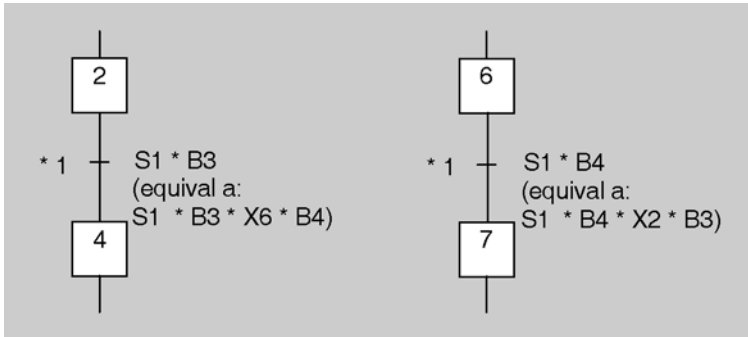
Transicions simultàniament franquejables

Us podeu trobar una instal·lació amb diferents processos que en un moment determinat han de coincidir per continuar; per tant, els Grafcet de cada procés estaran aturats en una etapa concreta esperant que l'altre procés també arribi a l'etapa determinada. Els Grafcet no evolucionen fins que estiguin actives aquestes etapes, que han de ser franquejades a la vegada.

En la figura 35 s'han assenyalat les dues etapes amb un “* 1”; podeu veure que en aquest exemple hi ha una condició comuna S1 i altres d'específiques de cada transició. Com les dues etapes s'han de franquejar simultà-

niament, fixeuvos que les receptivitats d'una etapa s'han de tenir en compte a l'hora de franquejar l'altra, per això cada transició té les seves receptivitats més les que siguin diferents de l'altra transició.

Figura 35. Franquejament simultani de transicions



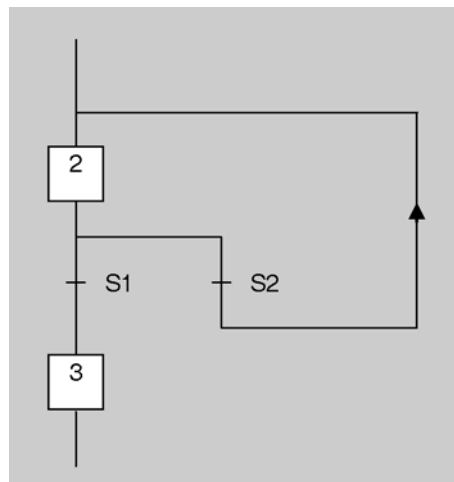
Regla 5. Prioritat de l'activació

Si en evolucionar un Grafcet, una etapa ha de ser activada i desactivada al mateix temps, haurà de romandre activa.

Prioritat de l'activació

Fixeu-vos en el Grafcet de la figura 36: si estem en l'etapa 2 i la receptivitat S2 és certa, segons la regla 3 s'ha d'activar l'etapa posterior, és a dir, la 3, i desactivar l'etapa anterior, la 2 també; per tant, segons la regla 5, haureu de deixar l'etapa 2 activa.

Figura 36. Prioritat d'activació

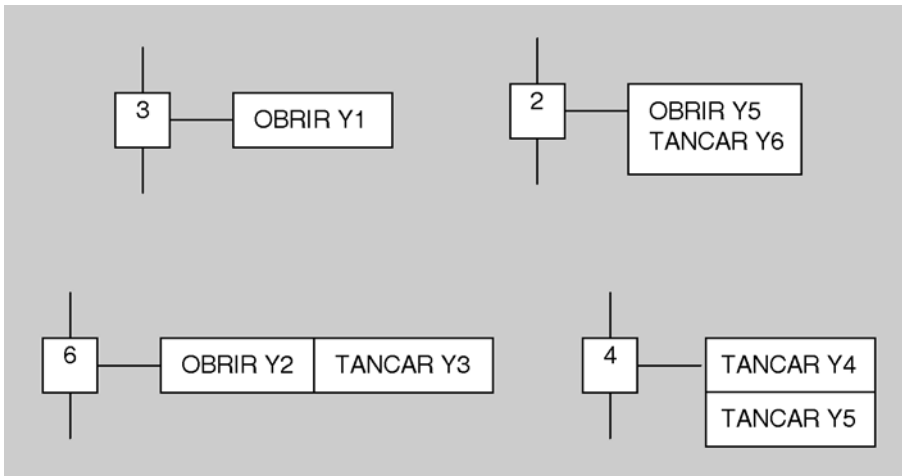


2.1.7. Accions associades a etapes

La norma IEC-848 (Preparació de diagrames funcionals per a sistemes de control) presenta de manera general la descripció de les accions associades a les etapes, mitjançant un rectangle unit amb una línia a l'etapa corresponent.

En la figura 37 podeu veure les diferents maneres en què es poden representar les accions associades a les etapes.

Figura 37. Representació de les accions

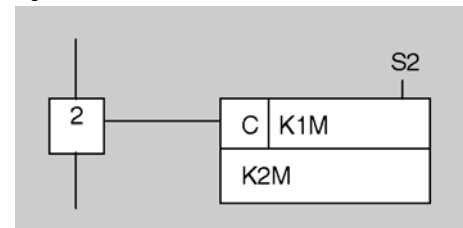


Segons les necessitats es pot dividir el rectangle en dues parts, i es pot indicar a l'esquerra de la descripció de l'acció mitjançant una lletra el comportament de l'acció una vegada que s'activa l'etapa, i que pot ser:

1) Acció condicionada

L'acció condicionada s'identifica amb la lletra C i indica que l'acció només s'executarà quan, estant l'etapa activa, s'acompleixi la condició. En l'exemple de la figura 38 teniu dues accions associades a una etapa i una està condicionada: quan l'etapa 2 estigui activa el contactor K2M funcionarà sempre però el K1M només ho farà si, a més, està connectat el pulsador S2.

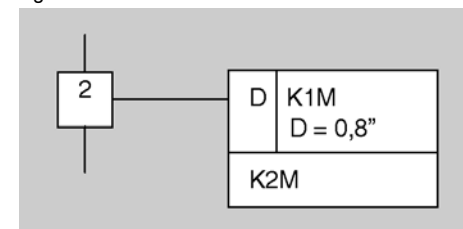
Figura 38. Acció condicionada



2) Acció retardada

L'acció retardada s'identifica amb la lletra D i implica que l'acció comença un cert temps després de l'activació de l'etapa. En l'exemple de la figura 39 el contactor K2M es connectarà al mateix moment que s'activi l'etapa 2, però el K1M ho farà 8 s després, i si el Grafset evoluciona a l'etapa següent abans de transcórrer el temps programat, no arribaria a connectar-se.

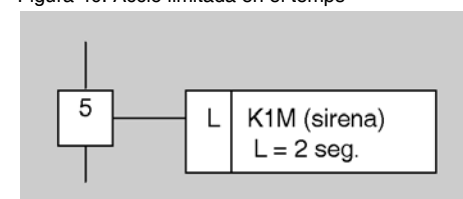
Figura 39. Acció retardada



3) Acció limitada en el temps

L'acció limitada en el temps s'identifica amb la lletra L i implica que l'acció finalitza un cert temps després de l'activació de l'etapa. En l'exemple de la figura 40 la sirena accionada pel contactor K1M començarà a sonar quan s'activi l'etapa 5 i deixarà de sonar 2 s després; si l'etapa 5 està activada menys de 2 s la sirena deixaria de sonar en desactivar-se l'etapa.

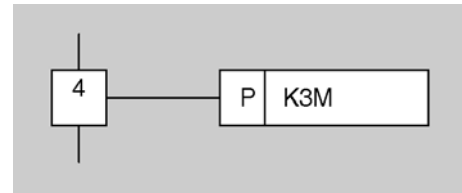
Figura 40. Acció limitada en el temps



4) Acció impulsional

L'acció impulsional s'identifica amb la lletra P i correspon a una acció limitada a un temps molt curt però suficient per aconseguir l'efecte desitjat. En el cas dels PLC aquest temps acostuma a ser la durada d'un cicle, i l'exemple de la figura 41 el contactor K3M es connectarà quan s'activi l'etapa 4 i es desconnectarà immediatament.

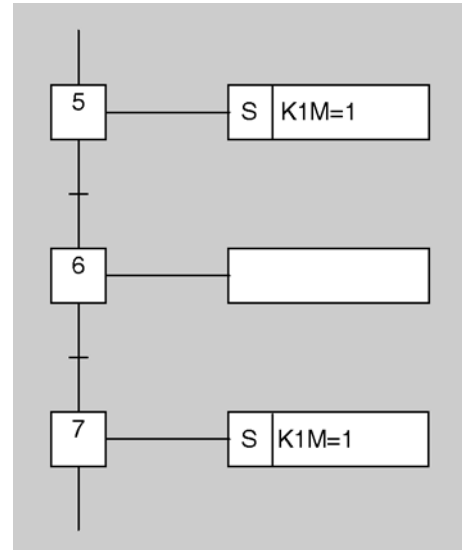
Figura 41. Acció impulsional



5) Acció memoritzada

L'acció memoritzada implica que l'acció s'activa en una etapa determinada i es desactiva en una altra. En l'exemple de la figura 42 el contactor K1M es connecta en l'etapa 5 i es desconnecta en l'etapa 7. Aquest tipus d'acció s'utilitza molt per connectar actuadors monoestables com motors o cilindres de simple efecte per evitar haver de donar l'ordre de connectar en totes les etapes intermèdies que hi ha entre la que dona l'ordre de connectar i la de desconnectar.

Figura 42. Acció memoritzada



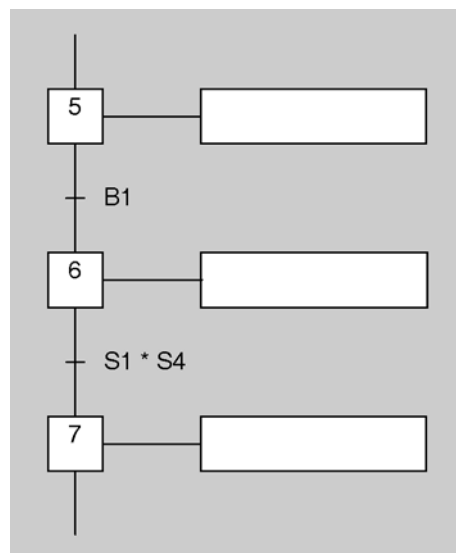
2.2. Estructures bàsiques del Grafset

La majoria de processos seqüencials es poden descriure mitjançant la combinació de les tres estructures bàsiques d'un Grafset: seqüència única, selecció de seqüència i seqüències simultànies.

2.2.1. Seqüència única

Una seqüència única està formada per una successió d'etapes que són actives una a continuació de l'altra, amb la característica que cada etapa té en la sortida una única transició i cada transició és validada per una única etapa. En la figura 43 podeu veure un exemple d'un Grafset de seqüència única.

Figura 43. Seqüència única

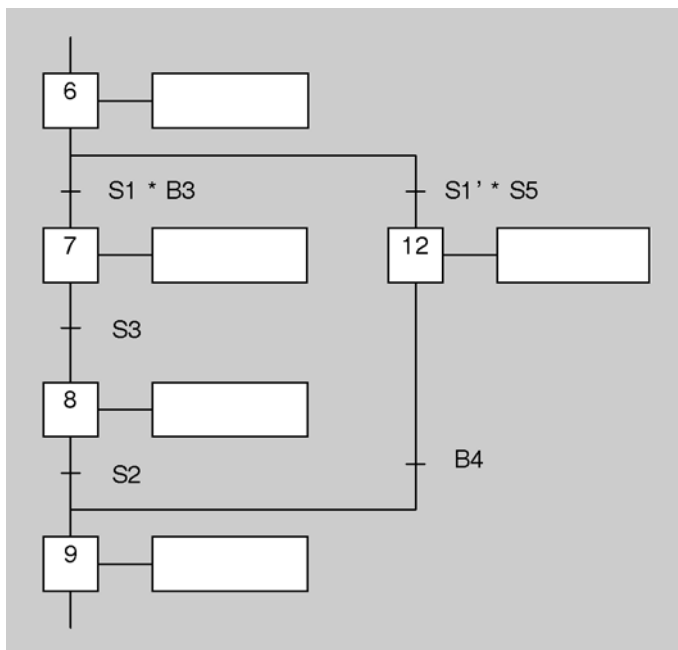


Es diu que una **seqüència està activa** si com a mínim hi ha una etapa activada, i que està inactiva si totes les etapes estan desactivades.

2.2.2. Selecció de seqüència

Una selecció de seqüència es presenta quan en la sortida d'una etapa la línia d'unió es bifurca i hi ha diverses transicions i, per tant, la seqüència pot evolucionar en distintes etapes. Les receptivitats d'aquestes transicions han de ser exclusives, és a dir, no poden ser certes les dues a la vegada, i el Grafcet ha d'evolucionar solament en un dels diversos camins possibles. En la figura 44 podeu veure un exemple d'un Grafcet amb selecció de seqüència, en què des de l'etapa 6 el Grafcet pot evolucionar cap a l'etapa 7 o l'etapa 12. Fixeu-vos que la receptivitat S1 fa que les transicions siguin exclusives: si S1 està accionat, és a dir, si S1 és cert, podrà evolucionar cap a l'etapa 7, i si no és cert ho podrà fer cap a l'etapa 12.

Figura 44. Selecció de seqüència



2.2.3. Salts d'etapes

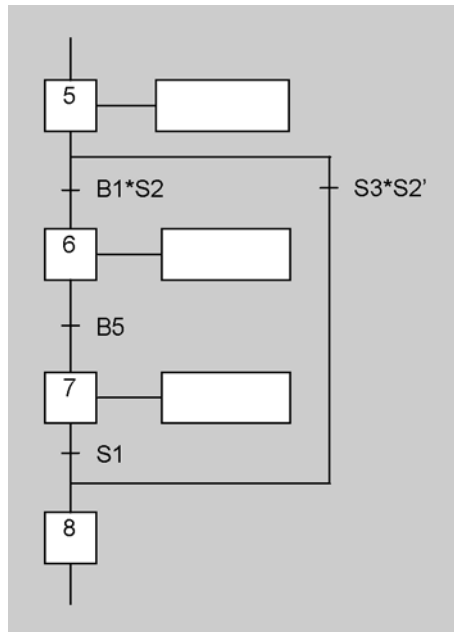
Un salt d'etapes és una variant de l'estructura de selecció de seqüència que permet saltar una o diverses etapes; el salt es pot fer de dues maneres:

1) Salt cap endavant

Anomenat normalment *salt*, permet en una seqüència única saltar l'evolució d'una o diverses etapes quan les accions que es fan en aquestes etapes no siguin necessàries. En la figura 45 podeu veure un exemple de Grafcet amb salt

d'etapes, en què des de l'etapa 5, si és certa la transició B1 i S2, el Grafcet evoluciona per l'etapa 6, 7, etc., i si és certa, S3 i no és certa S2, salta a l'etapa 8 i deixa d'executar les accions associades a les etapes 6 i 7.

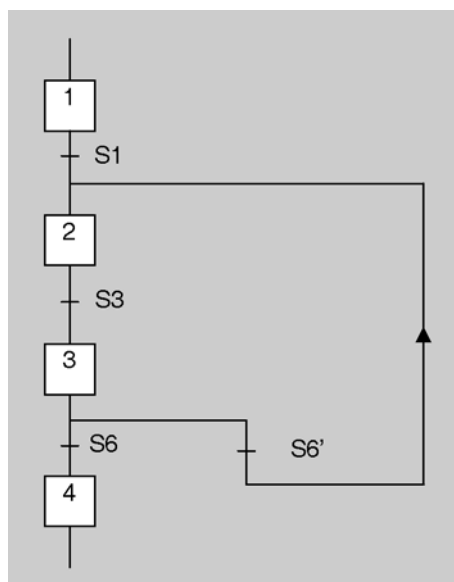
Figura 45. Salt d'etapes



2) Salt endarrere

Anomenat normalment *repetició de seqüència*, permet tornar a començar la mateixa seqüència mentre la receptivitat corresponent no sigui certa. Aquesta estructura és molt habitual en instal·lacions en què un procés s'ha de repetir diverses vegades, i hi ha un comptador que en valida la receptivitat. En la figura 46 podeu veure un exemple de Grafcet amb repetició de seqüència en què des de l'etapa 3, i mentre no sigui certa la receptivitat S6, es repetiran les accions associades a les etapes 2 i 3 i, en el moment que S6 sigui certa, el Grafcet evolucionarà a l'etapa 4 i continuarà el seu procés.

Figura 46. Salt endarrere

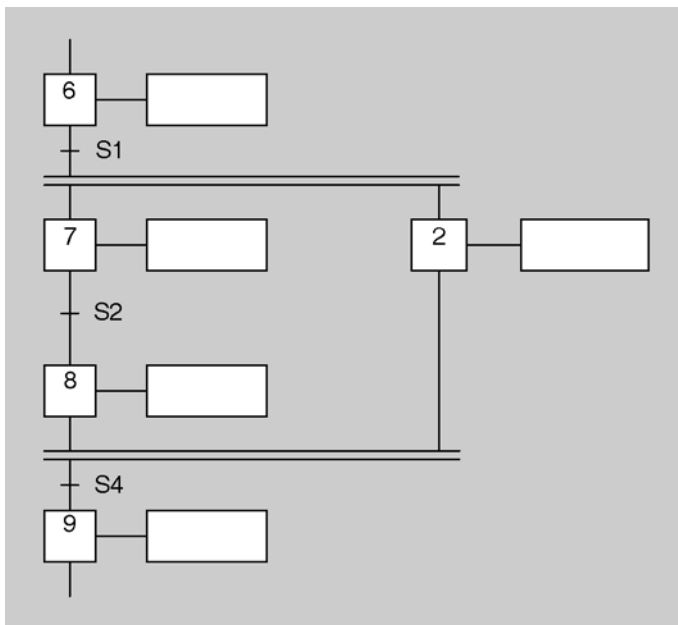


2.2.4. Seqüències simultànies

Una estructura de seqüències simultànies és aquella en què, quan es franqueja una transició, s'activen diverses etapes simultàniament, amb la característica que a partir d'aquest moment aquestes etapes inicien unes seqüències independents: quan una finalitza la seva tasca espera que ho faci l'altra, i així, quan les darreres etapes de cada seqüència estan actives i sigui certa la receptivitat associada a la transició, la transició estarà franquejada i el Grafcet evolucionarà a l'etapa següent.

L'inici i el final de les seqüències simultànies es representa amb doble línia. En la figura 47 podeu veure un exemple de Grafcet amb seqüències simultànies, en què les etapes 7 i 2 s'activen simultàniament quan, estant l'etapa 6 activa, hi hagi receptivitat S1 i per activar l'etapa 9 és necessari que estiguin actives les darreres etapes de cada seqüència, és a dir, les etapes 2 i 8 i que sigui certa la receptivitat S4.

Figura 47. Seqüències simultànies



2.3. Implementació del Grafcet

Una vegada dissenyat el Grafcet corresponent al procés que es vol fer, heu de confeccionar l'esquema elèctric que controli aquest procés i, per tant, heu de programar dos esquemes:

1) Esquema corresponent a les condicions d'activació de les etapes.

A partir del Grafcet dissenyat, s'obtenen les condicions d'activació i desactivació de les etapes tenint en compte el següent:

- Una etapa s'activa quan les etapes immediatament anteriors estan actives i la transició està franquejada.

- Quan activeu una etapa heu de desactivar les etapes immediatament anteriors.
- A cada línia d'unió correspon una ordre d'activació d'una etapa i desactivació de les anteriors, i es duu a terme en una branca elèctrica.
- Cada branca elèctrica estarà formada per un contacte de l'etapa actual, en sèrie amb els contactes corresponents a les receptivitats de la transició que donen l'ordre de *set* a l'etapa destinació i a la vegada *reset* a l'etapa origen.

2) Esquema corresponent a l'activació de les accions associades a les etapes.

A partir del Grafcet dissenyat, s'obtenen les condicions d'activació i desactivació de les accions associades a les etapes tenint en compte el següent:

- Les accions s'executen mentre l'etapa a la qual està associada està activa.
- L'esquema corresponent a l'activació de cada acció es fa en una branca diferent.

2.3.1. Esquema d'activació d'etapes del Grafcet

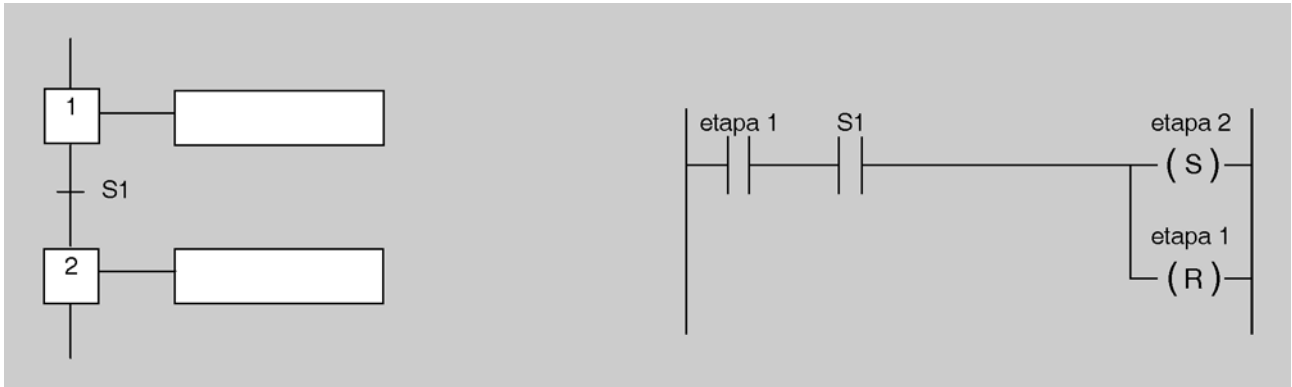
El circuit elèctric corresponent a l'activació de les etapes del Grafcet perquè aquest evolucioni, a mesura que la instal·lació funciona, consisteix en branques elèctriques que activen l'etapa següent i desactiven l'actual quan la transició entre les dues etapes sigui franquejable. Les branques estan formades per un contacte corresponent a l'etapa origen, en sèrie amb els contactes de les receptivitats que donen l'ordre *set* a l'etapa destinació, i a la vegada l'ordre de *reset* a l'etapa origen.

En les transicions us podeu trobar diferents tipus de receptivitats i haureu d'adaptar l'esquema a les seves característiques.

1) Receptivitat condicionada per un sol element

En la figura 48 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per un sol element. Observeu que la branca elèctrica està formada per uns contactes de l'etapa origen 1 en sèrie amb un contacte de la receptivitat S1 que donen l'ordre *set* de l'etapa destinació, la 2, i *reset* de l'etapa origen, la 1.

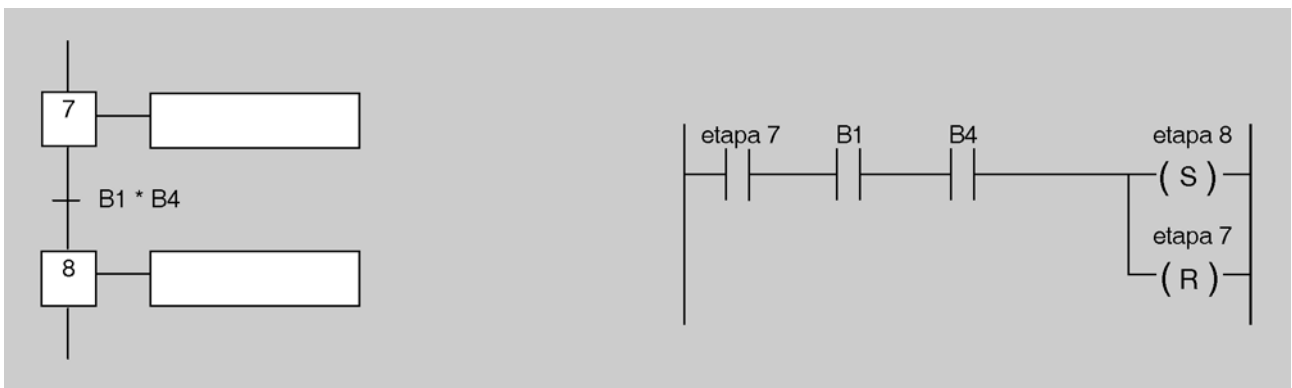
Figura 48. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per un sol element



2) Receptivitat condicionada per dos elements en sèrie

En la figura 49 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per dos elements en sèrie. Observeu que l'expressió algebraica de la transició és $B1 * B4$, i per això en el circuit aquests contactes estan en sèrie.

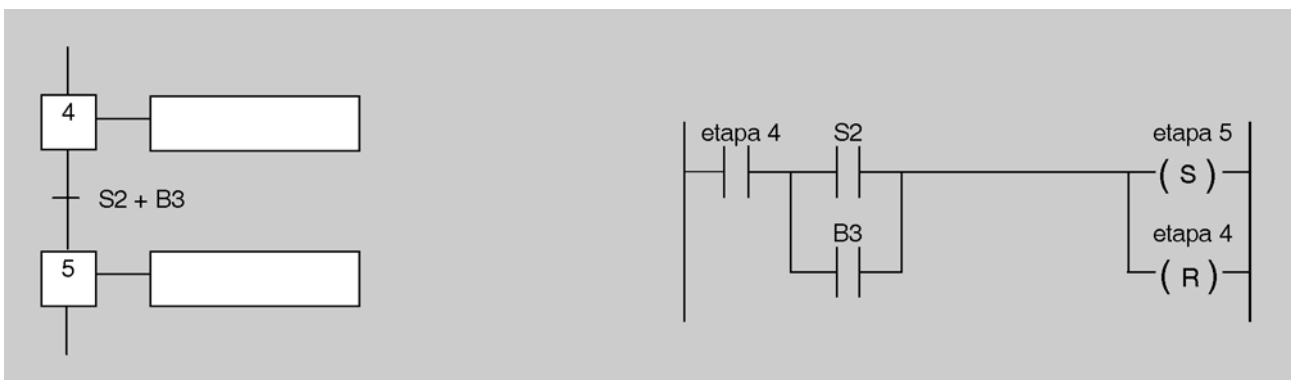
Figura 49. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per dos elements en sèrie



3) Receptivitat condicionada per dos elements en paral·lel

En la figura 50 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per dos elements en paral·lel. Observeu que l'expressió algebraica de la transició és $S2 + B3$, i per això en el circuit aquests contactes estan en paral·lel entre ells i en sèrie amb el contacte corresponent a l'etapa.

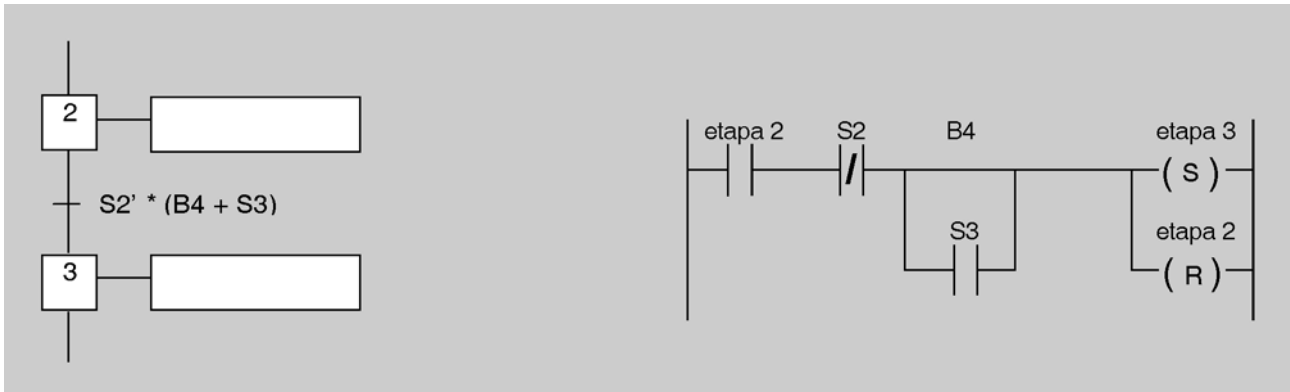
Figura 50. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per dos elements en paral·lel



4) Receptivitat condicionada per diversos elements en connexió mixta

En la figura 51 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per diversos elements en connexió mixta. Observeu que l'expressió algebraica de la transició és $S2' * (B4 + S3)$, és a dir, un contacte negat de S2 que està en sèrie amb el conjunt dels contactes B4 i S3, que estan en paral·lel entre ells.

