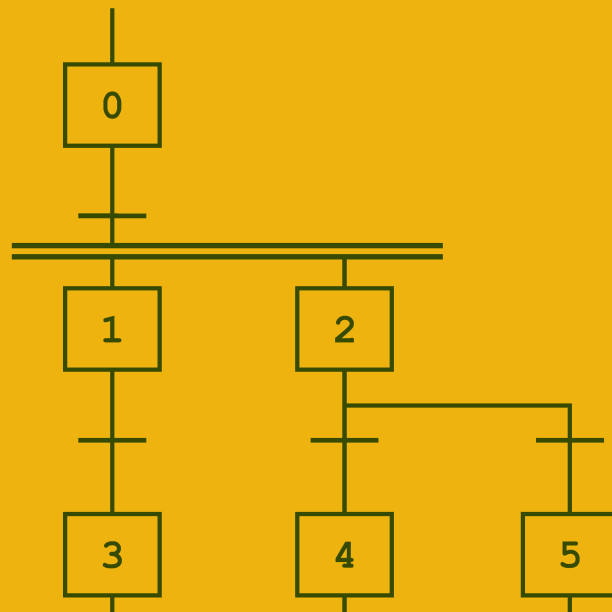


Oriol Boix

Antoni Sudrià - Joan Bergas

Automatització industrial amb GRAFCET



Automatitzacio industrial Amb GRAFCET

Oriol Boix Aragonès
Antoni Sudrià Andreu
Joan Bergas Jané

Índex

Presentació	11
1. Introducció al GRAFCET	13
1.1. Introducció històrica	13
1.2. Principis del GRAFCET	14
1.3. Utilització del GRAFCET	14
1.3.1. GRAFCET de nivell 1: Descripció funcional	14
1.3.2. GRAFCET de nivell 2: Descripció tecnològica	15
1.3.3. GRAFCET de nivell 3: Descripció operativa	15
2. Elements de treball i principals estructures	17
2.1. Elements de treball	17
2.1.1. Accions associades a les etapes	19
2.1.2. Receptivitats associades a les transicions	20
2.2. Regles de sintaxi	20
2.3. Estructures bàsiques	21
2.3.1. Seqüència	21
2.3.2. Selecció de seqüència	21
2.3.3. Salt d'etapes	22
2.3.4. Repetició de seqüència	22
2.3.5. Paral·lelisme estructural	23
2.3.6. Paral·lelisme interpretat	23
2.4. Accions i receptivitats condicionades per etapes	24
2.5. Accions i receptivitats condicionades pel temps	24
2.6. Receptivitats condicionades per flancs	26
2.7. Representació de GRAFCETs complexos	28
2.8. Representació de les accions segons IEC-848	29
2.9. Exemples	32
2.9.1. Automatització d'una màquina de rentar roba	32
2.9.2. Automatització d'una màquina d'etiquetar llaunes	34

3. Regles d'evolució	37
3.1. Regla 1: Inicialització	37
3.2. Regla 2: Evolució de les transicions	37
3.3. Regla 3: Evolució de les etapes actives	38
3.4. Regla 4: Simultaneïtat en el franquejament de les transicions	40
3.5. Regla 5: Prioritat de l'activació	40
4. Estructures especials	43
4.1. Etapes i transicions especials	43
4.2. Etapes consecutives actives	44
4.3. Selecció de seqüència combinada amb paral·lelisme	45
4.4. Altres estructures especials	46
5. GRAFCETs parcials i macroetapes	49
5.1. GRAFCET parcial i GRAFCET global	49
5.2. Forçat d'un GRAFCET	51
5.2.1. Regles de jerarquia	52
5.2.2. Regles de forçat	52
5.3. Macroetapes	53
6. Consideracions temporals	57
6.1. Franquejament d'una transició (per receptivitat)	58
6.2. Franquejament d'una transició (per validació)	59
6.3. Accions en etapes no estables	59
6.4. Transicions tipus flanc (per receptivitat)	62
6.5. Transicions tipus flanc (per validació)	63
6.6. Dues transicions tipus flanc consecutives	64
6.7. Dues transicions tipus flanc consecutives en un GRAFCET amb dues etapes actives consecutives	65
6.8. Receptivitat condicionada per una etapa de durada nul·la	66
6.9. Acció impulsional	67
6.10. Acció impulsional condicionada	68
6.11. Acció mantinguda en diverses etapes consecutives	69
7. Modes de marxes i aturades	71
7.1. La guia GEMMA	71
7.1.1. Grup F: Procediments de funcionament	72
7.1.2. Grup A: Procediments d'aturada	73
7.1.3. Grup D: Procediments de defectes	74

7.2. Utilització de la GEMMA	76
7.2.1. Marxa per cicles i aturada a fi de cicle	76
7.2.2. Marxa de verificació amb ordre	77
7.2.3. Marxa de verificació sense ordre	78
7.2.4. Aturades d'emergència	79
7.2.5. Aturada en un punt	81
7.3. Metodologia	81
7.4. Exemple	82
7.4.1. GRAFCET de producció de primer nivell	83
7.4.2. Definició dels elements del procés	83
7.4.3. GRAFCET de producció de segon nivell	86
7.4.4. Estudi dels diferents estats de la GEMMA	86
7.4.5. Definició dels camins d'evolució entre estats	86
7.4.6. Pupitre d'operador	88
7.4.7. Definició de les condicions d'evolució entre estats	89
7.4.8. GRAFCET complet de segon nivell	89
7.4.9. Elecció de la tecnologia de comandament i GRAFCET complet de tercer nivell	96
8. Implementació d'automatismes GRAFCET en autòmats programables	97
8.1. Mètode simplificat d'implementació	107
9. Bibliografia	113

Presentació

Les formes d'expressió habituals en la nostra societat, tant les clàssiques (llenguatge oral i escrit) com les modernes, habitualment derivades de la informàtica (algoritmes, diagrames de flux, etc.) són més o menys útils, segons els casos, per a descriure processos combinacionals i seqüencials però tots ells tenen una greu mancança: la dificultat de descriure processos amb accions o estats simultanis i processos diferents que actuen paral·lelament. Amb la intenció de superar aquesta deficiència l'AFCEC va presentar el GRAFCET l'any 1977.

Malgrat aquesta intenció inicial, en l'actualitat el GRAFCET només és conegut com a llenguatge per a la programació d'autòmats programables i, fins al moment, no ha tingut massa acceptació.

Un dels possibles motius d'aquesta manca d'acceptació probablement és el fet que quan es presenta qualsevol forma de programació informàtica només cal donar una idea general i comentar algunes estructures per tal que s'entengui el funcionament i puguin intuir-se les possibilitats.

En el cas dels autòmats programables, l'aprenentatge d'altres llenguatges com el diagrama de contactes (*ladder*) només requereix el coneixement de sis elements i alguna regla per tal de tenir una idea força clara de les seves possibilitats en la programació lògica (binària o booleana).

En el cas del GRAFCET si només coneixem els elements de base i les estructures principals podem fer programes, però si intentem fer una automatització complexa el programa pot arribar a ser molt complicat.

Atès que els avantatges del GRAFCET sobre altres mètodes de programació són grans, ja fa temps que vam començar a explicar les possibilitats que queden ocultes en una visió general. Des que vam començar, hem tingut ocasió de parlar-ne amb moltes persones que han realitzat automatitzacions i els comentaris de la majoria han estat que per a ells el GRAFCET era només una eina interessant a nivell docent però mancada d'utilitat pràctica, però gairebé tots han canviat d'idea quan han conegut totes les possibilitats del GRAFCET i la metodologia de treball. D'aquí va sortir la idea de preparar aquest text.

Per a facilitar la comprensió i la presa de contacte s'ha procurat posar exemples senzills.

A França, que probablement és el lloc on el GRAFCET ha tingut més acceptació (i on va nèixer), en automatitzar un procés o un sistema el GRAFCET va acompanyat de la Guia d'Estudis dels Modes de Marxes i Aturades (GEMMA) que presenta els diferents modes de funcionament de l'automatisme.

Així doncs hem volgut incloure un capítol explicant la GEMMA i la implementació en GRAFCET dels dissenys efectuats sobre la GEMMA.

Malgrat tot el GRAFCET topa amb un altre greu problema, hi ha pocs autòmats que es puguin programar en GRAFCET i les dificultats de trobar ordinadors i microprocessadors programables en GRAFCET és remota. Per aquest motiu presentem un mètode per a implementar automatismes creats en GRAFCET sobre autòmats que es programin en diagrama de contactes. Creiem, però, que un cop entès aquest mètode és fàcilment exportable a altres formes de programació (llista d'instruccions, per exemple) o a altres equips (ordinadors, microprocessadors, etc.).

El mètode que s'exposa és molt potent però implica la creació de programes un xic llargs. En molts casos els programes que cal fer són prou senzills com perquè aquest mètode resulti llarg i pesat. Per aquest motiu hem decidit proposar un segon mètode que permet realitzar una implementació més senzilla per al cas de programes petits i senzills.

Malgrat els esforços per evitar i corregir errors o imprecisions, som conscients que alguns no han estat detectats, per la qual cosa demanem avançadament disculpes i agraïm l'advertiment dels mateixos.

No volem acabar aquesta presentació sense agrair a en Marcel Grandpierre, de l'*E.N.S.E.E.I.H.T. de l'Institut National Polytechnique de Toulouse* que l'any 87 ens va fer conèixer el GRAFCET, ja que sense aquesta llavor aquest text no hauria arribat a existir. També hem d'agrair tant el suport com la col.laboració d'en Xavier Solà, n'Oriol Güell i en Miquel Saigí amb els quals hem tingut llargues reunions i discussions sobre GRAFCET i també a na Maria Boix.

Els autors

Barcelona, maig 1993

1. Introducció al GRAFCET

Un automatisme combinacional és aquell en què les sortides en un instant només depenen de les entrades en aquell instant. En canvi un automatisme seqüencial és aquell en què les sortides en cada instant no depenen només de les entrades en aquell instant sinó que també depenen dels estats anteriors i de la seva evolució.

El **GRAFCET** (*Grphe de commande etape-transition*) és un mètode gràfic evolucionat a partir de les xarxes de Petri que permet representar els automatismes seqüencials tant a nivell d'evolució de l'automatisme com a nivell de programa d'autòmat.

És important destacar que el GRAFCET no serveix únicament per a descriure automatismes sinó per explicar qualsevol cosa que sigui seqüencial. Així podria ser útil per explicar una recepta de cuina, un pla d'estudis, un assaig de laboratori, etc.

1.1. Introducció històrica

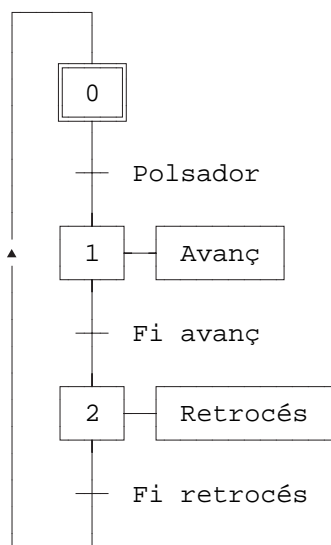
El GRAFCET neix el 1977 de mans d'un grup de treball de l'AFCEC (*Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique*, Associació Francesa per a la Cibernetica Econòmica i Tècnica) creat l'any 1975. El mes de juny de l'any 1982 es crea la norma francesa **UTE NF C 03-190** (*Diagramme fonctionnel "GRAFCET" pour la description des systèmes logiques de commande*).

La creació del GRAFCET va ser necessària, entre altres motius, per les dificultats que comportava la descripció d'automatismes amb diverses etapes simultànies emprant el llenguatge normal. Dificultats similars apareixen en intentar fer aquesta descripció amb diagrames de flux o emprant els llenguatges informàtics d'ús habitual.

L'any 1988 el GRAFCET és reconegut per una norma internacional, la IEC-848 (*Preparation of function charts for control systems*, Preparació de diagrames funcionals per a sistemes de control) amb els noms de *Function Chart*, *Diagramme fonctionnel* o Diagrama funcional. La norma IEC no reconeix el nom GRAFCET perquè les traduccions poden donar lloc a ambigüitats.

1.2. Principis del GRAFCET

Un GRAFCET és una successió d'**etapes**. Cada etapa té les seves **accions** associades de forma que quan aquella etapa és activa s'executaran les corresponents accions si les condicions que les afecten són certes però aquestes accions no podran executar-se mai si l'etapa no és activa.



Entre dues etapes hi ha una **transició**. A cada transició li correspon una **receptivitat**, és a dir una condició que s'ha de complir per a poder passar la transició. Una transició és **vàlida** quan l'etapa immediatament anterior a ella és activa. Quan una transició és vàlida i la seva receptivitat associada es compleix es diu que la transició és **franquejable**.

En franquejar una transició es desactiven les seves etapes anteriors i s'activen les posteriors.

En el GRAFCET de la figura hi ha 3 etapes (0, 1 i 2) de les quals la 0 és l'etapa inicial (la que s'activa en la posta en marxa). Inicialment està activa l'etapa 0 fins que hom prem el pulsador; llavors passem a l'etapa 1 en la qual el cilindre avança. Quan acaba l'avanç del cilindre passem a l'etapa 2 on comença el retrocés. Quan acaba el retrocés tornem a l'etapa 0 i esperem que algú torni a prémer el pulsador.

1.3. Utilització del GRAFCET

El GRAFCET pot emprar-se per a descriure els tres nivells d'especificacions d'un automatisme. Aquests tres nivells són els que habitualment s'empren per a dissenyar i per a descriure un automatisme.

1.3.1. GRAFCET de nivell 1: Descripció funcional

En el primer nivell interessa una descripció global (normalment poc detallada) de l'automatisme que permeti comprendre ràpidament la seva funció. És el tipus de descripció que faríem per explicar el que volem que faci la màquina a la persona que l'ha de dissenyar o el que emprariem per justificar a les persones amb poder de decisió a l'empresa la necessitat d'aquesta màquina.

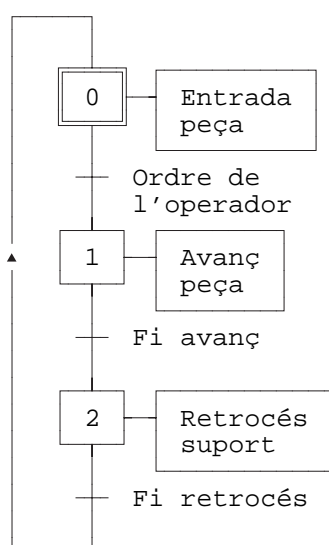
Aquest GRAFCET no ha de contenir cap referència a les tecnologies emprades; és a dir no s'especifica com fem avançar la peça (cilindre pneumàtic, motor i cadena, cinta transportadora, etc.), ni com detectem la seva posició (fi de cursa, detector capacitiu, detector fotoelèctric, etc.), ni tan sols el tipus d'automatisme emprat (autòmat programable, pneumàtica, ordinador industrial, etc.).

1.3.2. GRAFCET de nivell 2: Descripció tecnològica

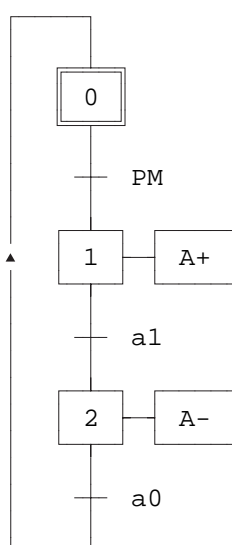
En aquest nivell es fa una descripció a nivell tecnològic i operatiu de l'automatisme. Queden perfectament definides les diferents tecnologies emprades per a cada funció. El GRAFCET descriu les tasques que han de realitzar els elements triats. En aquest nivell completem l'estructura de la màquina i ens falta l'automatisme que la controla.

1.3.3. GRAFCET de nivell 3: Descripció operativa

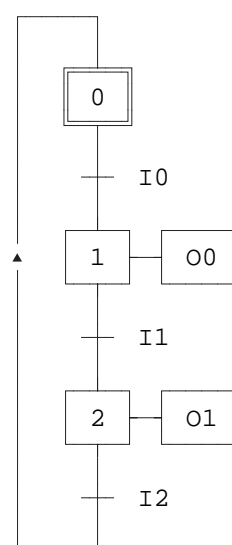
En aquest nivell s'implementa l'automatisme. El GRAFCET definirà la seqüència d'actuacions que realitzarà aquest automatisme. En cas que es tracti, per exemple, d'un autòmat programable definirà l'evolució de l'automatisme i l'activació de les sortides en funció de l'evolució de les entrades.



GRAFCET nivell 1



GRAFCET nivell 2

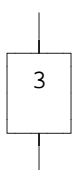


GRAFCET nivell 3

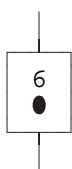
2. Elements de treball i principals estructures

2.1. Elements de treball

Una etapa caracteritza el comportament invariant d'una part o de la totalitat del sistema representat; correspon a una situació elemental que implica un comportament estable.



Una etapa del GRAFCET es representa mitjançant un quadrat identificat per un número; en aquest cas s'ha representat l'etapa 3. No hi pot haver dues etapes amb el mateix número però tampoc cal que siguin consecutius ni que respectin cap ordre. L'entrada a una etapa és sempre per la part superior i la sortida per la part inferior.



Una etapa pot estar activa o inactiva. Quan representem l'estat d'un GRAFCET en un instant determinat podem representar les etapes actives amb un punt al seu interior; en aquest cas l'etapa 6 és activa. En representar el GRAFCET en un instant estem representant el sistema en aquell instant. Un GRAFCET pot tenir diverses etapes actives simultàniament.



Un quadrat amb línia doble simbolitza una etapa inicial del GRAFCET; en aquest cas l'etapa 7. Les etapes inicials són les que s'activen en inicialitzar el GRAFCET. Un cop s'ha inicialitzat el GRAFCET, les etapes inicials actuen com a etapes normals. Hi pot haver tantes etapes inicials com es desitgi però com a mínim una. Poden estar situades en qualsevol lloc dins el GRAFCET.

Les transicions representen la possibilitat d'evolució d'una etapa a la següent; aquesta evolució es produeix en franquejar la transició. El franquejament d'una transició implica un canvi en la situació d'activitat de les etapes.

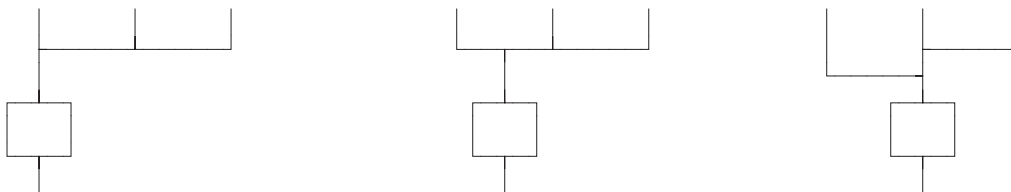


Les transicions es representen amb un traç perpendicular a la línia que uneix dues etapes consecutives. Una transició està validada quan totes les etapes immediatament anteriors són actives.

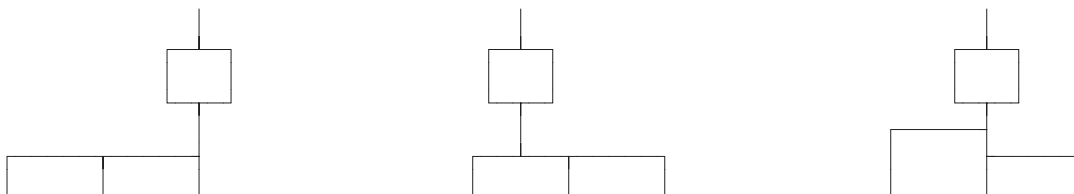


Si la descripció d'un GRAFCET ho requereix, poden numerar-se les transicions amb un nombre entre parèntesis a l'esquerra del traç que representa la transició.

Una etapa pot tenir més d'una entrada. A continuació s'han representat tres casos en què una etapa té tres entrades.



Una etapa pot tenir més d'una sortida. A continuació s'han representat tres casos en què una etapa té tres sortides.



Cal evitar aquelles representacions que puguin induir confusions, com per exemple les següents en les quals es pot dubtar si hi ha o no connexió entre la línia vertical i la horitzontal.

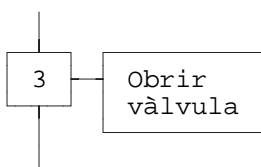


Els camins que uneixen una etapa amb una altra es dibuixen habitualment en sentit vertical encara que per resoldre algunes representacions cal dibuixar-ne una part en sentit horitzontal o en diagonal. Mentre no s'especifiqui el contrari, l'evolució d'un camí sempre és en sentit descendent, és a dir de dalt a baix. En la figura adjunta s'ha representat un camí que evoluciona en sentit vertical ascendent.

2.1.1. Accions associades a les etapes

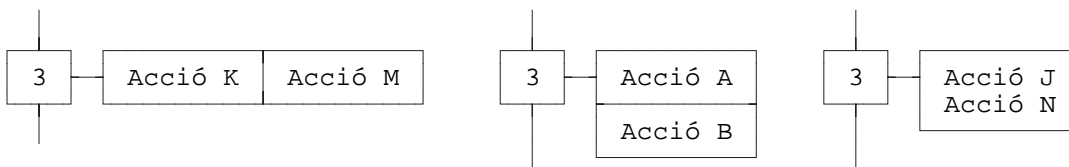
Atès que una etapa implica un comportament estable, habitualment les etapes tindran accions associades. Les accions representen allò que cal fer mentre l'etapa és activa. Les accions associades a una etapa poden ser de tipus extern o de tipus intern; les primeres impliquen l'emissió d'ordres cap al sistema que s'està controlant mentre que les internes afecten a funcions pròpies del sistema d'automatització (activació d'un temporitzador, increment d'un comptador, etc.).

En alguns casos interessa emprar etapes sense cap acció. Les aplicacions més corrents són aquelles en què el sistema està esperant que es produeixi una determinada circumstància.

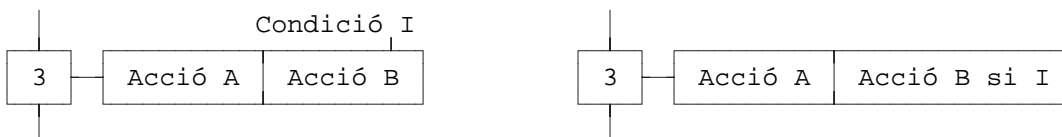


Les accions es representen com a rectangles units per un traç amb l'etapa a què estan associades. El rectangle pot tenir les dimensions necessàries per tal que s'hi pugui indicar l'acció a realitzar. En aquest cas l'acció associada a l'etapa 3 és l'obertura d'una determinada vàlvula.

Segons el tipus de GRAFCET que estem realitzant, les accions es poden escriure en forma literal (tancar vàlvula, avançar cilindre, etc.) o en forma simbòlica (XBR, SL1, etc.), en aquest segon cas caldrà una taula on s'indiqui el significat dels símbols emprats. En cas que una etapa tingui més d'una acció es poden representar de diverses formes, com mostren les figures següents.



Les accions poden estar condicionades. Quan una acció està condicionada només s'executa mentre l'etapa és activa i, a més, es verifica la condició. En les figures següents s'han dibuixat dues formes de representar que l'etapa 3 té dues accions de les quals l'acció B té una condició (condició I).



2.1.2. Receptivitats associades a les transicions

Anomenem receptivitat a la condició que es requereix per a poder franquejar una transició vàlida. Una receptivitat pot ser certa o falsa i es pot descriure en forma literal (acabat retrocés, temperatura assolida, etc.) o en forma simbòlica (SA1, BQ3, etc.), en aquest segon cas caldrà una taula on s'indiqui el significat dels símbols emprats.

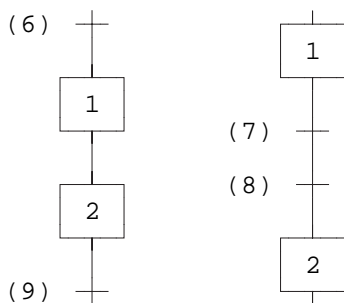
Una receptivitat pot estar composta per una sola dada o per una equació booleana que inclogui diverses dades. Mentre el resultat de l'equació booleana sigui 0 (fals) la transició no podrà ser franquejada i sí podrà ser-ho quan el resultat sigui 1 (cert). Les dades que componen l'equació booleana d'una receptivitat poden ser externes o internes; les primeres impliquen la comprovació d'estats en el sistema que s'està controlant mentre que les internes depenen de funcions pròpies del sistema d'automatització (finalització d'una temporització, assoliment de la preselecció per part d'un comptador, etc.).

Alguns exemples de receptivitats podrien ser els següents:

Temp > 30°C	Certa si la temperatura és superior a 30°C
C12	Certa si el comptador 12 ha assolit la preselecció
SL3 + SB2	Certa si SL3 o SB2 activats (indistintament)
SL2 · $\overline{\text{SB4}}$	Certa si SL2 activat i SB4 desactivat (simultàniament)
= 1	Receptivitat sempre certa
BQ2 · (SL1 + SA1)	Certa si BQ2 activat i també SL1 o SA1

A part d'una equació booleana, les receptivitats poden expressar-se en forma de text o mitjançant dibuixos normalitzats (diagrames de relès, portes lògiques, etc.); el fet de triar un o altre mètode dependrà dels gustos de la persona que dissenya el GRAFCET i de les possibilitats de l'autòmat a programar.

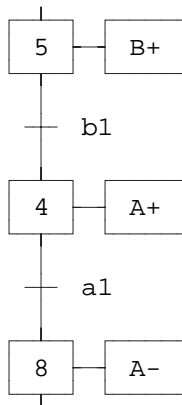
2.2. Regles de sintaxi



No hi pot haver mai dues transicions consecutives sense una etapa enmig ni dues etapes consecutives sense transició intermitja. Així doncs les dues figures adjuntes representen dos GRAFCET incorrectes; al primer li manca una transició entre les etapes 1 i 2 (o cal posar totes les accions a una de les dues etapes) i al segon una etapa entre les transicions 7 i 8 (que pot ser una etapa sense acció associada, si així es desitja) o cal fer una i lògica entre totes les condicions (a la mateixa transició).

2.3. Estructures bàsiques

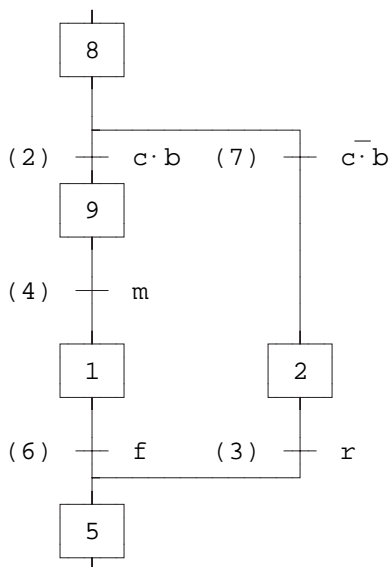
A continuació descriurem les estructures més habituals del GRAFCET. A part d'aquestes estructures se'n poden emprar altres com veurem més endavant.



2.3.1. Seqüència

Una seqüència és una successió alternada d'etapes i transicions en què les etapes es van activant una rera l'altra.

Una seqüència és activa quan, com a mínim, una de les seves etapes és activa. Una seqüència és inactiva quan totes les seves etapes són inactives.



2.3.2. Selecció de seqüència

A partir d'una determinada etapa, hi ha dues (o més) seqüències entre les quals cal triar en funció de les transicions. No és necessari que les diverses seqüències tinguin el mateix nombre d'etapes.

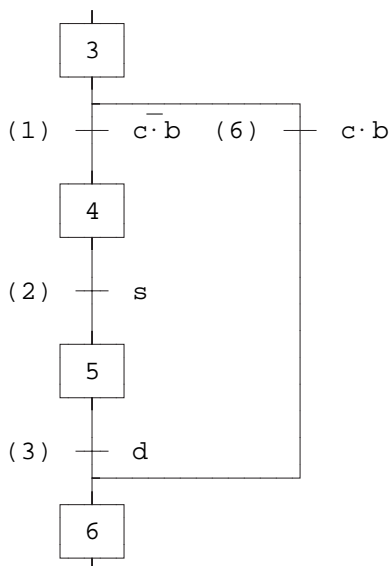
En la figura adjunta, si estem en l'etapa 8 i b és certa anirem per la seqüència de la dreta si c és falsa i per la de l'esquerra si c és certa. Les dues seqüències conflueixen en l'etapa 5.

En la selecció de seqüència és imprescindible que les receptivitats associades a les transicions de selecció, en l'exemple les transicions (2) i (7), siguin excloents, és a dir no puguin ser certes simultàniament; per tant les seqüències són alternatives.

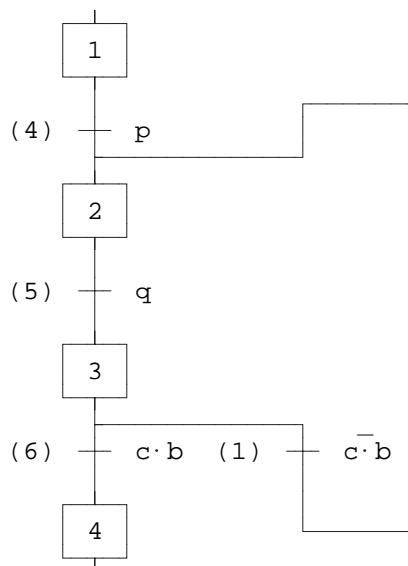
2.3.3. Salt d'etapes

És un cas particular de selecció entre dues seqüències en què una de les seqüències no té cap etapa.

En la figura de l'esquerra, si estem en l'etapa 3 i es compleix b no s'activaran les etapes 4 i 5 si c és certa.



Salt d'etapes

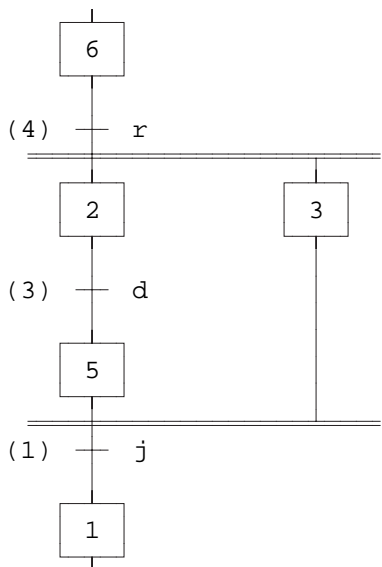


Repetició de seqüència

2.3.4. Repetició de seqüència

És un cas particular del salt d'etapes en què el salt es realitza en sentit ascendent de forma que es repeteix la seqüència d'etapes anterior al salt.

En la figura anterior dreta, s'anirà repetint la seqüència formada per les etapes 2 i 3 fins que c sigui certa.



2.3.5. Paral·lelisme estructural

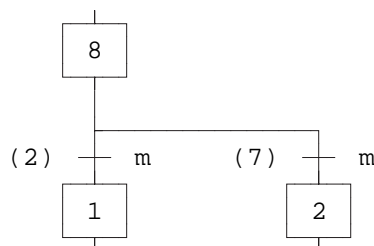
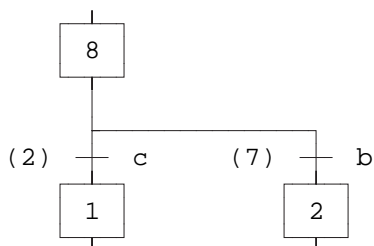
A partir d'una determinada etapa, hi ha dues (o més) seqüències que s'executen simultàniament. No és necessari que les diverses seqüències tinguin el mateix nombre d'etapes.

L'inici de seqüències paral·leles s'indica amb una línia horitzontal doble després de la transició corresponent. De forma similar el final de les seqüències paral·leles s'indica amb una altra línia horitzontal doble abans de la transició corresponent; aquesta transició només és vàlida quan totes les etapes immediatament anteriors són actives.

En la figura adjunta, en franquejar la transició (4), s'activaran les etapes 2 i 3 i les dues seqüències funcionaran simultàniament. La transició (1) només serà vàlida quan estiguin actives les etapes 3 i 5.

2.3.6. Paral·lelisme interpretat

El paral·lelisme interpretat apareix quan una etapa té dues (o més) sortides i les transicions corresponents no són exclusives.



En la figura de l'esquerra si c i b són certes en l'instant en què les transicions (2) i (7) es fan vàlides, s'activaran les etapes 1 i 2 simultàniament. Així doncs si a l'estructura de selecció de seqüència no es garanteix que les receptivitats són excloents es tindrà un paral·lelisme interpretat en el cas que ambdues receptivitats es facin certes al mateix temps o en el cas que ambdues siguin certes quan es validen les corresponents transicions.

En algunes ocasions aquesta situació es força intencionadament com en el cas de la figura de la dreta que sempre dona lloc a seqüències paral·leles.

Hi ha una diferència molt important quan convergeix el paral·lelisme. Fixem-nos que a la figura de sota a l'esquerra la transició no és vàlida (i, per tant, no es pot passar a l'etapa 1) si no són actives les etapes 2 i 3; en canvi a la dreta es passarà d'1 a 5 quan f sigui certa (i l'etapa 1 activa) encara que 2 no estigui activa. D'aquesta forma la seqüència comuna pot continuar evolucionant i quan 2 estigui activa i r sigui certa es tornarà a activar 5. Així cada cop que es realitzi el paral·lelisme apareixerà una nova etapa activa al GRAFCET.



2.4. Accions i receptivitats condicionades per etapes

Sovint interessarà imposar com a condició per a una receptivitat o una acció el fet que una etapa estigui activada o desactivada. Per indicar una etapa ho farem amb la lletra X. Així en la figura de l'esquerra la transició serà vàlida mentre l'etapa 20 estigui activa i en la figura de la dreta només es realitzarà l'acció quan estiguin actives simultàniament les etapes 3 i 12.



2.5. Accions i receptivitats condicionades pel temps

En molts casos cal emprar condicions que depenen del temps. Això pot fer-se d'una de les següents dues formes:

- Activar un temporitzador dins l'etapa amb una preselecció determinada i prendre com a condició l'assoliment de la preselecció.
- Activar un temporitzador dins l'etapa i prendre com a condició la comparació entre el valor actual (acumulat) del temporitzador i un valor de referència.

El GRAFCET té, però, prevista una forma de considerar el temps. Hi ha dues notacions per a referir-se al temps.

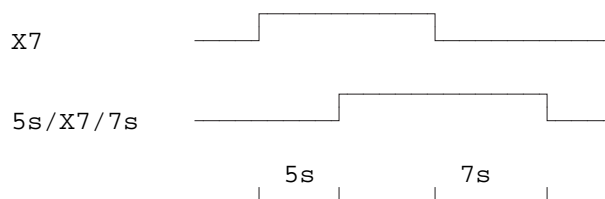
La primera notació estableix que la condició dependent del temps consta de la lletra t seguida d'una barra, després hi ha el nombre d'etapa que es pren en consideració, una nova barra i el temps a considerar. Aquesta condició és certa quan el temps transcorregut des de la darrera activació de l'etapa indicada supera el temps fixat.

Per exemple la condició $t/7/5s$ serà certa quan hagin passat 5 segons des de la darrera activació de l'etapa 7.



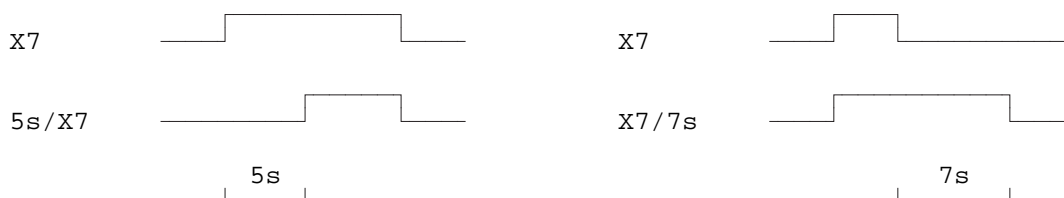
La segona notació (IEC-848) estableix que la condició dependent del temps consta d'un primer temps (que anomenem t_1) seguit d'una barra, després hi ha una variable qualsevol, una nova barra i el segon temps a considerar (que anomenem t_2). Aquesta condició passa de falsa a certa quan el temps transcorregut des de la darrera activació de la variable indicada supera el temps t_1 i passa de certa a falsa quan ha transcorregut un temps t_2 des de la desactivació de la variable considerada.

Per exemple la condició $5s/X7/7s$ passarà a ser certa quan hagin passat 5 segons des de la darrera activació de l'etapa 7 i tornarà a falsa quan hagin passat 7 segons de la desactivació de l'etapa 7.



En cas que un dels dos temps (t_1 o t_2) sigui nul té preferència la notació simplificada.

Per exemple la condició $5s/X7$ passarà a ser certa quan hagin passat 5 segons des de la darrera activació de l'etapa 7 i tornarà a falsa quan es desactivi l'etapa 7. En canvi la condició $X7/7s$ passarà a ser certa quan s'activi l'etapa 7 i tornarà a falsa quan hagin passat 7 segons de la desactivació de l'etapa 7.



Ambdues notacions són molt diferents i no hi ha equivalències entre una i l'altra.

2.6. Receptivitats condicionades per flancs

Fins ara hem emprat sempre condicions booleanes per a les receptivitats però sovint és necessari tenir en compte el canvi d'estat d'una variable en lloc de l'estat real.

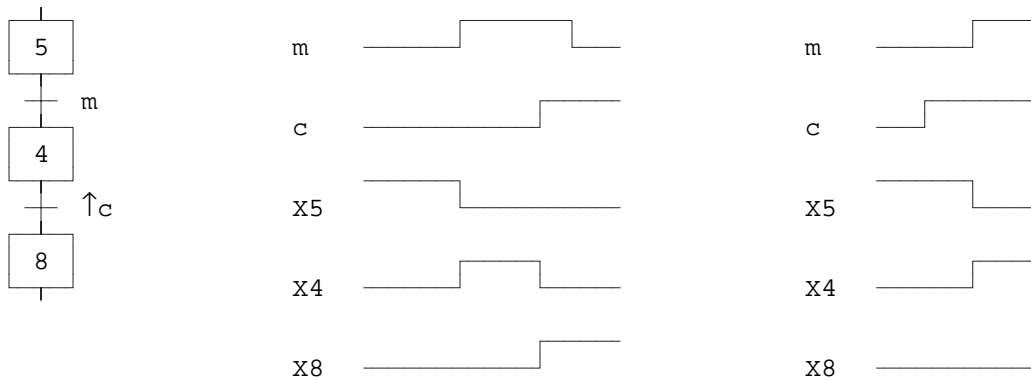


En aquest cas la receptivitat és certa en l'instant en què la variable c passa de desactivada a activada. Si la transició és vàlida quan c passa de desactivada a activada la transició es franquejarà; en cas que la transició es faci vàlida després del canvi d'estat de a , no serà franquejada.

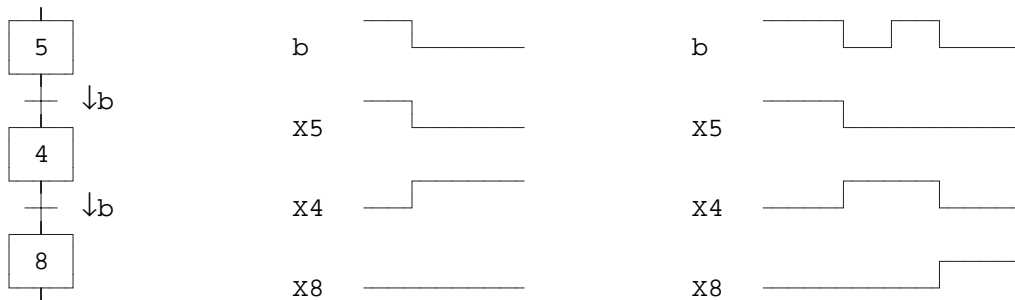


En aquest cas la receptivitat és certa en l'instant en què la variable b passa d'activada a desactivada. Si la transició és vàlida quan b passa d'activada a desactivada la transició es franquejarà; en cas que la transició es faci vàlida després del canvi d'estat de b , no serà franquejada.

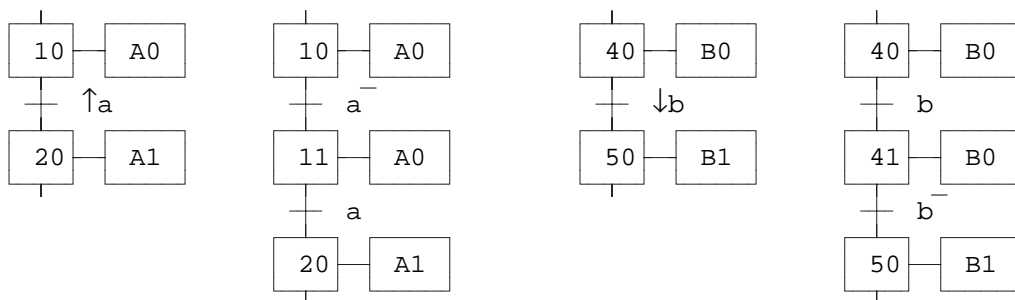
Els següents exemples mostren com en el cas de receptivitats condicionades per flanc, només es té en compte el valor de la variable si el canvi d'estat es produeix quan la transició és vàlida. Així veiem un GRAFCET en què la transició entre les etapes 4 i 8 està condicionada pel flanc de pujada de la variable a ; en el primer cas el flanc arriba quan l'etapa 4 és activa i, per tant, es passa a la 8 mentre que en el segon cas el flanc arriba quan encara és activa l'etapa 5 i, per tant, només es passa a l'etapa 4 i no a la 8 malgrat la variable c està activada.



En l'exemple següent tenim un GRAFCET en què la transició entre les etapes 5 i 4 està condicionada pel flanc de baixada de la variable b, exactament igual que la transició entre les etapes 4 i 8; en el primer arriba només un flanc que fa passar de l'etapa 5 a la 4 però com quan arriba el flanc l'etapa 4 no és activa, la transició següent no és vàlida i no pot passar a l'etapa 8 fins que arribi un altre flanc. En canvi en el segon arriben dos flancs seguits cosa que permet passar primer a l'etapa 4 i després a la 8.



En cas que es desitgi emprar receptivitats booleanes pot tenir-se en compte que els GRAFCET següents són equivalents dos a dos.



2.7. Representació de GRAFCETs complexos

Quan un GRAFCET és gran o complex es fa difícil representar-lo i sovint hi ha més d'una forma de representar-lo. En aquests casos cal fer sempre la representació en aquella forma en què el GRAFCET sigui més simple i fàcil de seguir.

A vegades, com més endavant veurem en alguns exemples, la forma més simple d'un GRAFCET no té les etapes inicials situades en la part superior.

Quan un GRAFCET es complica o no cap en un sol full de paper són necessaris els reenviaments. Hi ha persones que prefereixen no traçar mai camins de recorregut ascendent i prefereixen substituir-los per reenviaments.

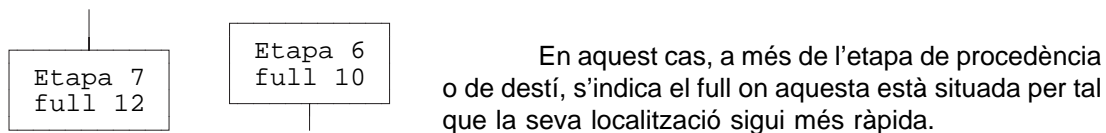
Per als casos en què el GRAFCET no sigui molt complex podem emprar:

- 7

Representa un reenviament. El GRAFCET continuarà en l'etapa indicada, en aquest cas la 7, si les transicions corresponents són vàlides.
- 6

Representa l'arribada des d'un reenviament. En aquest cas ve de l'etapa 6.

En canvi quan el GRAFCET ocupa uns quants fulls pot ser preferible:



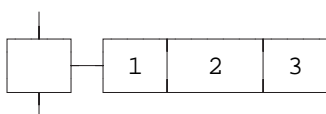
En fer un reenviament s'ha de trencar la seqüència etapa-transició-etapa; és preferible trencar sempre pel punt transició-etapa que pel punt etapa-transició ja que és preferible representar juntes les transicions amb les etapes que les validen.

En aquells casos en què un reenviament va destinat a diverses etapes (paralelisme, selecció de seqüència, etc.), s'agafa sempre com a referència de destí l'etapa representada més a l'esquerra. Igualment en aquells casos en què un reenviament parteix de diverses etapes, s'agafa també com a referència d'origen l'etapa representada més a l'esquerra.

2.8. Representació de les accions segons IEC-848

La norma IEC-848 (*Preparation of function charts for control systems*, Preparació de diagrames funcionals per a sistemes de control) presenta una forma general de descripció de les accions associades a les etapes.

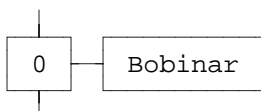
Una acció genèrica es representarà com a la figura següent on la casella 2 conté la descripció de l'acció, la casella 3 conté l'etiqueta que indica la referència del senyal de comprovació de l'execució i la casella 1 indica les característiques lògiques que relacionen la realització de l'acció amb l'activació de l'etapa, segons la taula següent. Només cal representar les caselles 1 i 3 en cas que siguin necessàries.



C	Acció condicionada
D	Acció retardada
L	Acció limitada en el temps
P	Acció impulsional
S	Acció memoritzada

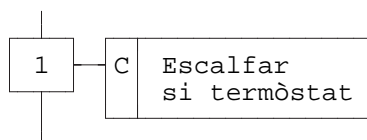
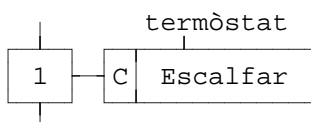
La tercera casella s'empra poc sovint. Es tracta d'assenyalar (amb una etiqueta alfanumèrica) quina de les condicions indicades a la receptivitat immediatament posterior a l'etapa indica que l'acció s'està executant.

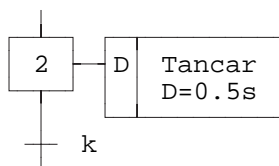
Anem a veure alguns exemples d'aplicació.



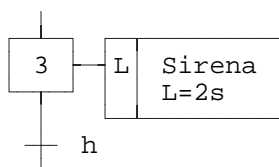
Correspon al cas més simple, mentre estigui activa l'etapa 0, la màquina ha de bobinar i deixar de fer-ho quan es desactivi l'etapa.

En el cas que es representa a continuació no s'escalfarà mentre estigui activa l'etapa 1 sinó només quan, a més d'estar l'etapa activa, el termòstat estigui activat. Per exemple en el control d'un forn hi ha una etapa de cocció (etapa 1) però el cremador no ha d'estar sempre activat sinó només el necessari per a mantenir la temperatura. Podem representar la condició fora el rectangle (esquerra) o dins (dreta).

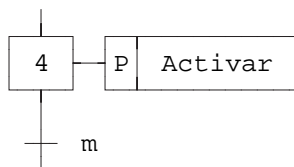




Es començarà a tancar després de mig segon comptat des de l'activació de l'etapa 2. Es deixarà de tancar quan es desactivi l'etapa 2. Si l'etapa es desactiva abans dels 0.5 s no s'ha de tancar.

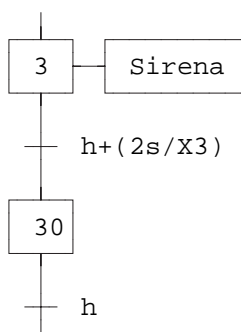
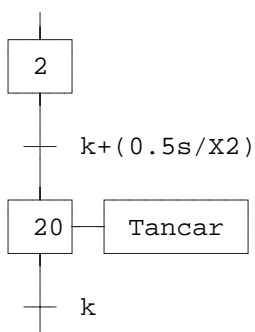


La sirena ha de començar a sonar quan s'activi l'etapa 3 i sonarà durant 2 segons excepte en el cas que l'etapa 3 es desactivés abans, en quin cas la sirena deixaria de sonar en desactivar-se l'etapa. L'acció impulsional (lletra P) correspon a una acció limitada a un temps molt curt.

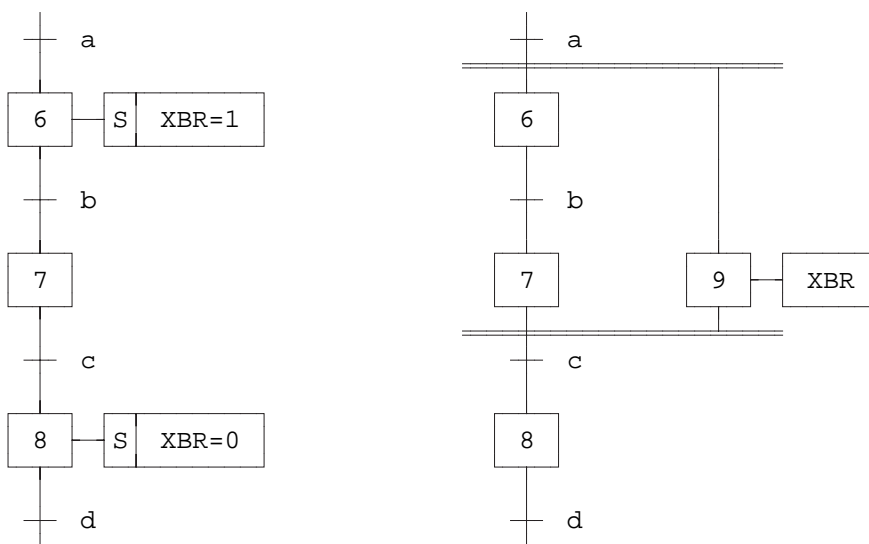


L'acció d'activar començarà quan s'activi l'etapa 4 i es desactivarà immediatament. La durada dels impulsos serà sempre un temps molt petit però suficient per aconseguir l'efecte desitjat.

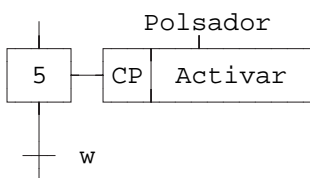
Els dos casos d'acció retardada i acció limitada es poden representar amb un GRAFCET que només tingui accions senzilles, com mostren les figures següents. Fixem-nos que cal preveure el cas que la receptivitat final (k o h) sigui certa abans del transcurs del temps.



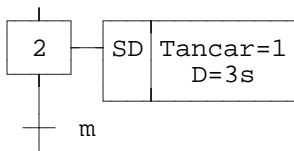
Les accions memoritzades impliquen que en una etapa determinada s'activa una acció i aquesta acció es desactiva en una altra etapa. En l'exemple següent (figura de l'esquerra s'activa XBR en l'etapa 6 (XBR=1) i es desactiva en la 8 (XBR=0). Les accions memoritzades poden representar-se mitjançant paral·lelisme com es pot veure a la figura de la dreta.



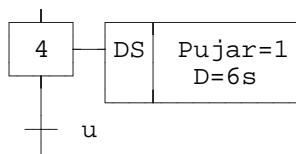
La primera casella pot contenir més d'una lletra. Llavors l'ordre en que es troben les lletres a la casella indica l'ordre en que s'han de realitzar les funcions indicades. En alguns casos aquest ordre no té importància però en altres pot ser decisiu.



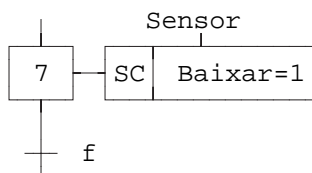
L'acció d'activar començarà quan s'activi l'etapa 5 si el polsador està premut (si no està premut, en activar-se l'etapa no hi haurà impuls) i es desactivarà immediatament. Es produirà un impuls cada cop que, mentre estigui activada l'etapa 5, hom premi el polsador.



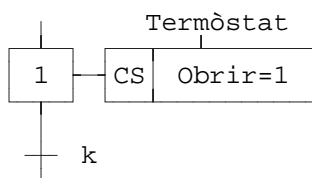
En activar-se l'etapa 2 es memoritza (S) i comença el retard. L'acció de tancar s'iniciarà al cap de 3 segons de l'activació de l'etapa 2 encara que aquesta estigui desactivada. Convé observar que si apareix "Tancar=0" abans dels 3s l'acció de tancar no es farà.



En activar-se l'etapa 4 comença el retard. Si quan han transcorregut 6s l'etapa 4 està activa començarà l'acció de pujar però no podrà començar si l'etapa 4 està inactiva.



Quan s'activi l'etapa 7 es memoritza (S) i l'acció de baixar es realitzarà cada cop que el sensor s'activi mentre estigui actiu. Deixarà de realitzar-se l'acció quan es trobi un "Baixar=0".



Quan l'etapa 1 sigui activa i, a més, estigui tancat el contacte del termòstat, es memoritzarà l'acció d'obrir que es realitzarà en forma permanent encara que el termòstat canviï d'estat. Deixarà de realitzar-se l'acció quan es trobi un "Obrir=0".

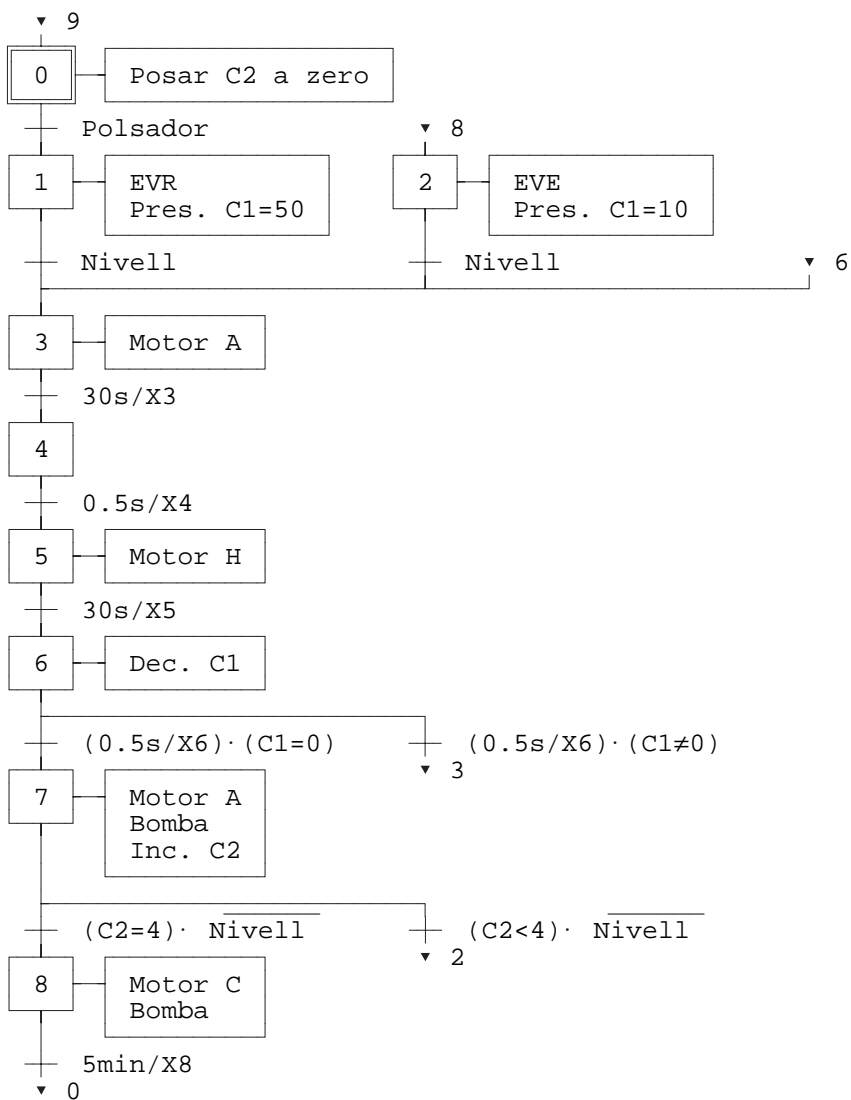
2.9. Exemples

A continuació presentarem dos exemples d'automatització amb GRAFCET per tal de posar en pràctica els conceptes que s'han vist fins ara. El primer exemple correspon a una màquina de rentar roba i el segon a una màquina d'etiquetar llaunes de conserves.

2.9.1. Automatització d'una màquina de rentar roba

Es desitja controlar una màquina de rentar roba amb un programa de rentat en fred. El cicle de funcionament de la màquina serà:

- Per iniciar el cicle hi ha un polsador de posta en marxa. A l'inici del cicle s'omplirà el tambor d'aigua a través de l'electrovàlvula EVR fins que s'activi el detector de nivell. Aquest detector de nivell s'activa quan el tambor és ple d'aigua i es desactiva quan és buit.
- El rentat constarà de 50 cicles. A cada cicle el motor girarà 30 segons en sentit horari (motor H) i 30 més en sentit antihorari (motor A), deixant una pausa de 0.5 segons en cada canvi de sentit.



GRAFCET per automatització d'una màquina de rentar roba

- Després del rentat es buidarà l'aigua del tambor mitjançant una bomba fins que es desactivi el detector de nivell. Mentre funcioni la bomba el tambor girarà (motor A).
- Després del rentat, hi haurà quatre esbandides. Cada esbandida començarà omplint el tambor d'aigua a través de l'electrovàlvula EVE fins que s'activi el detector de nivell. Un esbandida constarà de 10 cicles. A cada cicle el motor girarà 30 segons en cada sentit, deixant una pausa de 0.5 segons en cada canvi de sentit (igual com en el rentat).
- Després de cada esbandida es buidarà l'aigua del tambor mitjançant una bomba fins que es desactivi el detector de nivell. Mentre funcioni la bomba el tambor girarà (motor A).
- Un cop acabat el darrer esbandit, es centrifugarà (motor C) durant 5 minuts. Durant el centrifugat ha de funcionar la bomba de buidat.

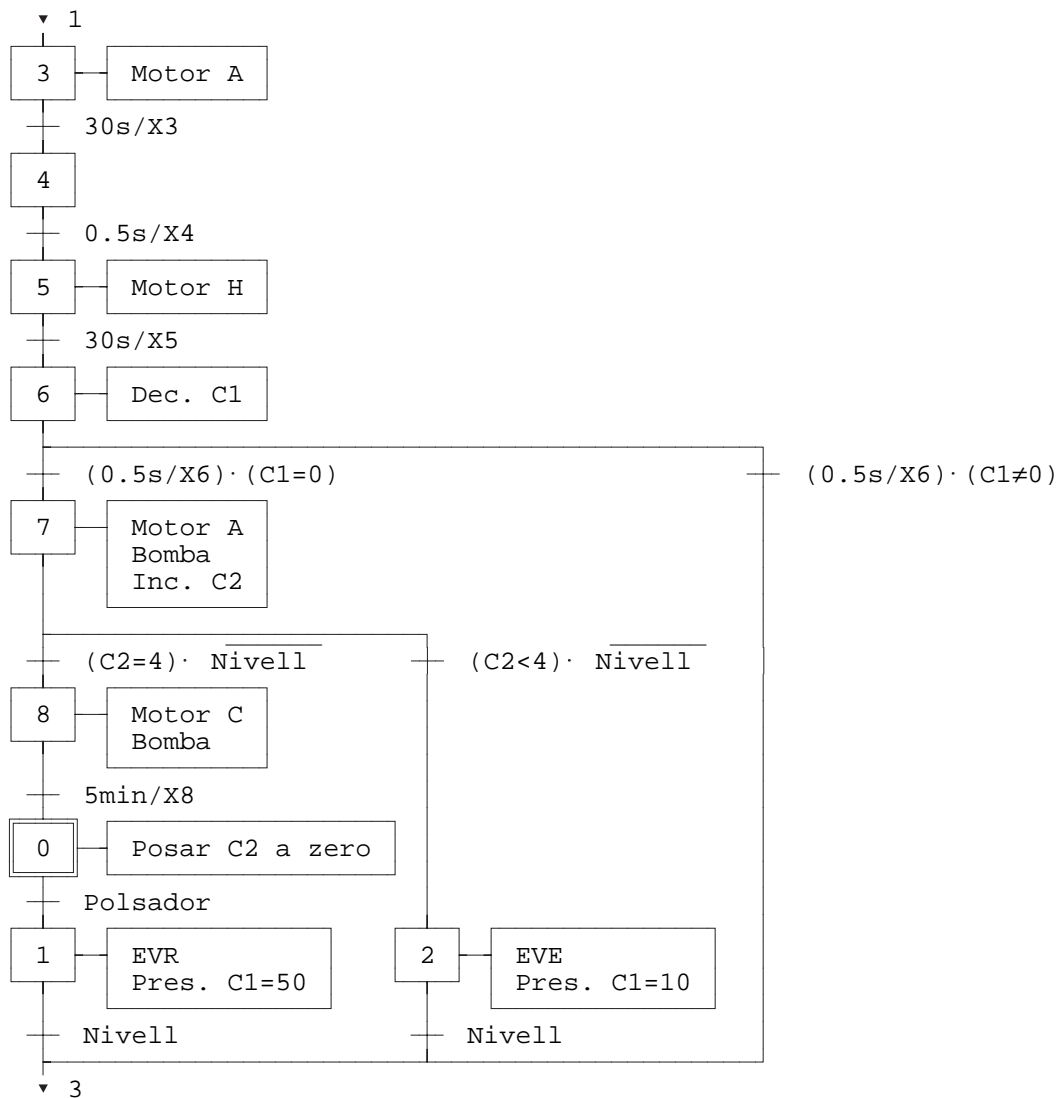
Atès que tant el rentat com l'esbandida segueixen el mateix procés amb l'única diferència del nombre de repeticions i la vàlvula d'entrada d'aigua, s'ha decidit fer un GRAFCET (veure pàgina anterior) amb aquesta part (etapes 3, 4, 5 i 6) comuna. En el rentat l'admissió de l'aigua es fa en l'etapa 1 mentre que en l'esbandida es fa en la 2. El centrifugat (etapa 9) només es fa en acabar el darrer esbandit. El comptador C1 compta el nombre de cicles (50 al rentat i 10 a cada esbandit) i el comptador C2 compta el nombre de cops que s'agafa aigua per esbandir (en rentar $C2=0$).