Figura 51. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per diversos elements en connexió mixta



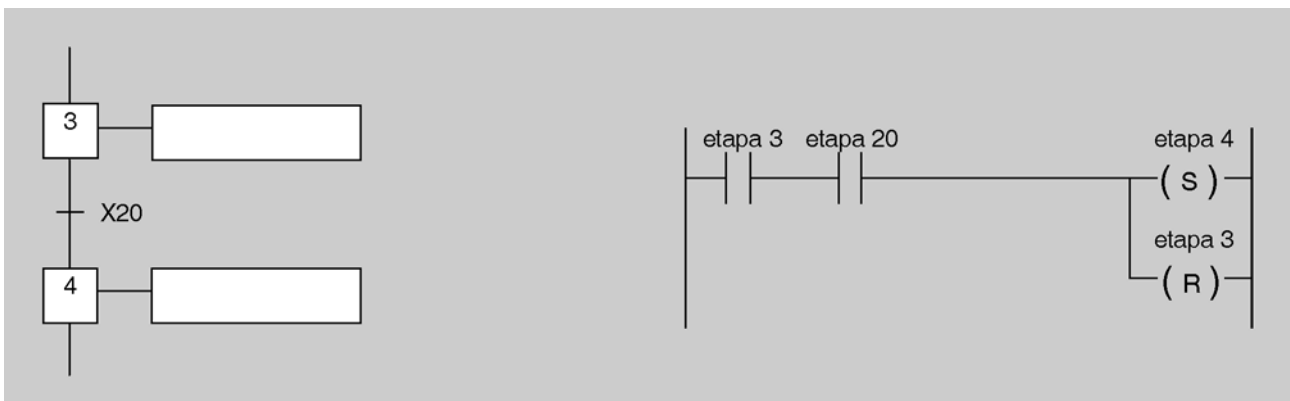
5) Receptivitat condicionada per etapes

En la figura 52 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per altres etapes. Això vol dir que l'evolució d'aquest Grafcet s'atura en l'etapa 3 i espera que s'activi l'etapa 20 d'aquest Grafcet o d'un altre, per continuar el funcionament corresponent en l'etapa 4.

Exemple de receptivitat condicionada per etapes

Una cinta que transporta ampelles de vi, quan arriba a la zona de rebre l'ampolla, espera que el procés d'emplenament i etiquetatge finalitzi per continuar el procés.

Figura 52. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per etapes

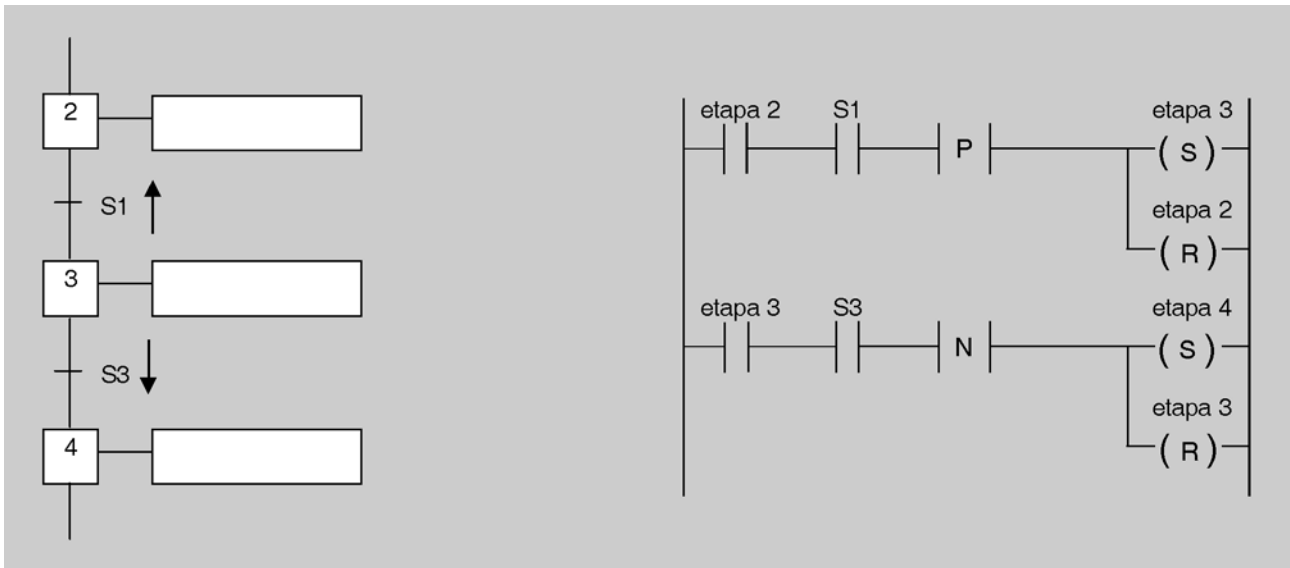


6) Receptivitat condicionades per flancs

En la figura 53 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per flancs positius o negatius. Observeu que l'etapa 3 s'activarà en el moment de connectar S1 amb el flanc de pujada, és a dir, que a la bobina de *set* de l'etapa 3 només arriba senyal elèctric durant un instant, però queda activada per les característiques de la funció *set*. El

mateix passa amb l'activació de l'etapa 4, però ho fa amb el flanc de baixada de S3, és a dir, l'etapa s'activarà quan desconnectem l'interruptor S3.

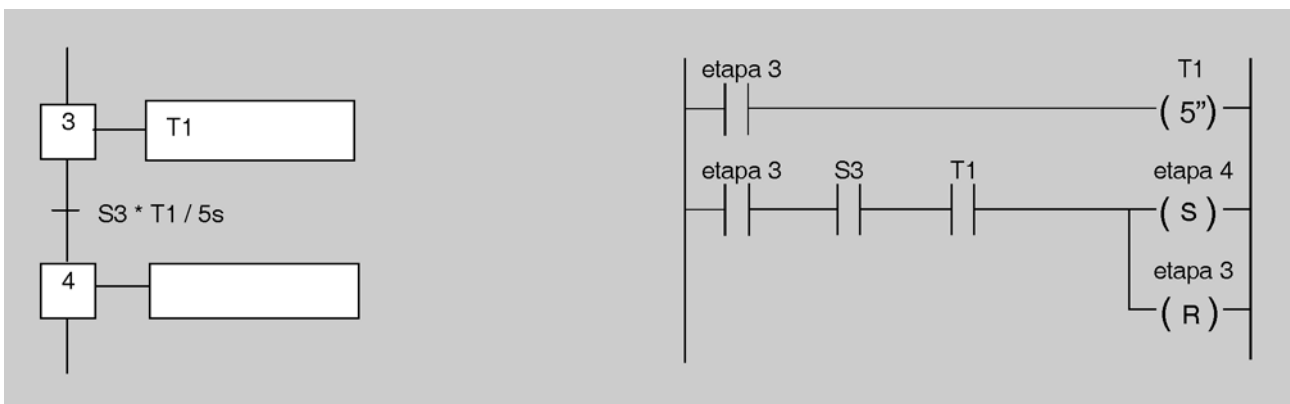
Figura 53. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per flancs



7) Receptivitat condicionada per temps

En la figura 54 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per temps. Observeu que l'expressió algebraica de la transició conté un temporitzador, és a dir, el Grafcet evolucionarà de l'etapa 3 a la 4 quan estigui accionat S3 i a més hagin transcorregut 5 s des de l'activació de l'etapa 3. Observeu en l'esquema de la dreta de la figura 49 que, en la segona branca corresponent a l'evolució del Grafcet, els contactes de S3 i del temporitzador T1 estan en sèrie, però falta concretar quan s'ha de connectar el temporitzador, i per això abans d'aquesta branca està programat el circuit corresponent a la posada en marxa del temporitzador.

Figura 54. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per temps

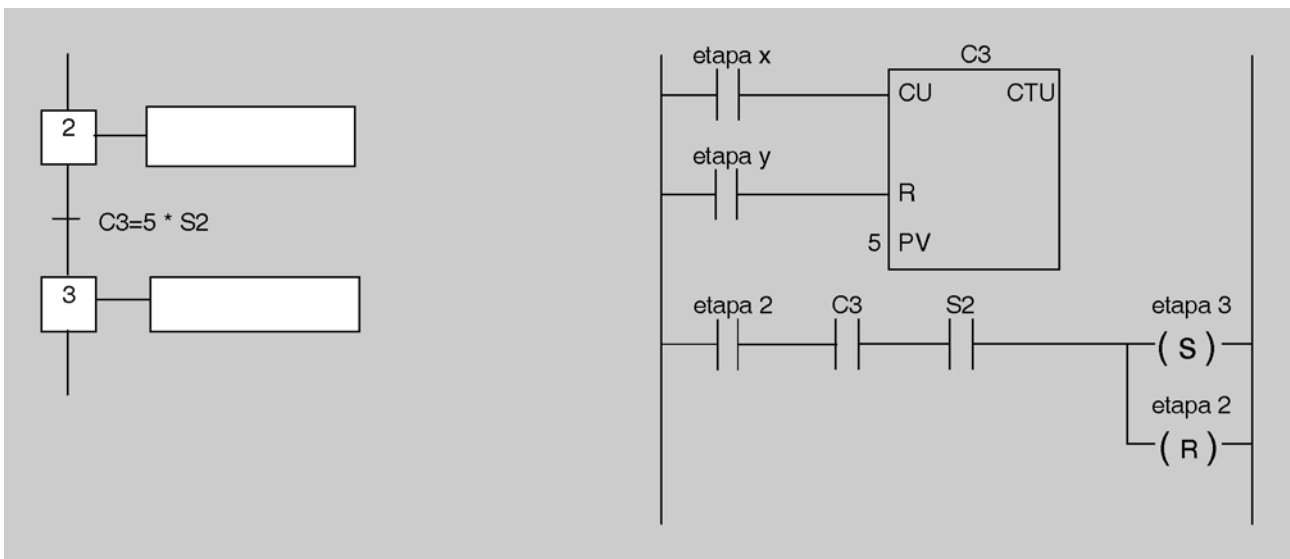


8) Receptivitat condicionada per comptadors

En la figura 55 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una etapa condicionada per comptadors. Observeu que l'expressió algebraica de la tran-

sició conté un comptador amb preselecció, és a dir, el Grafcet evolucionarà de l'etapa 2 a la 3 quan estigui accionat S2 i el comptador hagi comptat cinc impulsos; per tant, en la branca corresponent a l'evolució del Grafcet els contactes de S2 i del comptador C3 estan en sèrie, però falta connectar el comptador amb la preselecció de cinc impulsos i les ordres d'inicialització i les condicions de comptatge. Però falta concretar quan s'ha de connectar el comptador, per això abans de la branca amb els contactes del comptador s'ha de programar el circuit corresponent a la posada en marxa del comptador, que en aquest exemple es posaria a zero en l'etapa y i comptaria en l'etapa x.

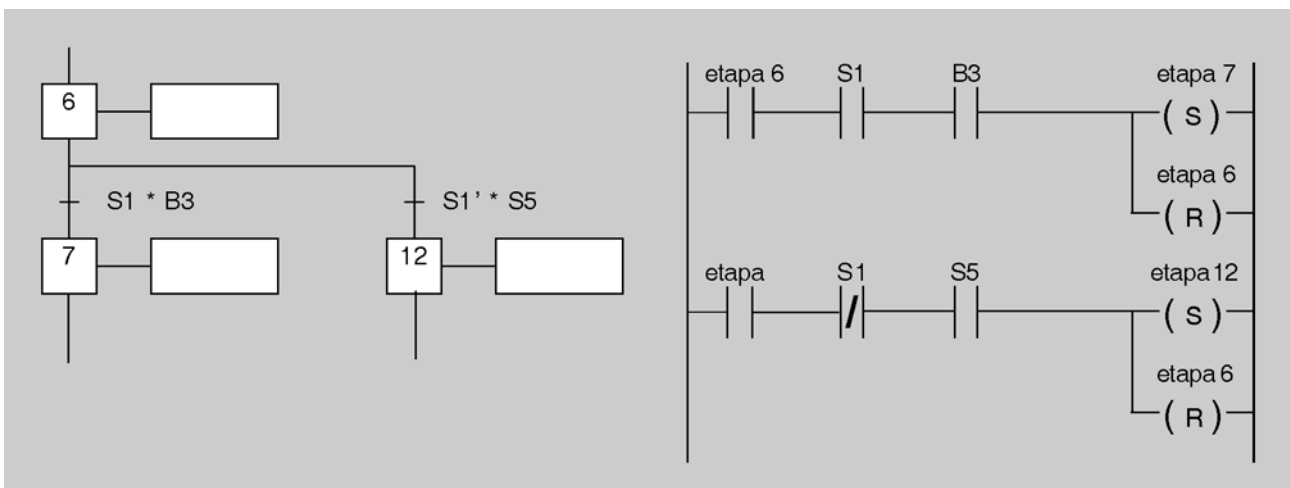
Figura 55. Activació d'etapa amb receptivitat condicionada per comptadors



9) Etapa amb selecció de seqüència

En la figura 56 podeu veure l'esquema corresponent a una etapa amb selecció de seqüència. Observeu que de l'etapa 6 es generen dues branques, que corresponen a les dues línies d'unió corresponents a la bifurcació; per tant, hi ha una branca per a l'evolució de l'etapa 6 a la 7 i una altra per a l'evolució de l'etapa 6 a la 12.

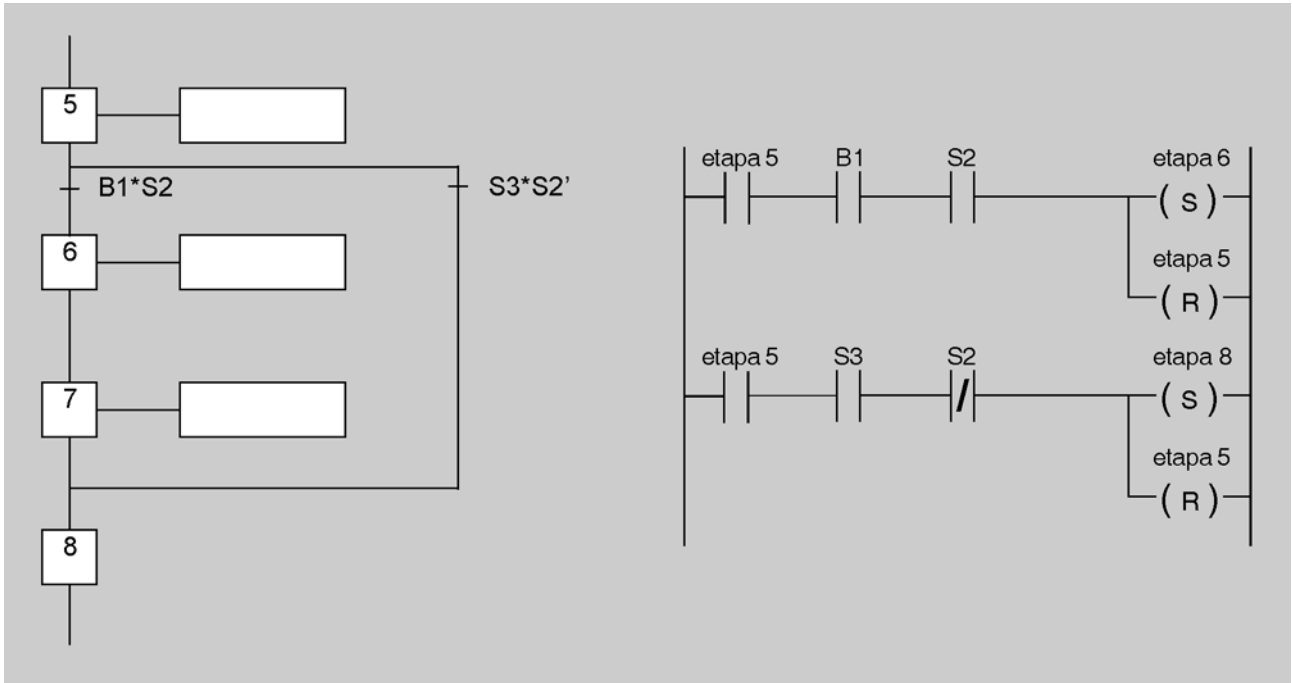
Figura 56. Esquema d'una etapa amb selecció de seqüència



10) Etapa amb salt

En la figura 57 podeu veure l'esquema corresponent a una etapa amb salt. Observeu que el circuit elèctric correspon al d'una selecció de seqüència, ja que, en definitiva, des de l'etapa 5 hi ha una bifurcació a dues etapes.

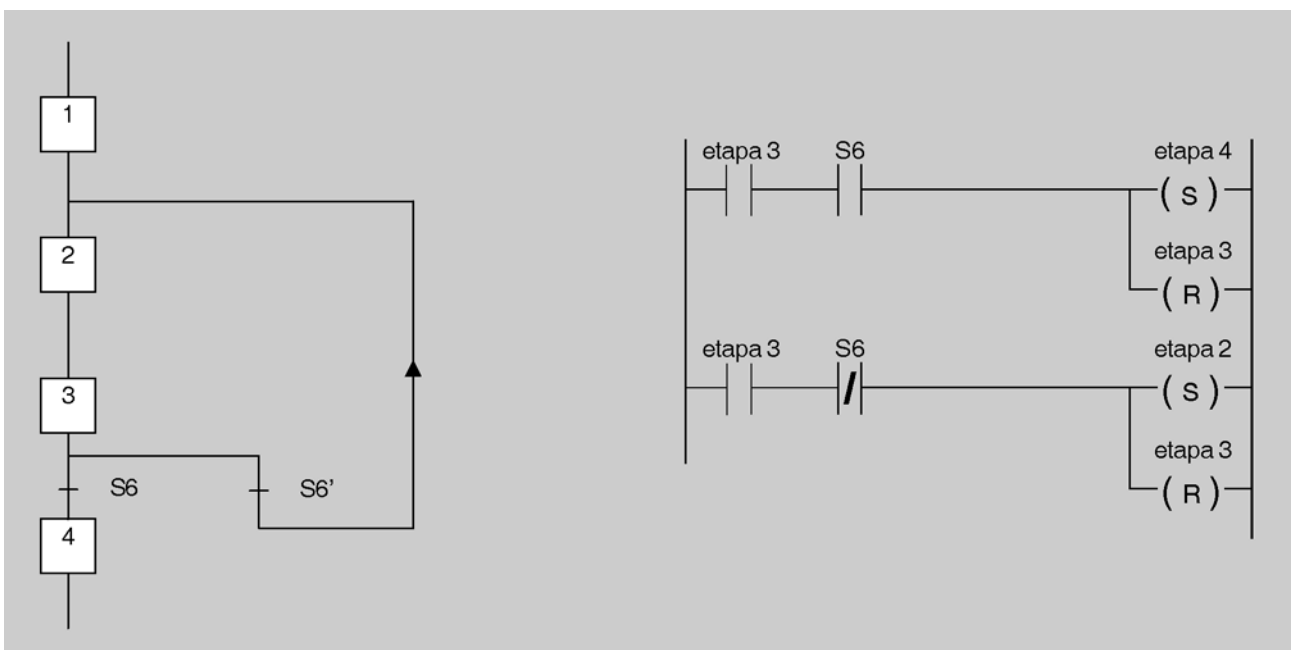
Figura 57. Esquema d'etapa amb salt



11) Etapa amb bucle

En la figura 58 podeu veure l'esquema corresponent a una etapa amb bucle. El circuit elèctric correspon al d'un salt, encara que en aquest cas és un salt endarrere.

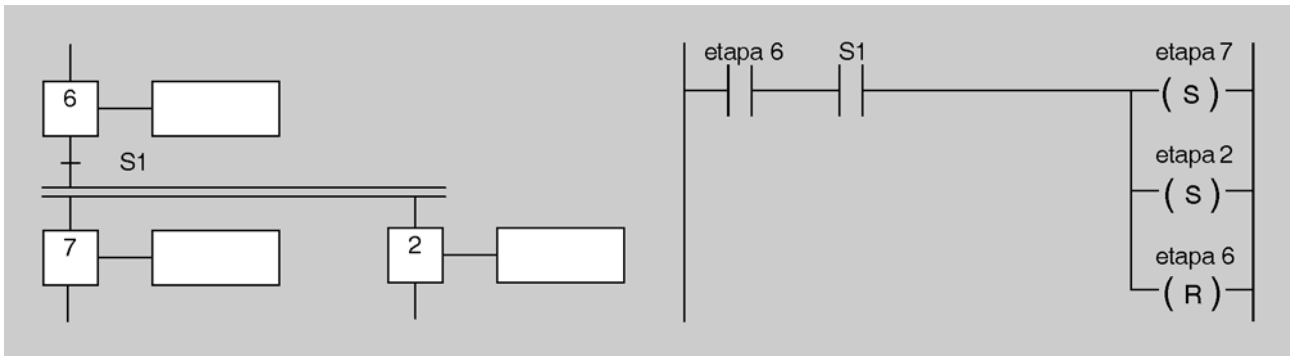
Figura 58. Esquema d'etapa amb bucle



12) Etapa amb inici de seqüència simultània

En la figura 59 podeu veure l'esquema corresponent a una etapa amb inici de seqüència simultània. Quan hi ha seqüències simultànies, aquestes s'han d'activar a la vegada, i per això la branca elèctrica corresponent a l'evolució del Grafcet està formada per un contacte de l'etapa origen, la 6, en sèrie amb la receptivitat S1, que donen l'ordre de *set* a l'etapa destinació, en aquest cas la 7 i la 2, i a la vegada *reset* de l'etapa origen.

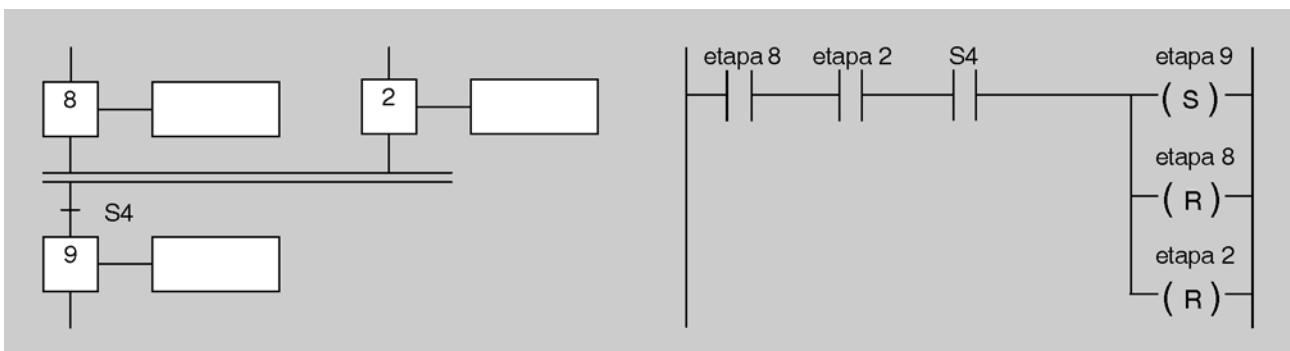
Figura 59. Esquema d'etapa amb inici de seqüències simultànies



13) Etapa amb final de seqüència simultània

En la figura 60 podeu veure l'esquema corresponent a una etapa amb final de seqüència simultània. En un Grafcet amb seqüències simultànies cada seqüència executa les seves accions al seu ritme, independentment de les altres seqüències, però han de finalitzar totes les seqüències abans de continuar amb la seqüència comuna, i per això la branca elèctrica corresponent a l'evolució del Grafcet està formada pels contactes corresponent a les etapes finals de cada seqüència, la 8 i la 2, en sèrie amb la receptivitat S1, que donen l'ordre de *set* a l'etapa destinació, la 9, i fan el *reset* de les etapes origen, la 8 i la 2.

Figura 60. Esquema d'etapa amb final de seqüències simultànies



2.3.2. Esquema d'activació d'accions

Amb els contactes corresponents a les etapes s'activaran les accions associades a aquestes, utilitzant una branca per a cada acció. Quan una etapa

té associada més d'una acció es podrien connectar en paral·lel les dues accions i així utilitzar només una branca, però pensant que els exemples aquí exposats són molt senzills, i que els esquemes reals són molt més complexos, és aconsellable utilitzar una branca per a cada acció.

Utilitzant una branca per a cada acció és molt fàcil modificar l'esquema i activar l'acció des d'altres etapes, afegint un contacte en paral·lel.

Les accions associades a les etapes es duen a terme mitjançant els actuadors, com motors, electrovàlvules, bombetes de senyalització, etc. Aquests actuadors es divideixen en dos grups: monoestables i biestables.

- **Actuador monoestable** La majoria d'actuadors són monoestables, es posen en marxa mitjançant un únic actuador i aquest funciona mentre li arriba senyal elèctric.
- **Actuador biestable** Disposa de dos actuadors, i necessita només un impuls per activar de manera permanent qualsevol dels dos actuadors.

Els motors, bombetes, etc., són actuadors monoestables, i els cilindres pneumàtics i hidràulics poden ser monoestables o biestables.

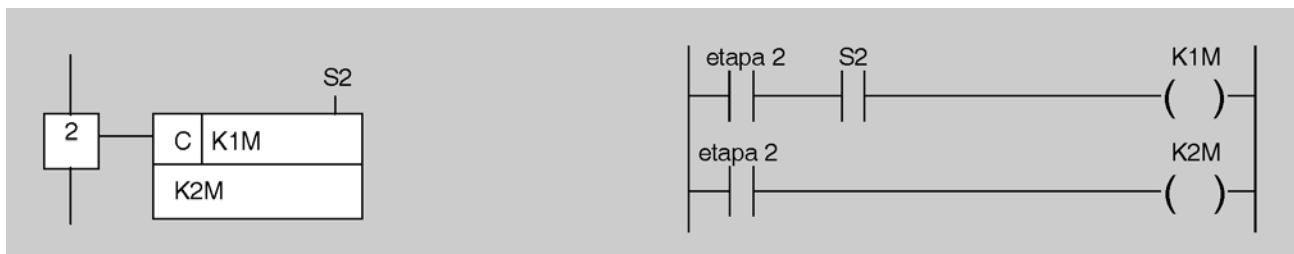
Els cilindres monoestables s'accionen mitjançant una única electrovàlvula: el cilindre avança mentre arriba tensió a l'electrovàlvula i retrocedeix quan no li n'arriba; en canvi, els cilindres biestables s'accionen amb dues electrovàlvules, una per avançar i una altra per retrocedir, de manera que amb un impuls a l'electrovàlvula d'avançar, avança i es queda en aquesta posició fins que s'envii un impuls a l'electrovàlvula de retrocedir.

Les accions associades a les etapes del Grafcet poden tenir alguna funció addicional:

- **Acció condicionada**

En la figura 61 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una acció condicionada. Observeu que l'etapa 2 activa els contactors K1M i K2M, però el primer necessita per funcionar que també estigui connectat S2.