Aquest GRAFCET es pot dibuixar d'una forma més compacta si l'etapa inicial no es posa al capdamunt. Veiem-ho en la pàgina següent.

2.9.2. Automatització d'una màquina d'etiquetar llaunes

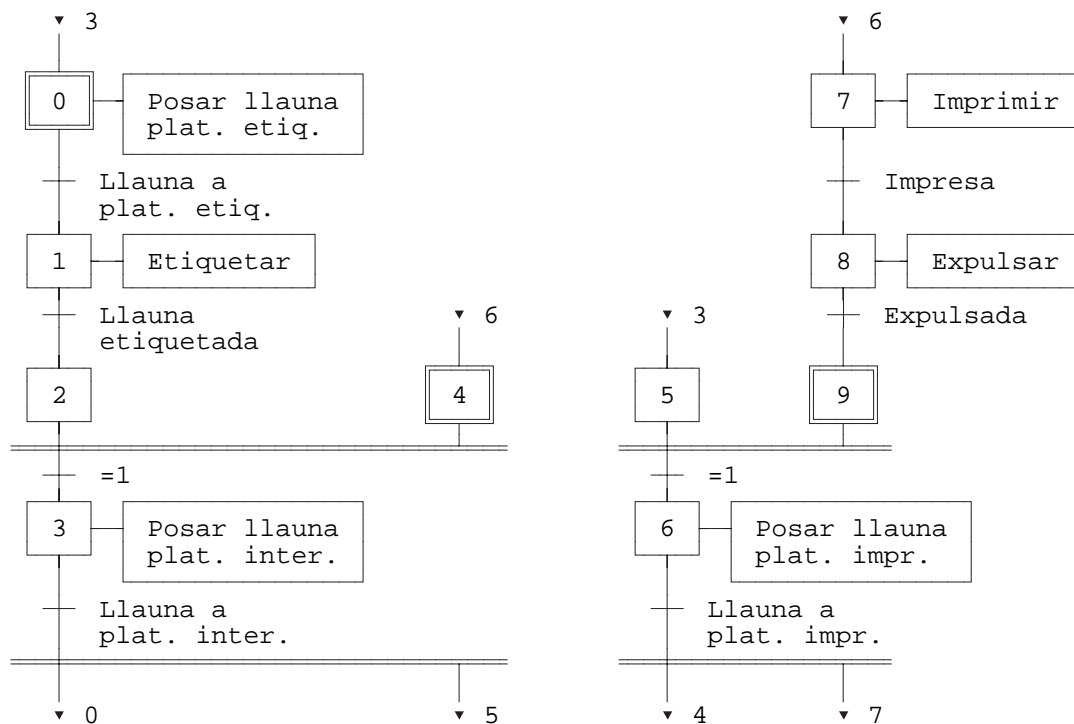
Es tracta d'una màquina que posa l'etiqueta a unes llaunes i després imprimeix la data de fabricació. Les llaunes entren a la màquina i aquesta les posa a la plataforma d'etiquetatge, allà les etiqueta i després les deixa a la plataforma intermitja. Quan la llauna arriba a la plataforma intermitja ja pot posar-ne una nova a la plataforma d'etiquetatge.

La màquina agafa la llauna de la plataforma intermitja i la posa a la plataforma d'impressió i allí els imprimeix la data i seguidament les expulsa. Quan la plataforma intermitja queda lliure, pot posar-hi una nova llauna etiquetada que podrà agafar un cop expulsada la llauna anterior.



Versió compacta del GRAFCET per automatització d'una màquina de rentar roba

Aquest automatisme es pot resoldre de la següent forma, on l'etapa 2 serveix per esperar que la plataforma intermitja estigui buida (etapa 4), l'etapa 4 per esperar a què la llauna estigui etiquetada (etapa 2), l'etapa 9 per esperar a què hi hagi una llauna a la plataforma intermitja (etapa 5) i l'etapa 5 per esperar que la plataforma d'impressió estigui buida (etapa 9).



3. Regles d'evolució

Quan hom dibuixa un GRAFCET pretén descriure un automatisme o qualsevol altre conjunt de successos condicionals i seqüencials. En fer treballar aquest GRAFCET (és a dir, en portar-lo a la pràctica) cal respectar unes regles (regles d'evolució) ja que en cas contrari el funcionament de l'automatisme o del conjunt de successos no seria el que caldria esperar a la vista del GRAFCET representat.

A continuació citarem cada una de les cinc regles del GRAFCET acompanyades d'alguns exemples en els quals és important el compliment de la regla de què s'està discutint.

3.1. Regla 1: Inicialització

En la inicialització del sistema s'han d'activar totes les etapes inicials i nomès les inicials.

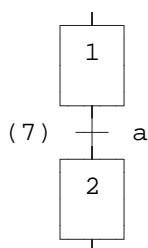
La situació inicial d'un GRAFCET caracteritza tant el comportament inicial del sistema (elements d'acció) com la del control (automatisme). Correspon a l'estat en què s'ha de trobar el sistema en posar en marxa, en connectar l'alimentació, etc.

Habitualment la situació inicial d'un GRAFCET correspon a una situació de repòs o d'aturada segura.

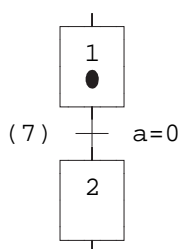
Sovint en la posta en marxa d'una màquina, el control comença per comprovar si aquesta es troba en la situació inicial adequada al funcionament. Si no és així (a causa que l'aturada ha estat d'emergència o causada pel tall de l'alimentació) cal portar el sistema a la situació inicial desitjada abans de passar al funcionament desitjat de l'automatisme.

3.2. Regla 2: Evolució de les transicions

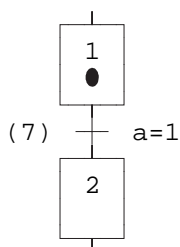
Una transició està validada quan totes les etapes immediatament anteriors a ella són actives. Una transició és franquejable quan està validada i la seva receptivitat associada és certa. Tota transició franquejable ha de ser obligatòriament i immediatament franquejada.



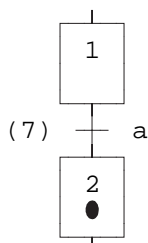
La figura representa una part d'un GRAFCET en un instant determinat. En aquest instant l'etapa 1 no és activa, cosa que fa que la transició (7) no estigui validada independentment de si la receptivitat a és certa o no.



Ara l'etapa 1 està activa, cosa que implica que la transició (7) està validada. El sistema es mantindrà estable en aquesta situació mentre la receptivitat a sigui falsa ($a=0$).



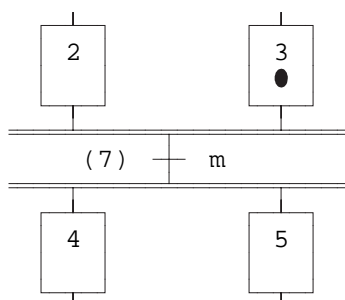
En aquesta situació l'etapa 1 està activa, cosa que implica que la transició (7) està validada. Atès que la receptivitat a és certa ($a=1$), la transició és franquejable i, per tant, ha de ser obligatòriament franquejada. Això implica que **la situació representada és una situació que no pot existir mai** ja que el franquejament de la transició ha de ser immediat a l'activació de a.



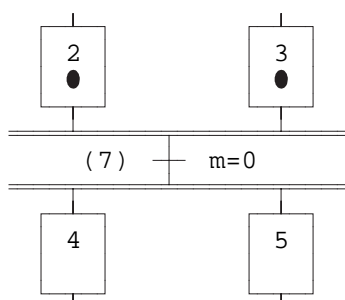
Com a conseqüència de la figura anterior el sistema ha evolucionat franquejant la transició. En franquejar la transició l'etapa 1 ha estat desactivada i l'etapa 2 ha estat activada.

3.3. Regla 3: Evolució de les etapes actives

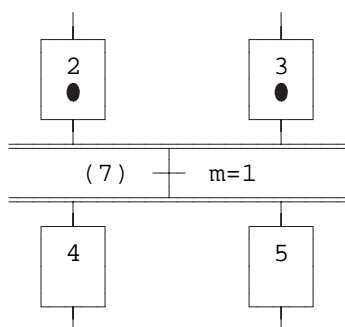
En franquejar una transició cal activar totes les etapes immediatament posteriors i desactivar simultàniament totes les immediatament anteriors.



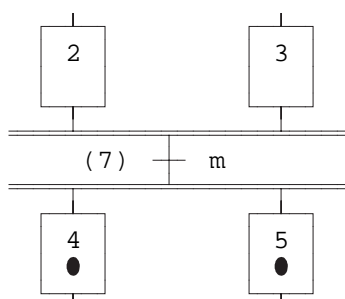
La figura representa una part d'un GRAFCET en un instant determinat. En aquest instant l'etapa 2 no és activa, cosa que fa que la transició (7) no estigui validada encara que l'etapa 3 sí estigui activa i independentment de si la receptivitat m és certa o no.



Ara les etapes 2 i 3 són actives, cosa que implica que la transició (7) està validada. El sistema es mantindrà estable en aquesta situació mentre la receptivitat m sigui falsa (m=0).



En aquesta situació les etapes 2 i 3 són actives, cosa que implica que la transició (7) està validada. Atès que la receptivitat m és certa (m=1), la transició és franquejable i, per tant, ha de ser obligatòriament franquejada. Això implica que **la situació representada és una situació que no pot existir mai** ja que el franquejament de la transició ha de ser immediat a l'activació de m.



Com a conseqüència de la figura anterior el sistema ha evolucionat franquejant la transició (7). En franquejar la transició les etapes 4 i 5 (totes les immediatament posteriors) han estat activades i les etapes 2 i 3 (totes les immediatament anteriors) han estat desactivades. Totes les desactivacions i activacions implicades en el franquejament de la transició s'han de realitzar simultàniament.

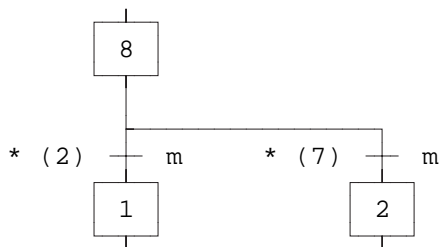
3.4. Regla 4: Simultaneïtat en el franquejament de les transicions

Les transicions simultàniament franquejables han de ser simultàniament franquejades.

L'existència de la quarta regla ens permet la descomposició d'un GRAFCET complex en dos més senzills. En el següent exemple tenim un GRAFCET amb paral·lelisme estructural (figura de l'esquerra) i el descomposem en dos GRAFCETs independents (figura de la dreta) tenint en compte que la receptivitat de cada una de les dues transicions obtingudes ha de considerar l'activació de l'etapa corresponent de l'altre GRAFCET ja que en cas contrari el funcionament de les dues estructures no seria el mateix.



Si no es verificués la quarta regla una de les dues transicions seria franquejada abans que l'altra que deixaria de ser vàlida i, per tant ja no seria franquejable. L'estructura que s'ha presentat a la figura de la dreta és anomenada **segona forma de paral·lelisme interpretat**. Sovint és convenient assenyalar amb un asterisc (*) aquelles transicions en què el compliment de la quarta regla és imprescindible per al correcte funcionament, tal com hem fet a la figura de la dreta.



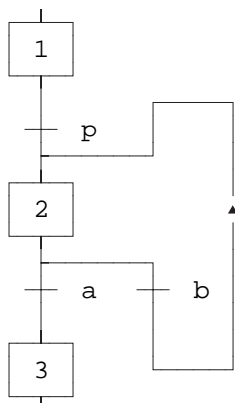
Un altre cas corrent en què és imprescindible el correcte compliment de la quarta regla és el del paral·lelisme interpretat. Si en l'exemple de la figura una de les dues transicions és franquejada abans que l'altra, la segona deixarà d'estar validada i, per tant, no serà franquejada.

3.5. Regla 5: Prioritat de l'activació

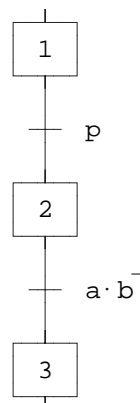
Si en evolucionar un GRAFCET, una etapa ha de ser activada i desactivada al mateix temps, haurà de romandre activa.

Aquesta regla tant simple és la que es deixa de complir amb més facilitat ja que quan s'implanta un GRAFCET sobre un sistema automatitzat (relès, pneumàtica, autòmats programables, etc.) és corrent emprar elements de memòria per emmagatzemar la informació d'activitat de les etapes. Aquests elements de tipus memòria, pensant en la seguretat, tenen habitualment la desactivació com a entrada prioritària; això implica que cal anar amb cura ja que és probable que el funcionament no sigui el correcte.

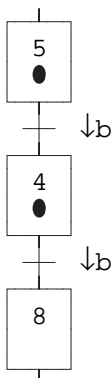
Per sort hi ha pocs casos en què una etapa hagi de ser activada i desactivada al mateix temps. A continuació veiem alguns exemples.



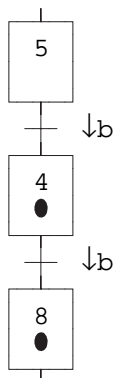
En l'exemple de la figura de l'esquerra, si la receptivitat b és certa cal tornar a l'etapa 2. Quan això succeeixi caldrà desactivar i activar l'etapa 2 simultàniament. Si no es compleix la cinquena regla el GRAFCET es quedarà sense cap etapa activa.



L'estructura presentada no és molt elegant i hi ha formes més simples d'obtenir el mateix funcionament com, per exemple, la de la figura de la dreta.



$b=1$



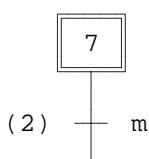
$b=0$

En aquest altre cas és imprescindible el correcte compliment de les regles 4 i 5. Fixem-nos que l'etapa 4 ha de ser desactivada i activada al mateix temps atès que les seves transicions anterior i posterior són franquejables simultàniament. Si no es verifica la cinquena regla, l'etapa 4 quedarà desactivada.

Si no es verificués la quarta regla les transicions no serien franquejades simultàniament i el resultat no seria correcte.

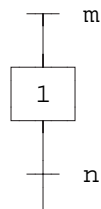
4. Estructures especials

4.1. Etapes i transicions especials

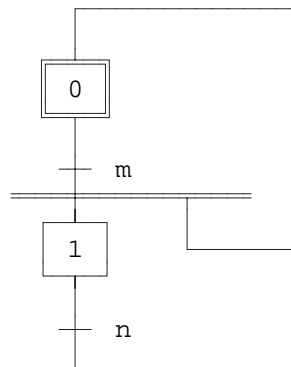


l'etapa font.

La figura adjunta representa una **etapa font**. L'etapa 7 s'activarà en inicialitzar el sistema i es desactivarà quan la receptivitat m sigui certa. No podrà tornar-se a activar fins que hi hagi una nova inicialització del GRAFCET. Equival a una etapa en què la transició anterior a ella és sempre falsa. És possible emprar aquesta estructura amb etapes no inicials sempre que hi hagi un GRAFCET de nivell superior que pugui forçar l'activació de



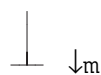
La figura de l'esquerra representa una **transició font**, és a dir una transició sempre validada. Cada cop que la receptivitat m sigui certa l'etapa 1 s'activarà. La transició font és equivalent a la representació de la figura de la dreta.



És recomanable que les transicions font vagin associades a receptivitats condicionades per flanc. En el cas de la figura, l'etapa 1 estarà sempre activa mentre $m=1$ independentment de quin sigui l'estat de la receptivitat n.



La figura adjunta representa una **etapa pou**. Aquesta etapa, un cop activada no es pot desactivar (excepte per forçat des d'un GRAFCET superior). Equival a una etapa en què la transició posterior a ella és sempre falsa. És possible que una etapa sigui font i pou al mateix temps.

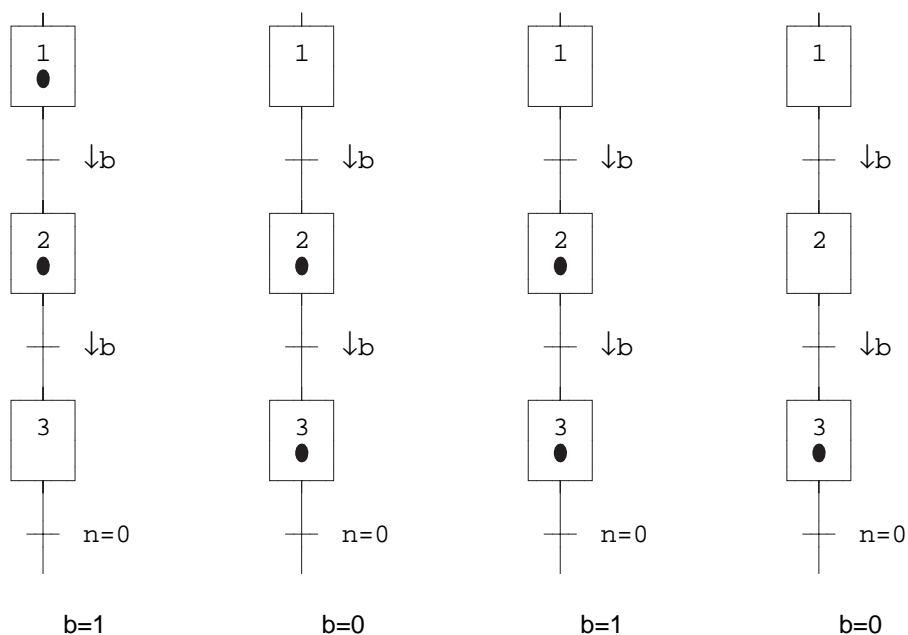


La figura de l'esquerra representa una **transició pou**. Cada cop que la receptivitat sigui certa es desactivarà l'etapa anterior. Equival a una transició seguida d'una etapa pou. És recomanable que les transicions pou vagin associades a receptivitats condicionades per flanc.

4.2. Etapes consecutives actives

En un GRAFCET pot haver-hi diverses etapes consecutives que estiguin actives simultàniament, com ja hem vist en parlar de les regles 4 i 5.

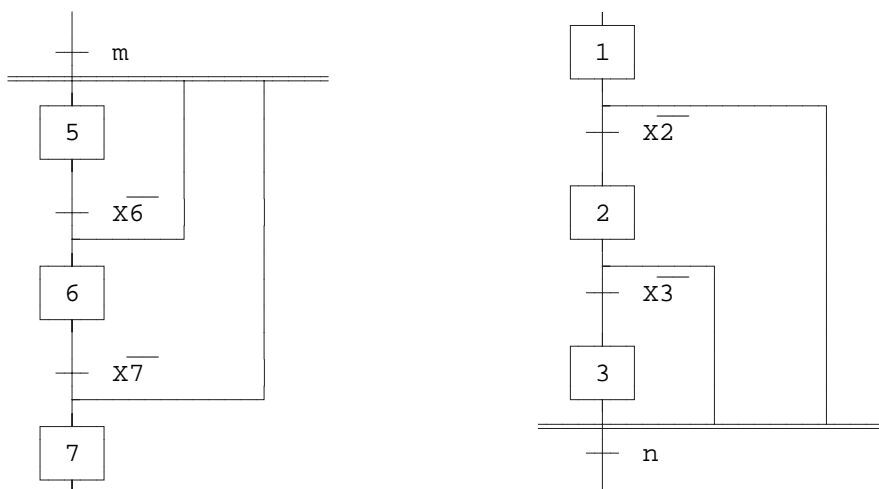
Cal anar amb compte en tractar seqüències en què hi pot haver diverses etapes actives simultàniament. Veiem com a exemple l'evolució següent.



Com hem pogut observar, un GRAFCET amb diverses etapes actives pot passar a tenir-ne només una segons com s'hagin plantejat les receptivitats i segons en quin ordre s'activin les entrades.

Un exemple d'utilització de les etapes consecutives actives pot ser un procés de fabricació en què el nombre de peces en procés per la màquina sigui molt variable i cada una d'elles estigui en punts diferents de la màquina; en aquest cas un possible tractament seria que l'inici del GRAFCET fos en una transició font i el final en una etapa pou.

En un altre cas una màquina ha d'empaquetar tres peces després de fer un determinat tractament en elles. Les figures següents presenten una forma d'iniciar (esquerra) i una forma d'acabar (dreta) la cadena de tractaments.

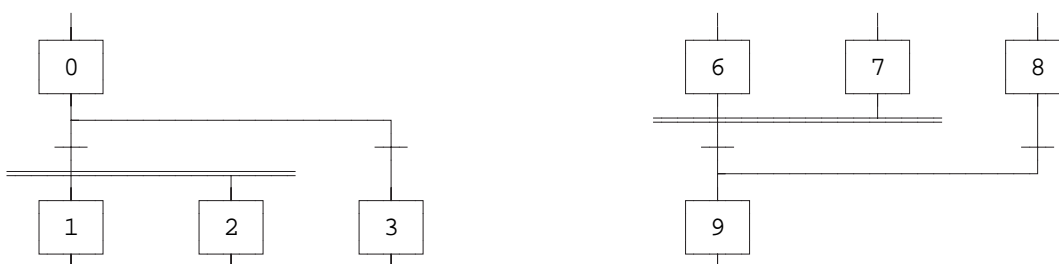


En la representació de l'esquerra, quan la receptivitat m sigui certa s'activaran les etapes 5, 6 i 7 corresponents a les tres peces que comencen el cicle. Amb les receptivitats indicades cada peça esperarà a iniciar un tractament fins que l'hagi acabat l'anterior.

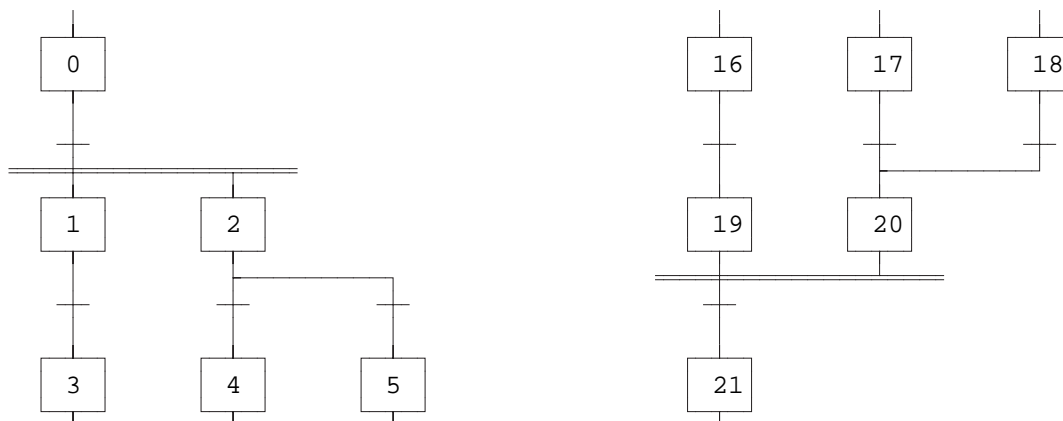
En la representació de la dreta, quan les peces vagin acabant els seus tractaments s'aniran activant les etapes 1, 2 i 3 de manera que quan hi hagi tres peces (etapes 1, 2 i 3 actives) es validarà la transició n .

4.3. Selecció de seqüència combinada amb paral·lelisme

En ocasions pot ser necessari iniciar un paral·lelisme immediat a una selecció de seqüències o una selecció de seqüències immediata a un paral·lelisme. En el primer cas tant l'inici com el final de l'esmentada estructura no representen cap problema, cosa que demostren les figures següents.



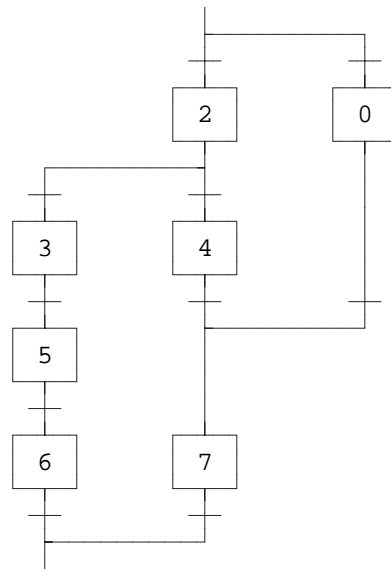
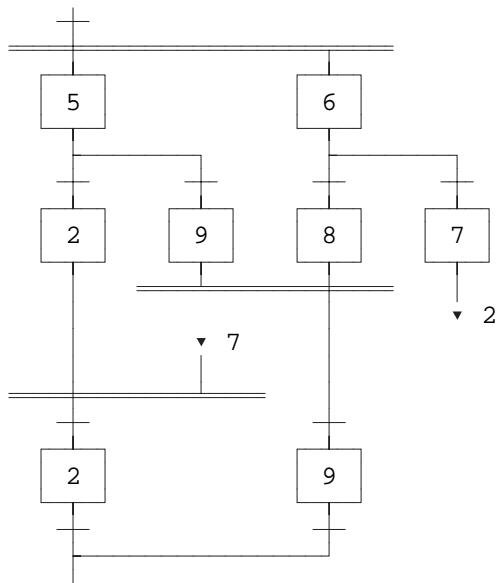
En canvi quan es tracta d'una selecció de seqüències immediata a un paral·lelisme no és directament realitzable sinó que cal emprar etapes "fantasma" (sense acció associada) que tenen com a única utilitat permetre una representació correcta. Veiem un exemple en les figures següents en què les etapes 1, 2, 19 i 20 s'han posat només per motius estructurals però no portaran cap acció associada.



4.4. Altres estructures especials

Les estructures que es presenten a continuació són, juntament amb altres presentades en aquest capítol, les que típicament s'empren per a comprovar si un autòmat o ordinador interpreten correctament els GRAFCETs que pugui proposar el programador. Les incloem únicament a títol d'exemple.





5. GRAFCETs parcials i macroetapes

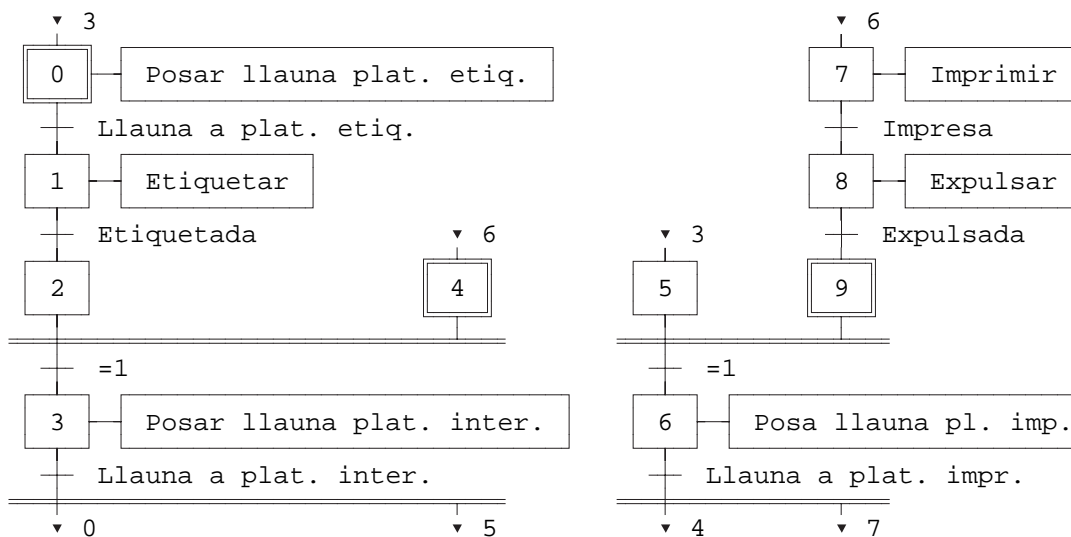
5.1. GRAFCET parcial i GRAFCET global

Un GRAFCET és connex quan es pot anar d'una etapa qualsevol a una altra etapa qualsevol seguint camins propis del GRAFCET. Tots els GRAFCETs que hem vist fins ara eren connexes.

Un automatsme pot ser representat mitjançant més d'un GRAFCET connex. Anomenem **GRAFCEt parcial** a cada un d'aquests GRAFCETs. També constitueix un GRAFCET parcial qualsevol agrupació de dos o més GRAFCETs parcials; fins i tot l'agrupació de tots ells. Cada GRAFCET parcial s'anomena mitjançant la lletra G seguida d'un nom (per exemple GProd) o d'un número (per exemple G3). S'anomena **GRAFCEt global** a l'agrupació de tots els GRAFCETs parcials que descriuen un automatsme.

En un mateix automatsme no hi pot haver dues etapes (ni dues transicions) amb el mateix número, encara que estiguin en GRAFCETs parcials diferents.