Figura 61. Activació d'acció condicionada

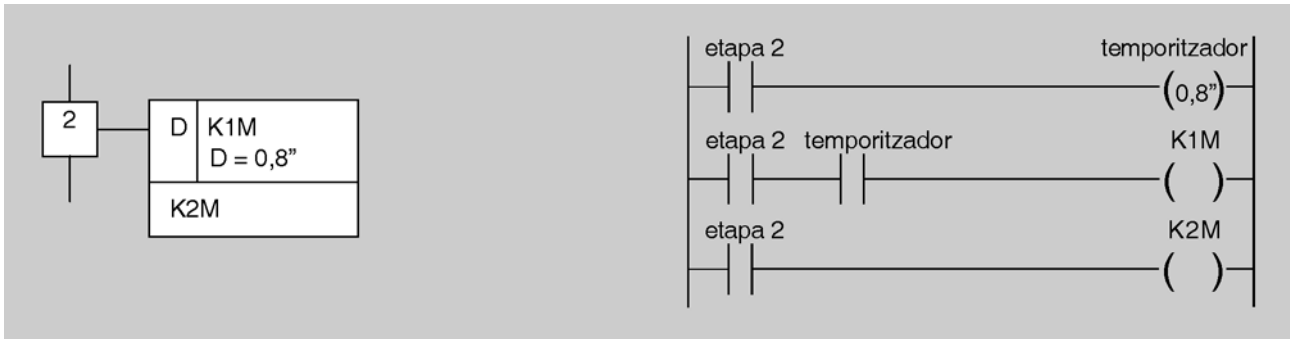


- **Acció retardada**

En la figura 62 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una acció retardada. Observeu que l'etapa 2 activa els contactors K2M directa-

ment, i també connecta el temporitzador que retarda l'activació del contactor K1M, que s'activarà sempre que el temporitzador hagi comptat el temps programat i continuï l'etapa 2 activa.

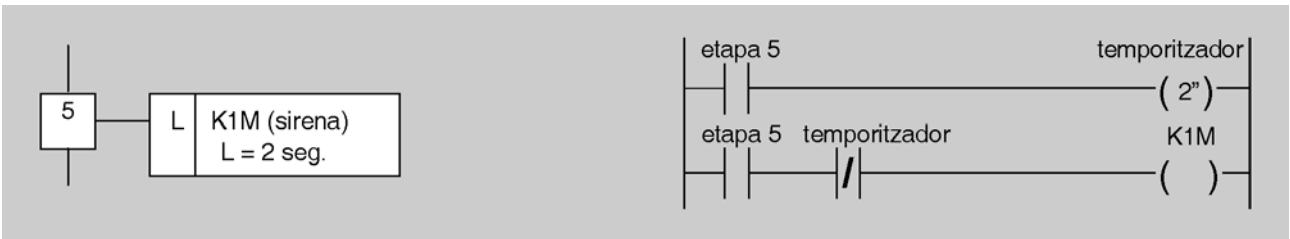
Figura 62. Activació d'acció retardada



- **Acció limitada en el temps**

En la figura 63 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una acció limitada en el temps. Observeu que l'etapa 5 activa un temporitzador que en passar 2 s canviarà l'estat dels seus contactes. La sirena K1M es posa en marxa quan s'activa l'etapa 5 i deixarà de funcionar quan obri el contacte del temporitzador en passar 2 s d'activar-se l'etapa o quan l'etapa 5 es desactivi abans d'aquest temps.

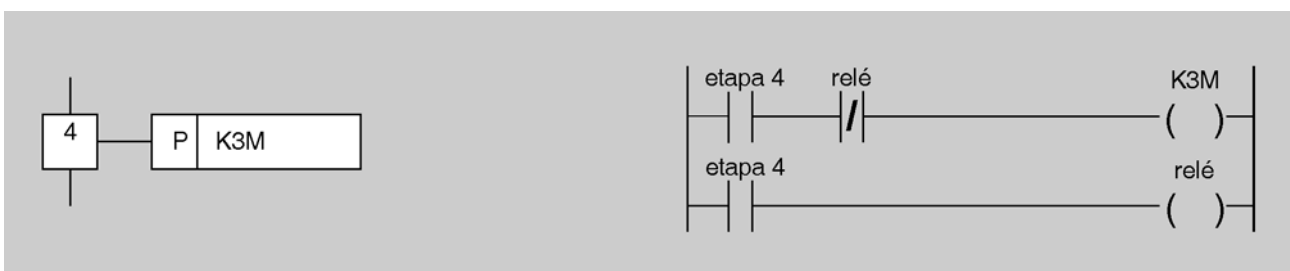
Figura 63. Activació d'acció limitada en el temps



- **Acció impulsional**

En la figura 64 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una acció impulsional. Observeu que l'etapa 4, en sèrie amb un contacte tancat d'un relé, activa el contactor K3M, i a la vegada també s'activa el relé; per tant, immediatament després d'activar-se l'etapa, el contacte tancat obrirà i provocarà la desconexió del contactor K3M.

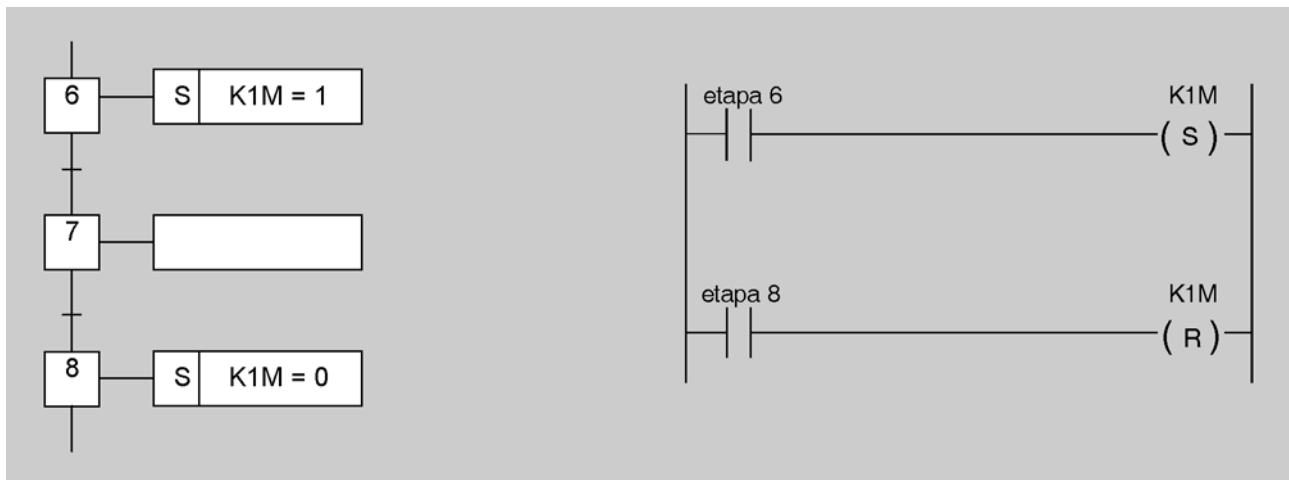
Figura 64. Activació d'acció impulsional



- **Acció memoritzada**

En la figura 65 podeu veure l'esquema corresponent a l'activació d'una acció memoritzada. Observeu que l'etapa 6 dona l'ordre d'activar el contactor K1M mitjançant l'operació *set*, que fa que es mantingui activat quan es desactivi l'etapa 6, i es mantindrà així fins a l'etapa 8, que dona l'ordre de *reset* al contactor. Aquest tipus d'acció s'utilitza molt per posar en marxa els actuadors monoestables, i així no cal donar l'ordre d'activació a totes les etapes que hi ha entremig.

Figura 65. Activació d'acció memoritzada



2.3.3. Implementació d'estructures bàsiques del Grafcet

El Grafcet defineix la seqüència de funcionament d'un procés i la seva implementació consisteix en la conversió d'aquest Grafcet en un esquema elèctric; una vegada desenvolupat l'esquema corresponent s'ha de definir el tipus de control utilitzat, que pot ser de lògica cablejada o, el més freqüent, de lògica programada, és a dir, un autòmat programable.

Per implementar un Grafcet mitjançant un PLC, heu de seguir el procés següent:

1) Dissenyar l'esquema de connexions de tots els actuadors i sensors amb el PLC; així tindrem la llista de les entrades i sortides del PLC. En l'esquema de la figura 67 teniu les connexions de les entrades i sortides de la maqueta de la figura 68.

2) Associar a cada etapa un registre intern que permeti saber si l'etapa està activada o no. En l'autòmat S7-200 de Siemens assignareu les marques identificades amb la lletra M, de manera que la marca tindrà el valor 1 si l'etapa està activada i 0 si està desactivada.



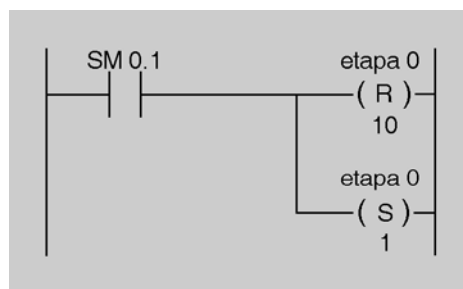
Podeu anar a la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest mòdul, en què trobareu la maqueta per comprovar el funcionament dels programes que feu.

Sempre haureu que mirar el mapa de memòria del PLC que escolliu per saber quins registres interns podeu fer servir.

3) Confeccionar la taula de símbols per identificar tots els elements que utilitzareu en la confecció del programa: entrades, sortides, marques, temporitzadors, comptadors, etc. En la taula 3 teniu els símbols corresponents a la maqueta de la figura 68.

4) Introduir el programa per activar l'etapa inicial del Grafcet en posar en marxa el sistema de control. En la figura 66 teniu l'esquema en què mitjançant la marca especial SM0.1, que es posa amb valor lògic 1 durant un *scan* quan el PLC passa de *stop* a *run*, fa el *reset* de l'etapa 0 i fins a un total de 10; per tant, va des de la 0 fins a la 9 i a continuació fa el *set* de l'etapa 0, i només de l'etapa 0.

Figura 66. Esquema d'inicialització del Grafcet



5) Introduir el programa corresponent als esquemes elèctrics de les activacions de les etapes i les accions.

Figura 67. Connexió d'entrades i sortides de PLC corresponents a la maqueta de la figura 68

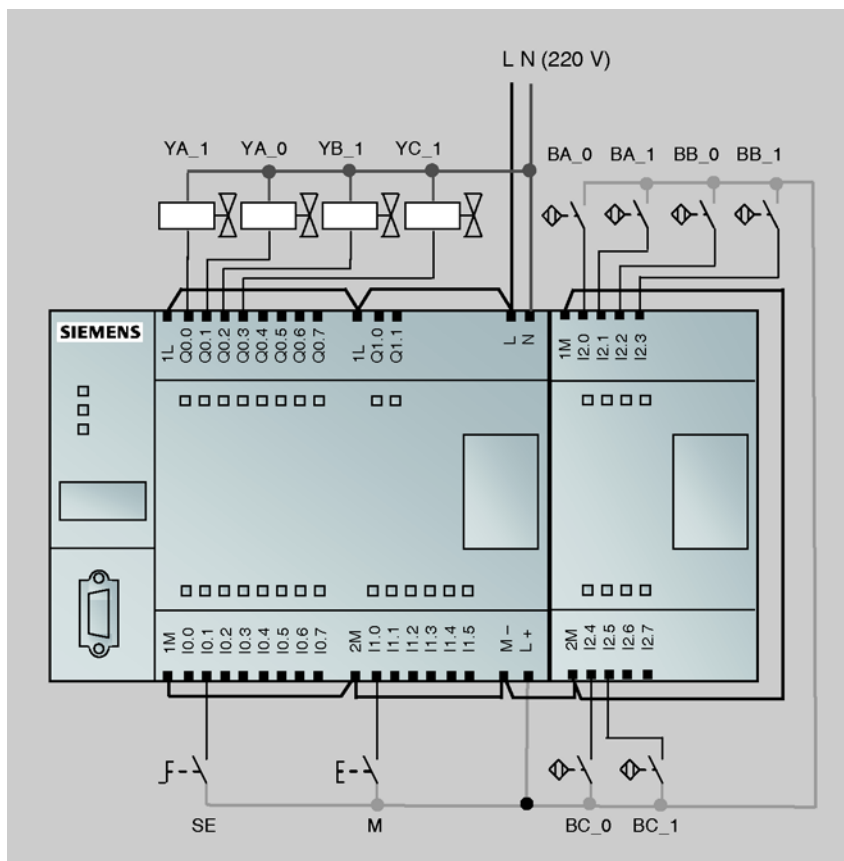
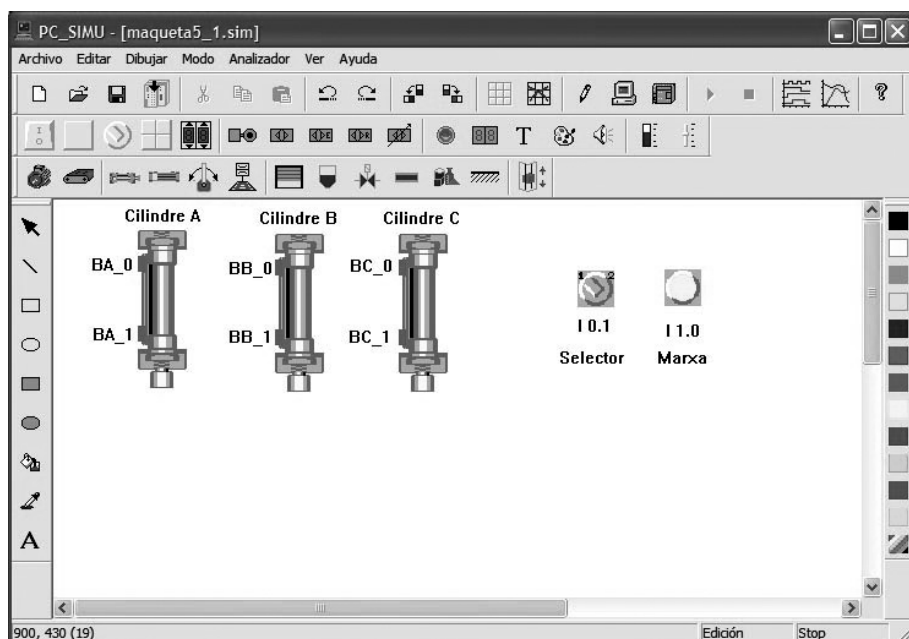


Figura 68. Maqueta



En la secció “Recursos de contingut” del web d’aquest mòdul podeu trobar l’arxiu *maqueta8c.sim*, corresponent al disseny de la maqueta 8c.



El programari simulador de maquetes PC_SIMU el trobareu a l’espai de l’Aula”.

Taula 3. Taula de símbols de la maqueta de la figura 68

Símbol	Direcció	Comentari
SE	I 0.1	Selector
M	I 1.0	Polsador de marxa
BA_0	I 2.0	El cilindre A es troba retrocedit
BA_1	I 2.1	El cilindre A es troba avançat
BB_0	I 2.2	El cilindre B es troba retrocedit
BB_1	I 2.3	El cilindre B es troba avançat
BC_0	I 2.4	El cilindre C es troba retrocedit
BC_1	I 2.5	El cilindre C es troba avançat
YA_1	Q 0.0	El cilindre A avança
YA_0	Q 0.1	El cilindre A retrocedeix
YB_1	Q 0.2	El cilindre B avança
YC_1	Q 0.3	El cilindre C avança
etapa_0	M 0.0	etapa 0
etapa_1	M 0.1	etapa 1
etapa_2	M 0.2	etapa 2
etapa_3	M 0.3	etapa 3
etapa_4	M 0.4	etapa 4
etapa_5	M 0.5	etapa 5
etapa_6	M 0.6	etapa 6
etapa_7	M 0.7	etapa 7
etapa_8	M 1.0	etapa 8
etapa_9	M 1.1	etapa 9

1) Implementació d'un Grafcet de seqüència única

En la figura 69 podeu veure els nivells 2 i 3 d'un Grafcet de seqüència única, corresponent a un procés que podeu fer amb la màquina simulada en la maqueta de la figura 68.

La seqüència comença en posar el PLC en *run* en l'etapa 0, que s'activa de manera automàtica, i en què la màquina no fa cap acció; en el moment que els tres cilindres estan retrocedits heu d'accionar el pulsador de marxa M, i el Grafcet evoluciona de la manera següent:

- En el *network* 2 estan tots els contactes a 1 i, per tant, es fa el *set* de l'etapa 1 i el *reset* de l'etapa 0; això vol dir que ara estarà activa l'etapa 1, i només l'etapa 1. En els *network* 7 i 9 els contactes de l'etapa 1 es posa a 1 i, per tant, activaran les sortides YA_1 i YB_1, que faran que els cilindres A i B avancin.
- Quan els cilindres hagin avançat tancaran els contactes BA_1 i BB_1 i, per tant, en el *network* 3 els tres contactes estaran a 1; llavors es fa el *set* de l'etapa 2 i el *reset* de la 1, i això vol dir que ja no es dona l'ordre a les sortides YA_1 i YB_1, però el cilindre A, com que és biestable, romandrà avançat fins que no es doni l'ordre de retrocedir a la sortida, i el cilindre B, encara que és monoestable també romandrà avançat, ja que la sortida YB_1 ha estat activada en el *network* 9 mitjançant una instrucció *set* i romandrà així fins que no es doni l'ordre de *reset*. En el *network* 11 el contacte de l'etapa 2 que està a 1 fa *set* de la sortida YC_1, fent que el cilindre C avanci.
- Quan el cilindre C hagi avançat tancarà el contacte BC_1 i, per tant, en el *network* 4 els dos contactes estaran a 1 i faran *set* de l'etapa 3 i *reset* de la 2; llavors es posen a 1 els contactes de l'etapa 3 i els *networks* 8 i 12 activen les sortides YA_0 i YC_1, respectivament, que fan que retrocedeixin els cilindres A i C.
- Quan els cilindres A i C estiguin retrocedits, en el *network* 5 tots els contactes estan a 1 i, per tant, es fa *set* de l'etapa 4 i *reset* de la 3; el contacte de l'etapa 4 programat en el *network* 10 es posa a 1 i activa el *reset* de la sortida YB_1, que fa que el cilindre B retrocedeixi.
- Quan el cilindre B ha retrocedit, en el *network* 6 tots els contactes estan a 1 i, per tant, es fa el *set* de l'etapa 0 i el *reset* de la 4.
- Ara la màquina es troba en l'etapa 0, amb els tres cilindres retrocedits, en la mateixa posició que a l'inici del procés, preparada per iniciar un altre cicle de funcionament quan s'acciioni el pulsador de marxa.

Figura 69. Nivells 2 i 3 d'un Grafcet amb estructura de seqüència única

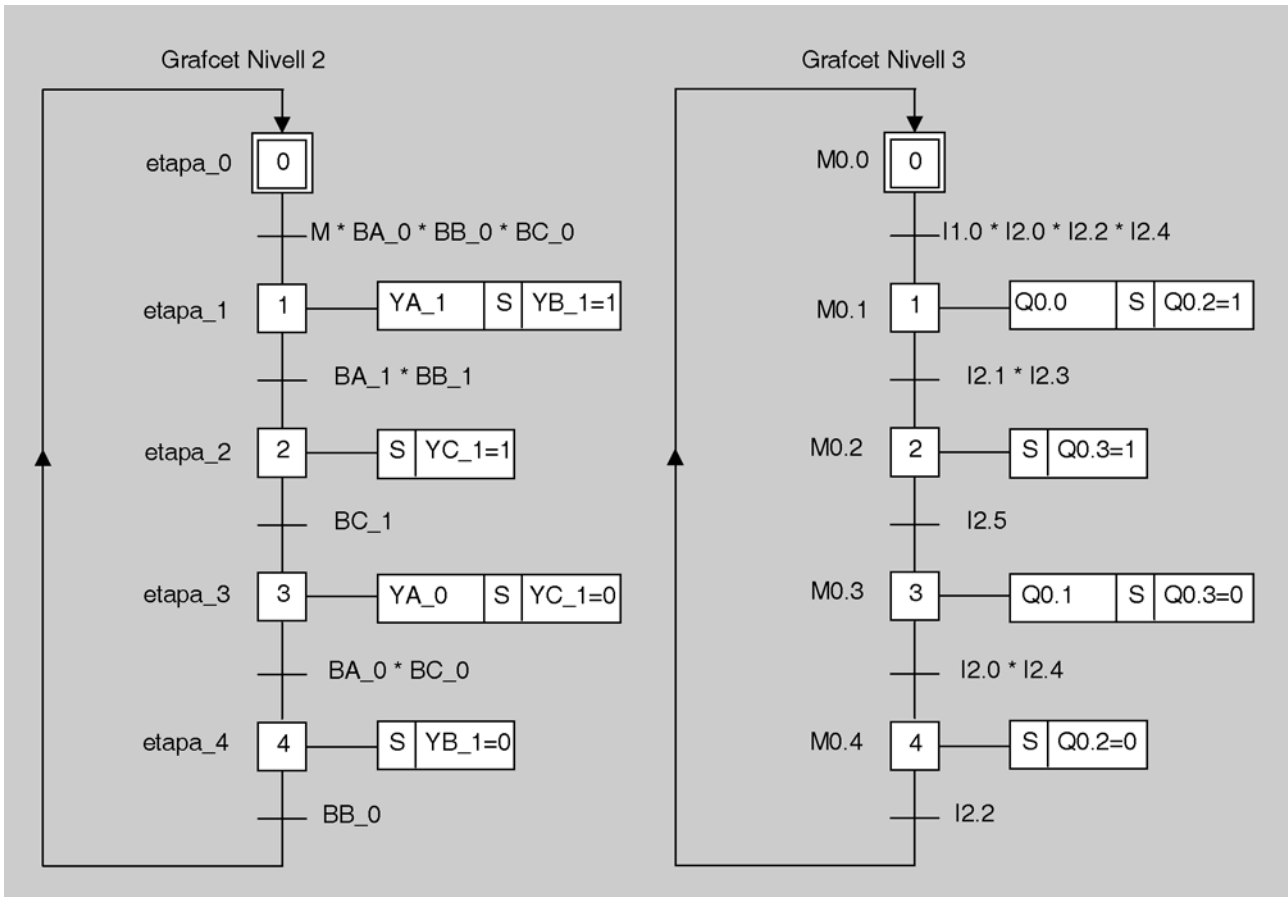
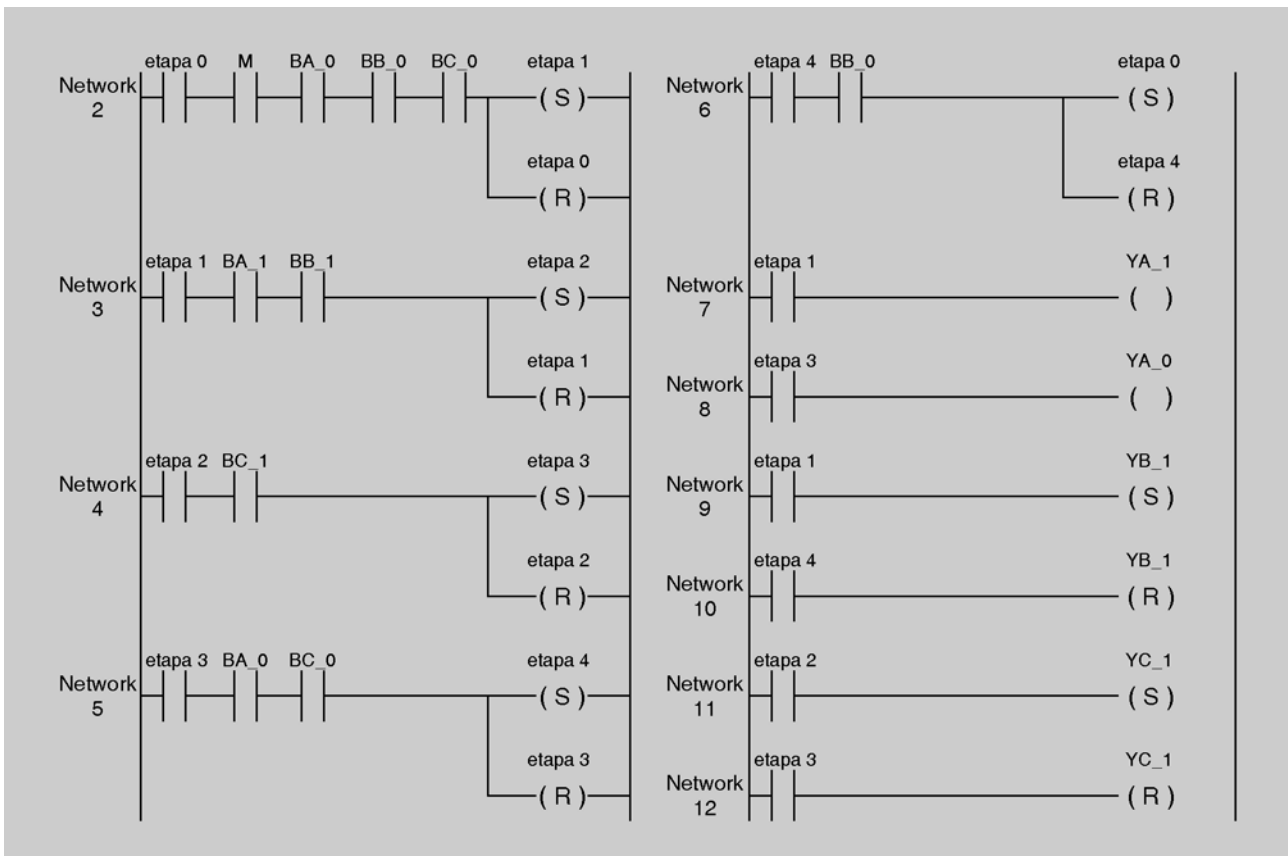


Figura 70. Esquema corresponent al Grafcet de nivell 2 de la figura 69




En la figura 70 teniu l'esquema en diagrama de contactes corresponent a la implementació del Grafcet de la figura 69, que podeu utilitzar per programar l'autòmat programable perquè la maqueta de la figura 68 executi aquesta seqüència.

2) Implementació d'un Grafcet amb selecció de seqüència

En la figura 71 podeu veure els nivells 2 i 3 d'un Grafcet amb selecció de seqüència, corresponent a un procés que podeu dur a terme amb la màquina simulada en la maqueta de la figura 68. Fixeu-vos que de l'etapa 3 surten dos camins, ja que la línia d'unió es bifurca en dues, una que evoluciona a l'etapa 4 i una altra que ho fa a l'etapa 7, i que les receptivitats associades a les transicions de cada línia d'unió són exclusives, és a dir, no poden ser certes les dues a la vegada, ja que en una hi ha la condició del selector SE normalment obert en repòs, mentre que en l'altra està normalment tancat. En l'etapa 3 la màquina es troba amb el cilindre B avançat i l'A i C retrocedits, i en funció de l'estat del selector SE la seqüència pot evolucionar per dos camins:

a) Selector sense accionar: la seqüència continua per les etapes 4, 5 i 6, que farà que el cilindre A primer avanci i després retrocedeixi, i per acabar retrocedeixi el cilindre B.