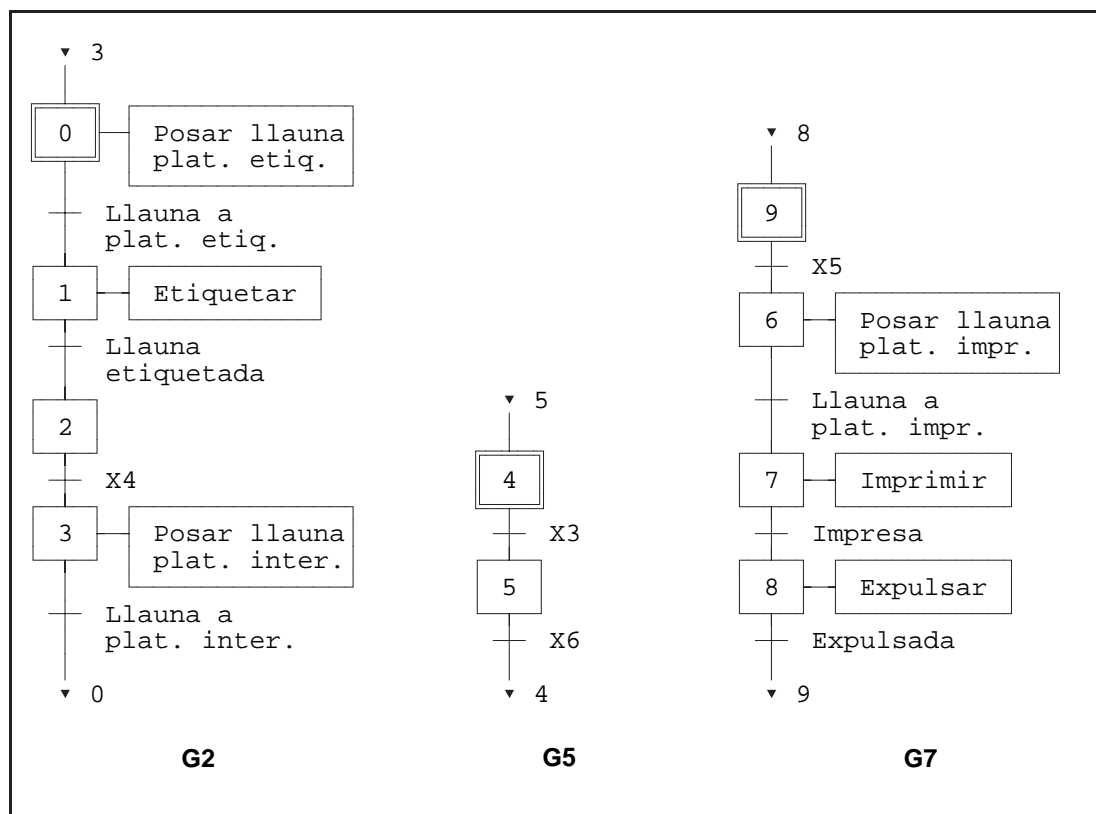
En el capítol 2 vam preparar un automatsme per a una màquina d'etiquetar llaunes mitjançant el GRAFCET connex (que hem reproduït a continuació). Com a exemple, anem a refer aquest automatsme amb GRAFCETs parcials.



Atès que cada plataforma tenia la seva pròpia tasca, proposem que hi hagi un GRAFCET per a cada una; G2 serà el GRAFCET de la plataforma d'etiquetatge, G5 el de la plataforma intermitja i G7 el de la plataforma d'impressió.

Si ens fixem amb el GRAFCET del capítol 2 veiem que per passar de l'etapa 2 a l'etapa 3 hi havia una receptivitat =1 però, atès que hi havia un paral·lelisme, calia esperar que l'etapa 4 fos activa. Ara per passar de 2 a 3 la receptivitat serà X4. De la mateixa manera per passar de l'etapa 9 a l'etapa 6 hi havia una receptivitat =1 però, atès que hi havia un paral·lelisme, calia esperar que l'etapa 5 fos activa. Ara per passar de 9 a 6 la receptivitat serà X5.

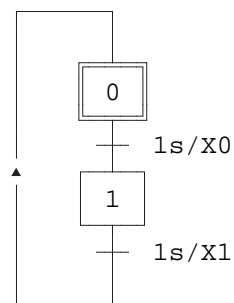
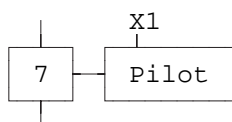
Pel que fa a G5, atès que posar i treure llaunes de la plataforma intermitja ja ho fan G2 i G7, només servirà com a memòria per a saber si hi ha o no llaunes en aquesta plataforma; hi entra una llauna quan s'activa X3 i en surt una quan s'activa X6.



GRAFCET global

Els GRAFCETs parcials no s'empren només per a simplificar les representacions sinó que també es poden emprar per a funcions auxiliars. En l'exemple anterior el GRAFCET G5 s'ha emprat per a memoritzar l'estat de la plataforma intermitja.

Una aplicació també força corrent és l'intermitent. En l'exemple següent es desitja que un pilot estigui intermitent mentre l'etapa 7 estigui activada; l'intermitent (amb un període de dos segons) s'ha representat a la dreta.



5.2. Forçat d'un GRAFCET

Quan un automatsme està constituït per diversos GRAFCETs parcials, és possible que un GRAFCET forci l'estat d'un altre. El forçat de GRAFCETs obre un ventall de possibilitats, especialment per al tractament de defectes de funcionament i emergències.

El forçat implica una jerarquia entre GRAFCETs parcials. La jerarquia no ve fixada per la representació dels GRAFCETs o per com s'han anomenat sinó que la fixa el dissenyador de l'automatsme quan fa que un GRAFCET forci o no a un altre.

5.2.1. Regles de jerarquia

Les regles de jerarquia defineixen les condicions de disseny d'automatsmes jerarquitzats. Aquestes regles són:

- Si un GRAFCET té la possibilitat de forçar a un altre, aquest no té cap possibilitat de forçar al primer.
- En tot instant un GRAFCET només pot ser forçat per un altre GRAFCET.

És a dir el forçat segueix una jerarquia en què cada membre només pot ser manat pel seu superior immediat.

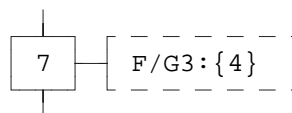
5.2.2. Regles de forçat

Les regles de forçat fixen la forma d'interpretar una ordre de forçat. Són dues de les quals la segona és doble.

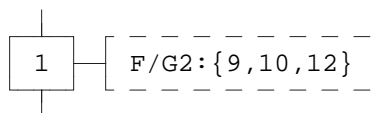
- ◆ El forçat és una ordre interna que s'esdevé conseqüència d'una evolució. En una situació que comporti una o més ordres de forçat, els GRAFCETs forçats han de passar en forma immediata i directa a la situació forçada.
- ◆ ◇ En qualsevol canvi de situació, el forçat és prioritari respecte a qualsevol altra evolució.
- ◇ Les regles d'evolució del GRAFCET no s'apliquen en els GRAFCETs forçats.

La representació de l'ordre de forçat es fa amb la lletra F seguida d'una barra, a continuació s'indica el nom del GRAFCET que es vol forçar, dos punts i la situació desitjada (etapes que han d'estar actives) escrita entre claus. Aquesta ordre anirà dins un requadre d'acció traçat amb línia discontinua.

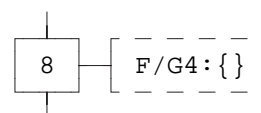
Per exemple en activar-se l'etapa 7, el GRAFCET G3 passa a tenir activada l'etapa 4 (i només l'etapa 4) i es mantindrà en aquesta situació fins que es desactivi l'etapa 7.



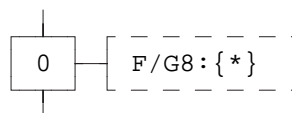
En aquest cas en activar-se l'etapa 1, el GRAFCET G2 passa a tenir activades les etapes 9, 10 i 12 (i només aquestes) i es mantindrà en aquesta situació fins que es desactivi l'etapa 1.



En activar-se l'etapa 8, el GRAFCET G4 passa a tenir totes les seves etapes desactivades i es mantindrà en aquesta situació fins que es desactivi l'etapa 8. Després caldrà forçar-li alguna etapa atès que sinó continuarà indefinidament sense cap etapa activa.



Mentre estigui activa l'etapa 0, el GRAFCET G8 haurà de mantenir-se en la situació actual invariablement.

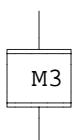


5.3. Macroetapes

El GRAFCET és un mètode de descripció d'automatismes que permet començar per nivells molt generals (GRAFCEt de nivell 1) fins a descriure el procés de control de l'automatisme (GRAFCEt de nivell 3).

Dins d'aquesta tendència a tenir diversos punts de vista més o menys detallats es proposen les **macroetapes** com a representacions de seqüències que, en conjunt, constitueixen una activitat.

Així doncs la utilització de les macroetapes permet que el GRAFCET representat mantingui un cert nivell de generalitat i que, quan convingui, es pugui conèixer el detall de les accions fent una simple **expansió** de la macroetapa.



A la figura adjunta s'ha representat el símbol d'una macroetapa (macroetapa M3). La macroetapa no és una etapa d'un GRAFCET ni actua com a tal sinó que és una representació d'un GRAFCET parcial (expansió de la macroetapa) que ha de poder-se insertar en substitució de la macroetapa. Una macroetapa és activa quan ho és una (o més) de les etapes de la seva expansió.

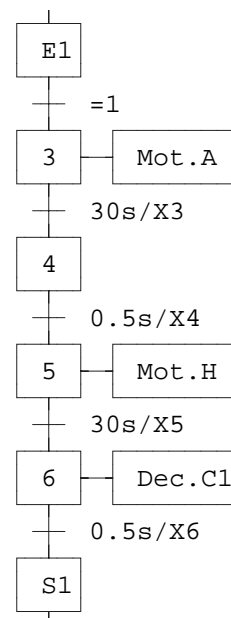
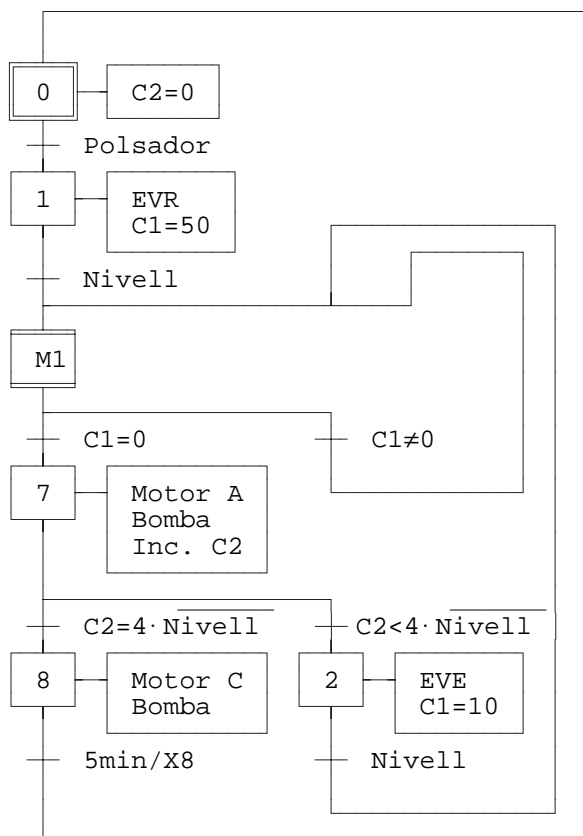
L'expansió d'una macroetapa pot contenir etapes inicials però ha de ser sempre connexa. L'expansió d'una macroetapa sempre tindrà una sola etapa d'entrada i una sola etapa de sortida. L'etapa d'entrada s'activarà quan s'activi la macroetapa. L'activació de l'etapa de sortida implicarà la validació de les transicions immediatament posteriors a la macroetapa.

La transició de sortida de la macroetapa pot tenir qualsevol receptivitat però normalment serà una transició sempre vàlida (=1) ja que les condicions corresponents ja s'hauran tingut en compte dins la macroetapa. En aquests casos és habitual representar aquesta receptivitat escrivint una indicació de fi de la macroetapa que a efectes booleans equival a una receptivitat =1 ja que la fi de la macroetapa és qui valida aquesta transició.

Per tal de facilitar la comprensió de la representació, les etapes d'entrada i de sortida de la macroetapa no tindran acció associada i la primera transició de la macroetapa serà =1.

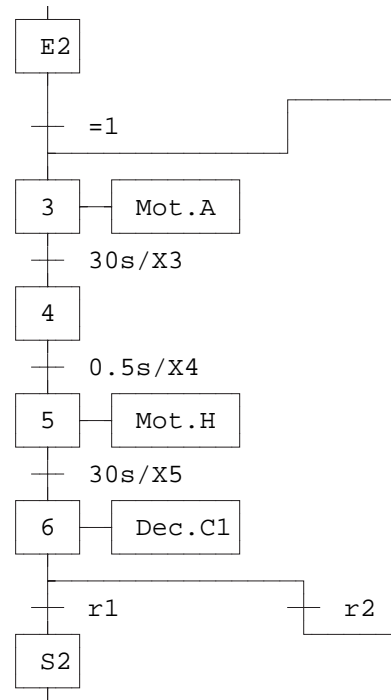
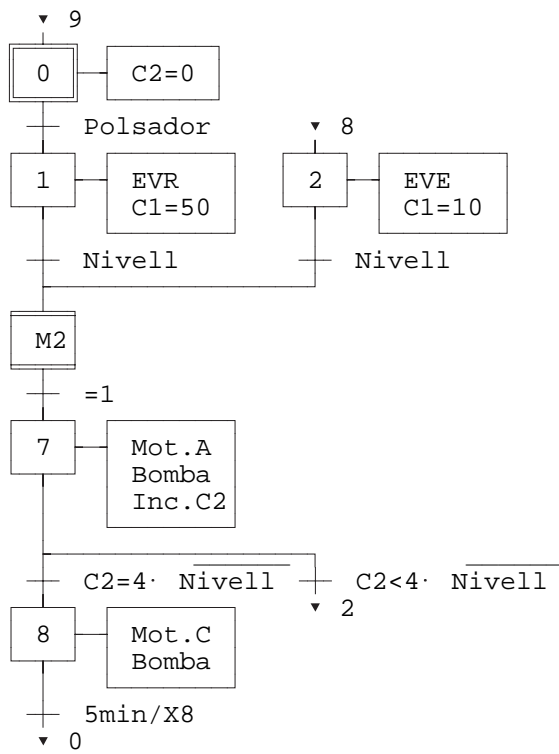
Si recordem l'automatisme de la màquina de rentar roba que vèiem en el segon capítol, podem incloure, a títol d'exemple, cada cicle (Motor A, espera, Motor B, espera) dins una macroetapa (M1). A continuació hem representat l'automatisme d'aquesta forma.

En aquest cas la transició de sortida de la macroetapa té una receptivitat booleana (no és =1) ja que coincideix amb una selecció de seqüència.



Expansió de M1

També podem incloure dins una macroetapa tot el conjunt de cicles, com hem fet a la macroetapa M2 en la representació següent. En aquest cas la transició de sortida de la macroetapa és =1 ja que les condicions de final ja són dins de la macroetapa i no hi ha cap selecció de seqüències a la sortida.



$$r1 = (C1=0) \cdot (0.5s/X6)$$

$$r2 = (C1 \neq 0) \cdot (0.5s/X6)$$

Expansió de M2

6. Consideracions temporals

El sistema de control d'un automatisme ha de llegir les entrades, determinar l'evolució del sistema segons el GRAFCET i escriure les sortides en forma cíclica. Durant la determinació de l'evolució del sistema els valors considerats com a entrades es mantenen constants malgrat que les entrades reals (entrades físiques) puguin canviar durant aquest procés.

De la mateixa forma el valor de les sortides reals (sortides físiques) no s'ha de modificar fins que no hagi acabat la determinació de l'evolució del sistema. No es poden actualitzar les sortides físiques fins que el sistema no hagi arribat a una situació estable amb les entrades memoritzades.

Hem de parlar doncs d'escala de temps diferents i independents, una externa al sistema de control i una altra interna. L'**escala de temps interna** permet expressar correctament l'evolució del sistema; en l'escala de temps interna només són coneguts els esdeveniments interns. L'**escala de temps externa** permet expressar correctament l'evolució de les variables externes.

Els franquejaments de transicions són mesurables a l'escala de temps interna i despreciables a l'escala de temps externa. Les temporitzacions es mesuren en l'escala de temps externa.

Anomenem **situació** d'un GRAFCET a qualsevol estat real d'activitat d'etapes. S'anomena **situació estable** a una situació que no pot variar sense intervenció de variables externes al sistema de control i **situació no estable** a una situació que pot variar sense intervenció de variables externes al sistema de control. Les situacions estables tenen una durada mesurable en l'escala de temps externa mentre que les situacions no estables tenen una durada despreciable en l'escala de temps externa i mesurable en l'escala de temps interna.

Una mateixa situació pot ser estable o inestable segons quins siguin els estats de les variables del sistema en aquell moment.

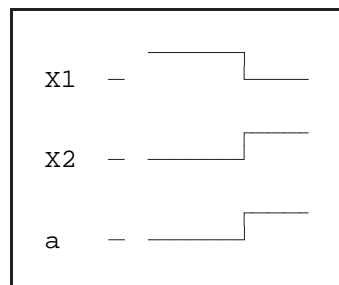
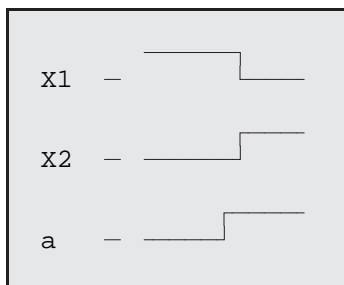
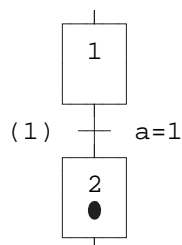
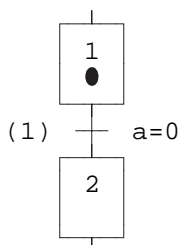
Les accions associades a etapes no estables no han d'executar-se (ja que només es veuen en l'escala de temps externa) però sí els forçats (que actuen en l'escala de temps intern). A escala de temps externa, les accions que es mantenen en dues o més etapes consecutives s'han de realitzar sense interrupció.

A continuació estudiarem una sèrie de casos tant mesurant en temps intern com en temps extern per tal de veure les diferències. Per a cada cas indicarem l'evolució dels estats.

Els estats corresponents a situacions no estables i les evolucions en escala de temps interna es representaran sobre fons ombrejat.

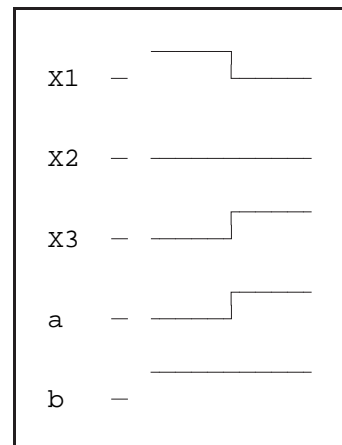
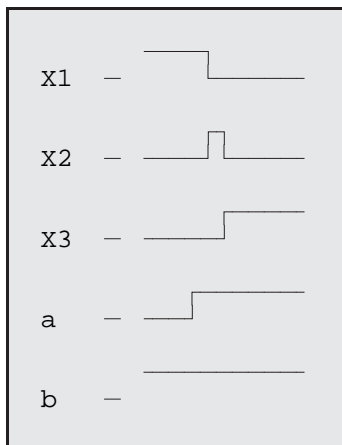
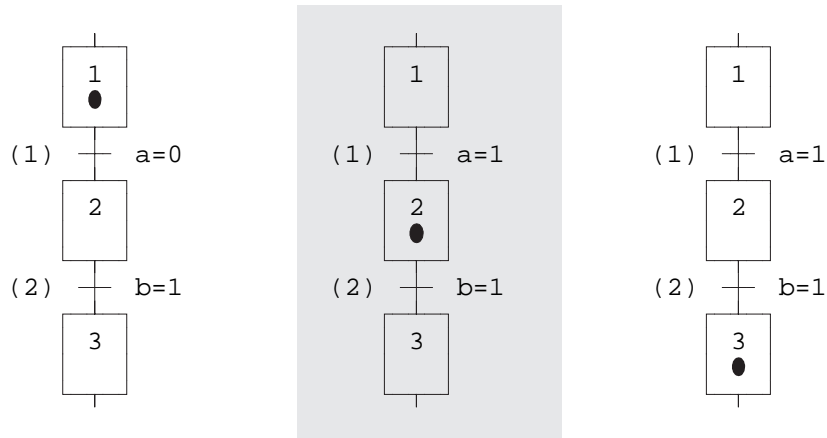
6.1. Franquejament d'una transició (per receptivitat)

L'etapa 1 és activa, i per tant la transició (1) està validada i, quan es fa certa la receptivitat a, es franqueja la transició.



6.2. Franquejament d'una transició (per validació)

L'etapa 1 és activa, i per tant la transició (1) està validada. La receptivitat b és certa però atès que la transició 2 no està validada no hi ha canvi de situació. Quan la receptivitat a passa a ser certa s'activa l'etapa 3.



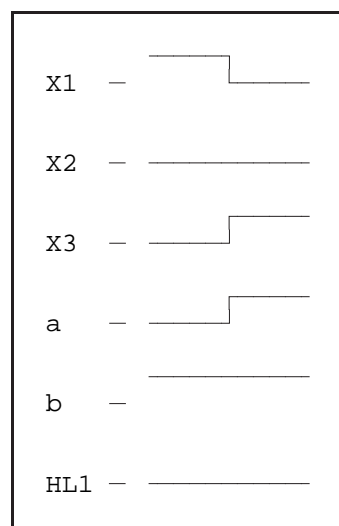
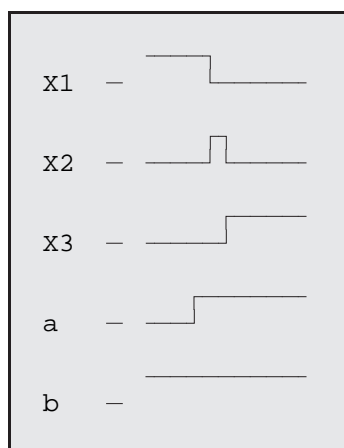
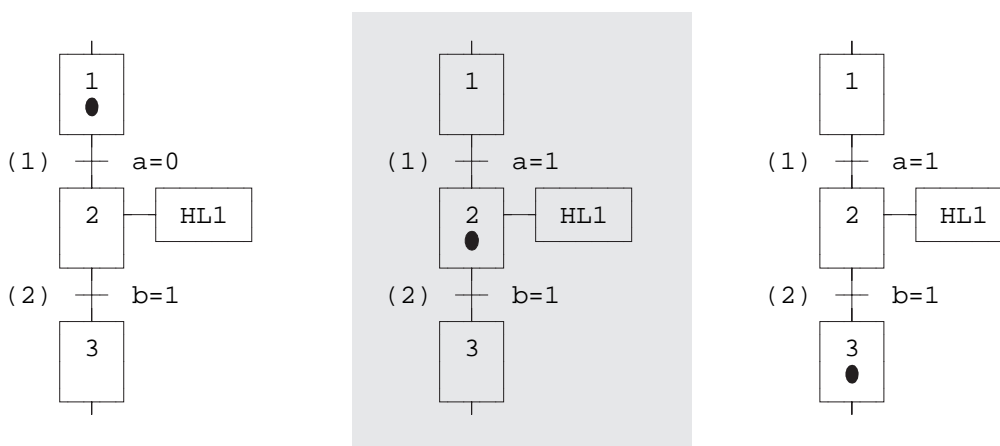
6.3. Accions en etapes no estables

Quan una acció està associada a una etapa no estable no es realitzarà. En l'exemple de l'apartat anterior l'etapa 2 no era estable en la situació descrita; per tant si aquesta etapa hagués tingut una acció associada aquesta acció no s'hauria realitzat.

De la mateixa forma, si en un final de paral·lelisme la receptivitat és certa abans que totes les etapes estiguin actives, les accions associades a la darrera etapa activada no seran realitzades.

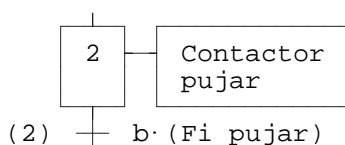
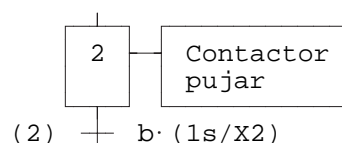
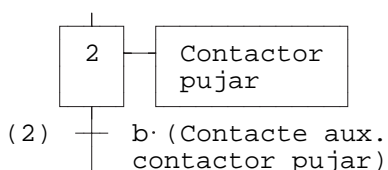
Per aquest motiu no té sentit que un GRAFCET tingui una transició sempre vàlida (=1) que només estigui validada per una etapa amb accions associades ja que aquestes accions no es realitzaran mai.

L'exemple següent permet veure què passa en el cas de l'apartat anterior si l'etapa 2 té una acció associada.

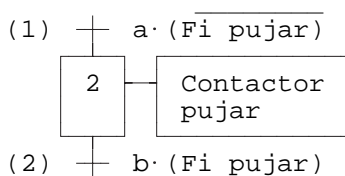


L'acció HL1 només s'ha representat a l'escala de temps extern ja que les accions no tenen sentit a l'escala de temps intern. Com s'ha pogut veure l'acció HL1 no es realitza.

Quan es desitgi que l'acció es realitzi cal que l'equació booleana de la receptivitat inclogui algun paràmetre relacionat amb l'etapa o l'acció. A continuació es presenta un exemple en què l'acció es realitza com a mínim durant un instant, després un cas en què l'acció es realitza durant un temps (d'un segon) fixat pel dissenyador i finalment un altre en què es realitza fins al final de l'acció.

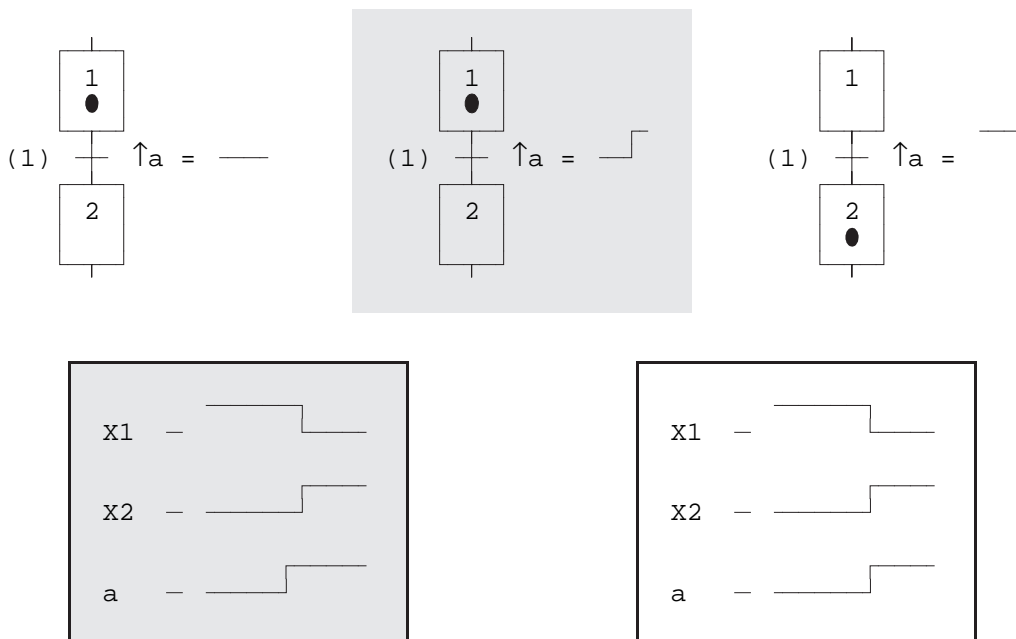


En algunes tecnologies pot succeir que el detector de final d'un moviment estigui activat abans de començar-lo perquè es mantingui activat des del moviment anterior (per exemple en pneumàtica, ja que es requereix un cert temps per a purgar els conductes). En aquests casos s'aconsella comprovar la desactivació del detector abans d'entrar en l'etapa que inicia el moviment.



6.4. Transicions tipus flanc (per receptivitat)

Repetim l'exemple que hem vist a l'apartat 6.1. en el cas que la transició (1) tingui una receptivitat activada per flanc.



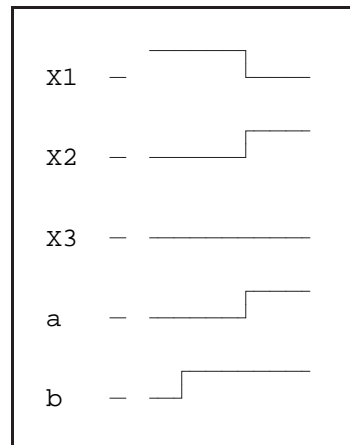
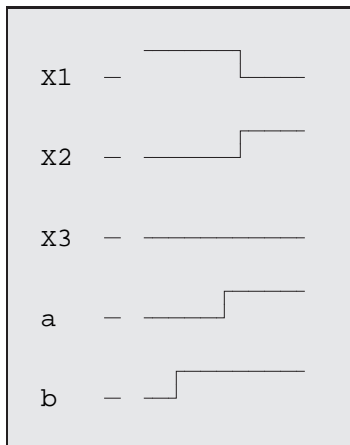
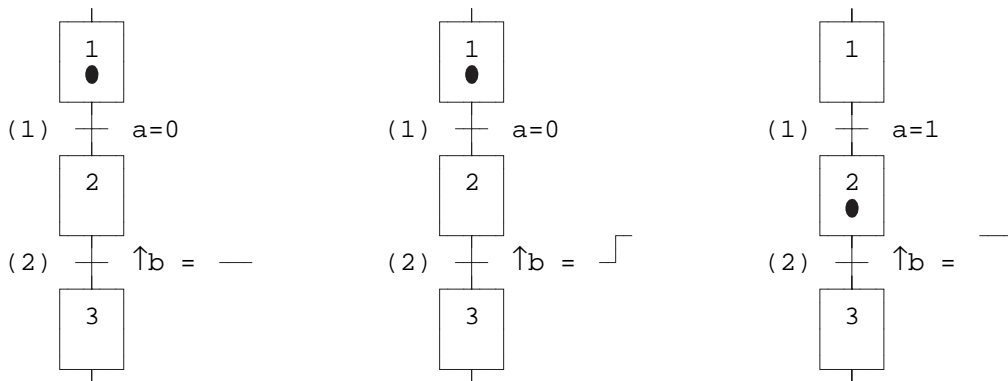
Atès que el canvi d'estat (flanc) de la variable a arriba quan l'etapa 1 està validada, la transició és franquejable i el GRAFCET canvia a una nova situació. En aquest cas hem obtingut el mateix resultat amb una transició per flanc que amb una transició booleana (per nivell).

6.5. Transicions tipus flanc (per validació)

Repetim l'exemple que hem vist a l'apartat 6.2. en el cas que la transició (2) tingui una receptivitat activada per flanc.

L'etapa 1 és activa, i per tant la transició (1) està validada. La receptivitat b veu un flanc però atès que la transició 2 no està validada no hi ha canvi de situació. Quan la receptivitat a passa a ser certa, atès que la receptivitat b es manté estable, no hi haurà franquejament de la transició de forma que la situació del GRAFCET no canviarà.