Ara feu l'activitat "Implementació d'un Grafcet de seqüència única", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 71. Nivells 2 i 3 d'un Grafcet amb estructura de selecció de seqüència

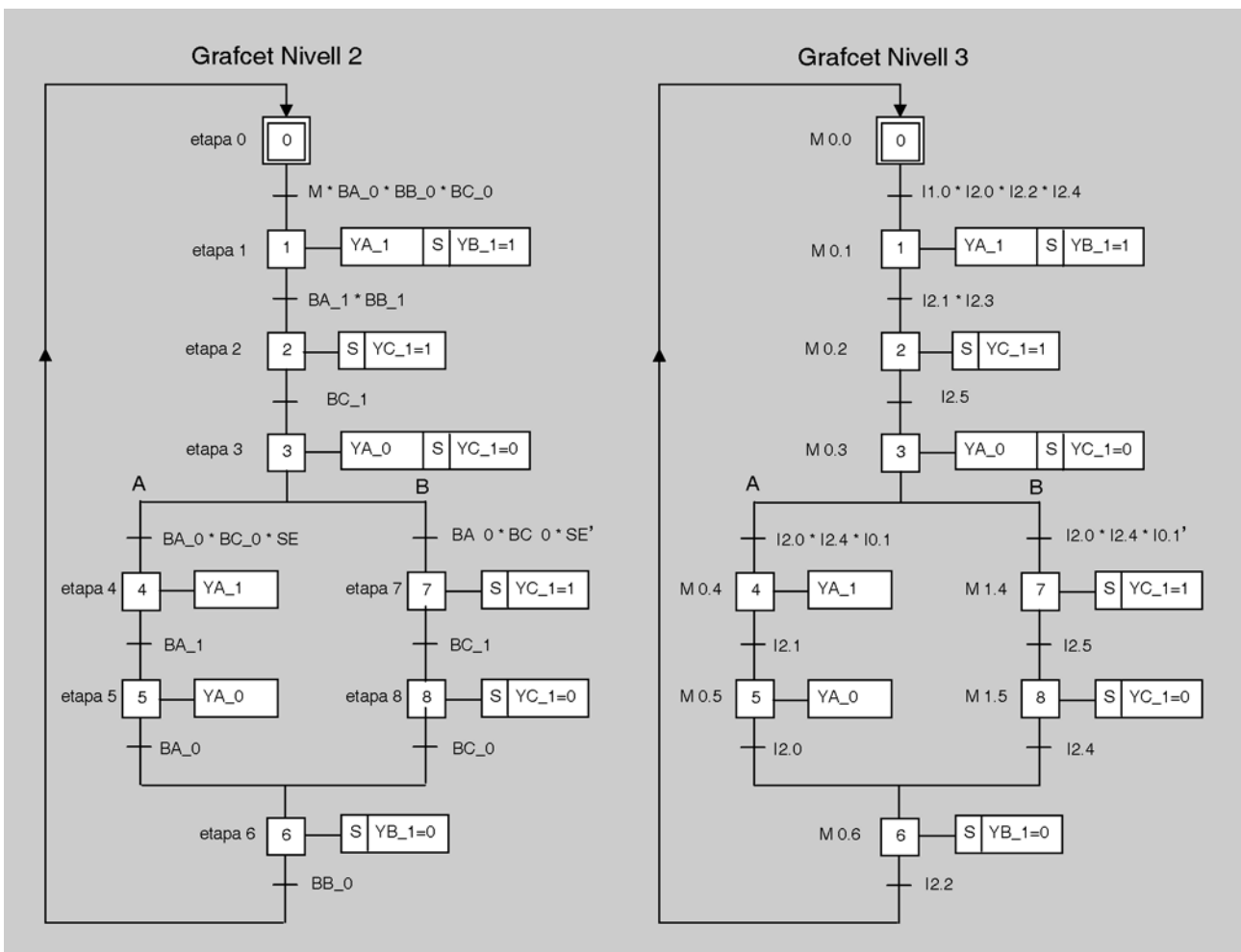
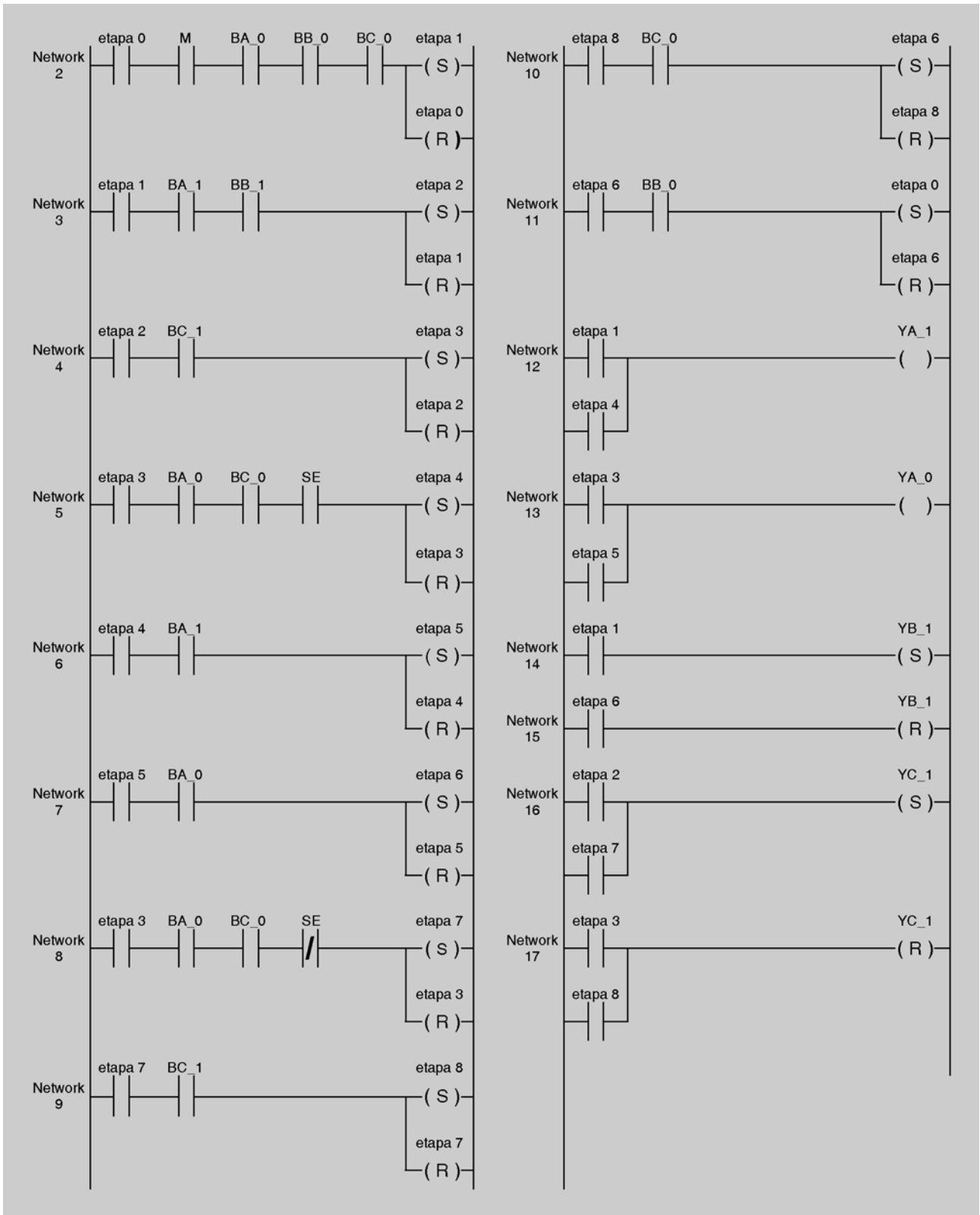


Figura 72. Esquema corresponent al Grafcet de nivell 2 de la figura 71



b) Selector accionat: la seqüència continua per les etapes 7, 8 i 6, fent que avanci i retrocedeixi el cilindre C i que després retrocedeixi el cilindre B.

Una vegada finalitzada l'acció de l'etapa 6, independentment de la seqüència feta, els tres cilindres estan retrocedits i el Grafcet evoluciona a l'etapa 0,

i la màquina es troba en la posició inicial preparada per iniciar un altre cicle de funcionament.

En la figura 72 teniu l'esquema en diagrama de contactes corresponent a la implementació del Grafcet de la figura 71; fixeu-vos que en els *networks* 5, 6 i 7 estan programades les branques elèctriques corresponents a l'evolució del Grafcet per a la seqüència A, etapes 3, 4, 5 i 6, i en els *networks* 8, 9 i 10 hi ha les corresponents a l'evolució per a la seqüència B, etapes 3, 7, 8 i 6.

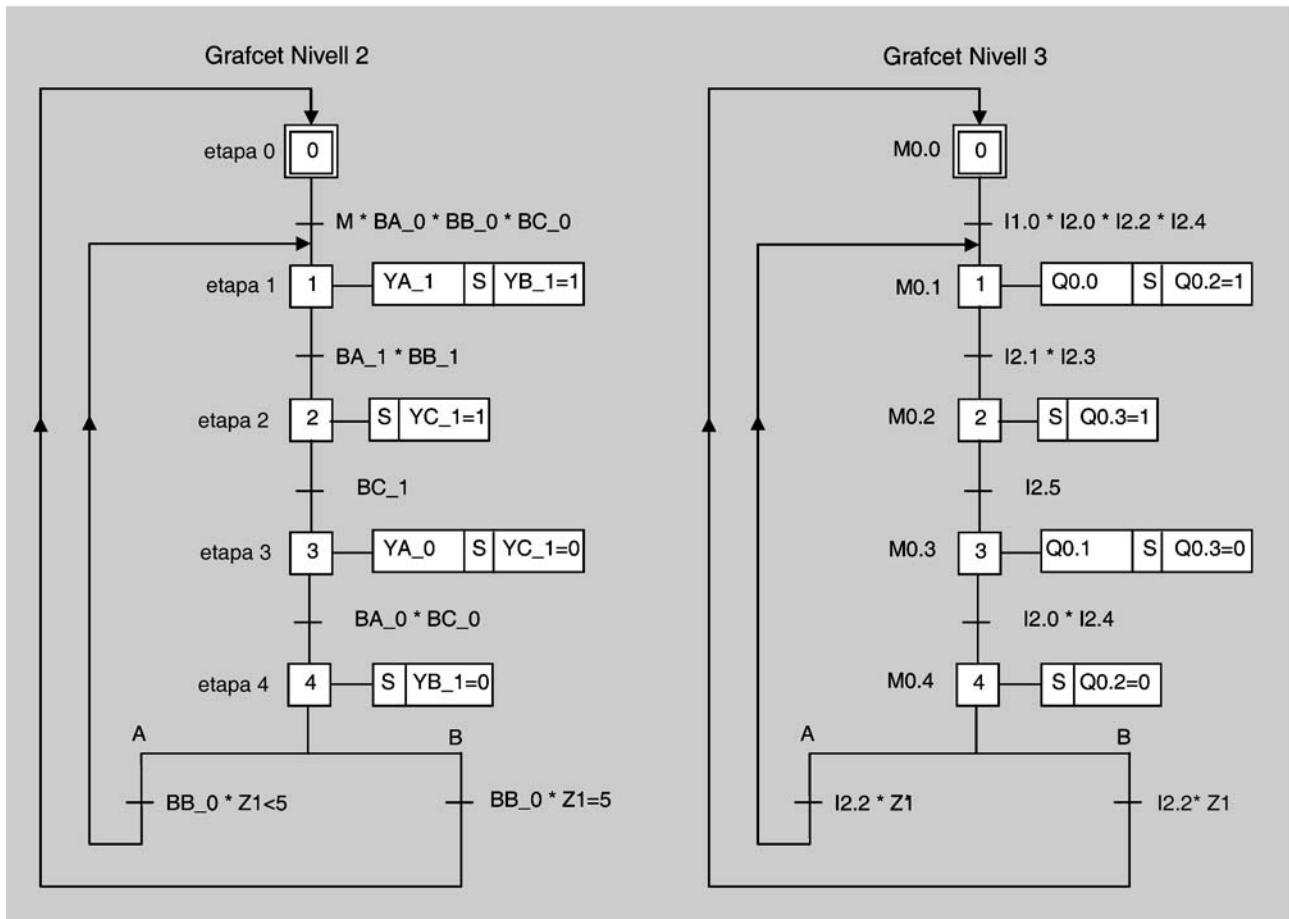


Ara feu l'activitat "Implementació d'un Grafcet amb selecció de seqüència", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

3) Implementació d'un Grafcet amb bucle amb comptador

En la figura 73 podeu veure els nivells 2 i 3 d'un Grafcet amb un bucle corresponent a un procés que podeu fer amb la màquina simulada en la maqueta de la figura 68. Fixeu-vos que la condició, per a la selecció de l'execució de les seqüències A o B, és que la màquina hagi repetit cinc vegades les accions associades a les etapes 1 a 4. El comptador Z1 compta les vegades que es fa aquesta seqüència, i mentre el valor sigui inferior a 5 el Grafcet evoluciona de l'etapa 4 a la 1, i torna a repetir la seqüència, i un cop hagi fet la maniobra cinc vegades el comptador canvia l'estat dels seus contactes i fa que evolucioni de l'etapa 4 a la 0.

Figura 73. Nivells 2 i 3 d'un Grafcet amb estructura de bucle amb comptador



En la figura 74 teniu l'esquema en diagrama de contactes corresponent a la implementació del Grafcet de la figura 73. Hi podeu veure que en el *network* 6, si el contacte del comptador Z1 no està accionat, farà *set* de l'etapa 1 i en el *network* 7 el contacte de Z1 està obert i no fa *set* de l'etapa 0, i quan el comptador hagi comptat 5 obrirà el contacte del *network* 6, tancarà el del *network* 7 i farà el *set* de l'etapa 0 en comptes de l'etapa 1.

Fixeu-vos també que el comptador, programat en la xarxa o *network* 8, compta per l'entrada CU mitjançant l'etapa 4, que és l'última etapa del bucle, i que s'inicialitza per l'entrada R amb l'etapa 0, que és l'etapa immediatament anterior a l'inici del bucle. El comptatge i la inicialització del comptador es podrien fer des d'altres etapes, però convé establir uns criteris que serveixin per a tots els casos, i el que hem aplicat aquí de comptar amb l'última etapa del bucle i inicialitzar el comptador amb l'etapa immediatament anterior al bucle és el més adequat.

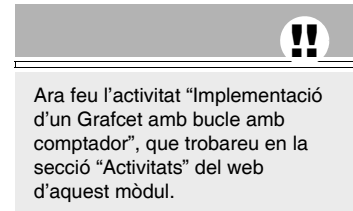
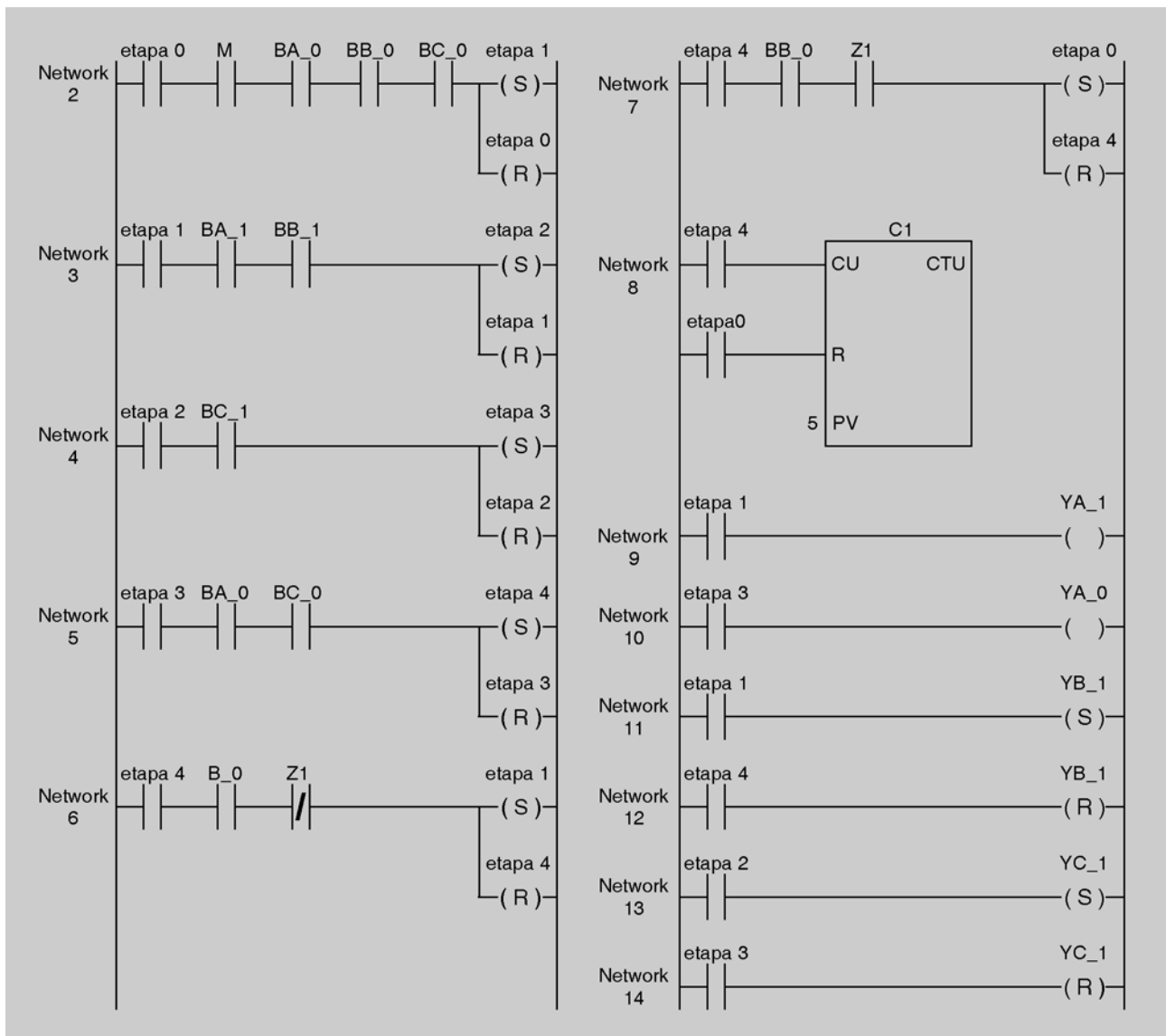


Figura 74. Esquema corresponent al Grafcet de nivell 2 de la figura 73



4) Implementació d'un Grafcet amb seqüències simultànies

En la figura 75 podeu veure els nivells 2 i 3 d'un Grafcet amb seqüències simultànies corresponent a un procés que podeu dur a terme amb la màquina simulada en la maqueta de la figura 68. Fixeu-vos que la màquina, a partir de l'etapa 2 i quan sigui certa la receptivitat BB_1 , és a dir, quan el cilindre B estigui avançat, farà dues seqüències a la vegada:

- D'una banda, amb les accions associades a les etapes 3, 4 i 5 farà les maniobres de retrocedir el cilindre A, després retrocedirà el cilindre B i a continuació avançaran a la vegada els cilindres A i B.
- De l'altra banda, avançarà el cilindre C i després retrocedirà.

Les dues seqüències han començat a la vegada, i cadascuna finalitza sense tenir en compte l'altra, però la transició per continuar per l'etapa 6 té les receptivitats, que seran certes quan hagin finalitzat les dues seqüències.

Figura 75. Nivells 2 i 3 d'un Grafcet amb estructura de seqüències simultànies

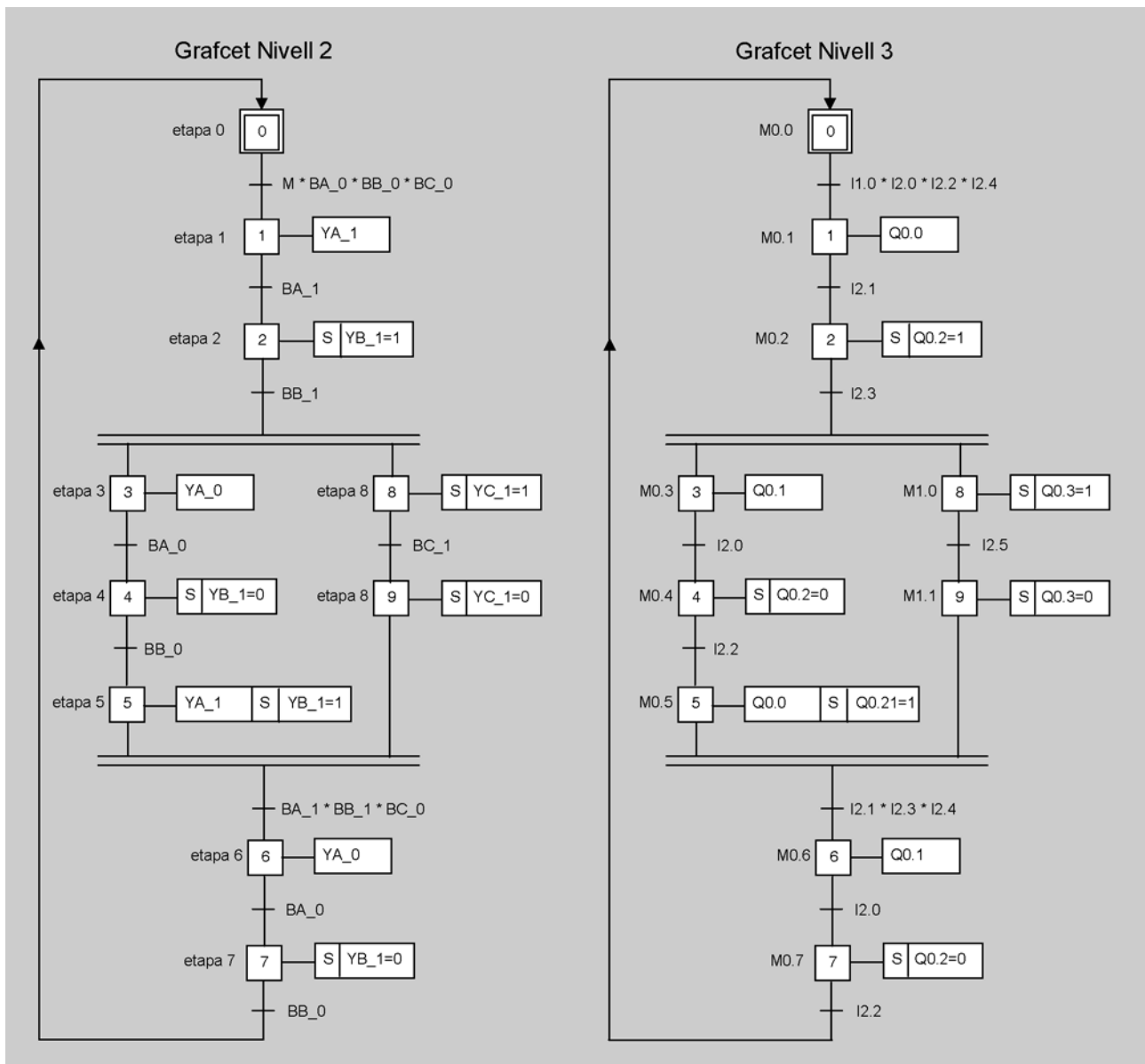
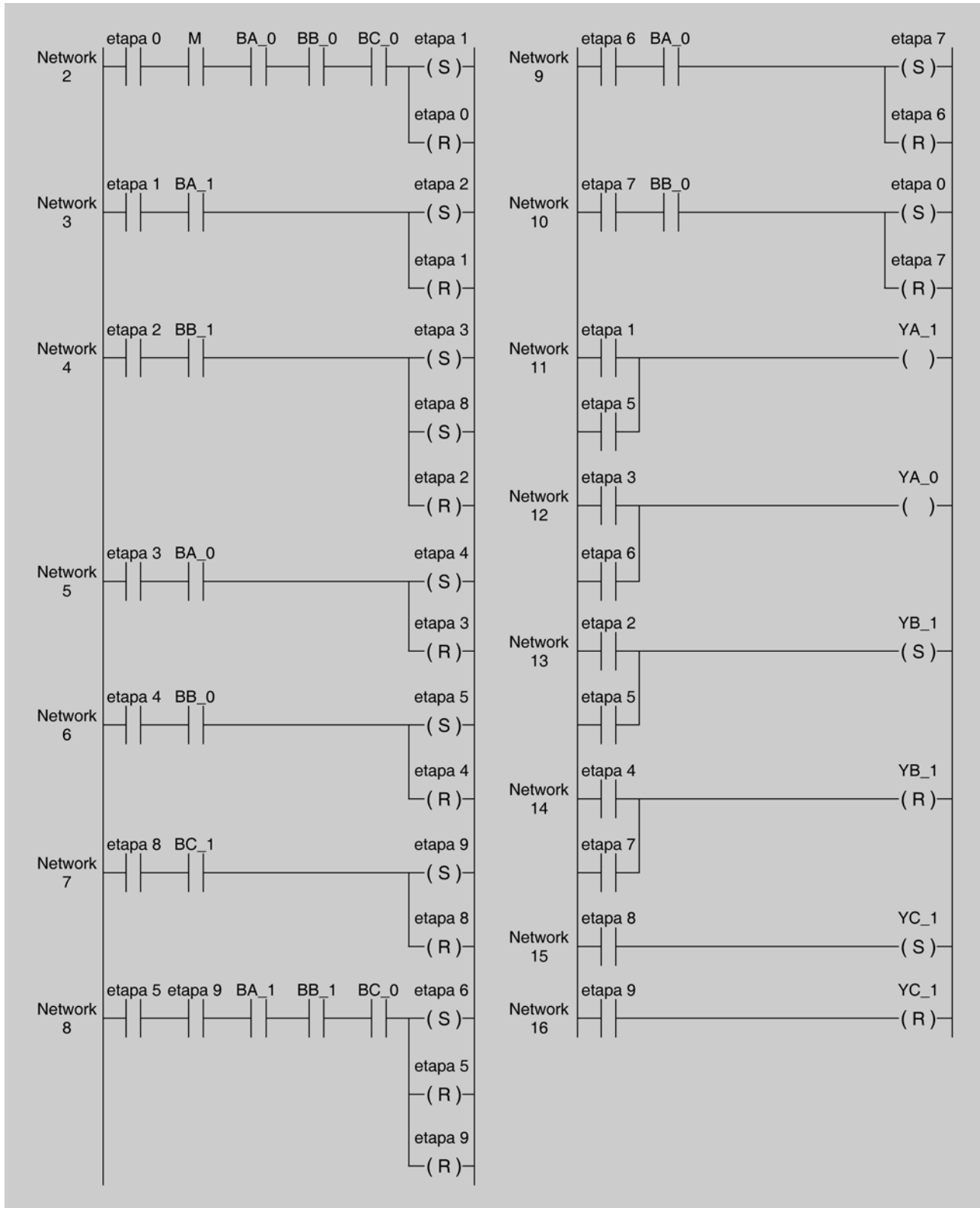


Figura 76. Esquema corresponent al Grafcet de nivell 2 de la figura 70



En la figura 76 teniu l'esquema en diagrama de contactes corresponent a la implementació del Grafcet de la figura 75; fixeu-vos que en el *network* 4 es fa a la vegada *set* de les etapes 3 i 8, i amb això les dues seqüències simultànies comencen a executar-se a la vegada, i en el *network* 8 estan en sèrie els contactes de les etapes 5 i 9 per fer *set* de l'etapa 6.



Ara feu l'activitat "Implementació d'un Grafcet amb seqüències simultànies", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

3. Disseny i posada en marxa de programes amb PLC per a la detecció i diagnosi d'avaries

Els autòmats programables han evolucionat molt des de la seva aparició l'any 1968 i actualment incorporen funcions molt complexes pròpies d'ordinadors industrials i d'equips de control distribuïts; així doncs, a més d'utilitzar-los per executar els programes per controlar la instal·lació, cada vegada més s'utilitzen per executar programes per a la detecció i diagnosi d'avaries, de manera que simplifiquen la detecció i diagnosi d'avaries en les tasques de manteniment de les instal·lacions.

3.1. Tipus de manteniment de les instal·lacions

Els sistemes de producció actuals estan basats en cadenes de producció que amb el funcionament de diferents màquines aconseguixen el producte desitjat. Per aconseguir una producció de qualitat és necessari aplicar tècniques de manteniment, amb un conjunt de mesures, normes i actuacions amb l'objectiu fonamental d'aconseguir que les instal·lacions i la maquinària estiguin durant el màxim temps possible en servei i amb la màxima disponibilitat.