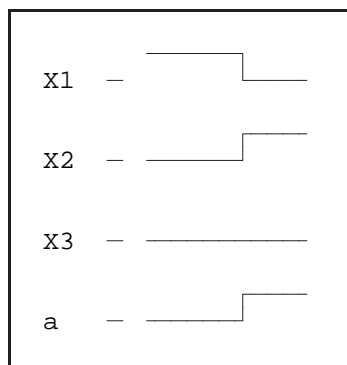
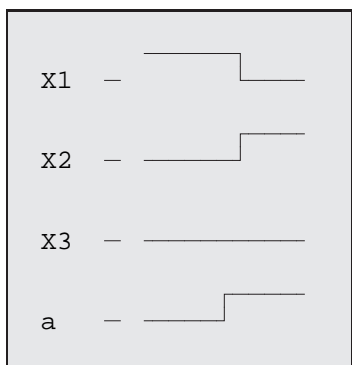
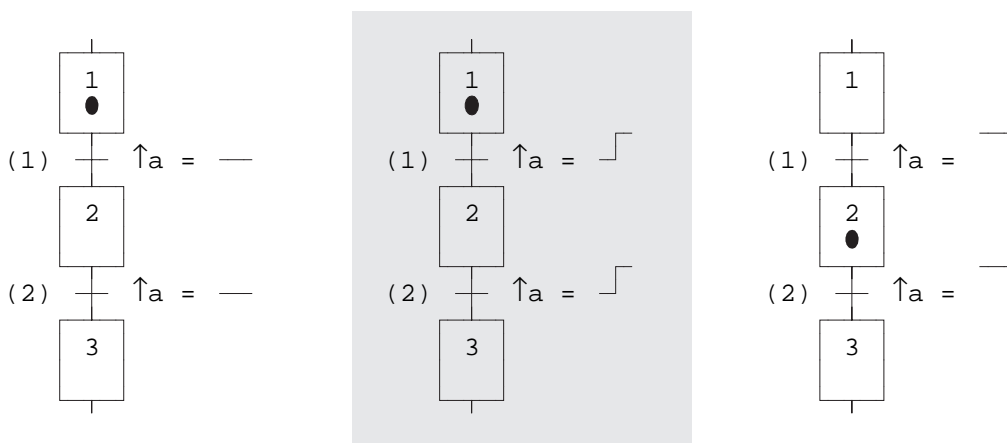
En aquest cas el resultat obtingut amb una transició per flanc ha estat diferent del que havíem obtingut amb una transició booleana.



6.6. Dues transicions tipus flanc consecutives

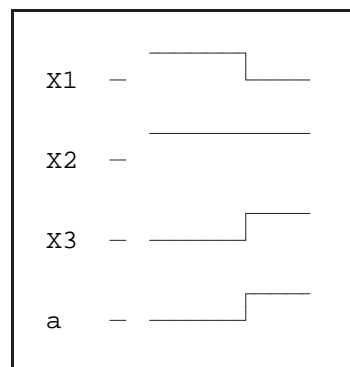
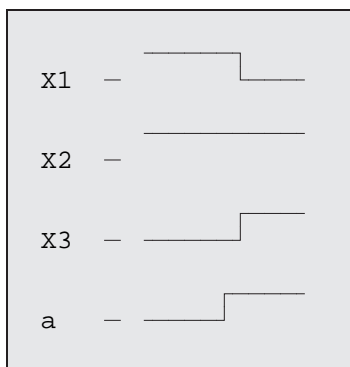
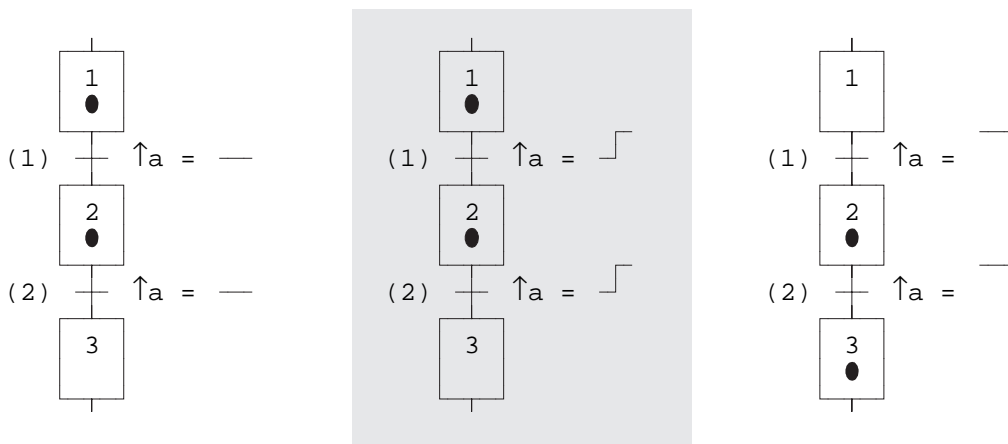
En el cas en què tenim dues transicions consecutives tipus flanc, el flanc només és tingut en compte un cop en la mateixa seqüència atès que, quan la segona transició és franquejada, el flanc (vist en l'escala de temps interna) ja ha passat.

Les seqüències següents ho posen de manifest.



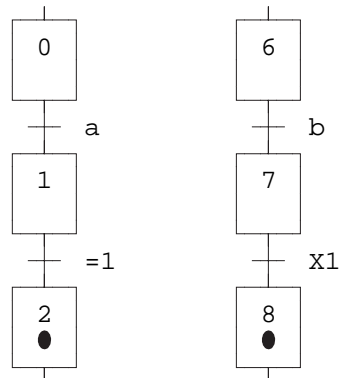
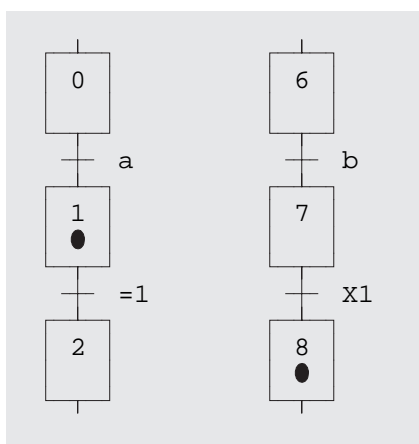
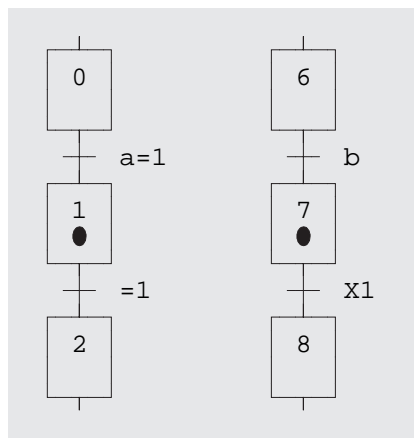
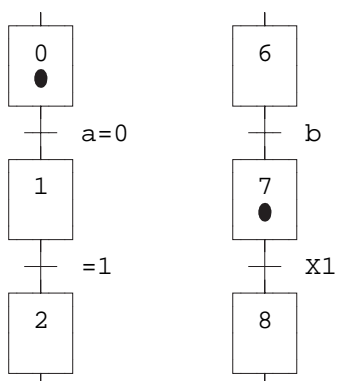
6.7. Dues transicions tipus flanc consecutives en un GRAFCET amb dues etapes actives consecutives

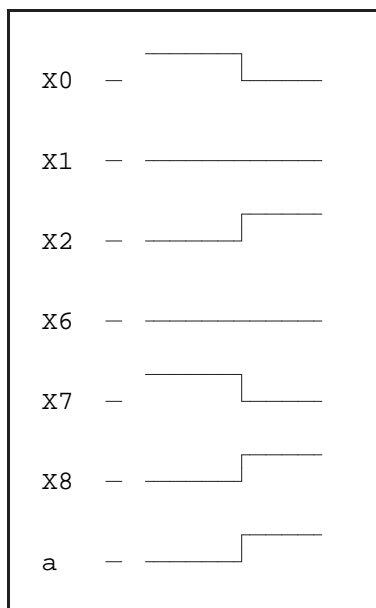
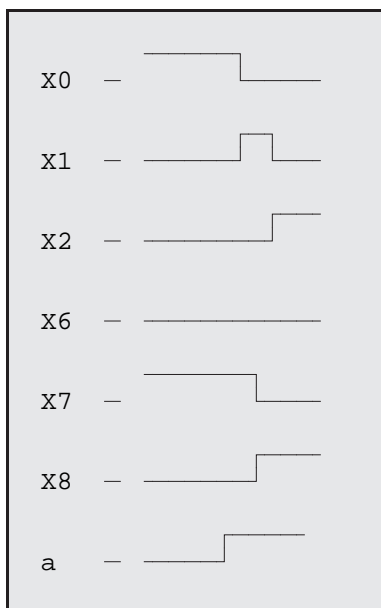
En el cas en què tenim dues transicions consecutives tipus flanc en un GRAFCET amb dues etapes actives consecutives, el flanc només és tingut en compte un cop en la mateixa seqüència atès que ambdues transicions veuen el flanc simultàniament i només un cop, el GRAFCET evoluciona com en les seqüències següents.



6.8. Receptivitat condicionada per una etapa de durada nul·la

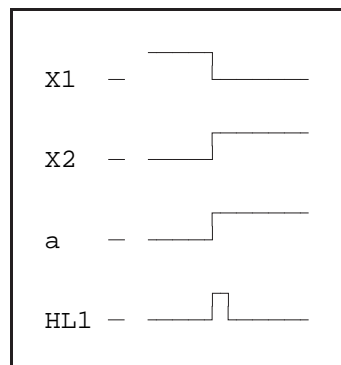
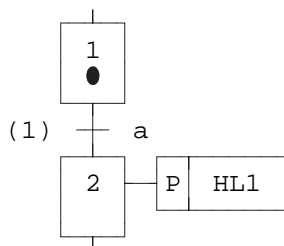
Quan una receptivitat ve condicionada per una etapa de durada nul·la i la transició corresponent està validada s'haurà de franquejar malgrat que en l'escala de temps extern l'etapa no s'activi atès que sí s'activa en l'escala de temps intern.





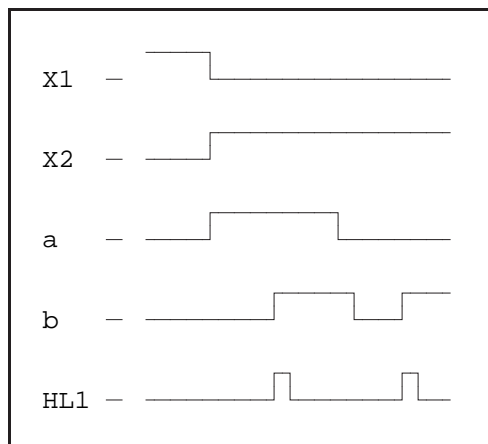
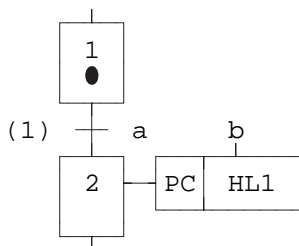
6.9. Acció impulsional

En el cas que l'acció associada a una etapa sigui del tipus impulsional, aquesta acció només es realitzarà durant un instant (mesurat en l'escala de temps extern). Veiem-ho en un exemple.

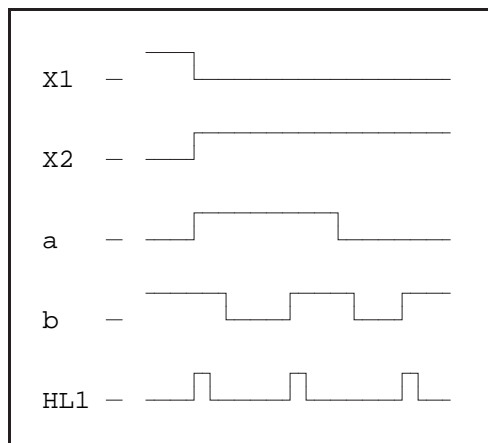
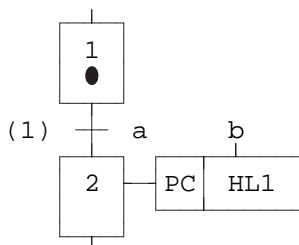


6.10. Acció impulsional condicionada

En el cas que l'acció associada a una etapa sigui del tipus impulsional i estigui condicionada, aquesta acció només es realitzarà durant un instant (mesurat en l'escala de temps extern) cada cop que la condició passi de falsa a certa. Veiem-ho en un exemple.

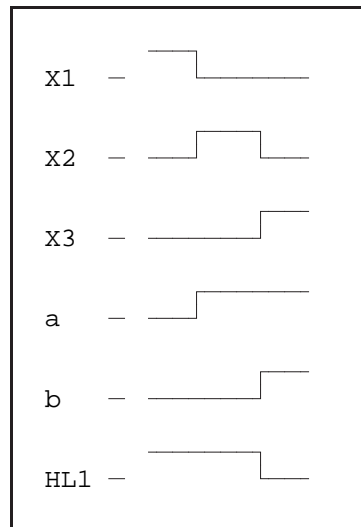
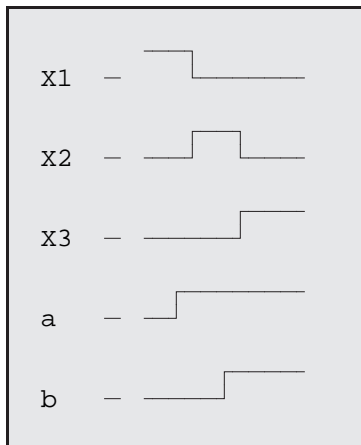
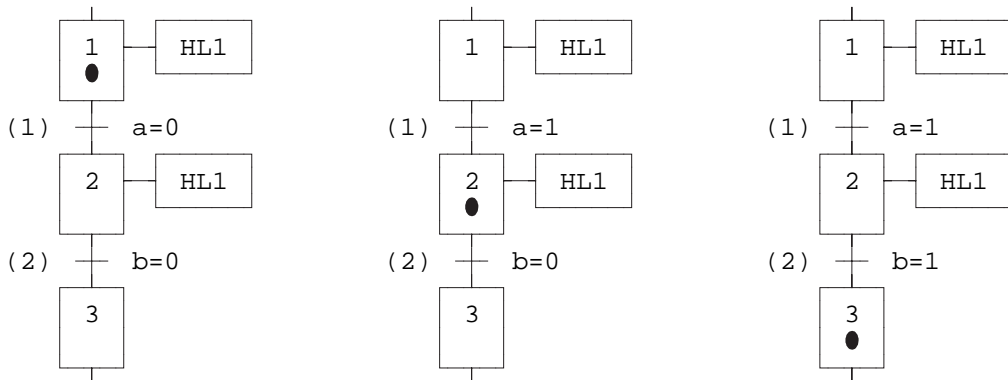


Si quan s'activa l'etapa la condició és certa, l'acció també s'executarà.



6.11. Acció mantinguda en diverses etapes consecutives

Quan la mateixa acció apareix associada a dues etapes consecutives ha d'executar-se sense interrupció quan es passa d'una etapa a l'altra. Això es posa de manifest en l'exemple següent.



7. Modes de marxes i aturades

En aquest capítol estudiarem els automatismes aplicats als processos de producció. En un procés productiu, encara que tothom ho desitjaria, la màquina no està funcionant sempre en mode automàtic sense problemes sinó que sovint apareixen contingències que fan aturar el procés, com per exemple avaries, material defectuós, manca de peces, manteniment, etc. o, simplement, cal aturar la producció divendres i reprendre-la dilluns.

En els automatismes moderns aquestes contingències es preveuen i el propi automàtic està preparat per a detectar defectes i avaries i per a col·laborar amb l'operador o amb el tècnic de manteniment en la posta a punt, la reparació i altres tasques no pròpies del procés productiu normal.

Per tal de fixar una forma universal d'anomenar i definir els diferents estats que pot tenir un sistema, l'ADEPA (*Agence nationale pour le Développement de la Productique 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).

La GEMMA és una guia gràfica que permet presentar d'una forma senzilla i entenedora els diferents modes de marxa d'una instal·lació de producció així com les formes i condicions per a passar d'un mode a un altre.

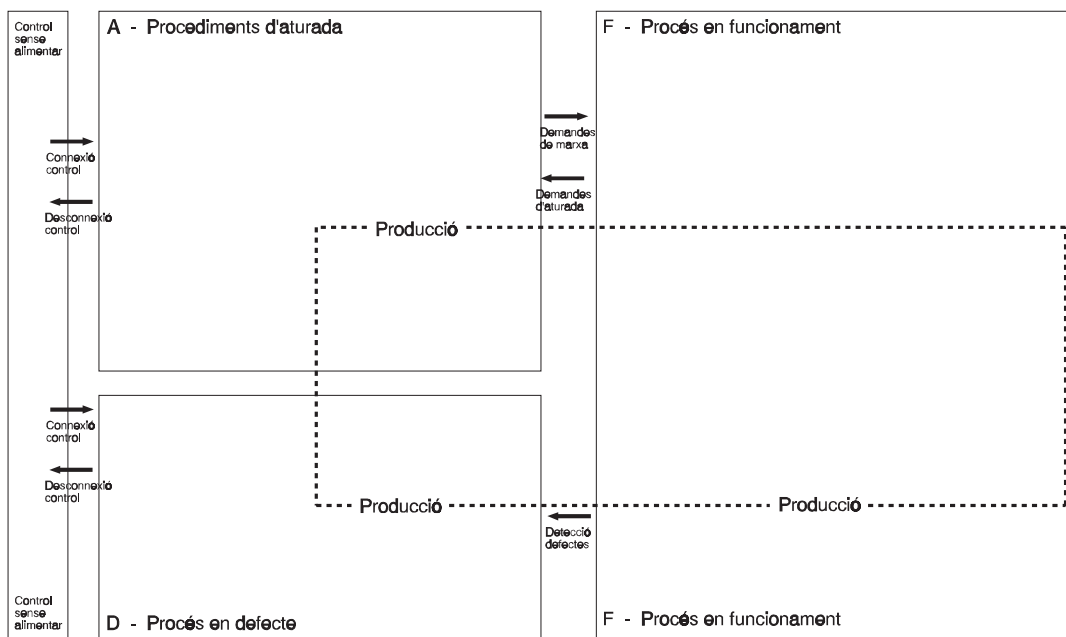
La GEMMA i el GRAFCET es complementen, l'un a l'altre, permetent una descripció progressiva de l'automatisme de producció.

7.1. La guia GEMMA

Un automàtic consta de dues parts fonamentals: el sistema de producció i el control d'aquest sistema (ordinador, autòmat programable, etc.). El control pot estar alimentat o sense alimentar; des del nostre punt de vista, l'estat sense alimentar no ens interessa però sí hem d'estudiar el pas d'aquest estat a l'altre.

Quan el control està alimentat el sistema pot estar en tres situacions: en funcionament, aturat (o en procés d'aturada) i en defecte. 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 i quan la màquina està en certes condicions de defecte (malgrat que potser la producció no serà aprofitable).

La GEMMA representa cada una de les quatre situacions (sense alimentar, funcionament, aturada i defecte) mitjançant sengles rectangles i la producció mitjançant un cinquè rectangle que s'interseca amb els tres rectangles principals, tal com mostrem a la figura següent.



Cada una de les situacions es pot subdividir en diverses de forma que al final hi ha 17 estats de funcionament possibles que estudiarem a continuació. Convé mencionar que no tots els processos precisaran tots aquests estats però podem afirmar que els estats necessaris en cada procés podran fàcilment relacionar-se amb part dels que proposa la GEMMA.

La guia proposa també els principals camins per a passar d'un estat a un altre.

7.1.1. Grup F: Procediments de funcionament

Aquest grup conté tots els modes de funcionament necessaris per a l'obtenció de la producció; és a dir els de funcionament normal (F1 a F3) i els de test i verificació (F4 a F6).

- F1- **Producció normal.** És l'estat en què la màquina produeix normalment, és a dir fa la tasca per la qual ha estat concebuda. Atès que és l'estat més important, va representat per un rectangle de parets més gruixudes que els altres. Al funcionament dins aquest estat se li pot associar un GRAFCET que anomenarem GRAFCET de base. Aquest estat no té perquè correspondre a un funcionament automàtic.
- F2- **Marxa de preparació.** Correspon a la preparació de la màquina per al funcionament (preescalfaments, preparació de components, etc.).
- F3- **Marxa de tancament.** Correspon a la fase de buidat i/o neteja que moltes màquines han de dur a terme abans de plegar o de canviar algunes característiques del producte.
- F4- **Marxes de verificació sense ordre.** En aquest cas la màquina, normalment per ordres de l'operador, pot realitzar qualsevol moviment (o uns determinats moviments preestablerts). S'empra per a funcions de manteniment i verificació.
- F5- **Marxes de verificació amb ordre.** En aquest cas la màquina realitza el cicle complet de funcionament en ordre però al ritme fixat per l'operador. S'empra per a funcions de manteniment i verificació. En aquest estat hi ha possibilitats que la màquina produeixi.
- F6- **Marxes de test.** Permet realitzar les operacions d'ajust i de manteniment preventiu.

7.1.2. Grup A: Procediments d'aturada

Aquest grup conté tots els modes en què el sistema està aturat (A1 i A4), els que porten a una aturada del sistema (A2 i A3) i els que permeten passar el sistema d'un estat de defecte a un estat d'aturada (A5 a A7). Corresponen a totes les aturades per raó de causes externes al procés.

- A1- **Aturada a l'estat inicial.** És l'estat normal de repòs de la màquina. Es representa amb un rectangle doble. La màquina normalment es representa en aquest estat (plànols, esquema elèctric, esquema pneumàtic, etc.) que es correspon, habitualment, amb l'etapa inicial d'un GRAFCET.
- A2- **Aturada demanada a final de cicle.** És un estat transitori en què la màquina, que fins aquell moment estava produint normalment, ha de produir només fins a acabar el cicle actual i passar a estar aturada a l'estat inicial.

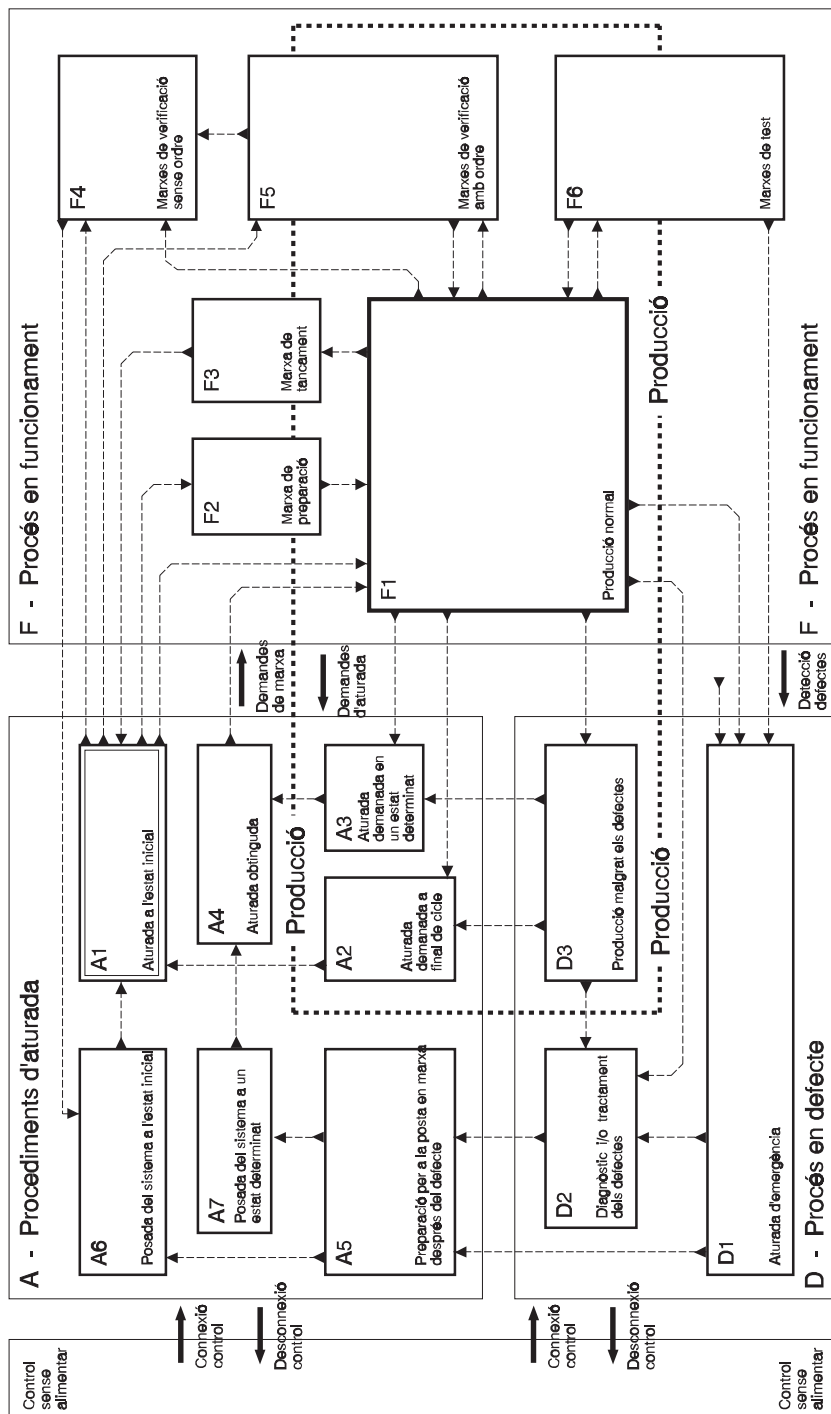
- A3- **Aturada demanada en un estat determinat.** És un estat transitori en què la màquina, que fins aquell moment estava produint normalment, ha de produir només fins a arribar a un punt del cicle diferent de l'estat inicial.
- A4- **Aturada obtinguda.** És un estat de repòs de la màquina diferent de l'estat inicial.
- A5- **Preparació per a la posada en marxa després del defecte.** Correspon a la fase de buidat, neteja o posada en ordre que en molts casos s'ha de dur a terme després d'un defecte.
- A6- **Posada del sistema a l'estat inicial.** El sistema és portat fins a la situació inicial (normalment situació de repòs); un cop enllestit la màquina passa a estar aturada en l'estat inicial.
- A7- **Posada del sistema a 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.

7.1.3. Grup D: Procediments de defecte

Aquest grup conté tots els modes en què el sistema està en defecte tant si està produint (D3), està aturat (D1) o està en fase de diagnòstic o tractament del defecte (D2). Corresponen a totes les aturades per raó de causes internes al procés.

- D1- **Aturada d'emergència.** No tan sols conté la simple aturada d'emergència sinó també totes aquelles accions necessàries per a portar el sistema a una situació d'aturada segura.
- D2- **Diagnòstic i/o tractament dels defectes.** Permet, amb ajut o sense de l'operador, determinar les causes del defecte i eliminar-les.
- D3- **Producció malgrat els defectes.** Correspon a aquells casos en què cal continuar produint malgrat el sistema no treballa correctament. Inclou els casos en què, per exemple, es produeix per esgotar un reactiu no emmagatzemable o aquells altres en què no es segueix el cicle normal atès que l'operador substitueix la màquina en una determinada tasca a causa d'una avaria.

El gràfic de la pàgina següent és una traducció del proposat per l'ADEPA en la GEMMA.



Fixem-nos que l'estat D1 (aturada d'emergència) té un camí d'entrada que sembla no venir d'enlloc. Aquest camí indica que en la majoria de casos es pot passar a aquest estat des de qualsevol altre però en tots els camins hi sol haver les mateixes condicions; per no complicar el diagrama es deixa d'aquesta forma i el dissenyador afegirà les especificacions necessàries.

7.2. Utilització de la GEMMA

La guia GEMMA conté tots els estats (rectangles) possibles en la majoria d'instal·lacions automatitzades. El dissenyador estudiarà estat per estat per tal de determinar quins són els estats necessaris en l'automatisme i escriurà dins de cada rectangle la descripció corresponent i les diferents variants (si n'hi ha).

En cas que un estat no sigui possible o sigui innecessari, hi farà una creu indicant clarament que aquell estat no s'ha de considerar.

Un cop definits els diferents estats caldrà estudiar entre quins estats l'evolució és possible; recordant que la guia porta indicats amb línia discontinua els camins entre estats d'ús més habitual. Aquestes evolucions s'indicaran resseguint els camins marcats amb una línia contínua i més gruixuda o, en el cas que el camí desitjat no estigui proposat, traçant-lo amb les mateixes característiques que els altres.

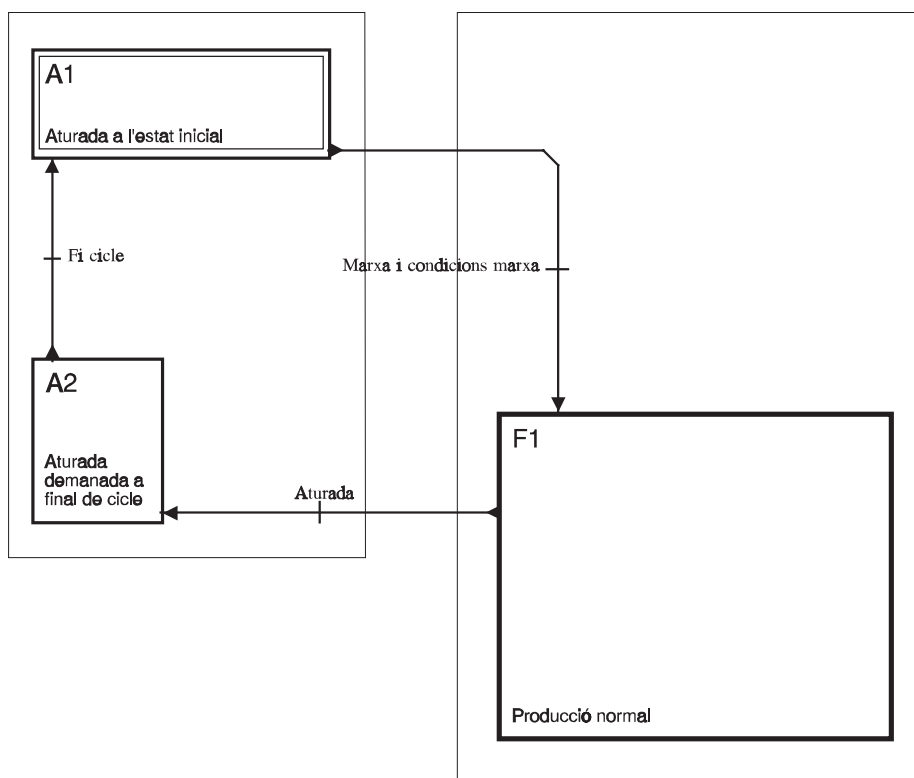
Finalment, en forma semblant a com s'indiquen les transicions del GRAFCET, es marcaran les condicions necessàries per a poder seguir un determinat camí. En algunes ocasions un determinat camí no té una condició específica o determinada, en aquest cas pot no posar-se la indicació o és possible posar-hi la condició que l'acció anterior estigui completa.

A continuació veurem, simplificadament, alguns dels casos més corrents.

7.2.1. Marxa per cicles i aturada a fi de cicle

El sistema està aturat en l'estat inicial (A1). Quan les condicions de posta en marxa es verifiquen (mode de marxa, polsador d'arrencada, etc.) es passa a funcionar en mode normal (F1). Quan l'operador prem el polsador d'aturada a fi de cicle la màquina passarà a l'estat d'aturada a fi de cicle (A2) i quan acabi el cicle passarà a l'estat inicial (A1).

Fixem-nos que el pas de A2 a A1 és directe en acabar-se el cicle, però hem volgut indicar-ho (condició "Fi cicle") per a una més gran claredat.

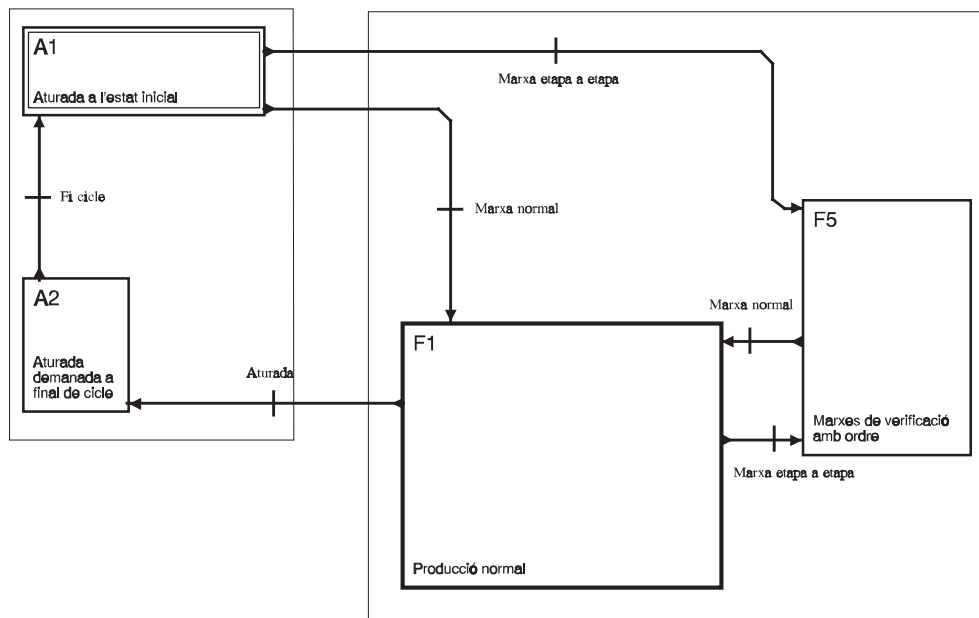


Si es selecciona el mode de funcionament cicle a cicle, el pas de F1 a A2 és directe immediatament després de començar el cicle i no necessita l'actuació sobre cap polsador. El mode cicle a cicle pot ser amb antirepetició, en quin cas el pas de A2 a A1 només es pot fer en cas que el polsador d'arrencada no estigui premut; d'aquesta forma es garanteix que l'operador prem el polsador cada cop que ha de començar un cicle i que, per tant, el cicle no pot recomençar en cas que el polsador estigués encallat.

7.2.2. Marxa de verificació amb ordre

En aquest cas la màquina pot passar a funcionar en aquest mode (F5) quan està aturada (A1) o quan està en producció normal (F1) si es selecciona el mode etapa a etapa.

Mentre la màquina funcioni etapa a etapa caldrà prémer un polsador per a passar d'una etapa a la següent. Seleccionant el mode normal la màquina passarà a l'estat de producció normal (F1).



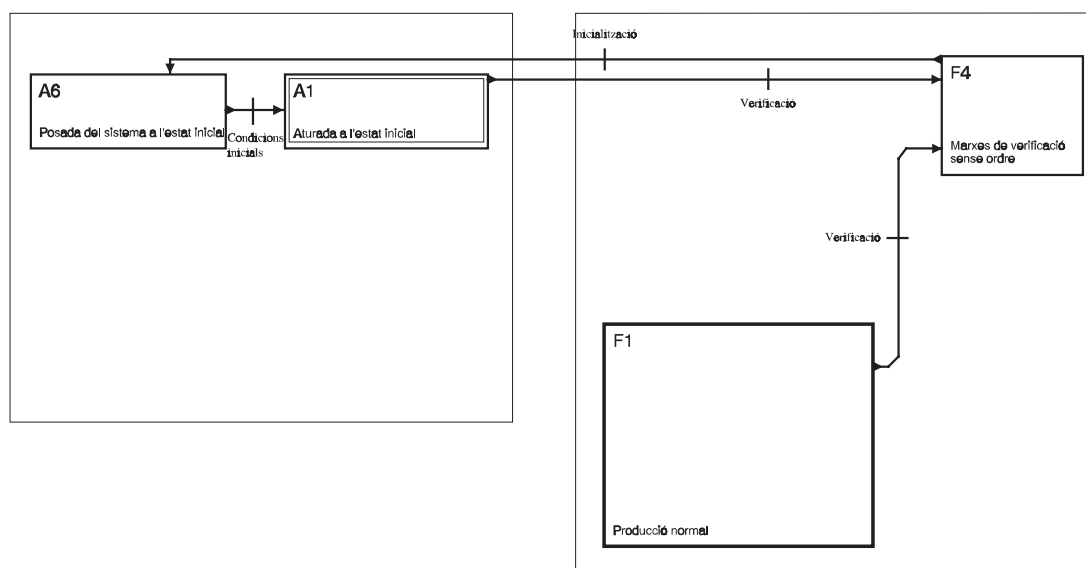
Si es selecciona el mode normal quan la màquina està en la darrera etapa i es prem el polsador d'aturada la màquina s'aturarà (A2 seguit de A1).

7.2.3. Marxa de verificació sense ordre

Es pot passar al mode de verificació sense ordre (conegut habitualment com a funcionament manual) tant des de l'estat inicial (A1) com des del funcionament normal (F1).

Allí l'operador pot realitzar tots els moviments per separat i en un ordre qualsevol (en algunes instal·lacions només són possibles alguns moviments en mode manual). En alguns casos l'operador té comandaments adequats en el pannel per ordenar els moviments desitjats mentre que en altres cal actuar directament en els comandaments locals dels preaccionadors.

Prement el polsador d'inicialització es passa a posar el sistema a l'estat inicial (A6) i un cop assolit es passa a l'estat inicial (A1).



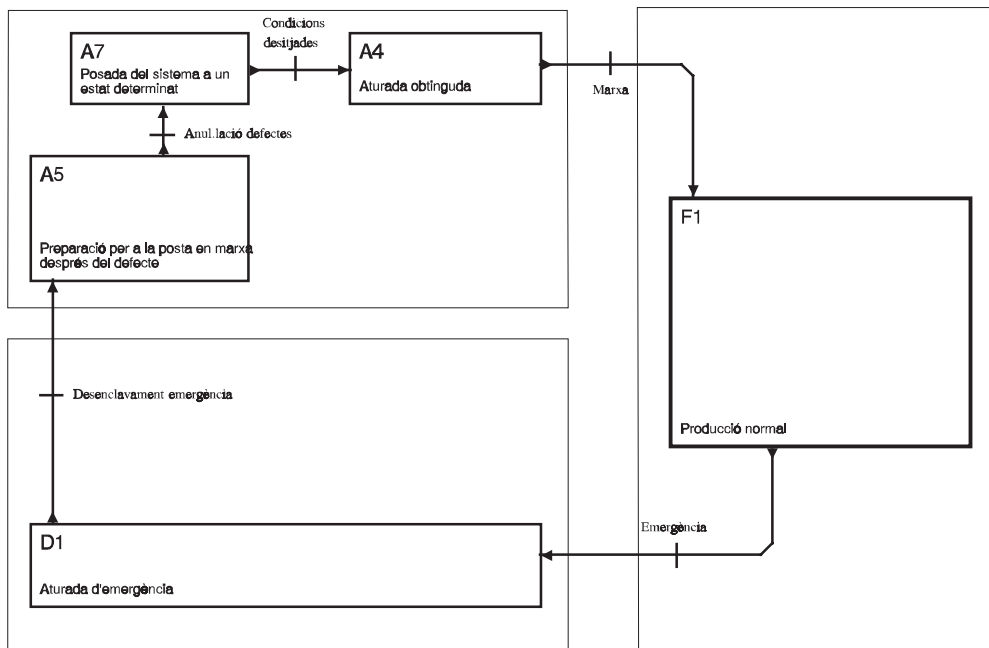
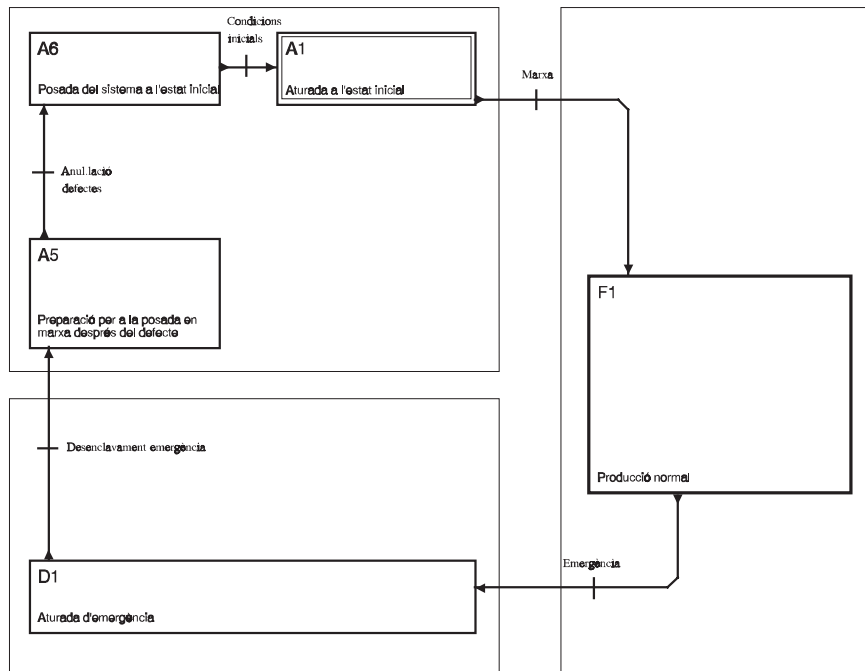
7.2.4. Aturades d'emergència

El sistema està funcionant normalment (F1) i hom prem el polsador d'aturada d'emergència. Això, en els sistemes habituals, implica habitualment deixar sense alimentació (físicament, sense intervenció del sistema de control) tot el sistema de producció que, per disseny, quedarà en posició segura en quedar-se sense alimentació.

El mateix polsador d'aturada d'emergència informa al control que passarà a l'estat d'aturada d'emergència (D1). En desenclavar l'emergència es passa a preparar la posta en marxa (A5).

En aquest cas hi ha dues possibilitats d'ús habitual segons quin sigui el sistema que s'està controlant. En el primer cas es porta el sistema fins a l'estat inicial (A6), cosa que sovint requereix la intervenció de l'operador i, un cop assolit (A1), el sistema espera una nova posta en marxa prement el polsador d'arrencada que farà recomençar el procés de producció (F1).

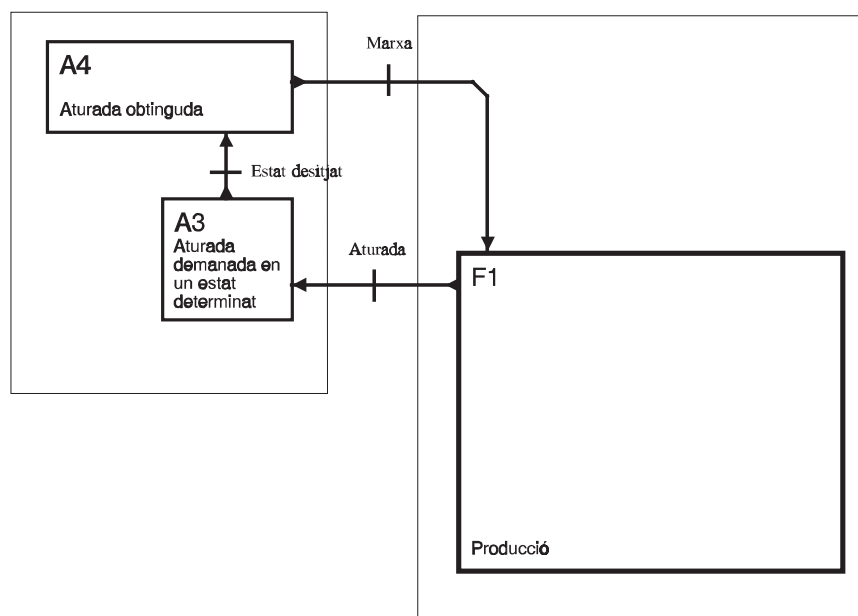
La segona possibilitat consisteix a portar el sistema fins a un estat determinat (A7), cosa que sovint requereix la intervenció de l'operador i, un cop assolit (A4), el sistema espera la represa del funcionament quan l'operador premi el polsador d'arrencada que farà continuar el procés (F1) a partir de l'etapa assolida.



7.2.5. Aturada en un punt

El sistema està funcionant en producció normal (F1) i l'operador prem el polsador d'aturada; llavors es passa a situació d'aturada demandada (A3) i, un cop assolit el punt desitjat, el sistema s'hi atura (A4).

Caldrà prémer el polsador d'arrencada per tal que el sistema segueixi funcionant (F1) a partir del punt d'aturada.



7.3. Metodologia

Per implementar un automatisme cal seguir els següents passos:

- Determinar els aspectes generals del procés i generar el GRAFCET de producció de primer nivell.
- Definir els elements del procés i seleccionar els detectors, captadors i accionadors necessaris.

- Representar el GRAFCET de producció de segon nivell.
- Estudiar els diferents estats de la GEMMA per tal de determinar quins són els estats necessaris en l'automatisme i fer la seva descripció.
- Definir sobre la GEMMA els camins possibles d'evolució entre els diferents estats.
- Dissenyar els elements que componen el pupitre d'operador i la seva ubicació.
- Definir sobre la GEMMA les condicions d'evolució entre els diferents estats.
- Preparar el GRAFCET complet de segon nivell a partir del de producció representat abans i de la GEMMA.
- Escollir les diferents tecnologies de comandament.
- Representar el GRAFCET de tercer nivell complet.
- Instal·lació, implementació, posta a punt i prova.

7.4. Exemple

En un procés de fabricació de pilotes de tennis de taula es disposa d'una màquina que fabrica les pilotes del color convenient i una segona màquina que les col·loca en les capses d'envasament. El punt d'entrada de les pilotes de la segona màquina està a una alçada molt més elevada que la sortida de pilotes de la primera màquina i cal una màquina intermitja que imprimeixi la marca sobre les pilotes i les faci pujar.

Aquesta màquina consisteix en un èmbol que, quan avança, empeny una pilota i fa pujar les que hi ha a continuació pel conducte (el conducte sempre té un nombre elevat de pilotes al seu interior que avancen per la força que l'èmbol fa sobre la darrera que ha entrat). Quan l'èmbol ha arribat a la posició més avançada ha de baixar l'entintador que posarà la marca a la darrera pilota.

Un cop marcada la pilota, el marcador torna a pujar; cosa que permet que l'èmbol retrocedeixi. En retrocedir l'èmbol, les pilotes, per acció de la gravetat, tendeixen a retrocedir però hi ha una peça amb una molla que fa d'antiretorn, impedit que les pilotes tornin enrera. Quan l'èmbol ha acabat el retrocés entra, per gravetat, la pilota següent.

7.4.1. GRAFCET de producció de primer nivell

La seqüència a realitzar serà la que es representa en el GRAFCET de la figura 1. Inicialment la màquina farà avançar la pilota i, amb ella, totes les anteriors. Un cop acabat l'avanç, baixarà l'entintador fins a la seva posició més baixa i, un cop assolida, tornarà a pujar. Quan s'acabi l'entintat l'èmbol retrocedirà, i amb ell les pilotes. Les pilotes s'aturaran en topar amb el dispositiu antiretorn mentre que l'èmbol seguirà retrocedint fins a la posició inicial. En la posició inicial de l'èmbol entrarà una nova pilota i la màquina estarà a punt per a començar un nou cicle.

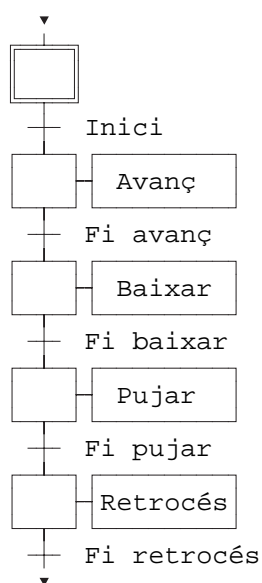


Figura 1

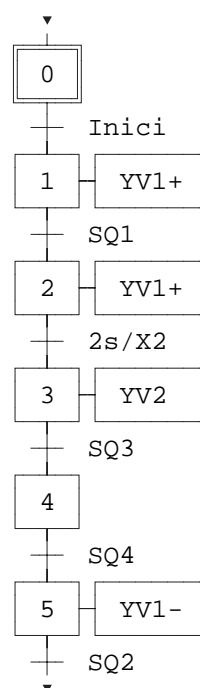


Figura 2

7.4.2. Definició dels elements del procés

Atès que els moviments són lineals i curts, serà convenient emprar cilindres pneumàtics per a realitzar-los. Per al moviment d'avanç triem un cilindre de doble efecte que controlarem amb una vàlvula distribuïdora 5/3 (YV1) mentre que per a l'entintador, atès que el marcatge dura un temps molt curt, triem un cilindre de simple efecte i retorn per molla que comandarem amb una vàlvula distribuïdora 3/2 normalment tancada (YV2).

Cada un dels cilindres requerirà dos detectors de posició (SQ1 a SQ4). Necessitarem també un detector de presència de peces a l'inici de la cursa d'avanç (SQ5) i un altre detector que ens avisi de la saturació de pilotes a la sortida (SQ6). L'arribada de tinta a l'entintador la controlarem amb una vàlvula 2/2 (YV3) normalment tancada (per a líquids, a diferència de les anteriors que eren per aire). També caldrà un detector per a saber si hi ha prou tinta (SQ7).

A la taula 1 tenim una relació dels detectors mentre que la relació de preaccionadors és a la taula 2.

Captador de pressió binari	SP1	Falta aire
Fi de cursa magnètic (Reed)	SQ1	Fi avanç
Fi de cursa magnètic (Reed)	SQ2	Fi retrocés
Fi de cursa magnètic (Reed)	SQ3	Fi baixar
Fi de cursa magnètic (Reed)	SQ4	Fi pujar
Detector de presència capacitiu	SQ5	Presència peça
Detector de presència capacitiu	SQ6	Saturació sortida
Detector òptic de barrera	SQ7	Falta tinta

Taula 1

Electrovàlvula 5/3	YV1+	Avanç
	YV1-	Retrocés
Electrovàlvula 3/2 NC	YV2	Baixar
Electrovàlvula 2/2 NC	YV3	Tinta

Taula 2

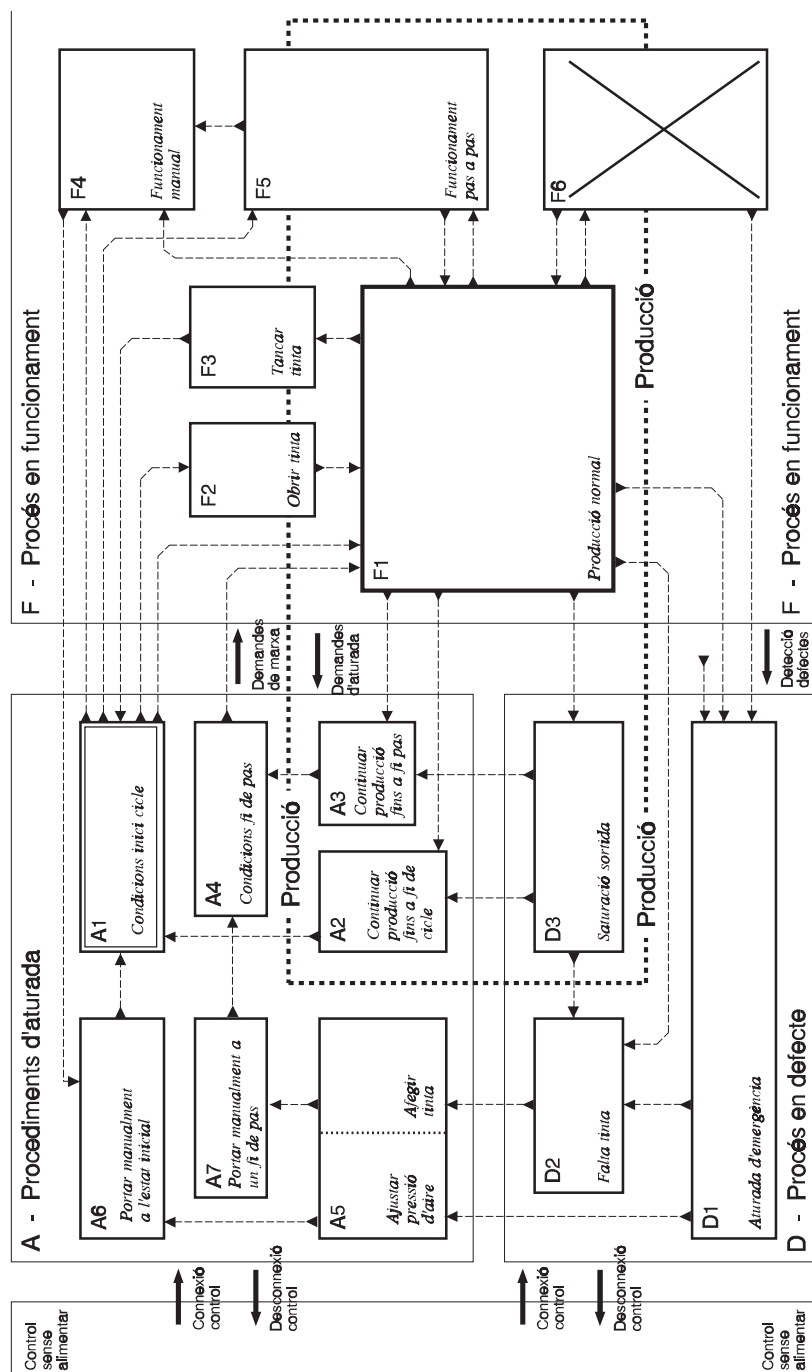


Figura 3

7.4.3. GRAFCET de producció de segon nivell

S'ha representat a la figura 2. S'ha cregut convenient mantenir la pressió al cilindre d'avanç durant dos segons per a garantir que s'estabilitza la posició de les pilotes.

7.4.4. Estudi dels diferents estats de la GEMMA

La figura 3 mostra la GEMMA amb els diferents estats proposats. S'ha procurat que l'exemple sigui tant complet com sigui possible i, per això, s'han emprat tots els estats menys el de test que, en aquest procés, no té sentit.

La màquina pot treballar en quatre modes de funcionament: Manual (F4), Pas a pas (F5), Cicle a cicle (F1) i automàtic (F1). En cas que el cicle a realitzar sigui el primer de la jornada cal obrir la sortida de tinta (F2) i si és el darrer cal tancar-la (F3) al final.

La resta d'estats corresponen a les situacions de defectes, aturades i estats de preparació.

7.4.5. Definició dels camins d'evolució entre estats

El mode automàtic (així com el cicle a cicle) i el manual poden començar a partir de l'estat inicial mentre que el mode pas a pas només és accessible des del mode automàtic. Del mode pas a pas es pot tornar a l'automàtic o anar al manual.

En funcionament cicle a cicle o si es surt del mode automàtic la màquina ha de continuar només fins al final de cicle (A2) que la deixa a l'estat inicial (A1). Si es demana aturada la màquina ha de continuar fins al final del pas (A3) que la deixa en situació d'aturada (A4). Es considera el final d'un pas cada cop que la màquina estigui en una situació que es pugui mantenir en forma estable sense aportació d'energia.

Si la sortida es satura (D3) la màquina continuarà la producció i s'aturarà al final del cicle (A2); en canvi, si falta tinta (D2) la màquina esperarà a què s'afegeixi tinta (A5) i a què l'operador torni a obrir la sortida de tinta i porti la màquina a una situació de final de pas (A7) i llavors s'aturarà (A4).

En cas que la pressió d'aire sigui insuficient o que hom premi el polsador d'emergència la màquina s'aturarà (D1). Quan es desenclavi, si cal, el polsador d'emergència s'esperarà (A5), si és necessari, a què l'operador ajusti la pressió d'aire adequada i llavors l'operador deixarà manualment (A6) el sistema en les condicions d'inici de cicle (A1).

Aquests camins s'han representat a la figura 4.

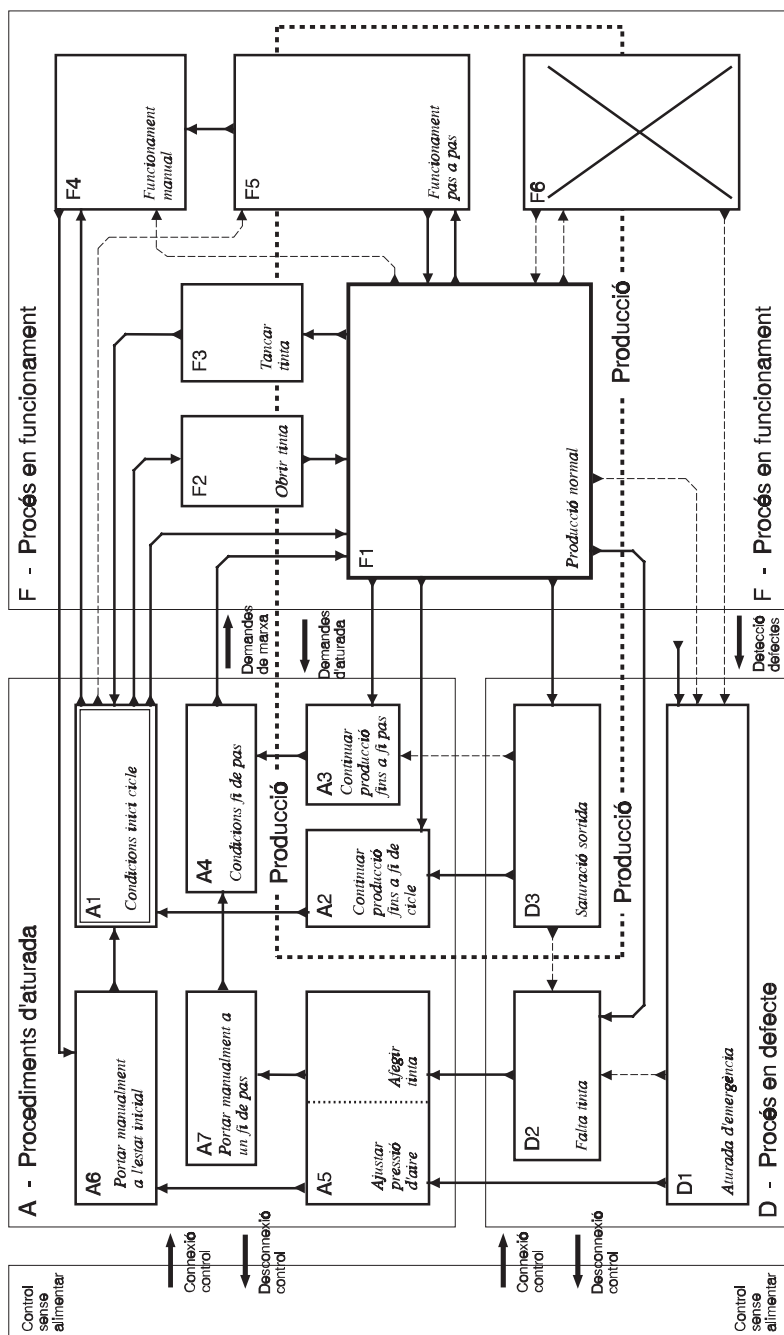


Figura 4

7.4.6. Pupitre d'operador

Els elements que integren el pupitre d'operador són els necessaris per a gestionar els modes de funcionament i per enviar les ordres al procés. La llista d'elements és a la taula 3 i la distribució dels mateixos a la figura 5; aquesta distribució s'ha fet de forma que els elements que requereixen una manipulació fàcil o freqüent estiguin situats més propers a l'operador que els de simple visualització.

Tipus element	Entrades	Sortides	Nom
Pilot	- -	HL1	Falta aire
Pilot	- -	HL2	Falta tinta
Pilot	- -	HL3	Manual
Polsador bolet NC+NC	SB1	- -	Emergència
Polsador NO	SB2	- -	Aturada
Polsador NO	SB3	- -	Tancar tinta
Polsador Iluminós NO	SB4	HL4	Baixar
Polsador Iluminós NO	SB5	HL5	Retrocés
Polsador Iluminós NO	SB6	HL6	Posada en servei
Polsador Iluminós NO	SB7	HL7	Validació auto
Polsador Iluminós NO	SB8	HL8	Obrir tinta
Polsador Iluminós NO	SB9	HL9	Avanç
Pilot	- -	HL10	Pujar
Pilot	- -	HL11	Saturació sortida
Pilot	- -	HL12	Condicions cicle
Commutador 1-0-2	SA1/1	- -	Manual
	SA1/2	- -	Auto
Commutador 1-0-2	SA2/1	- -	Cicle a cicle
	SA2/2	- -	Pas a pas

Taula 3

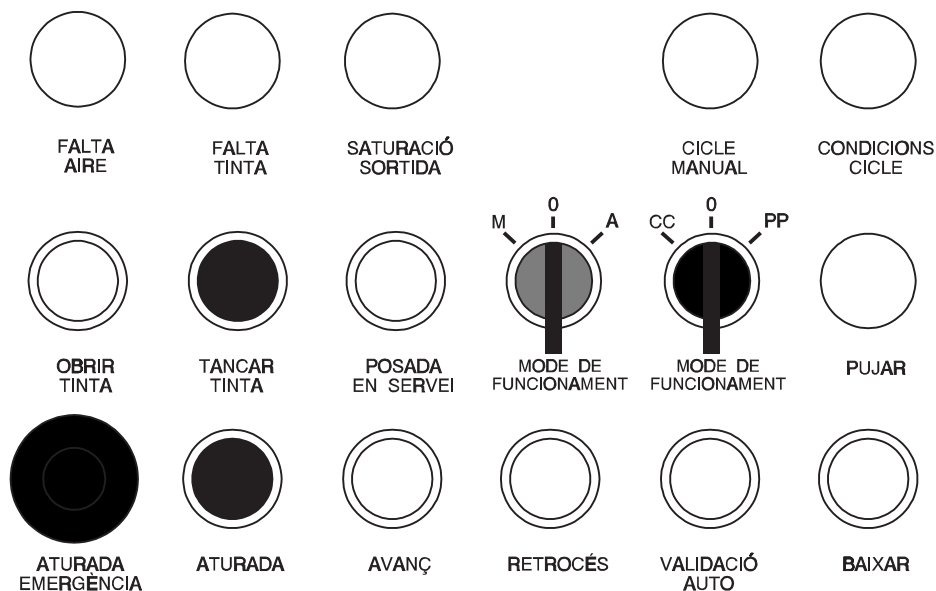


Figura 5

7.4.7. Definició de les condicions d'evolució entre estats

Un cop definits els elements de comunicació amb el procés i de diàleg amb l'operador, disposem de les dades suficients per establir les condicions que han de permetre passar d'un estat a un altre. La fulla gràfica GEMMA completa s'ha representat a la figura 6.