Per complir aquest objectiu és necessari dur a terme unes accions preventives, vigilar el procés de manera permanent i fer una sèrie de reparacions i millores.

En funció de les accions que s'han de fer les tasques de manteniment es poden dividir en tres grans grups, que són el manteniment preventiu, predictiu o correctiu.

3.1.1. Manteniment preventiu

El manteniment preventiu tracta d'evitar les parades esporàdiques i inoportunes en els processos de producció, produïdes per fallades en els equips, i consisteix a revisar els equips periòdicament per comprovar si es mantenen en condicions òptimes de funcionament; en cas de no ser així, s'adopten les mesures adequades, i es corregeix qualsevol alteració que pugui existir per impedir que es produeixi una avaria.

Exemple

Són exemple d'accions de manteniment preventiu les revisions periòdiques generals d'una màquina cada sis mesos.

També, la comprovació de les juntes d'un cilindre cada mil hores de funcionament.

3.1.2. Manteniment predictiu

El manteniment predictiu consisteix a controlar una sèrie de paràmetres, amb la màquina parada o en marxa, que són indicadors de l'estat del seu funcionament. Amb les dades d'aquestes mesures és possible saber amb

certa aproximació en quin moment la màquina pot patir una avaria i, per tant, permet programar la intervenció abans que es produeixi; es poden programar les revisions i substitucions abans que es produeixi la fallada, per evitar que hi hagi parades imprevistes.

3.1.3. Manteniment correctiu

El manteniment correctiu comprèn les activitats que tenen com a finalitat corregir les avaries que apareixen de manera imprevista, i engloba tots els treballs de reparació d'avaries que no han estat programats amb anterioritat. En totes aquestes accions s'ha de procurar que el temps de parada de la màquina sigui el menor possible per evitar pèrdues en la producció.

Amb una bona planificació del manteniment preventiu i predictiu, s'aconsegueixen reduir les accions de manteniment correctiu, que són les que provoquen aturades de producció.

3.2. Avaries en els automats programables

En una instal·lació controlada per un autòmat programable, només el 5% de les avaries són degudes al PLC mateix, ja que són equips industrials dissenyats per treballar en ambients i condicions extremes, i si es donés el cas, la reparació és molt fàcil i ràpida ja que sol consistir en el canvi de targetes, en canvi les avaries produïdes per components externs són més difícils de solucionar ja que poden ser degudes a multitud de factors; de totes maneres convé conèixer les causes que les poden provocar per prevenir-les i dur a terme les tasques de diagnòstic i manteniment adequat per reduir-les.

3.2.1. Causes externes de les avaries

Les causes principals que poden provocar avaries en els PLC són degudes generalment a l'ambient físic, a la pol·lució química o a les pertorbacions elèctriques.

- **Ambient físic o mecànic:** degut a vibracions, xocs, humitat, temperatures inadequades, etc.; se soluciona mitjançant un bon disseny mecànic de la instal·lació.
- **Pol·lució química:** com gasos corrosius, vapor, pols, etc.; se soluciona envernissant alguns circuits i col·locant-hi filtres.
- **Pertorbacions elèctriques:** les pertorbacions elèctriques es produeixen bàsicament per tres efectes:
 - Efecte de Seebeck: produeix l'aparició de potencials voltaics formats pel contacte entre metalls diferents sotmesos a diferents temperatures.

Exemple d'accions de manteniment predictiu

Són exemples d'accions de manteniment predictiu:

- Mesurar vibracions en màquines.
- Mesurar la temperatura de components importants.
- Escoltar sorolls estranys.

També, la comprovació de les juntes d'un cilindre cada mil hores de funcionament.

El manteniment correctiu era el més emprat anys enrere, ja que les empreses no feien tasques de prevenció.

La planificació d'un bon manteniment preventiu evita moltes aturades de producció.

- Efecte de Peltier: produeix l'escalfament dels contactes en passar per aquests un corrent elèctric.
- Paràsits d'origen electrostàtic: són interferències electromagnètiques produïdes quan es desconnecten les bobines, condensadors, i per la caiguda de llamps.

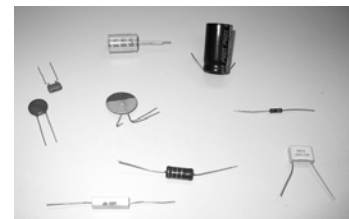
La primera causa de les pertorbacions elèctriques, l'efecte de Seebeck afecta més mesures analògiques i pot generar processos de corrosió. La segona, l'efecte de Peltier, afecta tant els senyals digitals com els analògics, i les causes més freqüents són la mala connexió dels conductors. La tercera, els paràsits electrostàtics, afecta més entrades i sortides digitals i és necessari col·locar separadors galvànics.

La majoria de components que es connecten als PLC són càrregues inductives, com les bobines de contactors i petites electrovàlvules, i la desconnexió d'aquestes càrregues per part de l'autòmat origina transitoris amb pics de tensió forts, que poden arribar a destruir la targeta de sortida.

Per evitar les sobretensions produïdes per la desconnexió de càrregues inductives es connecten **circuits de protecció** en paral·lel amb el contacte de la sortida o amb la càrrega mateixa.

Els circuits de protecció més freqüents en corrent altern consisteixen en:

- **Circuit RC.** Format per una resistència i un condensador; aquest circuit es denomina *snubber*.
- **Varistor.** Varia el valor de la seva resistència en funció de la tensió; així, quan hi ha un pic de tensió, disminueix la resistència fent passar-hi més intensitat i minimitza l'efecte de sobretensió en la càrrega inductiva.

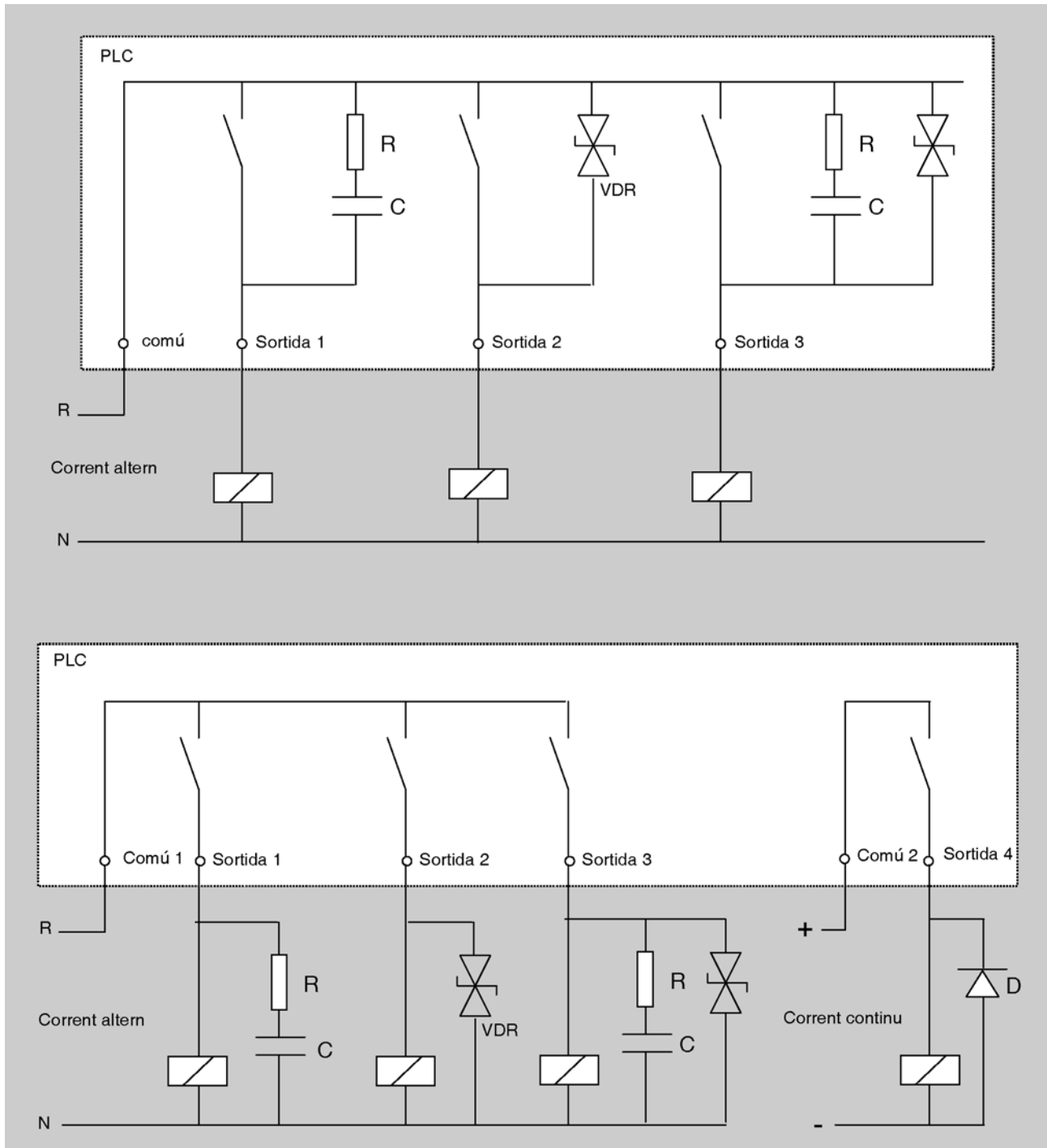


Elements de protecció a les sortides PLC

Els varistors també es denominen **VDR** (*voltage dependent resistor*) o **MOV** (*metal oxide varistor*).

El circuit de protecció més freqüent en corrent continu consisteix en la connexió d'un díode en antiparal·lel amb la càrrega, és a dir, el càtode connectat al positiu de l'alimentació i l'ànode al negatiu. En la figura 77 teniu uns exemples de com es poden solucionar les pertorbacions produïdes per càrregues inductives, connectant els circuits de protecció en paral·lel amb els contactes de les sortides o amb les bobines.

Figura 77. Protecció a les pertorbacions elèctriques



3.2.2. Causes internes de les avaries

Tots els PLC incorporen unes funcions internes per diagnosticar el seu estat intern i ajudar el personal tècnic a solucionar les avaries.

Les funcions de diagnòstic més freqüents són les següents:

- Supervisió de les alimentacions internes. Controla el nivell de les diverses tensions internes que subministra el mòdul d'alimentació als diferents components del PLC.

- Control del temps de *scan* mitjançant el *watchdog*. Controla que el temps de *scan* no superi un valor raonable i, en cas de superar-lo, posa el PLC en estat de *stop*, i atura el procés.
- *Checksum* del programa. Test del programa mitjançant la suma periòdica dels continguts de tota la memòria del programa. Si durant uns quants *scan* aquesta suma canvia de valor, vol dir que hi ha hagut una fallada interna.
- Doble lectura de les informacions del bus. S'assegura que les dades intercanviades entre els diferents components s'han interpretat correctament.
- Comprovació de les targetes d'entrades i sortides. Controla l'estat de les targetes, fusibles, alimentacions, etc.
- Comprovació de la xarxa. Controla que la connexió dels PLC a la xarxa i els protocols de comunicació no fallin.
- Estat de la bateria. Indica amb un LED o un registre intern que està a punt d'esgotar-se.
- Errors de programació. Detecta el tipus d'error i la línia de programa on s'ha produït.

La CPU de l'autòmat programable fa totes les funcions de diagnòstic al començament de cada *scan*.

3.3. Programes per detectar avaries en el funcionament d'una instal·lació d'automatisme

A part dels programes que es fan per posar en marxa una instal·lació, es poden fer ampliacions per detectar algunes anomalies en el funcionament dels components, que ajuden a les tasques de manteniment. Aquestes ampliacions consisteixen en petits programes que reben informació de l'estat de la instal·lació i comparen les dades que li arriben amb les que el procés hauria de tenir en un moment determinat, detecten les diferències, i senyalitzen de diferent manera en funció de la importància l'avaria.

3.3.1. Actuator que pot fer dos moviments

Quan un actuator pot fer dos moviments, per exemple un cilindre que avança i després retrocedeix, es poden tenir en compte els dos detectors que indiquen les posicions finals del recorregut del cilindre i que, lògicament, mai no poden estar accionats a la vegada.

En la figura 78 teniu representat un programa amb els elements següents:

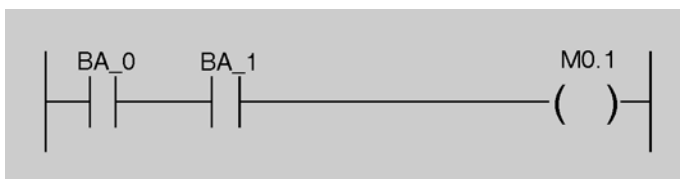
- BA_0: detector de proximitat que indica que el cilindre està retrocedit.
- BA_1: detector de proximitat que indica que el cilindre està avançat.

- M0.1: marca que senyalitza l'error i que es posa amb valor lògic 1 quan estan accionats els dos detectors.

Fixeu-vos que els dos detectors de posició d'un cilindre estan connectats en sèrie i accionen la marca M0.1, que es connectarà quan els dos detectors estiguin a 1 a la vegada, la qual cosa ens indicarà que hi ha un error en un dels dos detectors, ja que en funcionament normal és impossible que els dos detectors estiguin accionats a la vegada. En aquest cas l'avaria pot ser deguda al següent:

- Fallada mecànica: component aliè que activa el detector.
- Fallada elèctrica: cable del detector creuat.

Figura 78. Detecció d'avaria en un detector indicador de la posició d'un cilindre



3.3.2. Actuator que inicia un moviment

Quan un actuator inicia un moviment, el detector de la posició inicial s'ha de desactivar en un temps petit, el que trigui l'actuator per avançar la distància de detecció; aquest temps dependrà del tipus d'actuator. En ser un cilindre d'un metre de llarg que avança molt lentament, per tant, aquest temps podria ser de diversos segons, i en un cilindre de 20 cm que actua molt ràpidament el temps podria ser de centèsimes de segon.

El cilindre d'un espijjador de safates amb blocs de formigó pot arribar a tenir 2 m de llarg i avançar a una velocitat molt lenta.

En la figura 79 teniu representat un programa amb els elements següents:

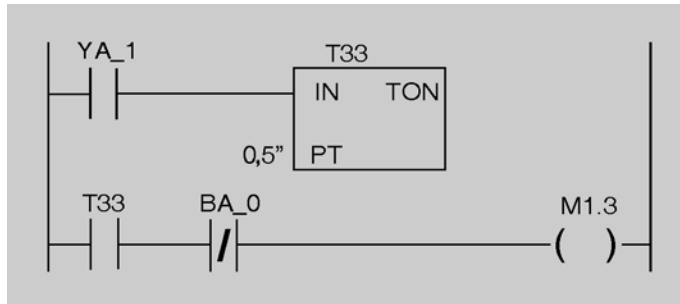
- YA_1: electrovàlvula d'avançar el cilindre A.
- BA_0: detector de proximitat que indica que el cilindre està retrocedit.
- M1.3: marca que senyalitza l'error i que es posa amb valor lògic 1 quan el cilindre triga massa a avançar.

Fixeu-vos que quan arriba l'ordre d'avançar a l'electrovàlvula també es posa en marxa un temporitzador amb el temps màxim que es preveu que pugui tardar el cilindre a avançar. Quan el temporitzador arriba al final del temps tanca el contacte T1 i si en aquest moment no ha obert el contacte del detector BA_0 es connecta la marca M1.3 i indica l'avaria, que pot ser deguda a a les causes següents:

- El cilindre no avança a la velocitat adequada a causa d'una manca d'aire, una estrebada mecànica o un error en l'electrovàlvula.

- Un detector avariament que dona senyal sempre.

Figura 79. Detecció d'avaría en un actuator que inicia un moviment



3.3.3. Element que té diversos punts d'aturada

Quan un element té diversos punts d'aturada variable, es pot controlar el pas en ordre per tots els detectors, a part del que ha de donar l'ordre d'aturada.

En la figura 80 teniu representat un dibuix en què l'element X es desplaça al llarg de l'element Y des del punt on hi ha el detector B1 fins al punt on es trava el detector B4, passant pels punts d'aturada senyalitzats entremig amb els detectors B2 i B3. En un funcionament correcte ha de detectar primer B2, després B3 i finalment B4.

Amb el programa de la figura 80 es vol detectar que:

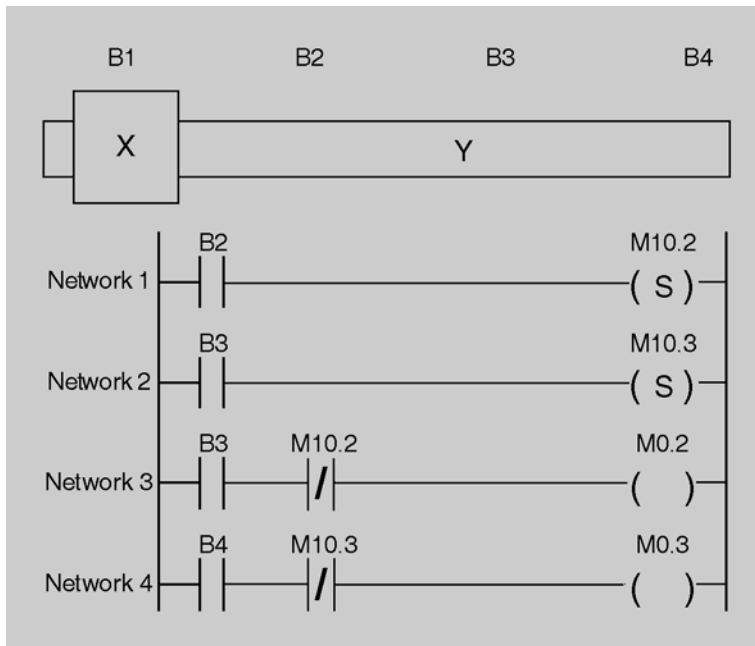
- Quan l'element X arriba a la posició B3, abans ha donat senyal el detector B2.
- Quan l'element X arriba a la posició B4, abans ha donat senyal el detector B3.

Fixeu-vos en el següent:

- El *network* 1: quan B2 doni senyal es connectarà la marca M10.2 mitjançant la instrucció *set*, i es mantindrà el senyal de manera permanent fins que es doni l'ordre *reset*.
- El *network* 2: quan B3 doni senyal es connectarà la marca M10.3 mitjançant la instrucció *set*, i es mantindrà el senyal de manera permanent fins que es doni l'ordre *reset*.
- El *network* 3: es connectarà la marca M0.2 si quan l'element X arriba a la posició de B3 no està activada la marca M10.2, fet que indica l'avaría, perquè ha arribat a B3 sense que B2 doni senyal.
- El *network* 4: es connectarà la marca M0.3 si quan l'element X arriba a la posició de B4 no està activada la marca M10.3, fet que indica l'avaría, perquè ha arribat a B4 sense que B3 doni senyal.

- Una vegada feta la maniobra correctament o després de senyalitzar l'avaría i solucionar-la, s'hauria de fer el *reset* de les marques M10.2 i M10.3.

Figura 80. Detecció d'avaría en un desplaçament per diversos punts



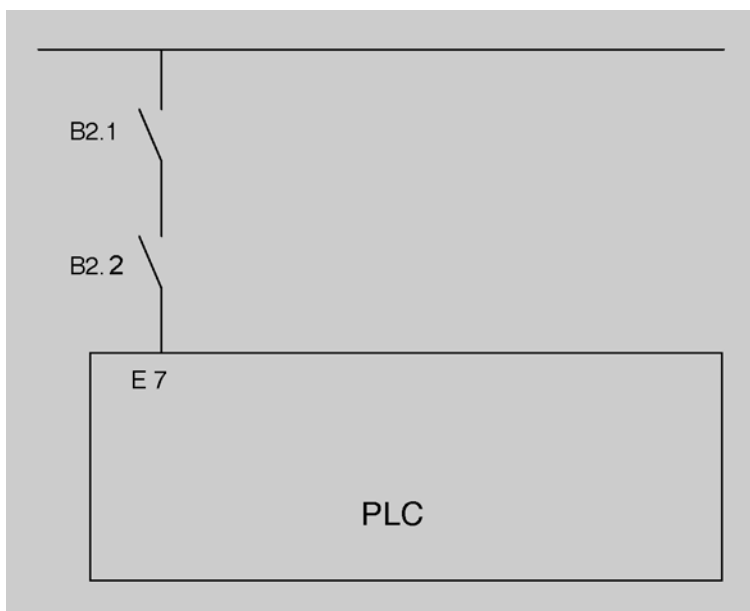
3.3.4. Confirmació de senyal

Per assegurar el senyal es poden utilitzar finals de cursa de doble contacte. Es poden connectar de diferents maneres:

- Dos contactes normalment oberts (NO) en sèrie connectats a una entrada de l'autòmat programable. En la figura 81 teniu un exemple en què el final de cursa B2 té en sèrie els dos contactes, i d'aquesta manera si un contacte es queda enganxat l'altre donarà el senyal correctament.

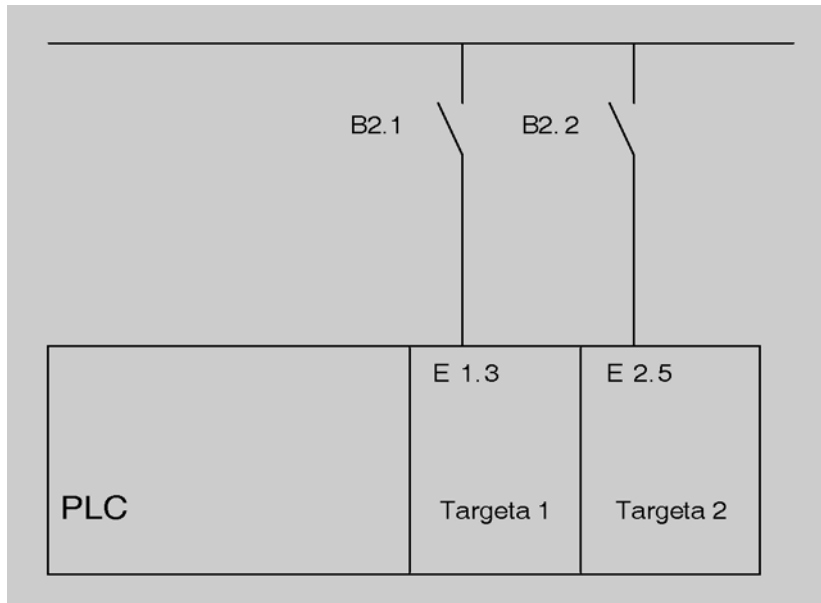
Els finals de cursa s'utilitzen per detectar mitjançant un contacte mecànic la posició d'un element mòbil d'una màquina o una instal·lació.

Figura 81. Dos contactes NO del mateix sensor connectats en sèrie a una entrada



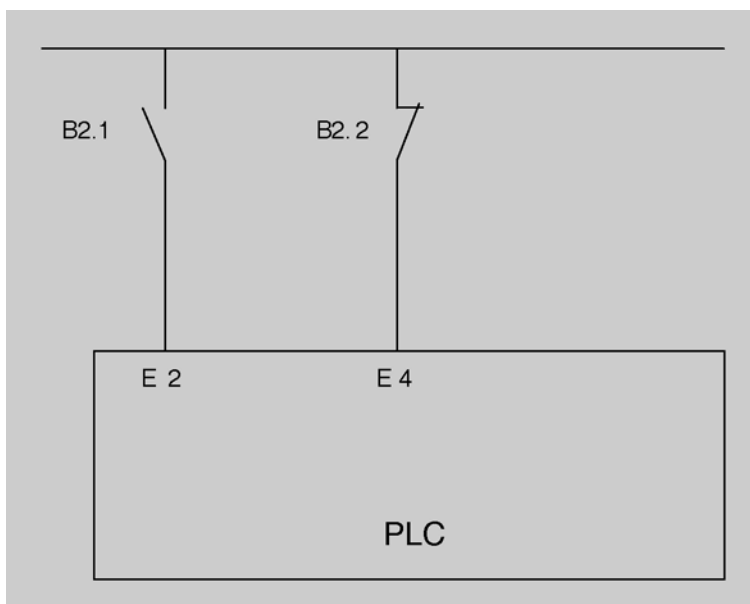
- Dos contactes normalment oberts connectats a dues entrades de targetes diferents de l'autòmat programable. En la figura 82 teniu un exemple en què el final de cursa B2 utilitza els dos contactes per enviar senyal al PLC, però ho fa a targetes diferents: un contacte està connectat a l'entrada 3 de la targeta 1 i l'altre a l'entrada 5 de la targeta 2, i d'aquesta manera, a part d'assegurar el funcionament correcte del final de cursa, preveiem una possible avaria en una targeta d'entrades del PLC.

Figura 82. Dos contactes NO del mateix sensor connectats a entrades de diferents targetes



- Un contacte NO i un altre NC connectats a entrades diferents de l'autòmat programable. En la figura 83 teniu un exemple en què el final de cursa utilitza un contacte NO i un altre NC connectats a entrades diferents, que també poden ser de targetes diferents; amb aquesta connexió assegurem que el senyal arriba encara que es trenqui el fil.

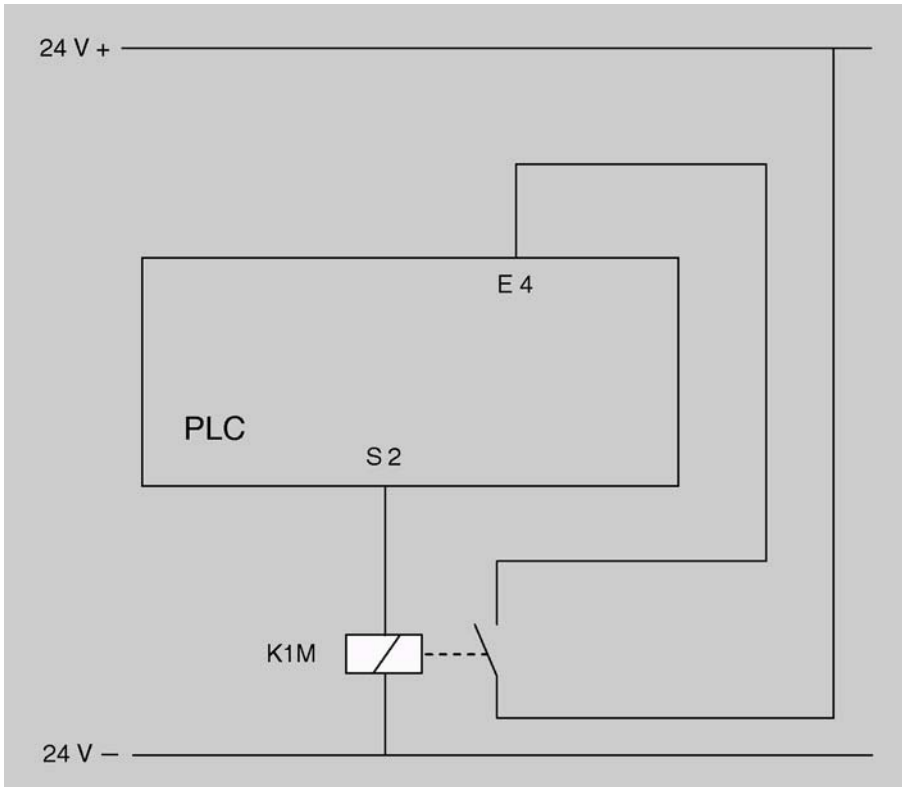
Figura 83. Contacte NO i NC de la mateixa entrada connectats a dues entrades



3.3.5. Utilització d'un contacte del preactuador

Es pot utilitzar un contacte del preactuador connectat a una entrada del PLC per confirmar l'activació d'aquest preactuador. En la figura 84 teniu un exemple, en què el contactor K1M està connectat a la sortida S2 del PLC i s'utilitza un contacte NO del contactor per connectar-lo a l'entrada E4; d'aquesta manera quan la sortida dóna senyal al contactor, si aquest no té cap avaria i s'activa realment tancarà el contacte, que enviarà senyal a l'entrada i confirmarà que el contactor s'ha activat.

Figura 84. Contacte del preactuador connectat a una entrada



3.3.6. Predeterminació del temps d'execució

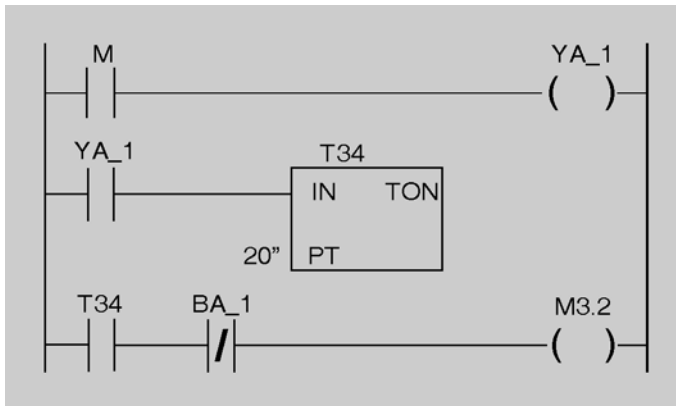
En alguns moviments es pot fixar un temps màxim o mínim en què ha de finalitzar la maniobra.

En la figura 85 teniu representat un programa en el qual un cilindre fa la maniobra d'avançar i es predetermina un temps màxim d'execució de la maniobra de 20 s. El programa consta dels elements següents:

- M: polsador de marxa del cilindre A.
- YA_1: electrovàlvula d'avançar el cilindre A.
- T34: temporitzador a la connexió.
- BA_1: detector de proximitat que indica que el cilindre A està avançant.
- M3.2: marca que senyalitza l'error i que es posa a 1 quan ha transcorregut el temps màxim prefixat i el cilindre encara no ha arribat al final del seu recorregut.

Fixeu-vos que quan accioneu el pulsador de marxa M es dóna marxa d'avançar al cilindre mitjançant l'electrovàlvula YA_1 que, fent servir el seu contacte obert, posa en marxa el temporitzador T34. Quan el cilindre arriba al final del seu recorregut obre el contacte negat BA_1, i si ho fa abans que el temporitzador hagi comptat el temps programat, com a temps màxim permès, no es connectarà la marca que senyalitza avaria M3.2; en cas contrari sí que es connectarà, i això indicarà que el cilindre ha tardat més temps del previst a executar la maniobra d'avançar.

Figura 85. Predeterminació del temps màxim d'execució

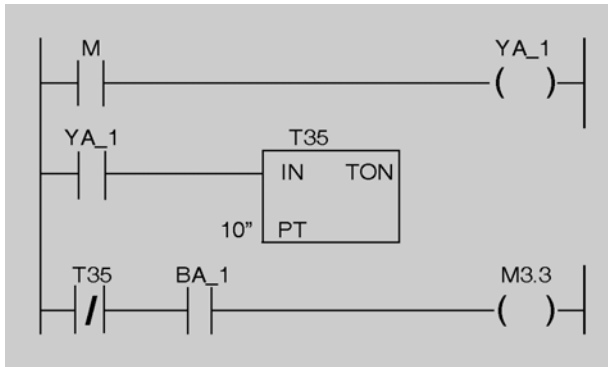


En la figura 86 teniu representat un programa en el qual un cilindre fa la maniobra d'avançar i ho ha de fer en un temps de, com a mínim, 10 s. El programa consta dels elements següents:

- M: pulsador de marxa del cilindre A.
- YA_1: electrovàlvula d'avançar el cilindre A.
- T35: temporitzador a la connexió.
- BA_1: detector de proximitat que indica que el cilindre A està avançant.
- M3.3: marca que senyalitza l'error i que es posa a 1 quan abans de transcórrer el temps prefixat el cilindre ja ha arribat al final del seu recorregut.

Fixeu-vos que quan accioneu el pulsador de marxa M es dóna marxa d'avançar al cilindre mitjançant l'electrovàlvula YA_1, que posa en marxa el temporitzador T35 fent servir el seu contacte obert. Quan el cilindre arriba al final del seu recorregut tanca el contacte BA_1, i si ho fa abans que el temporitzador hagi comptat el temps programat, com que el contacte del temporitzador T35 encara estarà tancat, es connectarà la marca que senyalitza avaria M3.3; en canvi, si quan arriba al final del seu recorregut el temporitzador ja ha comptat el temps programat, el contacte de T2 estarà obert i no es connectarà la marca.

Figura 86. Predeterminació del temps mínim d'execució



3.3.7. Pèrdua de tensió

És necessari afegir programes per garantir la seguretat de la instal·lació en cas d'avaries, per exemple si hi ha una pèrdua de tensió en un actuator; en aquest cas s'ha de garantir que l'actuator queda en una posició estable i segura. Per exemple, els frens d'un motor d'un ascensor han de quedar accionats en cas que falli el corrent elèctric.

3.3.8. Pèrdua de pressió d'aire

Una pinça pneumàtica que subjecta un producte ha de quedar tancada en cas de pèrdua de pressió d'aire, perquè aquest no caigui.

3.3.9. Dispositius d'aturada

Els dispositius d'aturada han d'actuar interrompent el circuit, i per això es farà sempre mitjançant contactes tancats (NC). En la figura 87 teniu representades les connexions de dos contactors amb el seus polsadors de marxa i aturada. Fixeu-vos que el polsador d'aturada del contactor K1M, P1, està connectat a l'entrada E4 i normalment és tancat (NC); per tant, en repòs deixa passar el corrent elèctric i l'entrada corresponent del PLC té valor lògic 1, i per això en el programa del PLC representat en el *network 1* s'ha programat mitjançant un contacte obert perquè en repòs també té valor 1 i, per tant, quan s'accióni el polsador de marxa M1 connectat a l'entrada E2 activarà el contactor K1M connectat a la sortida S5. Si per una avaria es tallés el fil del polsador d'aturada P1, l'entrada E4 tindria, en repòs, valor lògic 0, i per molt que accionéssim el polsador de marxa no es podria posar en marxa el contactor K1M.

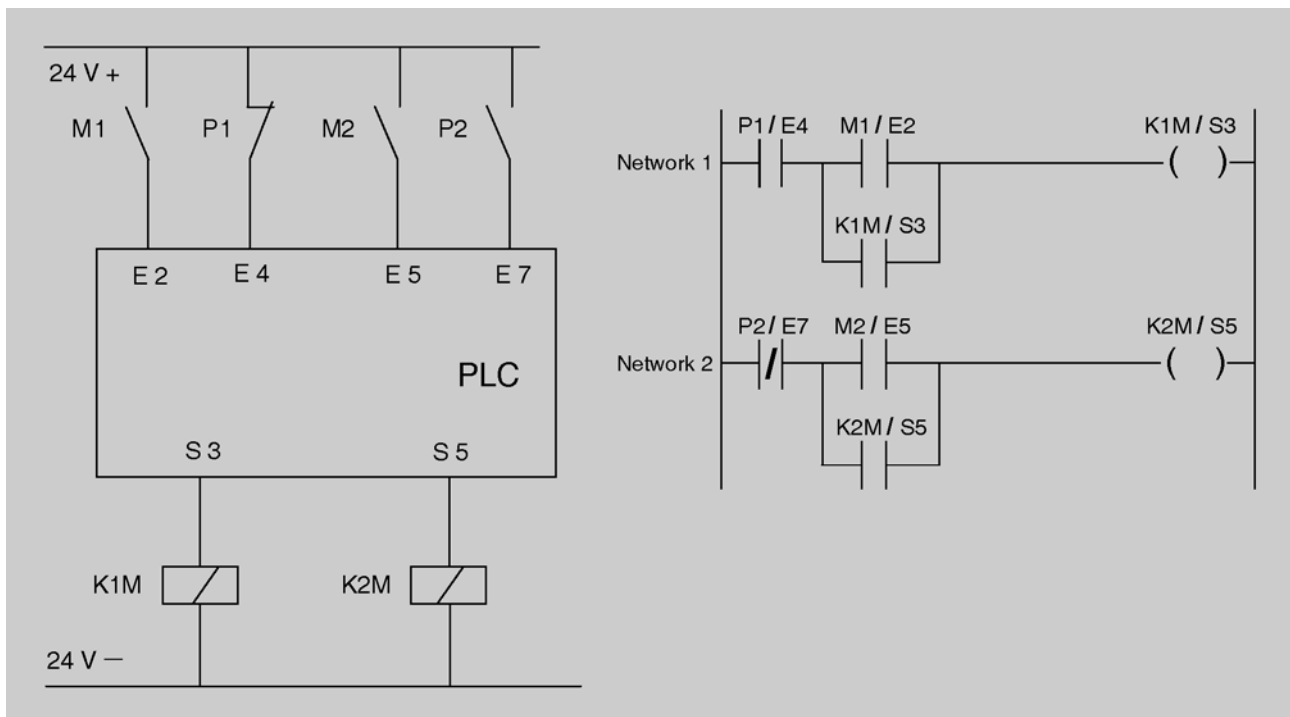
Fixeu-vos també que el polsador d'aturada del contactor K2M, P2, està connectat a l'entrada E7 i és un contacte normalment obert (NO); per tant, en repòs no deixa passar el corrent elèctric i l'entrada corresponent té valor lògic 0. Per això al programa del PLC representat en el *network 2* s'ha programat mitjançant un contacte negat, perquè inverteix el valor de l'entrada i té el valor 1 en repòs; així quan s'accióni el polsador de marxa

M2 connectat a l'entrada E5 activarà el contactor K2M connectat a la sortida S5. Si per una avaria es tallés el fil del pulsador d'aturada P2, l'entrada E4 tindria, en repòs, sempre valor lògic 0, encara que accionéssim el pulsador d'aturada, i això vol dir que no es podria aturar el contactor.

Quan hi ha l'avaría que es talla el fil d'un pulsador d'aturada amb contacte normalment tancat, la conseqüència és que no es pot posar en marxa l'actuador corresponent, però si es talla el fil d'un pulsador d'aturada amb contacte normalment obert, la conseqüència és que no hi ha manera d'aturar l'actuador. Per això els dispositius d'aturada han de ser de contacte normalment tancat, que en accionar-los actuïn interrompent el circuit.

Si es talla el fil d'un pulsador d'aturada, l'avaría que s'ha de produir és que l'actuador no es pot puguí en marxa, i no pas que no es puguí aturar.

Figura 87. Programació dels dispositius d'aturada

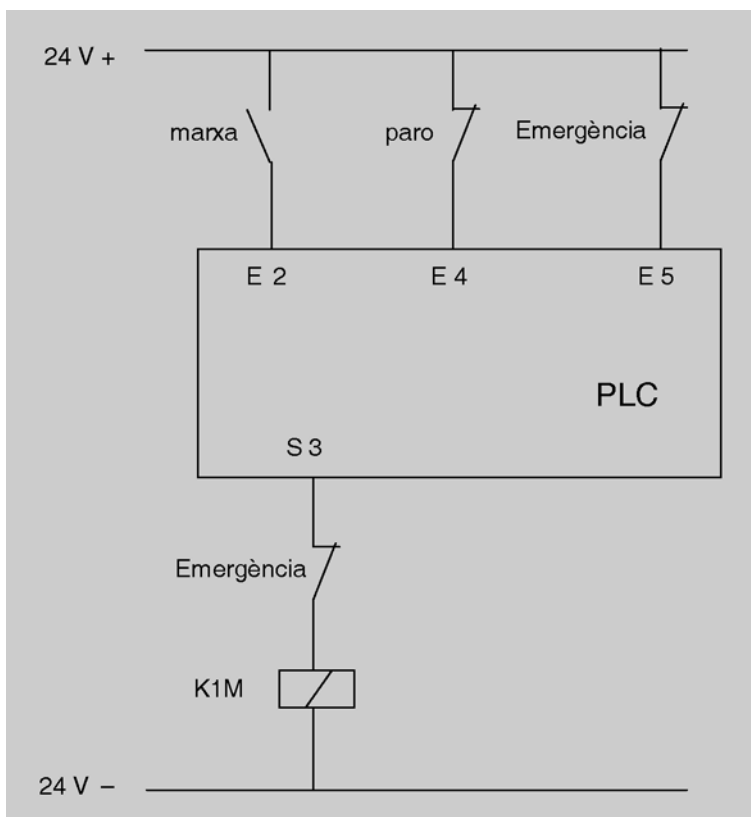


3.3.10. Dispositius d'emergència

Els dispositius d'emergència han de tallar directament l'alimentació dels preactuadors que convinguin, a més d'informar al PLC. En la figura 88 teniu representades les connexions d'un contactor amb el seus pulsadors de marxa i aturada i un pulsador d'emergència. Fixeu-vos que el pulsador d'emergència té doble contacte, un per donar l'ordre al PLC connectat a l'entrada E5 i un altre connectat directament a l'alimentació del contactor; d'aquesta manera quan s'accióni l'emergència, a més

d'enviar senyal al PLC per intervenir segons el programa, ens assegurem que es desconnecta l'actuador.

Figura 88. Connexió dels dispositius d'emergència



Els programes per detectar les anomalies en el funcionament de les instal·lacions solen trobar-se en subrutines tancades i protegides perquè personal no autoritzat no els pugui modificar.

3.4. Grafet per al tractament d'averies

Quan es vol fer algun programa per al tractament de les avaries en una instal·lació, es pot fer modificant o ampliant el Grafet del programa de l'automatisme o afegint un Grafet exclusiu; això dependrà de la complexitat del Grafet normal de funcionament i del grau d'aprofundiment en el tractament de les avaries.

En la figura 89 teniu representats els Grafet de nivell 2 i 3 corresponents a una màquina amb tres cilindres electropneumàtics. El cilindre A és un actuador biestable i els cilindres B i C són monoestables. En la taula 4 teniu la relació de símbols i operands dels components de l'esmentada màquina i en la figura 90 teniu la maqueta corresponent a la màquina per comprovar el funcionament dels programes que feu.



En la secció "Recursos de contingut" del web d'aquest mòdul podeu trobar l'arxiu *maqueta8e.sim*, corresponent al disseny de la maqueta 8e.



El programari simulador de maquetes PC_SIMU el trobareu a l'espai de l'"Aula".

Figura 89. Grafet de funcionament de màquina amb cilindres electropneumàtics

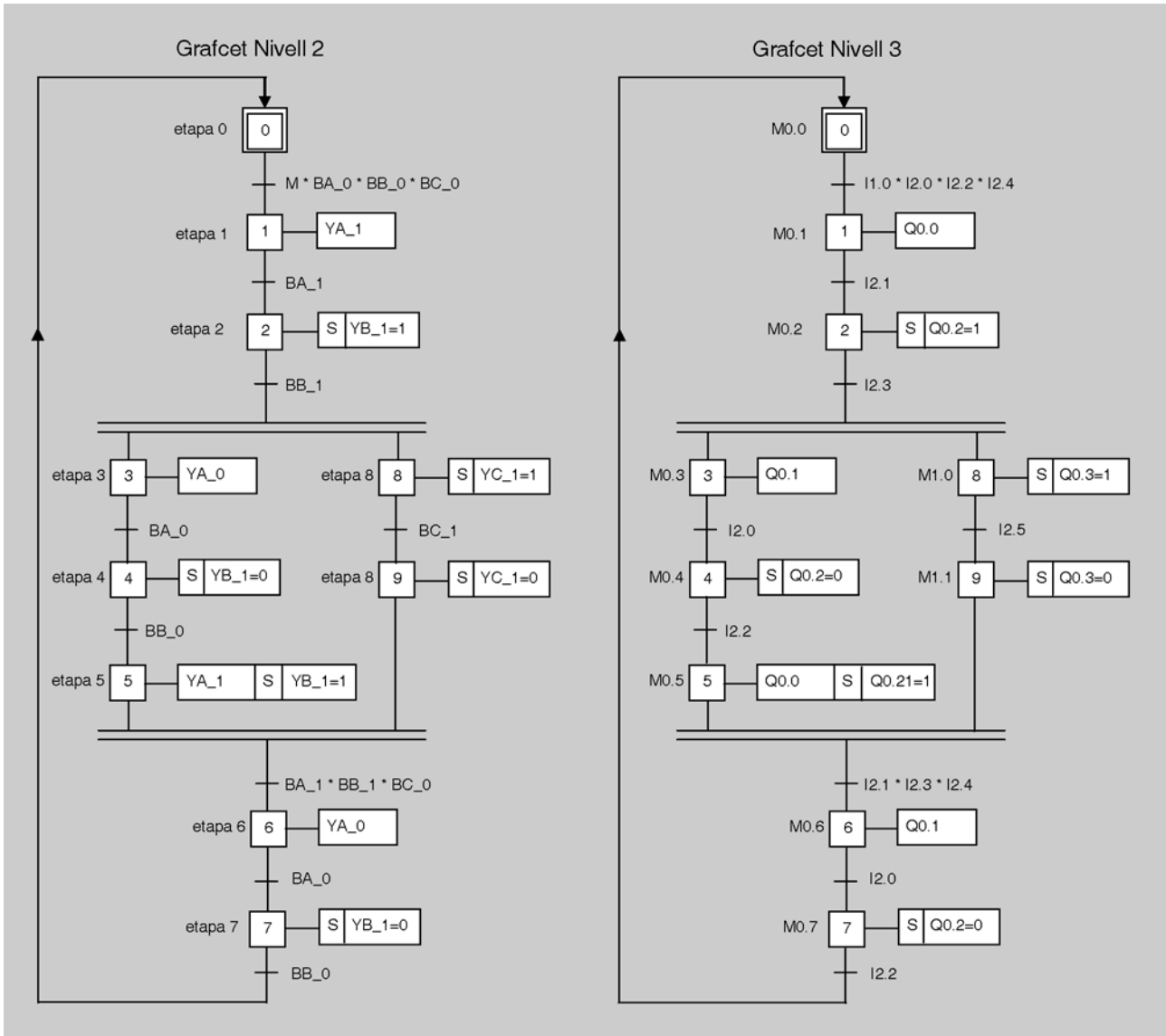
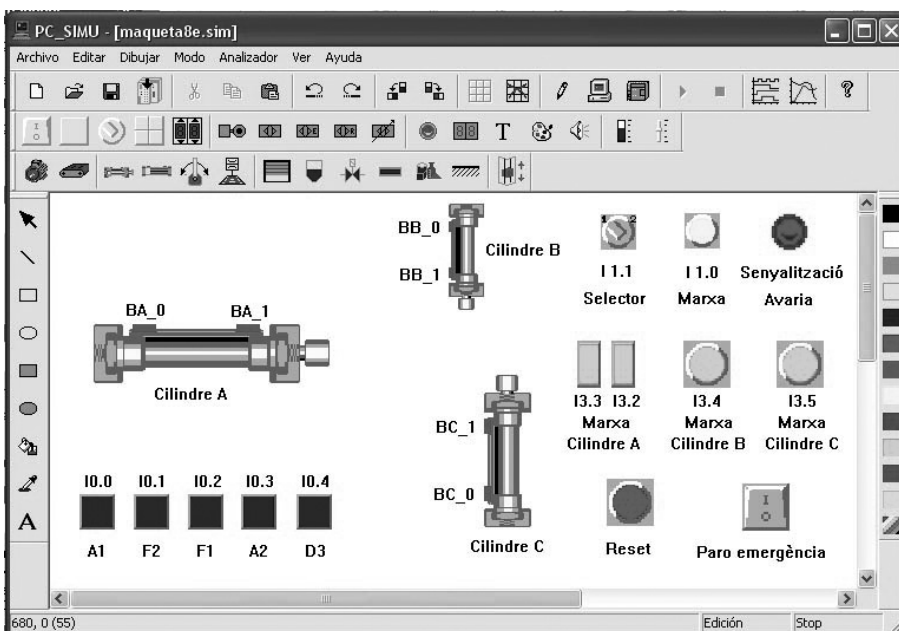


Figura 90. Maqueta



Taula 4. Taula de símbols dels components de la màquina

Símbol	Direcció	Comentari
SE	I 1.1	Selector
M	I 1.0	Polsador de marxa
RE	I 3.6	Polsador de <i>reset</i>
PE	I 3.7	Aturada d'emergència
Pas_A1	I 0.0	Ordre de passar a estat A1
Pas_F2	I 0.1	Ordre de passar a estat F2
Pas_F1	I 0.2	Ordre de passar a estat F1
Pas_A2	I 0.3	Ordre de passar a estat A2
Pas_D3	I 0.4	Ordre de passar a estat D3
BA_0	I 2.0	El cilindre A es troba retrocedit
BA_1	I 2.1	El cilindre A es troba avançat
BB_0	I 2.2	El cilindre B es troba retrocedit
BB_1	I 2.3	El cilindre B es troba avançat
BC_0	I 2.4	El cilindre C es troba retrocedit
BC_1	I 2.5	El cilindre C es troba avançat
MA_1	I 3.2	Polsador d'avançar el cilindre A
MA_0	I 3.3	Polsador de retrocedir el cilindre A
MB_1	I 3.4	Polsador d'avançar el cilindre B
MC_1	I 3.5	Polsador d'avançar el cilindre C
YA_1	Q 0.0	El cilindre A avança
YA_0	Q 0.1	El cilindre A retrocedeix
YB_1	Q 0.2	El cilindre B avança
YC_1	Q 0.3	El cilindre C avança
H_1	Q 0.4	Bombeta de senyalització d'avaría
etapa_0	M 0.0	Etapa 0
etapa_1	M 0.1	Etapa 1
etapa_2	M 0.2	Etapa 2
etapa_3	M 0.3	Etapa 3
etapa_4	M 0.4	Etapa 4
etapa_5	M 0.5	Etapa 5
etapa_6	M 0.6	Etapa 6
Comptador_1	C 1	Comptador de bucles

Una cop fet el programa per al funcionament de la màquina, i en funció del nivell del tractament de les avaries o del tipus d'aturada per a avaries que vulgueu dissenyar, podeu fer el següent:

- Fer petites modificacions per detectar avaries en sensors o actuadors o, si voleu fer una aturada de la màquina en un estat determinat, que la col·loqui en una posició estable i segura.
- Dissenyar una guia GEMMA amb els Graficet corresponents als diferents modes de funcionament de la màquina i als exclusius per al tractament d'avaries.

Guia GEMMA

La guia GEMMA és una guia gràfica que permet presentar d'una manera senzilla i entenedora els diferents modes de marxa i aturada d'un procés de producció, i també les maneres i condicions per passar d'un mode a un altre.

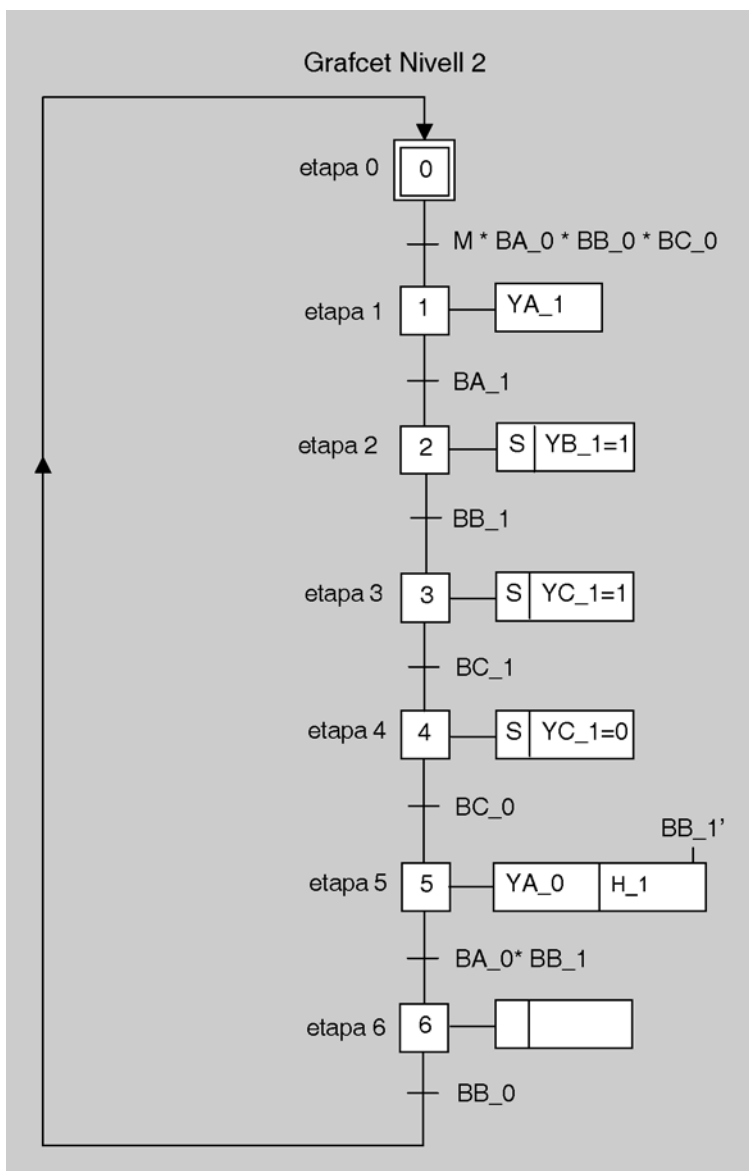
3.4.1. Modificació Grafcet per detectar avaria en un sensor

El desenvolupament de la seqüència de funcionament d'una màquina o instal·lació canvia l'estat dels detectors, i a vegades pot ser necessari assegurar-nos que un detector determinat funciona correctament en alguna etapa en concret d'aquesta seqüència. En el Grafcet de nivell 2 de la figura 91 teniu representat el Grafcet de funcionament d'una màquina en la qual en l'etapa 2 s'ha donat l'ordre d'avançar al cilindre B. Si el Grafcet evoluciona a l'etapa 5 vol dir que la transició de l'etapa 2 a la 5 s'ha fet correctament i, per tant, l'actuador YB_1 i el detector BB_1 han funcionat bé. A partir d'aquest moment, i segons el Grafcet de funcionament, no es torna a comprovar l'estat del detector BB_1, però si es volgués comprovar el seu estat en alguna etapa en concret, n'hi hauria prou d'afegir una acció condicionada accionant una alarma amb el contacte negat del detector en qüestió; en aquest cas, en l'etapa 5 es comprova l'estat del detector BB_1 i si no està accionat s'encén la bombeta de senyalització H_1.