7.4.8. GRAFCET complet de segon nivell

L'estructuració que s'ha volgut donar al comandament constaria de tres GRAFCETs: de modes de marxa, de seguretat i de producció. Per tal de simplificar els dos darrers hem optat, però, per emprar un GRAFCET addicional per a cada moviment així com quatre GRAFCETs auxiliars: tres de memorització d'estats i un per a l'intermitent.

La concepció inicial del GRAFCET de modes de marxa (G100) consisteix en assignar una etapa a cada estat de la GEMMA (excepte els de seguretat) i lligar-les amb els camins d'evolució marcats. El GRAFCET resultant s'ha representat a la figura 7.

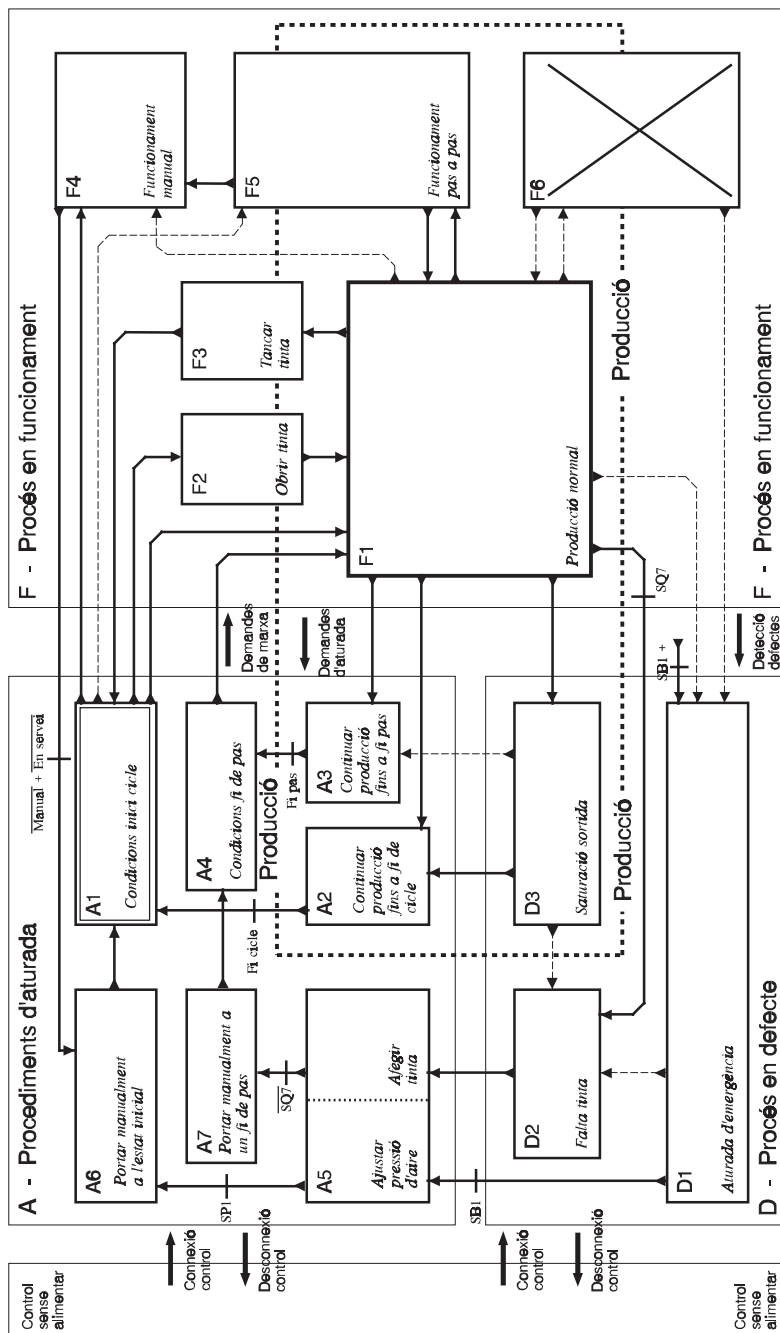


Figura 6

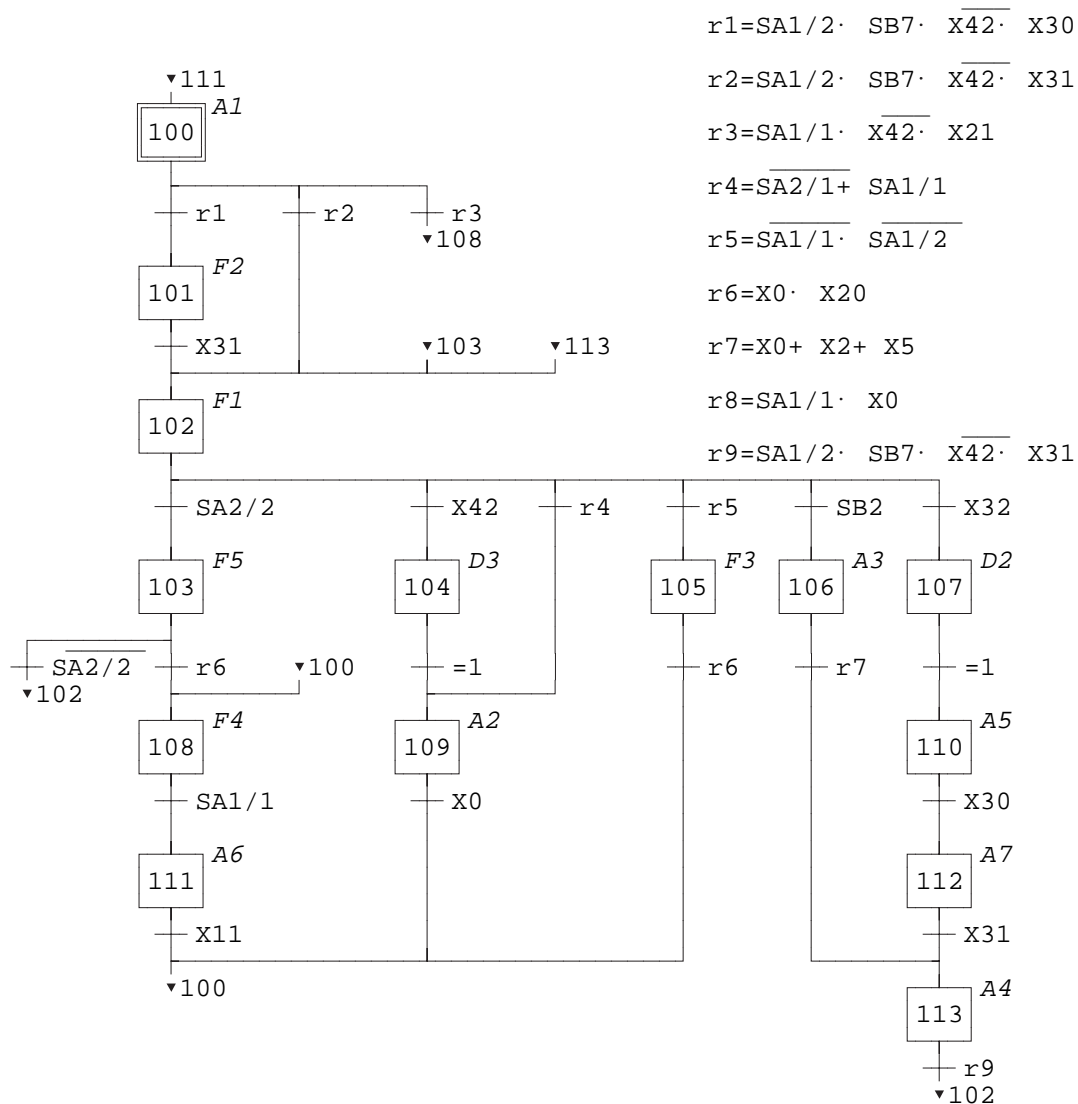


Figura 7

Les etapes 104 i 107 tenen la receptivitat de sortida =1, per tant seran etapes de durada nul.la; per això les eliminem. El GRAFCET resultant, amb les accions associades a les etapes és el de la figura 8.

En la majoria dels casos les accions associades a les etapes del GRAFCET de modes de marxes consisteixen només en l'activació de pilots que assenyalen a l'operador el mode de funcionament actual de la màquina; en forma fixa els estats estables i en forma intermitent els no estables.

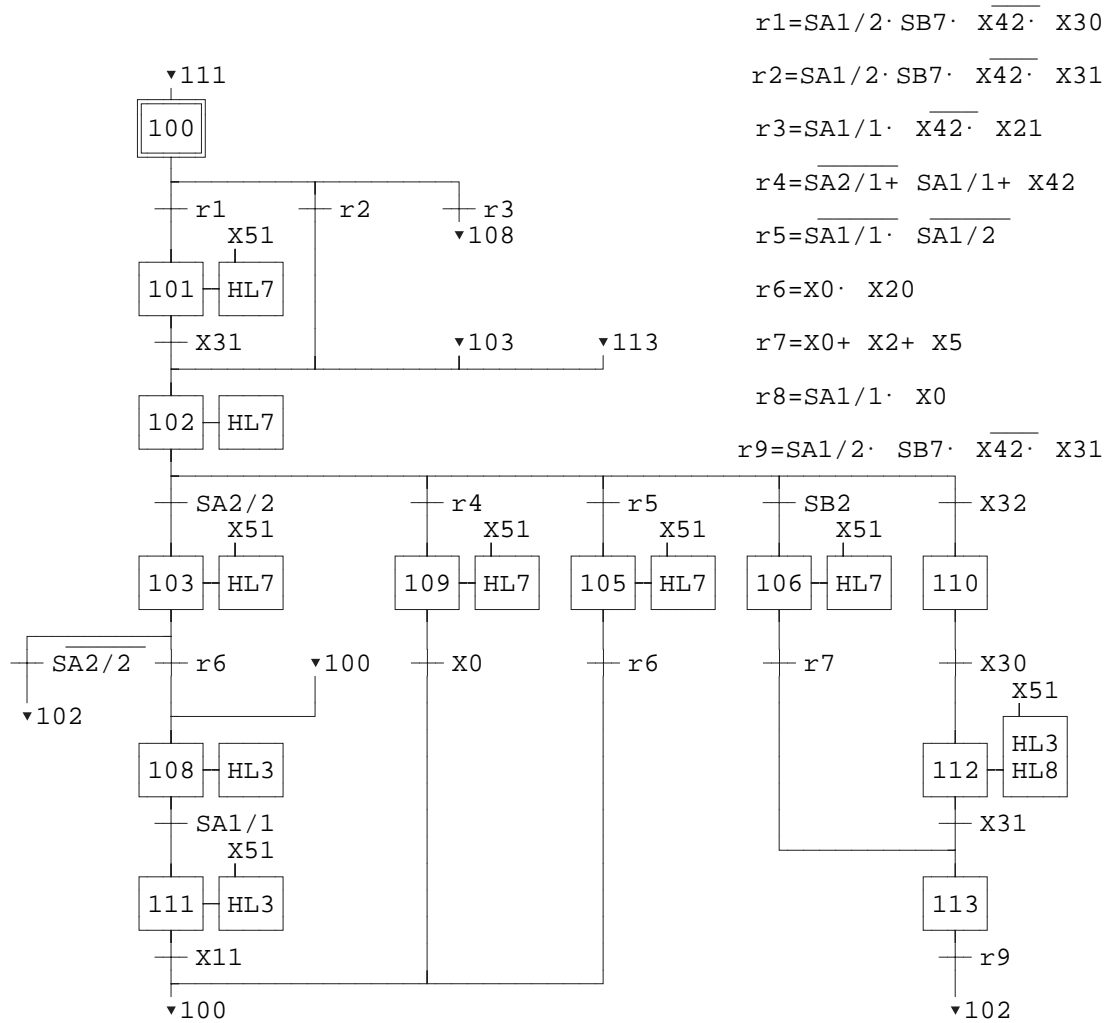


Figura 8: GRAFCET G100

El GRAFCET de seguretats (G20) té tres estats: Fora de servei (etapa 20), en servei (etapa 21) i en defecte (etapa 22). Aquest GRAFCET s'ha representat a la figura 9.

En situació de defecte força tots els GRAFCETs que controlen el procés i les sortides són forçades a la situació corresponent; a més controla el pilot de màquina en servei i el de falta d'aire.

El GRAFCET de producció (G0), que hem representat a la figura 10, és similar al de la figura 2; les diferències són que el temps en què es manté la pressió d'aire un cop acabat l'avanç es controla mitjançant el GRAFCET G60 i que s'han afegit dues etapes de final de pas que actuen com a punts d'aturada en el funcionament pas a pas. Atès que hi ha GRAFCETs separats per al control dels moviments, les etapes d'aquest GRAFCET de producció no tenen accions associades.

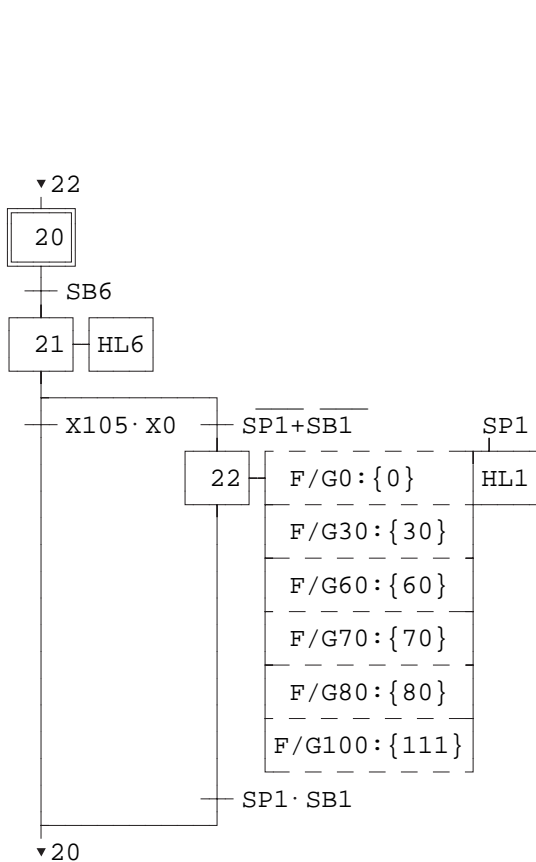


Figura 9: GRAFCET G20

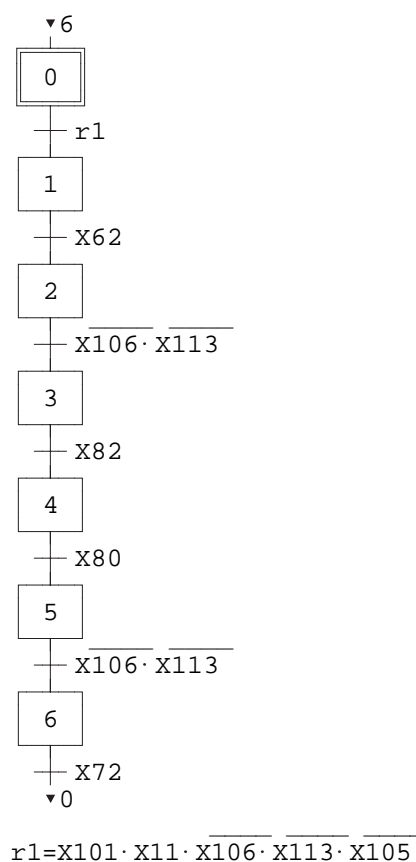
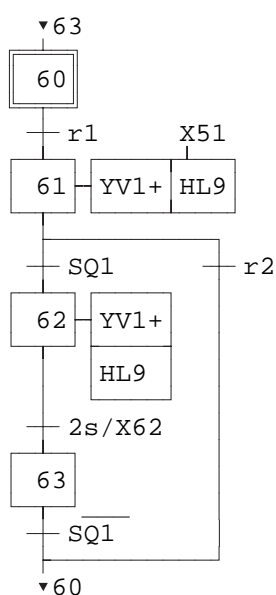


Figura 10: GRAFCET G0

Els GRAFCETs de moviments són el d'avanç (G60, figura 11), el de retrocés (G70, figura 12) i el de baixar i pujar (G80, figura 13). En tots ells quan s'està en moviment s'encén el pilot corresponent en forma intermitent i quan s'arriba al final del moviment el pilot s'encén fix. En l'avanç i el retrocés hi ha un salt d'etapes que preveu l'aturada del moviment si, en mode manual, hom prem ambdós polsadors al mateix temps.

A més hi ha el GRAFCET que controla la tinta (G30, figura 14) amb tres situacions possibles: Vàlvula tancada (etapa 30), vàlvula oberta (etapa 31) i falta tinta (etapa 32). Aquest GRAFCET gestiona el control de la vàlvula i dels pilots de tinta oberta i falta de tinta.

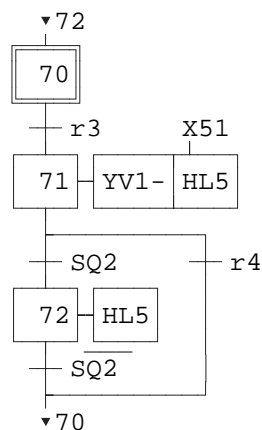


$$r0 = (X108 + X111 + X112)$$

$$r1 = X1 + (SB9 \cdot \overline{SB5} \cdot X70 \cdot r0)$$

$$r2 = \overline{SB5} \cdot r0$$

Figura 11: GRAFCET G60



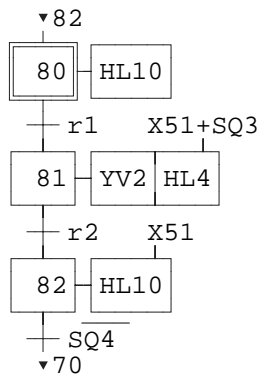
$$r0 = (X108 + X111 + X112)$$

$$r3 = X6 + (SB5 \cdot \overline{SB9} \cdot X60 \cdot r0)$$

$$r4 = SB9 \cdot r0$$

Figura 12: GRAFCET G70

El GRAFCET de situació de la sortida (G40, figura 15) estarà normalment a l'etapa 40 i passarà a la 41 si hi ha una peça davant el detector. Si la peça està més de 10s en la mateixa situació s'entén que la sortida està saturada i es passa a l'etapa 42.

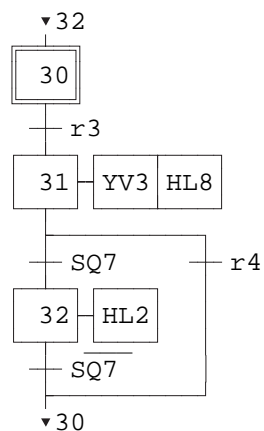


$$r0=(X108+ X111+ X112)$$

$$r1=X3+ (SB4 \cdot r0)$$

$$r4=(X3 \cdot SQ3)+ (r0 \cdot \overline{SB4})$$

Figura 13: GRAFCET G80



$$r0=(X108+ X111+ X112)$$

$$r3=X101+ (SB8 \cdot r0)$$

$$r4=(X105+ (SB3 \cdot r0)) \cdot \overline{SQ7}$$

Figura 14: GRAFCET G30

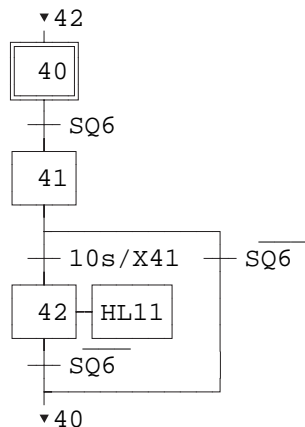


Figura 15: GRAFCET G40

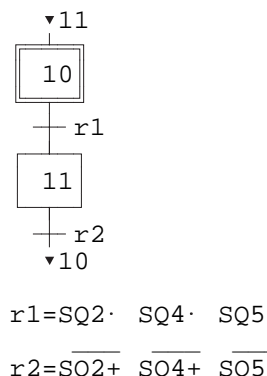


Figura 16: GRAFCET G10

$$r1=SQ2 \cdot SQ4 \cdot SQ5$$

$$r2=\overline{SQ2}+ \overline{SQ4}+ \overline{SQ5}$$

El GRAFCET de condicions d'inici de cicle (G10, figura 16) actua com un relè de memorització d'estat. Tindrà l'etapa 11 activa si estem en condicions d'inici de cicle i, en canvi, tindrà la 10 si no estem en condicions d'inici.

Finalment el GRAFCET G50 (figura 17) actua com a intermitent. Quan l'etapa 50 porta mig segon activa, passa a l'etapa 51 i quan hi porta mig segon torna a la 50. Això implica que la condició X51 canvia intermitentment amb un període d'un segon.

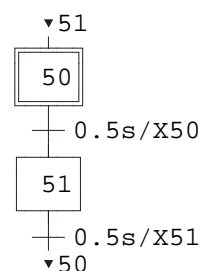


Figura 17: GRAFCET G50

7.4.9. Elecció de la tecnologia de comandament i GRAFCET complet de tercer nivell

En aquest cas, atès que tots els elements d'entrada i sortida són de comandament elèctric, que totes les operacions que cal realitzar són binàries i que només es tracta de fer una màquina (i no una sèrie) proposem implementar l'automatisme amb un autòmat programable industrial.

El fet que tots els elements d'entrada i sortida siguin de comandament elèctric ha estat forçat pels autors que ja teníem pensat l'automatisme d'aquesta forma. En qualsevol cas, tenint en consideració la gran quantitat d'etapes presents, pensem que aquesta és la millor solució.

Volem recalcar que en aquest exemple hem intentat emprar tots els estats possibles de la GEMMA; som conscients que una màquina tan senzilla no justifica emprar quasi tots els estats però si haguéssim triat una màquina més completa el problema hauria estat inabordable.

Pel que fa al GRAFCET de tercer nivell (compost dels 10 GRAFCETs parcials proposats) ens abstenim de presentar-lo atès que és formalment igual al de segon nivell canviant les indicacions dels diferents elements d'entrada i sortida per les corresponents adreces d'entrada i sortida d'autòmat que no coneixem en no haver triat cap marca d'autòmats; cosa que quedaria fora de l'abast d'aquest text.

8. Implementació d'automatismes GRAFCET en autòmats programables

Un automaisme pensat en GRAFCET pot ser implementat fàcilment en qualsevol tecnologia seqüencial (autòmat, ordinador,...) en aquest cas descriurem un mètode per implementar un automaisme GRAFCET en un autòmat programable que es programi en diagrama de contactes. Els mateixos principis, encara que aplicats d'altres formes, podran aplicar-se a altres mètodes de programació.

Aquest mètode contempla totes les estructures que hem estudiat sempre que les receptivitats siguin booleanes. En cas que les receptivitats no siguin booleanes es pot fer un canvi com s'indica a l'apartat 2.6.

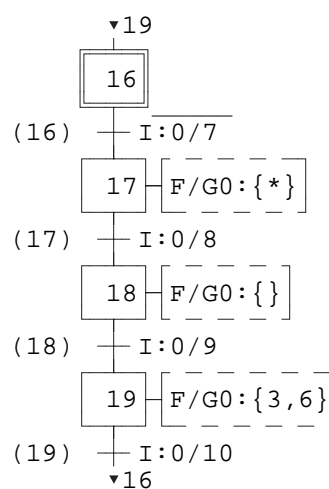
Encara que les macroetapes poden tractar-se fàcilment amb aquest mètode, és aconsellable substituir les macroetapes per les seves expansions. Per a descriure el mètode emprarem un exemple, concretament el GRAFCET global de la figures següents.

En aquest cas són dos GRAFCETs G0 i G1 on G1 és superior en jerarquia i pot forçar G0 a les etapes 3 i 6 (si G1 és a l'etapa 19), a romandre en l'etapa actual (si G1 és a la 17) o a desactivar-se (si G1 és a l'etapa 18).

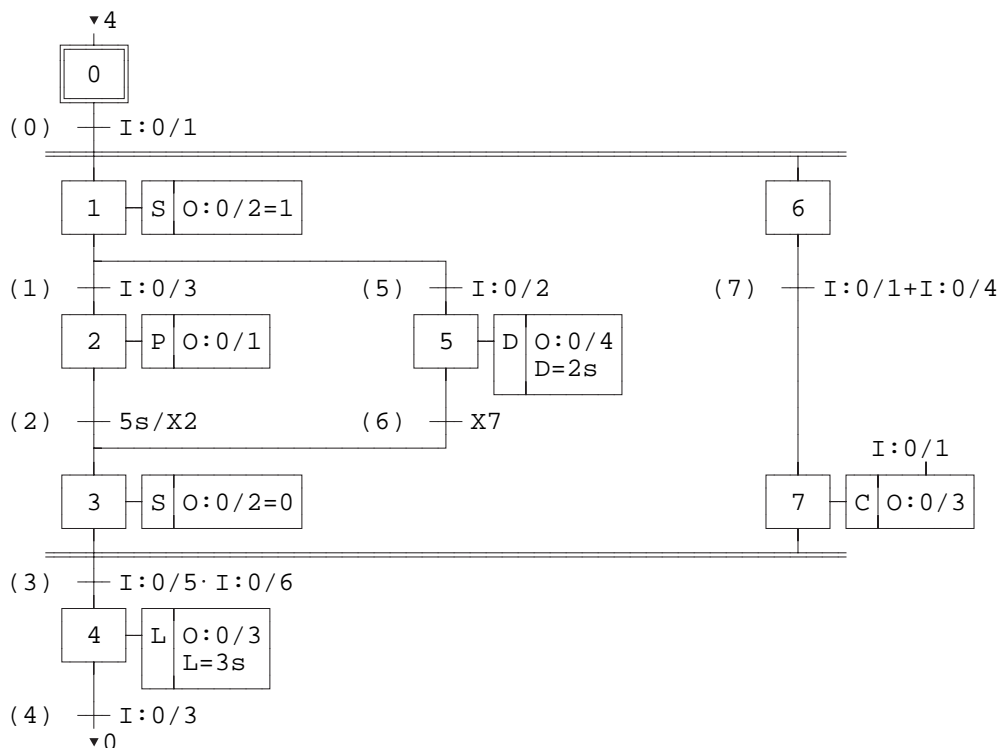
Per a una fàcil implementació convé numerar les transicions i donar noms als GRAFCETs. Per a realitzar l'exemple d'implementació s'ha triat un autòmat Allen-Bradley tipus SLC-500.

Inicialment hem d'assignar un relè intern (bit) a la situació d'activitat de cada etapa. En el nostre cas assignarem un bit del fitxer B10; per tant quan l'etapa 4 estigui activa ho estarà B10/4. Es tractarà de relès de memòria (Latch-Unlatch).

També assignarem un relè intern a cada receptivitat que ens indicarà si és certa. En el nostre cas assignarem un bit del fitxer B11; per tant quan la transició 3 sigui certa estarà actiu B11/3. Es tractarà de relès normals (no de memòria).



GRAFCET G1



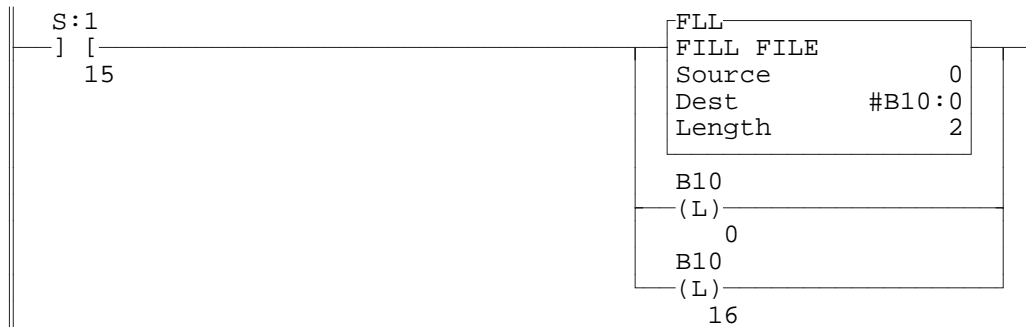
GRAFCET G0

Durant l'evolució del GRAFCET els continguts de B10 canviaran; per mantenir la informació de les transicions que estan validades emprarem els relès del fitxer B12. Aquests relès s'actualitzaran a cada passada i serviran també de referència de comparació quan determinem si la situació actual és estable o no.

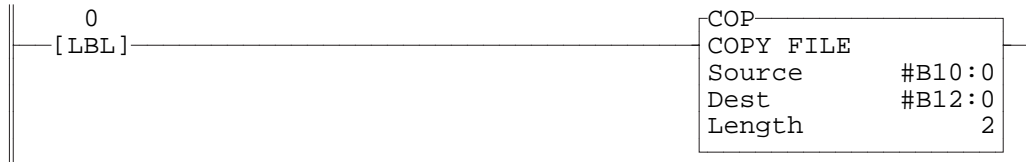
Finalment definirem un bit del fitxer B13 per a cada GRAFCET connex. Aquest bit estarà activat quan el GRAFCET corresponent estigui forçat. En el nostre cas tindrem el B13/0 i el B13/1, encara que aquest darrer no l'emprarem.

Els relès auxiliars (bits) els agafarem del fitxer B3. Un cop definits els bits necessaris comencem el programa d'implementació.