Ara feu l'activitat "Detecció d'avaries mitjançant el Grafcet", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

Figura 91. Grafcet amb senyalització d'avaría de detector en una etapa determinada

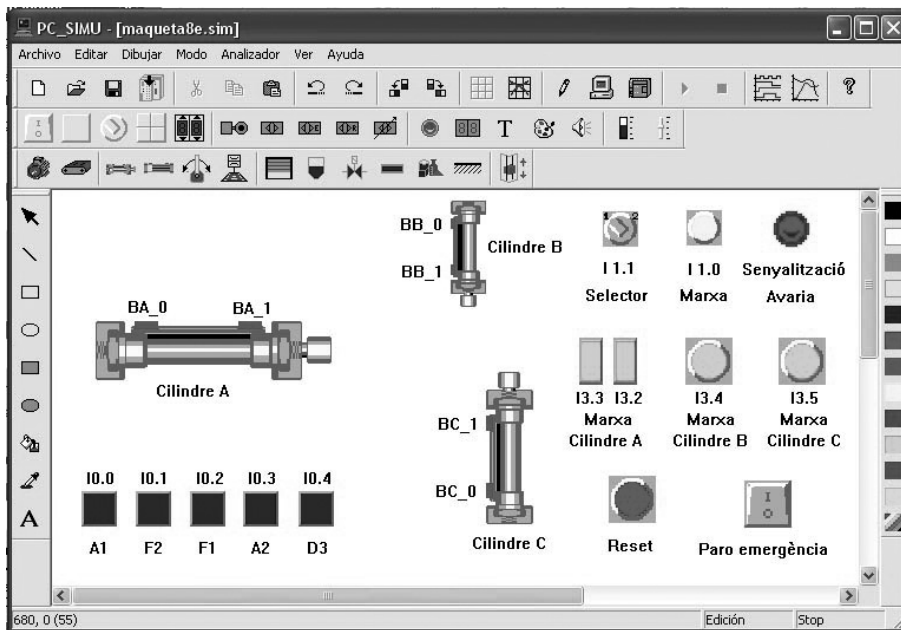


3.4.2. Modificació per detectar una avaria en l'evolució d'un Grafcet

Quan una màquina s'atura en una etapa d'un Grafcet i no evoluciona a la següent, pot ser a causa d'una avaria en l'actuador o en el detector de posició. Suposeu que la màquina simulada en la maqueta de la figura 92 està funcionant i quan arriba a l'etapa 3 s'atura i no evoluciona a l'etapa 4; les causes més probable són les següents:

- El cilindre C no ha avançat.
- El cilindre C sí que ha avançat però el detector BC_1 no dona senyal.

Figura 92. Maqueta



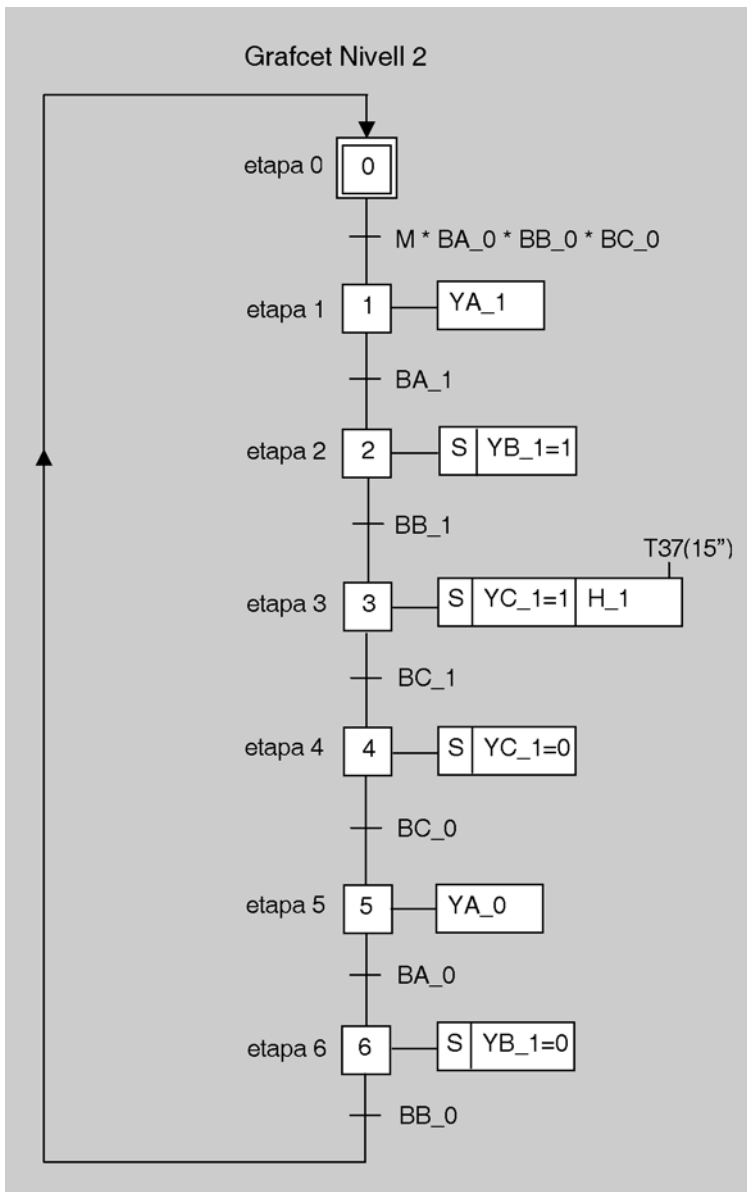
En el Grafcet de la figura 93 podeu veure que en l'etapa 3 s'ha afegit una acció mitjançant la qual, si quan han transcorregut 15 s, que se suposa el temps màxim per fer l'acció d'avançar el cilindre C, encara està activa l'etapa 3 i, per tant, no s'ha passat a l'etapa 4, s'encén el pilot de senyalització H1, que indica que hi ha una avaria.

Una vegada senyalitzada l'avaría s'ha de localitzar; en aquest cas, si no ha avançat el cilindre és una fallada de l'actuador, el cilindre C o l'electrovàlvula YC_1, i si ha avançat és fallada del captador, el detector BC_1.

- **Fallada d'actuador:** caldrà fer en ordre les comprovacions següents:
 - Que estigui activada la sortida Q0.3 del PLC.
 - Que arribi tensió a la bobina de l'electrovàlvula YC_1.
 - Que la vàlvula hagi actuat i estigui en la posició correcta.
 - Que hi hagi pressió d'aire a la sortida del compressor.
 - Que hi hagi pressió d'aire a l'entrada de l'electrovàlvula.
 - Que hi hagi pressió d'aire a la sortida de l'electrovàlvula.
 - Que hi hagi pressió d'aire a l'entrada del cilindre.

- Que la sortida d'aire del cilindre no estigui taponada i no deixi sortir l'aire d'escapament.
- **Fallada de captador:** caldrà fer en ordre les comprovacions següents:
 - Que el detector estigui accionat.
 - Que el detector doni senyal elèctric.
 - Que estigui activada l'entrada I2.5 del PLC.

Figura 93. Grafcet amb senyalització d'avaria: l'etapa 3 no evoluciona a l'etapa 4

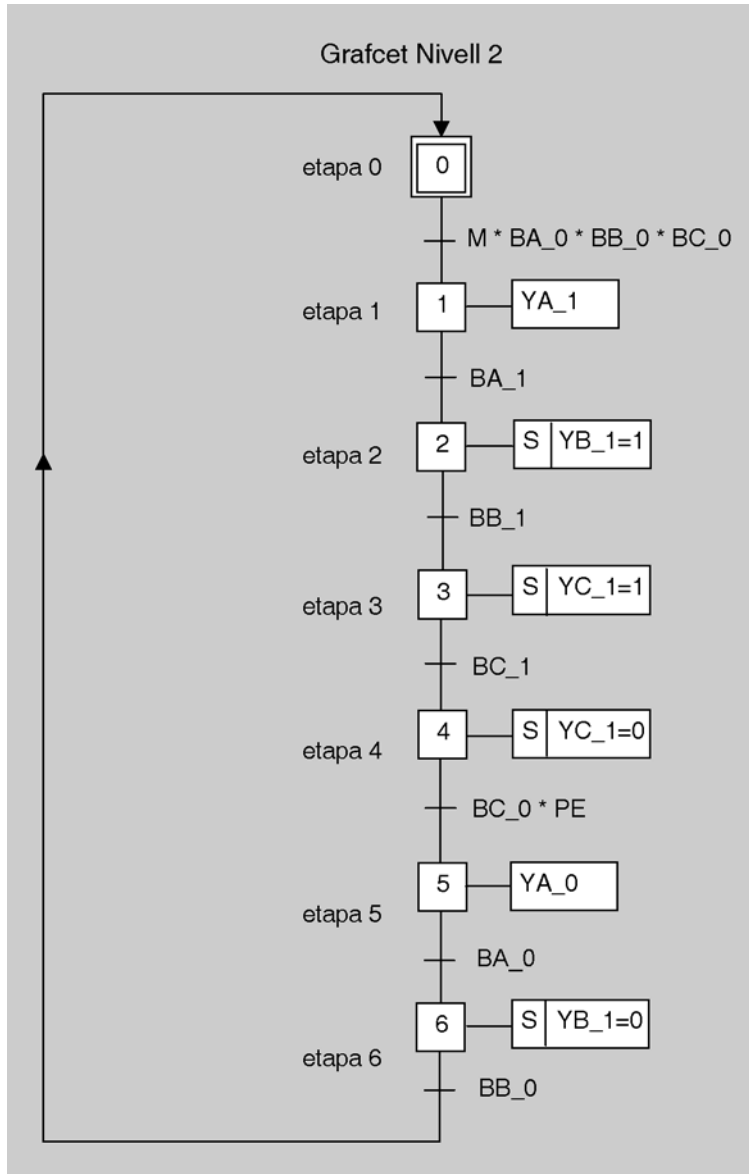


3.4.3. Modificació de Grafcet per aturar la màquina en un estat determinat

En el Grafcet de la figura 94 podeu veure que en la transició de l'etapa 4 a la 5 hi ha un polsador d'emergència PE; per tant, quan el polsador estigui accionat el Grafcet evolucionarà fins que arribi a l'etapa 4, i en aquest moment la màquina romandrà aturada fins que s'alliberi el polsador PE.

Aquesta maniobra s'acostuma a fer quan una màquina o instal·lació no funciona bé del tot i l'operari decideix aturar-la, però deixant que continuï funcionant fins que arribi a una posició estable i segura per fer les comprovacions o ajustos necessaris.

Figura 94. Grafset amb aturada de la màquina en una posició determinada



3.5. Guia GEMMA

En un procés productiu una màquina no està sempre funcionant en mode automàtic, i poden aparèixer problemes que fan aturar el procés, com per exemple avaries, material defectuós, manca de matèria prima, necessitat de fer-ne manteniment, etcètera.

En l'automatització d'una màquina és necessari preveure tots els estats possibles: funcionament automàtic o manual, aturades d'emergència i d'altres; a més, l'automatisme mateix ha de ser capaç de detectar defectes i ajudar el tècnic de manteniment en la reparació i posada en marxa del sistema.

Per fixar una manera universal d'anomenar i definir els diferents estats que pot tenir un sistema, l'ADEPA (Agence Nationale pour le Développement de la Production Appliquée à l'Industrie, 'Agència Nacional Francesa per al Desenvolupament de la Producció Aplicada a la Indústria') ha preparat la guia GEMMA (*Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrêts*, 'Guia d'estudi dels modes de marxes i aturades').

GEMMA és una guia gràfica que permet presentar d'una manera senzilla i entenedora els diferents modes de marxa i aturada d'un procés de producció, i també les formes i condicions per passar d'un mode a un altre.

GEMMA i Grafcet es complementen l'un a l'altre, i permeten una descripció progressiva de l'automatisme de producció.

El sistema de control d'un automatisme es pot trobar en tres situacions diferents:

- En funcionament; per tant, en producció.
- Aturat, o en procés d'aturada.
- En situació d'alarma o defecte, circumstàncies en les quals o bé el producte no és aprofitable, o ho pot ser si es manipula adequadament.

Hi pot haver producció en cada una d'aquestes tres situacions; en funcionament sense cap dubte, però també es pot produir quan la màquina està en procés d'aturada, per buidar la màquina o per solucionar alguna avaria, i quan la màquina es troba en certes condicions de defecte (malgrat que potser la producció no serà aprofitable).

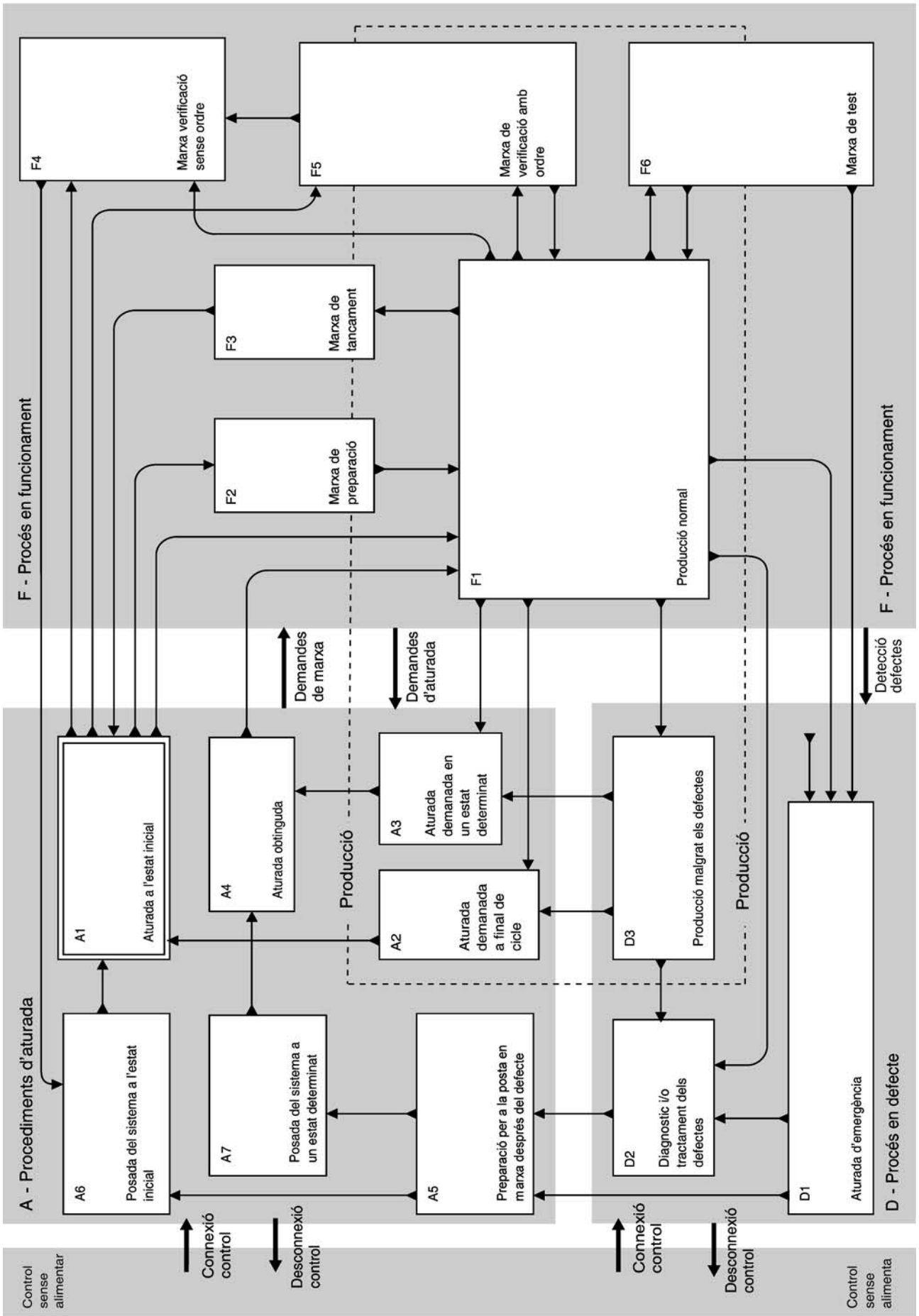
Una altra situació és la màquina sense alimentació, encara que aquesta no ens interessa a l'hora de definir els circuits d'automatisme.

La guia GEMMA representa cada una de les situacions en rectangles, que corresponen a cada estat diferent, en total disset, i que estan interceptats per un altre rectangle, que correspon al grup que defineix el mode de funcionament d'un automatisme, que pot ser:

- Grup F. Procés de funcionament.
- Grup A. Procediments d'aturada.
- Grup D. Procés en defecte.

Convé mencionar que no tots els processos necessiten tots aquests estats, i que la guia proposa els principals camins per passar d'un estat a un altre, però se'n poden traçar de nous. En la figura 95 teniu representada la guia GEMMA proposada per l'ADEPA, on podeu veure ombrejats els tres grups i el rectangle corresponent al control sense alimentar; també podeu observar un rectangle amb una línia de punts que agafa estats dels tres grups i que correspon a estats en què la instal·lació pot estar en producció, malgrat que estigui en un procés d'aturada o en defecte.

Figura 95. Guia GEMMA



3.5.1. Grup F. Procés de funcionament

Aquest grup conté tots els modes de funcionament necessaris per a l'obtenció de la producció:

- Producció normal (F1, F2, F3).
- Verificació i test (F4, F5, F6).

F1. Producció normal

Estat en què la màquina duu a terme la producció de manera normal i fa la tasca per a la qual s'ha concebut. Atès que és l'estat més important, està representat per un rectangle de vores més gruixudes que els altres.

Al funcionament dins d'aquest estat se li pot associar un Grafcet, que anomenarem **Grafcet de base**, que no ha de correspondre necessàriament a un funcionament automàtic.

F2. Marxa de preparació

Correspon a la fase d'inicialització de la màquina (escalfament, entrada o alimentació d'elements, etc.)

F3. Marxa de tancament

Correspon al mode contrari a l'anterior: buidatge de material, neteja, etc., que moltes màquines han de dur a terme abans de plegar o de canviar algunes característiques del producte.

F4. Marxa de verificació sense ordre

La màquina fa les operacions normalment a causa d'ordres manuals de l'operador, certs moviments (o qualsevol). Normalment s'utilitza per a funcions de verificació o manteniment. La producció no ha de ser necessàriament aprofitable.

F5. Marxa de verificació amb ordre

La màquina fa el cicle complet a petició d'ordres manuals de l'operador. S'utilitza per a funcions de verificació o manteniment. La producció pot ser aprofitada.

F6. Marxes de test (prova)

Per dur a terme operacions d'ajust o manteniment preventiu. La producció no ha de ser necessàriament aprofitable.

3.5.2. Grup A. Procediments d'aturada

Aquest grup conté els modes en què el sistema està aturat:

- Sistema aturat (A1, A4).
- Estats que porten a una aturada del sistema (A2, A3).
- Transició d'un estat de defecte a un estat d'aturada (A5, A6, A7).

A1. Aturada en l'estat inicial

Estat normal de repòs de la màquina. Normalment el representem amb un rectangle amb doble traç (corresponent a l'etapa inicial de qualsevol Grafcet).

A2. Aturada demanada a final de cicle

Correspon a un estat transitori, en què la màquina fa el que li cal per acabar el cicle actual i després torna a l'estat inicial A1.

A3. Aturada demanada en un estat determinat

Estat transitori en què la màquina ha de produir fins a arribar a un estat diferent del cicle inicial. Normalment demanat per verificar el funcionament parcial d'un cicle.

A4. Aturada obtinguda

Estat de repòs de la màquina diferent de l'estat inicial A1.

A5. Preparació per a la posada en marxa després d'un defecte o avaria

Normalment després d'un defecte cal buidar, netejar o posar en condicions inicials el sistema.

A6. Posada del sistema en l'estat inicial

El sistema és portat fins a la situació inicial (normalment la situació de repòs); un cop enllestit, la màquina passa a estar aturada en l'estat inicial A1.

A7. Posada del sistema en un estat determinat

El sistema és portat fins a una situació concreta diferent de la inicial; un cop enllestit, la màquina passa a estar en situació d'aturada en l'estat A4.

3.5.3. Grup D. Procés en defecte

Aquest grup conté tots els modes en què el sistema està en defecte, tant si està produint o aturat o en fase de diagnòstic o tractament dels defectes:

- Defecte amb producció (D3).
- Defecte amb màquina aturada (D1).
- Tractament del defecte (D2).

D1. Aturada d'emergència

Inclou les accions necessàries per aturar el sistema immediatament i les corresponents per portar-lo fins a una situació d'aturada segura.

D2. Diagnosi o tractament dels defectes

Intenta, amb o sense col·laboració de l'operador, determinar les causes del defecte i si pot ser eliminar-les automàticament.

D3. Producció malgrat els defectes

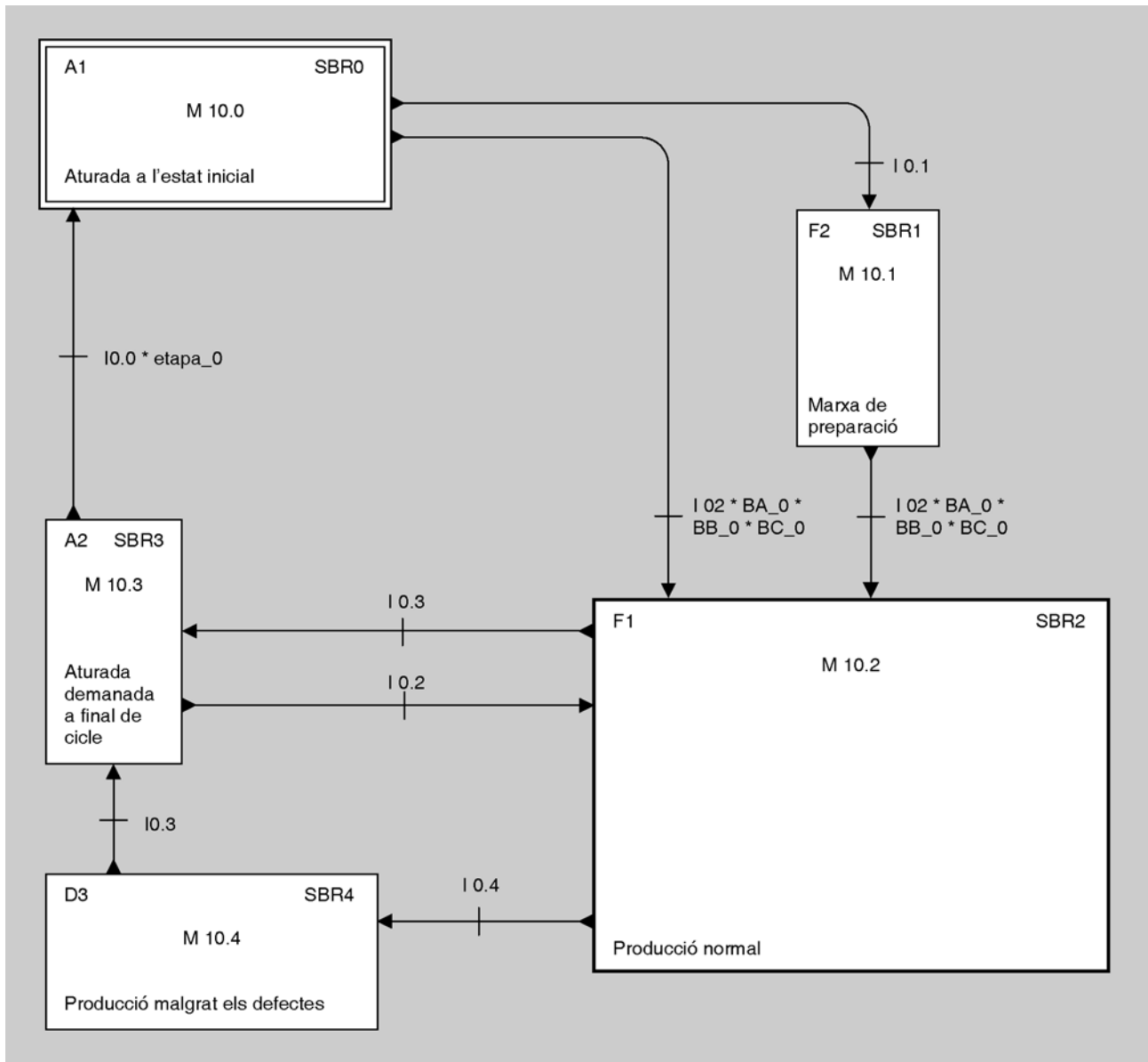
Correspon a aquells casos en què cal continuar produint malgrat que el sistema no treballi correctament. Inclou els casos en què, per exemple, es produeix per esgotar un reactiu no emmagatzemable o aquells altres en què no se segueix el cicle de funcionament normal, atès que l'operador substitueix la màquina en una determinada tasca a causa d'una avaria.

3.6. Implementació de la guia GEMMA

Quan s'ha d'automatitzar una màquina o una instal·lació, el primer que heu de fer és definir els modes de funcionament que tindrà. La guia GEMMA, definida per l'ADEPA, és com el seu nom indica una guia, serveix d'orientació a l'hora de definir els modes de funcionament d'una instal·lació, i en funció del grau d'automatització d'aquesta es definiran més o menys estats. El que sí és cert és que qualsevol mode de funcionament que es vulgui implantar en una instal·lació es pot relacionar amb algun estat de la guia.

En la figura 96 teniu representada una guia GEMMA amb cinc estats. Fixeu-vos que a cada estat correspon un mode de funcionament i que tenen assignats una marca i una subrutina diferents.

Figura 96. Guia GEMMA del funcionament d'una màquina



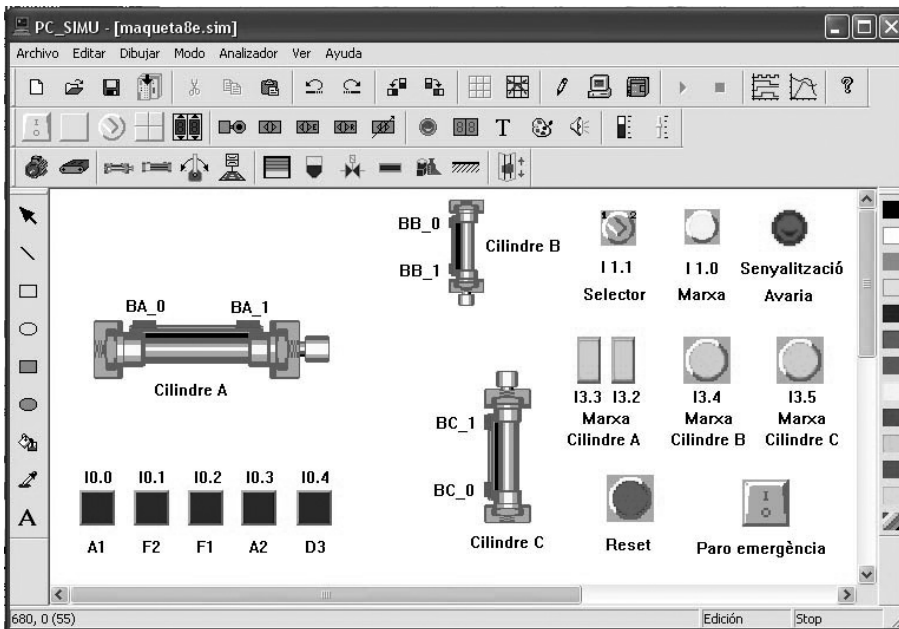
El programa corresponent al funcionament de cada estat es programa en la subrutina assignada, i la marca associada a cada estat serà l'encarregada de cridar la subrutina corresponent en funció del mode de funcionament seleccionat. Utilitzarem la màquina simulada en la maqueta de la figura 97 per fer les explicacions i comprovacions.

Per a la descripció del funcionament de la guia GEMMA de la figura 96 utilitzarem la màquina simulada amb la maqueta de la figura 97, i els modes de funcionament de cada estat seran els següents:

- A1 Aturada en l'estat inicial: la màquina romandrà aturada sense possibilitat de fer cap maniobra i, per tant, no hi ha cap programa.
- F2 Marxa de preparació: funcionament de la màquina manualment mitjançant els polsadors corresponents a cada cilindre. Aquest estat és

necessari en moltes instal·lacions que, per en posar-se en marxa, necessiten estar en unes condicions específiques, per exemple, que la treuja estigui plena de producte o que les canonades estiguin a una temperatura determinada.

Figura 97. Maqueta



- F1 Producció normal: la màquina farà la maniobra de funcionament automàtic i cicle continu; és a dir, quan acabi de fer una seqüència de treball completa comença l'altra de manera automàtica.
- A2 Aturada demanada a final de cicle: la màquina farà la maniobra de funcionament automàtic i cicle únic; és a dir, quan acabi de fer una seqüència de treball completa la màquina s'atura en la posició inicial i es torna a posar en marxa cada vegada que s'accióni el pulsador de marxa corresponent.
- D3 Producció malgrat els defectes. En aquest estat la màquina realitza un únic cicle de funcionament amb una seqüència de treball diferent de la de producció normal, ja que se suposa que l'operari ha vist un defecte en el procés de funcionament, però que es pot continuar produint mentre se soluciona l'avaría.

En la taula 5 teniu representades les condicions per passar d'un estat a un altre. Fixeu-vos que cada estat té assignat un pulsador per donar l'ordre de pas i que hi ha estats als quals es pot arribar per diversos camins. Fixeu-vos també que el pas de l'estat A2 a F1 no està previst en la guia GEMMA general. Heu de pensar que GEMMA és una guia i, per tant, ens serveix com a orientació, però es pot adaptar a les necessitats de cada instal·lació i les condicions d'accés a un estat poden variar en funció de l'estat des del qual s'accedeix.

Taula 5. Pas d'un estat a un altre de la guia GEMMA

Estat de destinació	Estat d'origen	Condicions
A1	A2	Polsador I0.0 i la màquina en etapa 0 del Grafcet
F2	A1	Polsador I0.1
F1	F2	Polsador I0.2 i els tres cilindres endarrerits
	A1	Polsador I0.2 i els tres cilindres endarrerits
	A2	Polsador I0.2
A2	F1	Polsador I0.3
	D3	Polsador I0.3
D3	F1	Polsador I0.4

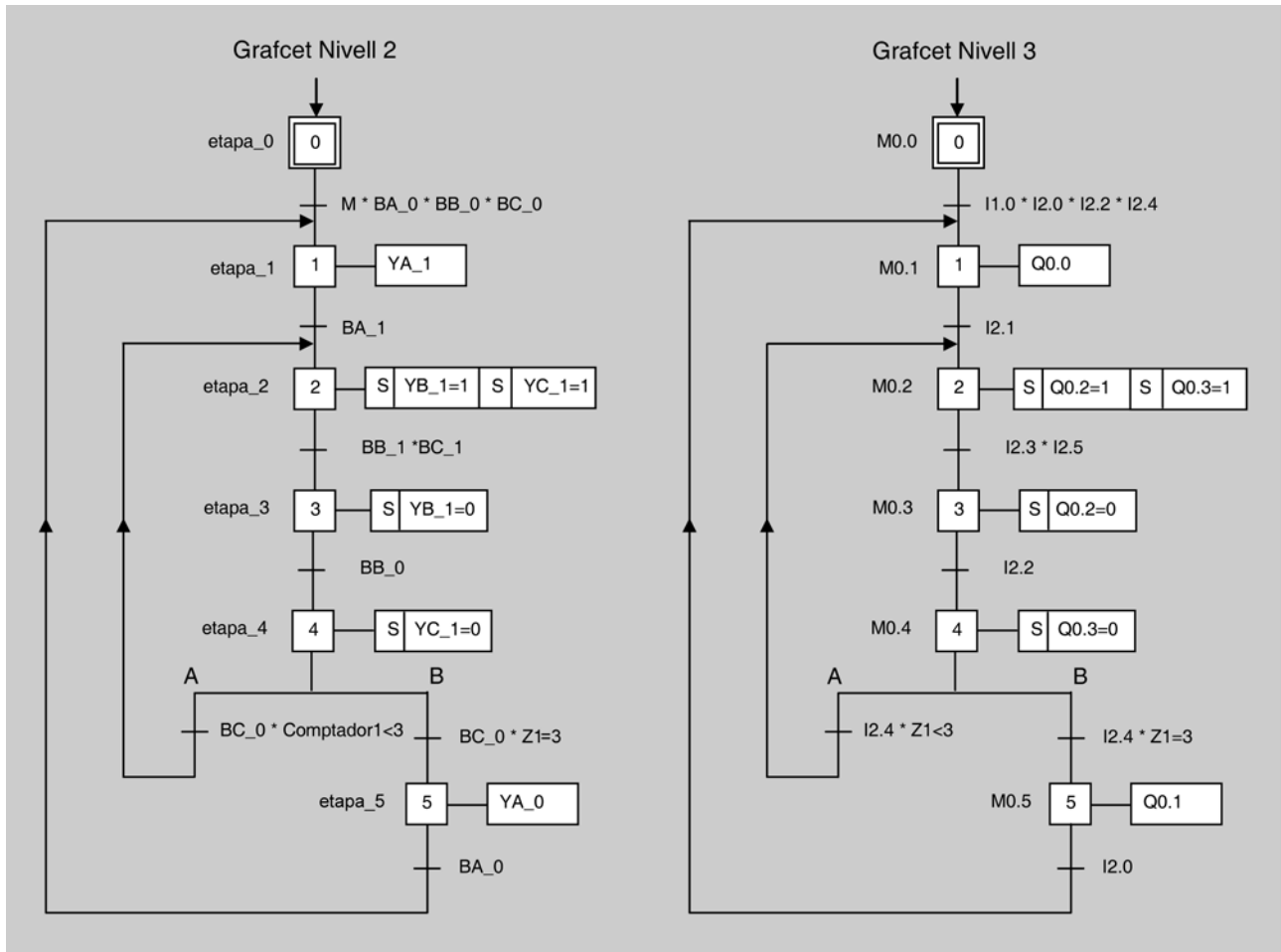
3.6.1. Estat A1. Aturada en l'estat inicial

Quan el sistema es posa en marxa, s'ha d'activar l'estat A1 de manera automàtica, i això vol dir que el PLC executarà la subrutina SBR0. En aquesta subrutina normalment no hi ha cap programa, és a dir, la màquina no fa res, i espera les ordres de l'operador per funcionar en el mode seleccionat; a vegades s'utilitza aquest estat per posar a zero comptadors, registres, etc., o carregar valors a temporitzadors o comptadors.

3.6.2. Estat F1. Producció normal

En la figura 98 teniu el Grafcet de funcionament corresponent a l'estat F1 de producció normal. Fixeu-vos que la màquina està aturada en l'etapa zero sense fer cap maniobra, ja que aquesta etapa no té cap acció associada. Els tres cilindres estan en la posició inicial, ja que és condició per passar a aquest estat, i quan s'acció el polsador de marxa M començarà la seqüència de funcionament i es passarà a l'etapa 1, en què avançarà el cilindre A. Quan hagi avançat s'activarà l'etapa 2, que farà avançar els cilindres B i C, i quan estiguin avançats els dos s'activarà l'etapa 3, que farà retrocedir el cilindre B. Quan hagi retrocedit s'activarà l'etapa 4, que farà retrocedir el cilindre C, i el comptador Z1 incrementarà el seu valor una unitat. Quan el cilindre hagi retrocedit, en funció del valor del comptador s'activarà l'etapa 2 o l'etapa 5. Si el valor del comptador és inferior a 3 es tornaran a repetir les accions de les etapes 2, 3 i 4, i quan el valor sigui igual a 3, és a dir, quan els cilindres B i C hagin fet la maniobra de copejament tres vegades (baixar junts i pujar primer el B i després el C), s'activarà l'etapa 5, que farà que retrocedeixi el cilindre A. Quan el cilindre A estigui retrocedit s'activarà l'etapa 1 i s'iniciarà un altre cicle de funcionament de manera automàtica.

Figura 98. Grafcet de funcionament en l'estat F1

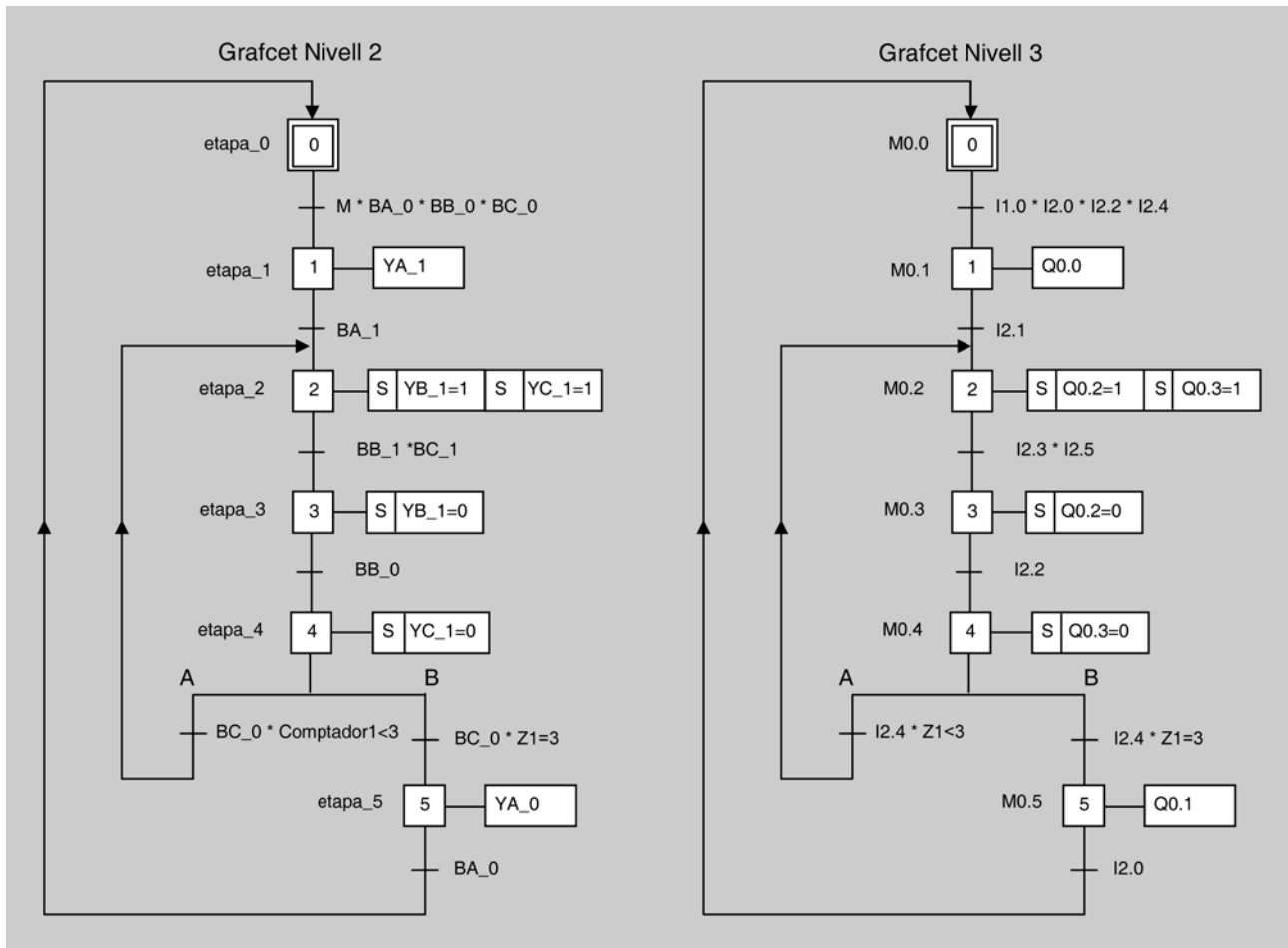


3.6.3. Estat A2. Aturada demandada a final de cicle

En la figura 99 teniu el Grafcet de funcionament corresponent a l'estat A2 (aturada) demanat al final de cicle. Fixeu-vos que el Grafcet és molt semblant al de l'estat F1: l'única diferència és que quan ha finalitzat el cicle de funcionament, en comptes d'anar a l'etapa 1 el Grafcet evoluciona a l'etapa 0, i això implica que la màquina s'atura i fins que no s'acciona el polsador de marxa no comença una altra seqüència de funcionament. Aquest mode de funcionament és molt interessant i necessari, i realitza dues funcions molt importants en la majoria d'instal·lacions:

- Es pot seleccionar el mode de funcionament perquè la màquina realitzi un únic cicle complet de funcionament, amb la possibilitat de realitzar-ne d'altres a continuació, però sempre amb l'ordre de l'operari que controla la instal·lació.
- Es pot aturar el procés de fabricació al final del cicle si l'operari veu que la instal·lació, sense tenir cap avaria, no funciona del tot correctament.

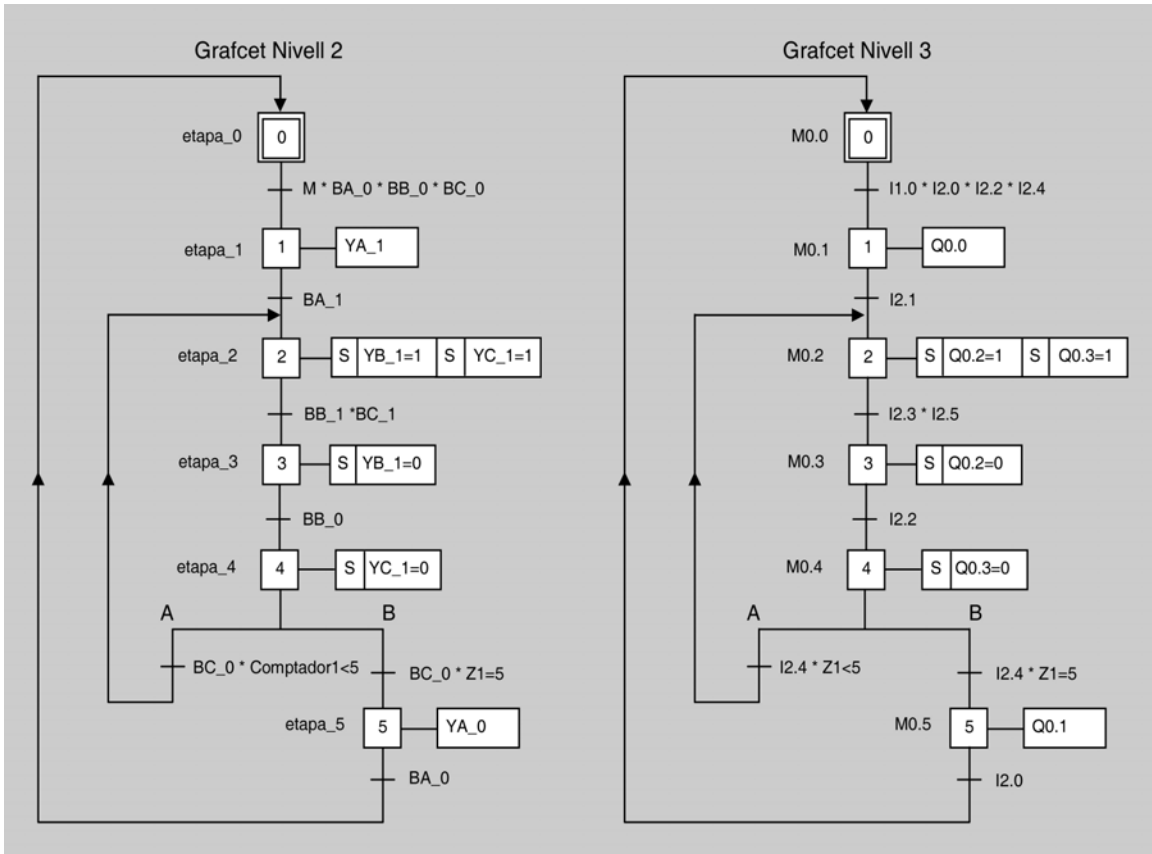
Figura 99. Grafcet de funcionament de l'estat A2



3.6.4. Estat D3. Producció malgrat els defectes

En la figura 100 teniu el Grafcet de funcionament corresponent a l'estat D3 (producció malgrat els defectes). Fixeu-vos que el Grafcet és semblant al de l'estat A2 (aturada) demanat a final de cicle, però en aquest cas es vol que quan l'operari detecti un defecte en el procés de producció la màquina realitzi l'operació de copejament cinc vegades en comptes de tres, i que quan acabi la seqüència la màquina vagi a l'etapa 0, amb la possibilitat de fer cicles de funcionament cada vegada que s'acciioni el polsador de marxa M. Aquest mode de funcionament és molt important en processos llargs i en què una aturada en el procés de producció pot representar una gran pèrdua econòmica; per descomptat que hi ha avaries que per la seva importància han de provocar una aturada del funcionament de la instal·lació, però també és cert que n'hi ha d'altres de menys greus, en què modificant el procés de fabricació la instal·lació pot seguir treballant aprofitant tot el producte fabricat fins al punt on s'ha produït l'avaria. En aquest cas se suposa que el defecte detectat en el procés de producció es pot solucionar copejant cinc vegades la peça a fabricar en comptes de les tres que necessita una peça bona. En funció de les característiques del procés de producció hi pot haver diversos Grafcet per tractar defectes diferents.

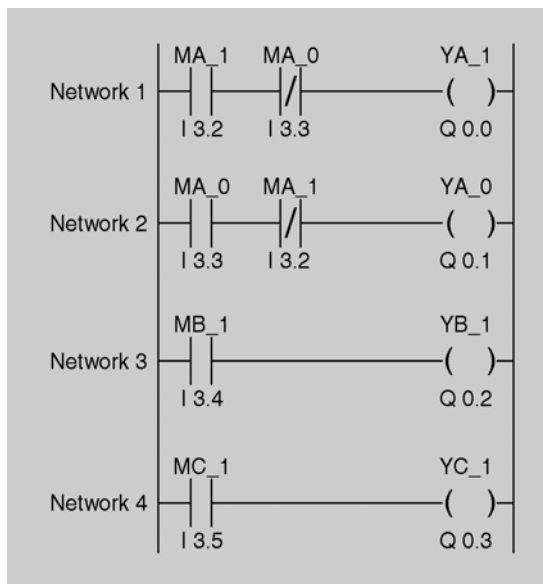
Figura 100. Grafcet de funcionament de l'estat D



3.6.5. Estat F2. Marxa de preparació

En la figura 101 teniu el programa de funcionament corresponent a l'estat F2 de marxa de preparació. Fixeu-vos que mitjançant els pulsadors podeu moure els tres cilindres, i d'aquesta manera es pot posar la màquina en la posició inicial en cas necessari.

Figura 101. Esquema de funcionament de l'estat F2



3.6.6. Programa de la guia GEMMA

El programa corresponent a la implementació de la guia GEMMA es farà sempre en el bloc de programa que executi sempre la CPU; en el cas de l'autòmat programable S7-200 de Siemens serà la subrutina principal, també anomenada OBI.

Mitjançant el programa corresponent a la guia GEMMA, el PLC executarà una subrutina o una altra i, per tant, la màquina funcionarà d'un mode o d'un altre.

Amb la implementació d'aquesta guia GEMMA podeu:

- Posar la màquina en la posició inicial en cas necessari.
- Treballar normalment en cicle continu automàtic.
- Des de l'estat D1 passar a l'estat A2, treballant automàticament en cicle únic per controlar millor el funcionament o passar a l'estat D3 si l'operador detecta un defecte, de manera que faci la maniobra de copejament cinc vegades en comptes de tres.
- Una vegada que el defecte ha desaparegut, tornar a l'estat A2 i, des d'aquest estat, finalitzar tot el procés i anar a l'estat A1 o continuar treballant automàticament en cicle continu i anar a l'estat F1.

En la figura 102 teniu el programa corresponent a la implementació de la guia GEMMA de la figura 96. L'estructura d'aquest programa es pot aplicar a qualsevol GEMMA, independentment dels estats que tingui i dels camins o línies d'unió que hi hagi entre aquests.

Bàsicament sempre farem servir dues branques elèctriques per inicialitzar els Grafcet i la guia GEMMA; en aquests cas, amb l'autòmat programable S7-200 de Siemens utilitzarem dos *networks*. A continuació programarem el circuit corresponent a la línia d'unió entre dos estats i en la branca següent la crida a la subrutina corresponent. En el cas que un estat tingui diverses línies d'unió procedents d'altres estats, les branques corresponents a aquestes línies s'han de programar juntes.

Els circuits corresponents a les línies d'unió tenen l'estructura següent: contacte, corresponent a la marca de l'estat d'origen, en sèrie amb els contactes, corresponents als elements de la transició, que fan *set* de la marca associada a l'estat destinació i a la vegada fan *reset* de la marca associada a l'estat origen.

Els circuits corresponents a la crida a les subrutines tenen l'estructura següent: contacte de la marca associada a l'estat connectat a la subrutina associada al mateix estat.

Raonem el programa d'aquesta guia GEMMA analitzant els seus *networks*:

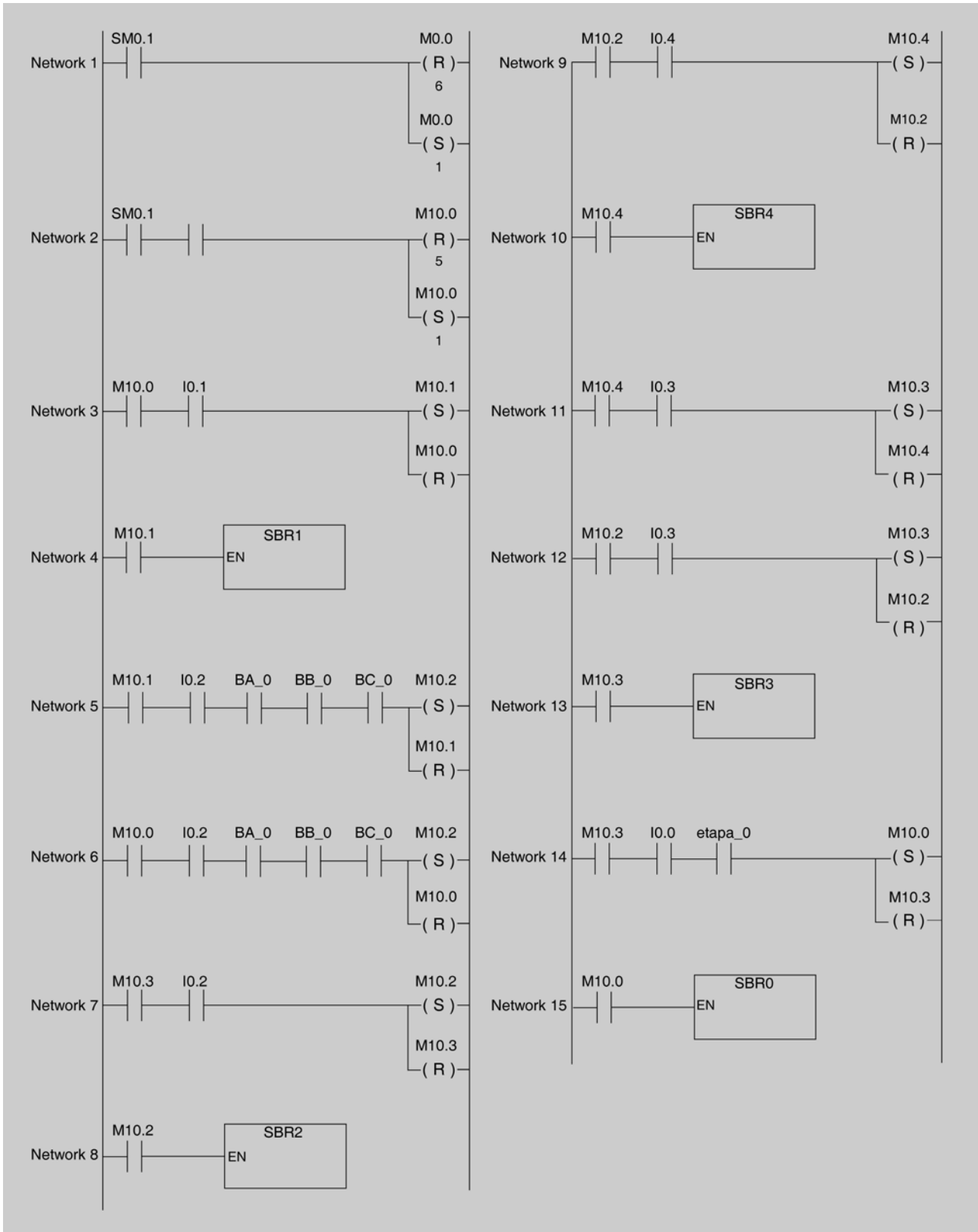
- *Network 1*. Mitjançant la marca SM0.1, que té valor lògic 1 durant 1 *scan* quan l'autòmat programable passa de *stop* a *run*, fem *reset*, és a

dir, desconnectem la marca M0.0 i, en ordre, fins a un total de sis marques més. Per tant, es posen a zero les marques des de M0.0 fins a M0.5, que corresponen a les marques de les etapes dels Grafcet utilitzats en aquest exemple, i a continuació fem *set* de la marca M0.0, que correspon a l'etapa inicial del Grafcet, etapa 0.

- *Network 2.* Mitjançant la marca SM0.1 fem *reset* de la marca M10.0 i, en ordre, fins a un total de cinc marques més. Per tant, es posen a zero les marques des de M10.0 fins a M10.4, que corresponen a les marques dels estats de la guia GEMMA utilitzats en aquest exemple, i a continuació fem *set* de la marca M10.0, que correspon a l'estat inicial del Grafcet, estat A1.
- *Network 3.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat A1 a l'estat F2 amb la transició corresponent. Per tant, contactes en sèrie de la marca associada a l'estat A1, M10.0 amb el polsador I0.1 que fan *set* de la marca associada a l'estat destinació F2, M10.1, i *reset* de la marca associada a l'estat origen A1, M10.0.
- *Network 4.* Correspon a la crida de la subrutina associada a l'estat destinació F2; per tant, amb el contacte de la marca associada a l'estat F2, M10.1 connecta la subrutina associada a aquest estat SBR1.
- *Network 5.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat F2 a l'estat F1 amb la transició corresponent.
- *Network 6.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat A1 a l'estat F1 amb la transició corresponent.
- *Network 7.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat A2 a l'estat F1 amb la transició corresponent.
- *Network 8.* Correspon a la crida de la subrutina SBR2 associada a l'estat destinació F1.
- *Network 9.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat F1 a l'estat D3 amb la transició corresponent.
- *Network 10.* Correspon a la crida de la subrutina SBR4 associada a l'estat destinació D3.
- *Network 11.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat D3 a l'estat A2 amb la transició corresponent.
- *Network 12.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat F1 a l'estat A2 amb la transició corresponent.
- *Network 13.* Correspon a la crida de la subrutina SBR3 associada a l'estat destinació A2.
- *Network 14.* Correspon al programa de la línia d'unió que va de l'estat A2 a l'estat A1 amb la transició corresponent.
- *Network 15.* Correspon a la crida de la subrutina SBR0 associada a l'estat destinació A1.

Observeu que les branques corresponents a les línies d'unió que tenen com a destinació l'estat F1 estan programades juntes en els *networks* 5, 6 i 7, de la mateixa manera que les que tenen com a destinació l'estat A2 també estan programades juntes en els *networks* 11 i 12.

Figura 102. Programa per al PLC de la guia GEMMA



A continuació de les branques corresponents a les línies d'unió que tenen com a destinació un estat, es programa el circuit corresponent a la crida de la subrutina associada a aquest estat; així doncs, en el *network* 3 hi ha programat el circuit corresponent a la línia d'unió que té com a destinació l'estat F2 i en el *network* 4 hi ha programat el circuit per cridar la subru-

tina 1 associada a aquest estat. De la mateixa manera, en els *networks* 5, 6 i 7 hi ha les línies d'unió que tenen com a destinació l'estat F1 i en el *network* 8 hi ha la crida a la subrutina SBR1 associada a l'estat F1.

Els circuits corresponents a línies d'unió que tenen com a destinació el mateix estat s'han de programar junts, no importa en quin ordre, però junts, i a continuació, sempre en la branca següent, es programa el circuit amb la crida de la subrutina associada a l'estat corresponent.



Ara feu l'activitat "Implementació de la guia GEMMA", que trobareu en la secció "Activitats" del web d'aquest mòdul.