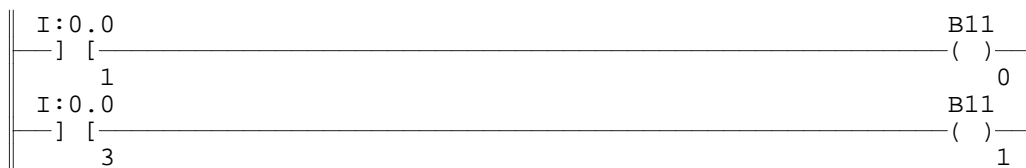
La primera línia conté la inicialització del GRAFCET. En inicialitzar cal activar totes les etapes inicials i desactivar les altres. El relè de sistema S:1/15 s'activa en el primer cicle d'autòmat després d'una posta en marxa o d'un canvi de programa. Per estalviar espai fem la instrucció d'emplenat de fitxers de forma que posem a zero els dos primers elements del fitxer B10 (etapes 0 a 15 i 16 a 31); no hi ha cap problema a desactivar etapes inexistents. A continuació activem les dues etapes inicials (0 i 16).



La línia següent copia la situació d'activitat de les etapes (fitxer B10) sobre el fitxer B12 per tal de guardar la informació mentre evoluciona el programa. Per estalviar espai fem la instrucció de còpia de fitxers copiant dos elements. La línia porta una etiqueta atès que és l'inici de la zona d'evolució.



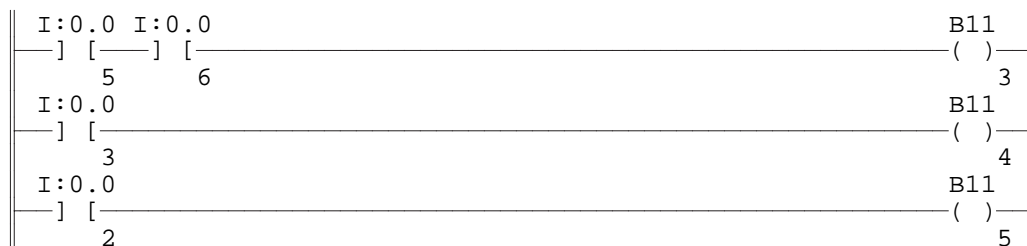
En aquest punt cal gestionar les receptivitats. Es tracta de definir les condicions booleanes (funció de les entrades o dels elements interns) que descriuen la receptivitat.



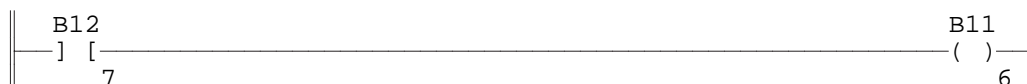
Si la condició és temporitzada, empram el bit de fi de temporització.



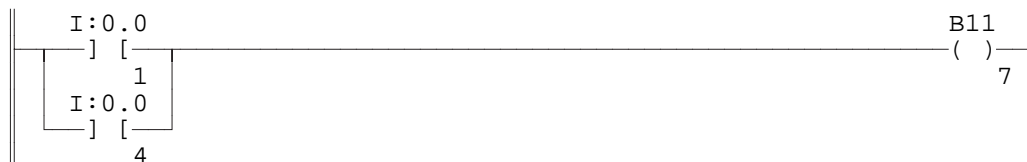
Si la condició té una funció "I" (·) empram dos contactes en sèrie.



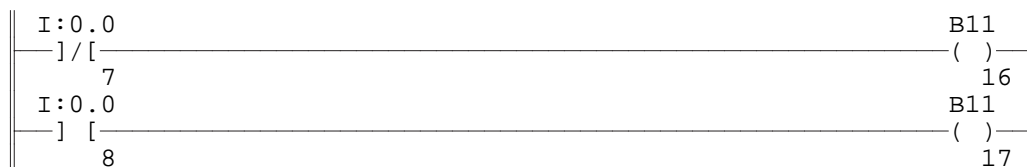
En cas d'una transició condicionada per una etapa, s'empra el B12 corresponent.

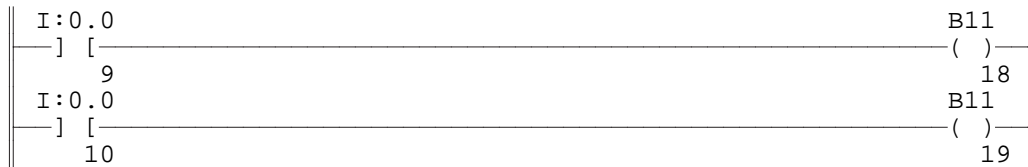


Si la condició té una funció "O" (+) empram dos contactes en paral·lel.

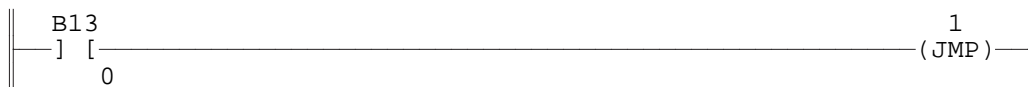


En cas que la condició sigui la negació d'un element cal emprar un contacte normalment tancat.





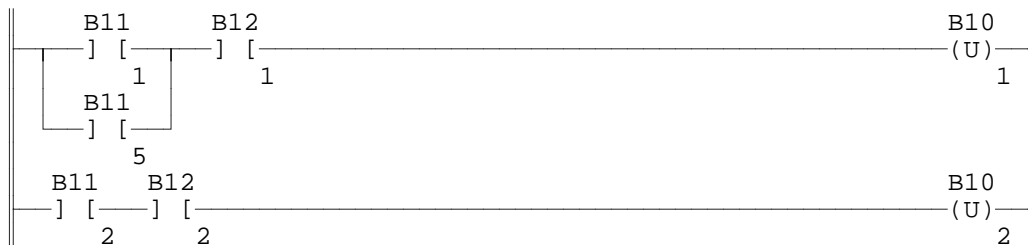
Un cop enllestides les receptivitats comencem l'evolució. L'evolució s'ha d'implementar GRAFCET a GRAFCET sense que l'ordre tingui massa importància. Si un GRAFCET està forçat no ha d'evolucionar, per això si està forçat saltem les línies d'evolució.



En evolucionar cal desactivar primer les etapes que tinguin la transició de sortida validada i la receptivitat corresponent certa. Fixem-nos que les validacions les mirem emprant el fitxer B12 i no el B10 atès que aquest darrer s'anirà modificant al llarg de l'evolució.



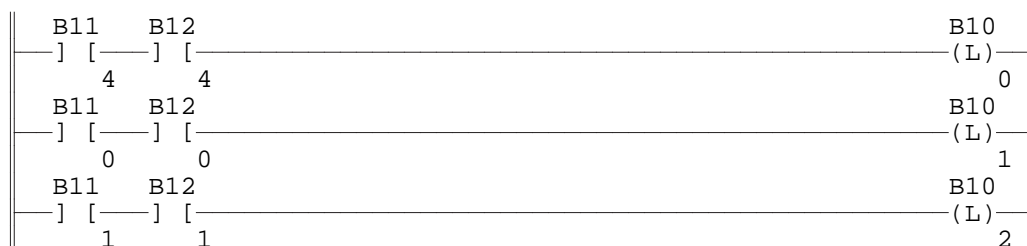
En el cas de l'inici d'una selecció de seqüència (o també salt d'etapes o repetició de seqüència) hi ha dues receptivitats (funció "O") que poden desactivar una etapa.



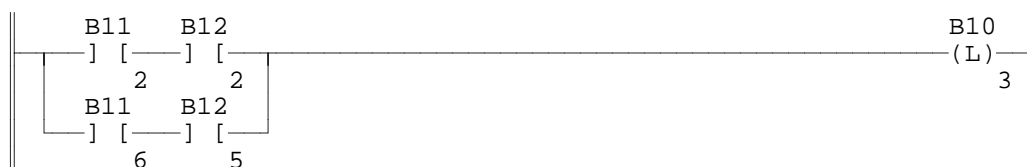
En el final d'unes seqüències simultànies només es valida la transició si totes les etapes immediatament anteriors són actives (funció "I"). Llavors es desactiva més d'una etapa amb la mateixa condició.



Tot seguit cal activar aquelles etapes que tinguin la transició d'entrada validada i la receptivitat corresponent certa. D'aquesta forma l'activació serà prioritària sobre la desactivació.



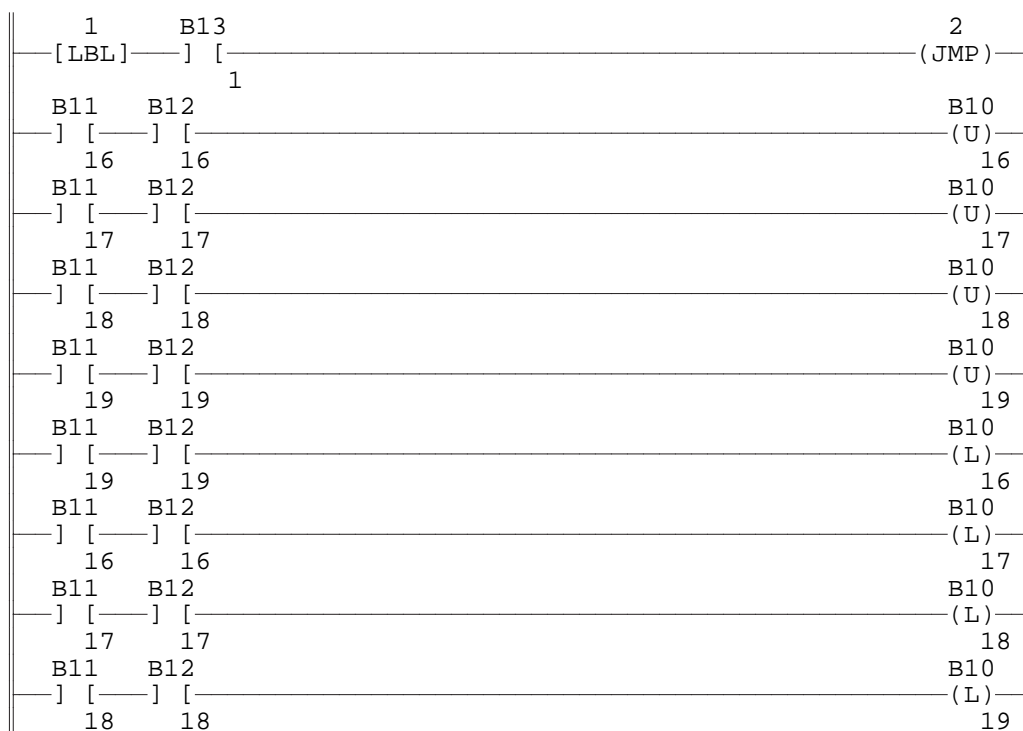
Al final d'una selecció de seqüència (o també salt d'etapes o repetició de seqüència) hi ha dues o més formes d'activar una etapa, segons quina sigui la seqüència que estigui operativa.



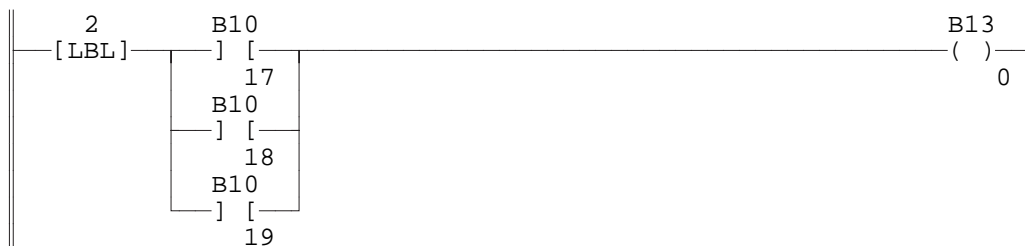
En tancar unes seqüències simultànies només està validada la transició quan totes les etapes immediatament precedents són actives.



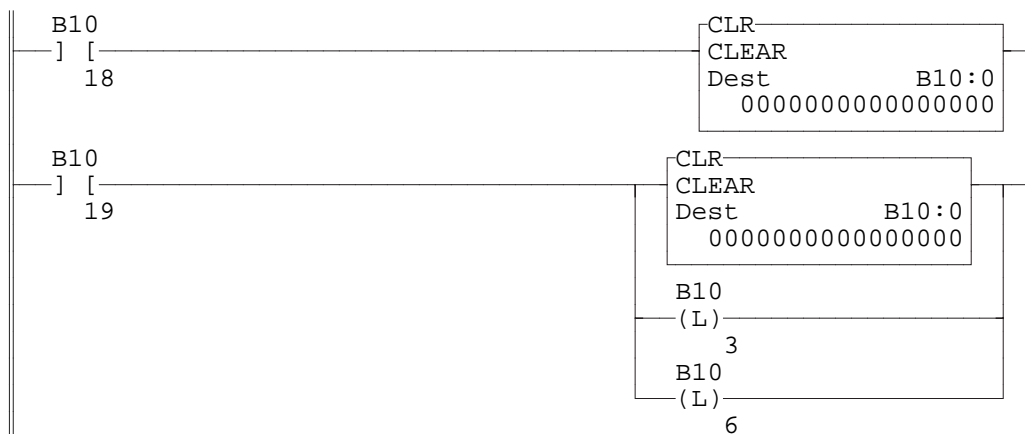
Un cop enllestida l'evolució del primer GRAFCET cal fer la dels següents.



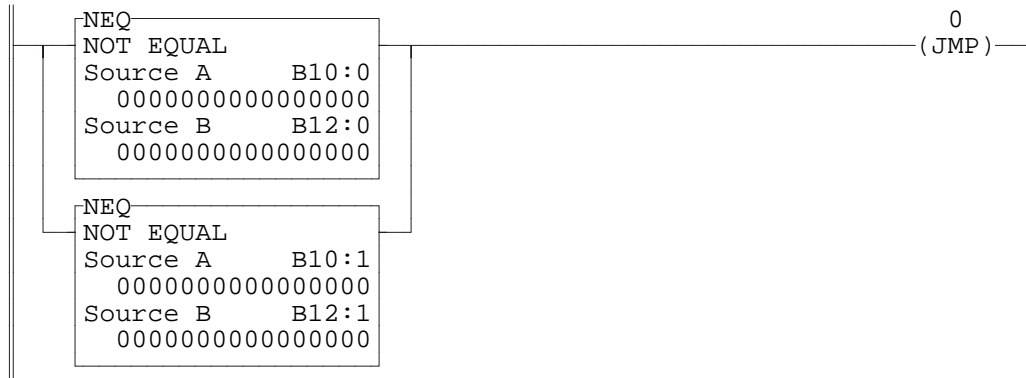
Un cop acabada l'evolució de tots els GRAFCETs cal tenir en compte que en la nova situació pot haver-hi forçats que poden canviar la situació actual d'activitat. En cas que qualsevol de les etapes que poden forçar un GRAFCET estigui activa, s'ha d'activar el seu bit de forçat.



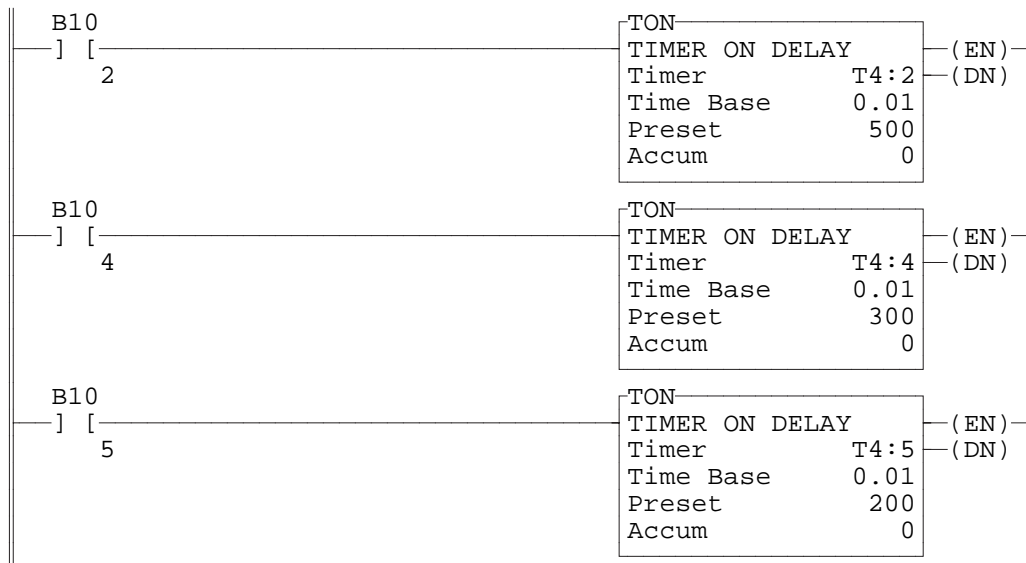
En cas que un GRAFCET sigui forçat a un estat diferent de l'actual cal desactivar totes les seves etapes actives i activar les forçades. En el nostre cas hem pres la precaució d'assignar nombres d'etapa entre 0 i 15 al GRAFCET G0 i entre 16 i 31 al G1, cosa que ens permet emprar la instrucció d'esborrat d'element (un element són 16 bits consecutius) per a desactivar les etapes.



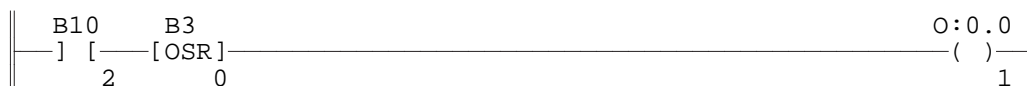
Abans de realitzar les accions associades a les etapes cal comprovar que la situació assolida és estable. Per aquest motiu comparem els continguts dels fixers B10 i B12 i si no són iguals tornem al començament.



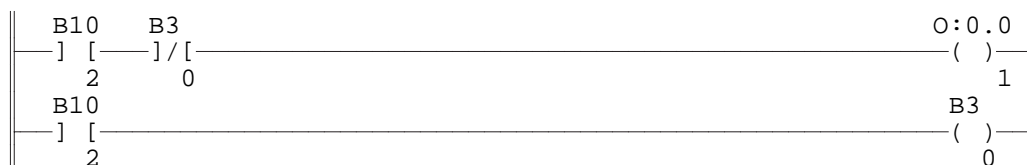
Encara que no siguin accions pròpiament dites, també cal considerar els temporitzadors. La codificació t_i/X_i és una condició que té en compte el temps transcorregut des de l'activació de l'etapa. Així doncs el temporitzador ha de començar a comptar en activar-se l'etapa i continuar comptant fins que l'etapa es desactivi o passi el temps establert.



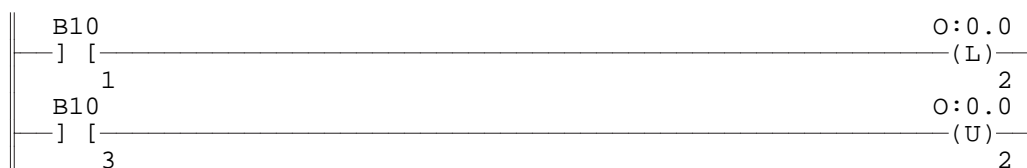
Les accions impulsionalment les realitzarem només durant un cicle de programa; per això fem servir la instrucció OSR.



En cas que fem servir un autòmat que no tingui una instrucció equivalent podem aconseguir fàcilment un funcionament similar amb un relè, com es mostra a continuació.



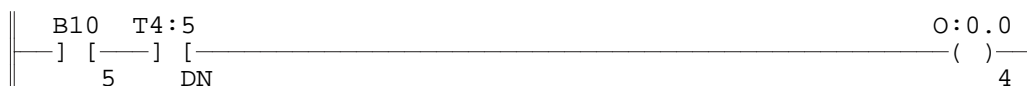
Les accions mantingudes es fan amb relès de memòria.



Si una acció no mantinguda (com O:0/3) s'ha de realitzar en més d'una etapa cal agrupar-les. Les accions condicionades han de venir afectades, a més del bit d'etapa, per la corresponent condició (I:0/1). Les accions limitades només es realitzen mentre el temporitzador està comptant (bit TT activat).



Les accions retardades, en canvi, s'executen quan el temporitzador ja ha acabat (bit DN activat).



8.1. Mètode simplificat d'implementació

El mètode que s'ha exposat fins ara és molt potent però implica la creació de programes llargs, especialment si el nostre autòmat no disposa d'instruccions de nivell de paraula, salts i tractament de flancs. En molts casos els programes que cal fer són prou senzills com perquè aquest mètode resulti llarg i pesat. Per aquest motiu hem decidit proposar un segon mètode que permet realitzar una implementació més senzilla per al cas de programes petits i senzills.

Aquest mètode està pensat per al cas en què tenim un únic GRAFCET connex i que, per tant, no hi ha forçats. En cas que hi hagin macroetapes es suposa que s'han integrat dins el propi GRAFCET i que, consegüentment, es pot considerar que no n'hi ha. Per tal que es pugui aplicar el mètode totes les receptivitats hauran de ser booleanes. En cas que les receptivitats no siguin booleanes es pot fer un canvi com s'indica a l'apartat 2.6.

En cas que hi hagi receptivitats condicionades pel temps, només ho seran pel temps d'activació de l'etapa precedent i si hi ha accions condicionades pel temps, només ho seran pel temps d'activació de la pròpia etapa. No hi haurà accions impulsional.

Cal que no hi hagi etapes de durada nul·la o, dit d'altra manera, que totes les situacions siguin estables. És convenient doncs que el dissenyador faci el GRAFCET de tal forma que la receptivitat de sortida d'una etapa no pugui ser certa abans de la seva activació, ja sigui no permetent l'activació de l'etapa en aquesta circumstància o bé saltant l'etapa si es dóna el cas. En cas que, per error, una etapa hagi de tenir durada nul·la, el programa activarà l'etapa (i les seves accions associades) durant un cicle d'autòmat (*scan*).

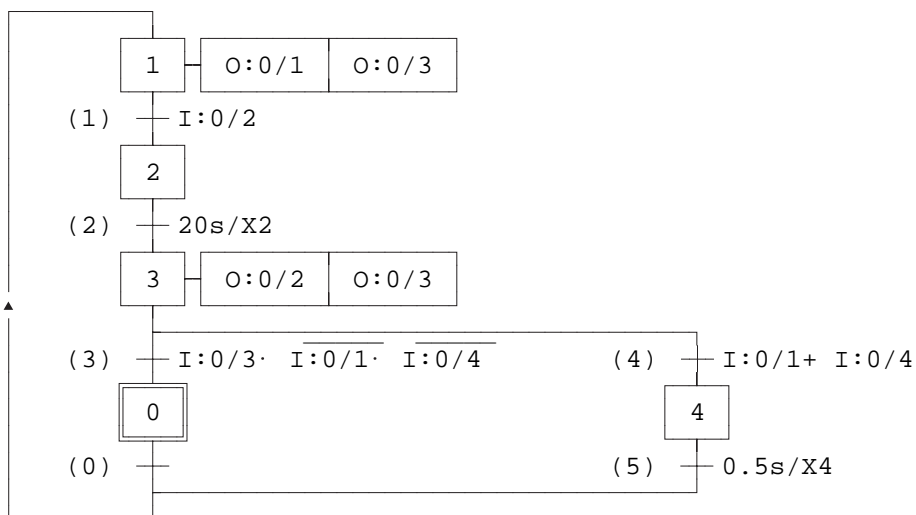
Per a descriure el mètode emprarem un exemple, concretament el GRAFCET de la figura que correspon a l'automatisme d'una porta de garatge. Per a realitzar l'exemple d'implementació s'ha triat un autòmat Allen-Bradley tipus SLC-500.

La relació d'entrades i sortides és la següent:

Pany per ordenar l'obertura	I:0/1
Fi de cursa de pujar	I:0/2
Fi de cursa de baixar	I:0/3
Detector de pas	I:0/4
Contactador del motor de pujar	O:0/1
Contactador del motor de baixar	O:0/2
Pilot indicador moviment porta	O:0/3

Per començar la implementació assignarem un relè intern (bit) a cada etapa (en el nostre cas hem agafat un bit del fitxer B10) que estarà actiu quan l'etapa estigui activa; es tractarà d'un relè de memòria.

Assignarem també un bit a cada receptivitat (en el nostre cas hem agafat un bit del fitxer B11) que estarà actiu quan la receptivitat sigui certa i un bit a cada transició (en el nostre cas hem agafat un bit del fitxer B12) que estarà actiu quan la transició estigui validada.



La primera línia conté la inicialització del GRAFCET. En inicialitzar cal activar totes les etapes inicials i desactivar les altres. El relè de sistema S:1/15 s'activa en el primer cicle d'autòmat després d'una posta en marxa o d'un canvi de programa.



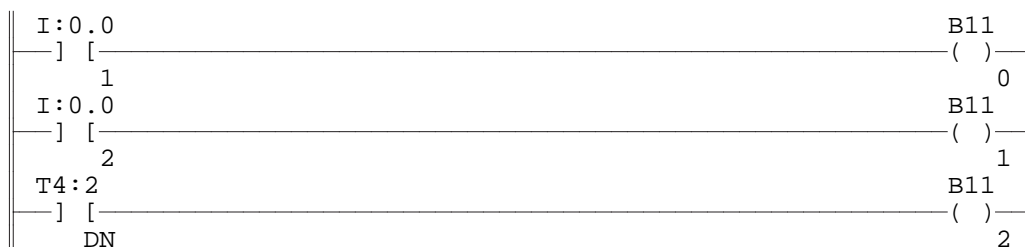
Seguidament programem les desactivacions d'etapa. Quan una transició és vàlida i la receptivitat corresponent és certa cal desactivar totes les etapes precedents.

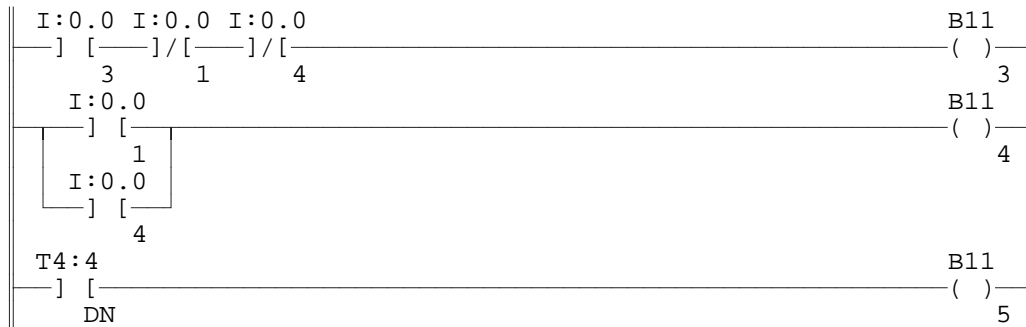


I, a continuació, les activacions. Quan una transició és vàlida i la receptivitat és certa cal activar totes les etapes posteriors.



Continuem amb les condicions de transició.

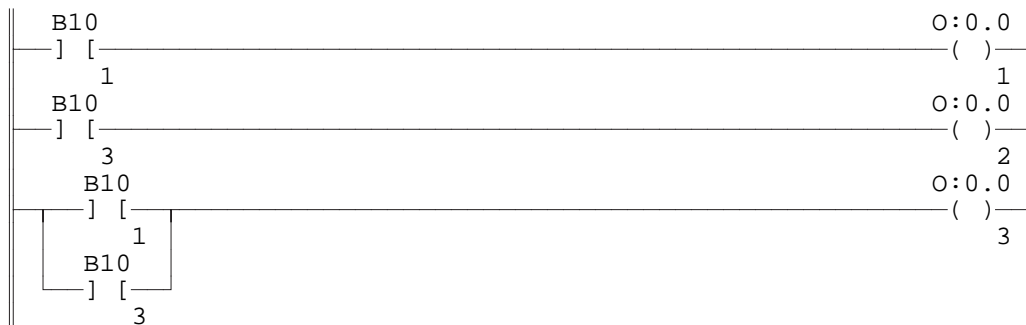




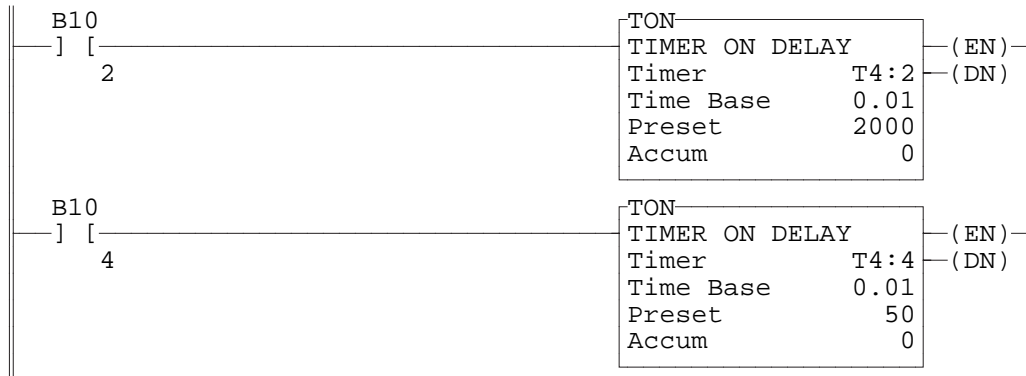
Ara és el moment de validar les transicions. Una transició és vàlida quan totes les etapes immediatament anteriors són actives.



Tot seguit programarem les accions associades a les etapes.



I, finalment, els temporitzadors.



9. Bibliografía

Norma francesa **UTE NF C 03-190**

Diagramme fonctionnel "GRAFCET" pour la description des systèmes logiques de commande
Juny 1982

Norma internacional **IEC-848**

Preparation of function charts for control systems
Desembre 1988

D. Bouteille, N. Bouteille, S. Chantreuil, R. Collot, J.P. Frachet, H. Le Grad, C. Merlaud,
J. Selosse, A. Sfar

Los automatismos programables
Editions CITEF, Febrero 1991

Manual de los automatismos de mando neumático

Telemecánica Eléctrica Española, julio 1992

H. Ney

Éléments d'automatismes

Col.lecció *Electrotechnique et normalisation*

Éditions F. Nathan, 1985

M. Pinot, R. Jégoux, J-P. Maillart

Du GRAFCET aux automates programmables

Les Éditions Foucher, Paris 1991

Groupe G7W ADEPA/AF CET

Le GRAFCET

Cépaduès-Éditions, Toulouse 1992

R. Thomas

Programmation du GRAFCET sur les automates programmables industriels

Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM), 1986

M. Faucher, M. Grandpierre

Jornades sobre "Mètodes numèrics de regulació de màquines elèctriques"

Barcelona i Vilanova i la Geltrú, setembre 1987

O. Boix, M.A. Saigí, A. Sudrià

Programació d'autòmats Allen-Bradley PLC-5 i SLC

Col·lecció *Aula pràctica*, 9

Edicions UPC, Barcelona 1993