



Projecte de Fi de Carrera  
**Enginyer Industrial**

## **Automatització d'una cèl·lula de fabricació flexible**

**MEMÒRIA**

**Autor:** Àngel Silos Sánchez  
**Director:** Josep M. Fuertes i Armengol  
**Convocatòria:** Juny 2006 (pla 94)



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona







PROJECTE DE FI DE CARRERA

Curs:

TITULACIÓ:

INTENSIFICACIÓ:

Cognoms:

Nom:

Domicili:

Ciutat:

C.P.:

Tel.:

*e-mail:*

DNI / PASSAPORT:

Realitzat en col·laboració amb:

DNI / PASSAPORT:

TÍTOL:

Resum de les parts del contingut del projecte:

**ENREGISTRAMENT**

Director/a:

Coordinadora de PFC

Cap d'estudis de 2n cicle

M. Margarita GONZÁLEZ

Rafael RUIZ MANSILLA

Segell i data Ord. d'Estudis

**LLIURAMENT:** Aquest projecte s'ha realitzat durant el període / / a / / , i es considera apte per a la seva valoració

Vist-i-plau director/directora i/o ponent Data: / /

**Informe del tribunal**

**President**

**Vocal**

**Vocal**

Valoració global prèvia a la defensa

Qualitat de la presentació

Defensa a les preguntes del tribunal

VALORACIÓ GLOBAL INDIVIDUAL

President: \_\_\_\_\_ Vocal: \_\_\_\_\_ Vocal: \_\_\_\_\_

**QUALIFICACIÓ DEL TRIBUNAL**

Data:

d

de

Nota:

( )

Departament		Clau principal	Claus secundàries				
Codi	Nom	CP1	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5
702	Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica	Materials	Ceràmics	Metalls	Polimers	Biomaterials	Mètodes Numèrics
706	Enginyeria de la Construcció	Construcció	Estructures				
707	Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica	Automàtica	Bioenginyeria	Robòtica	Informàtica industrial		
709	Enginyeria Elèctrica	Electrotècnia	Automàtizació	Línies i Xarxes	Accionaments E.		
710	Enginyeria Electrònica	Electrònica	El. de Potència	Microelectrònica			
711	Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental	Hidràulica	Maq. Hidràuliques				
712	Enginyeria Mecànica	Mecànica	Fabricació	Màquines	Transport		
713	Enginyeria Química	Química	Medi Ambient	Reactors Q.	Q. Analítica	Polimers	
715	Estadística i Investigació Operativa	Estadística	Qualitat				
717	Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Gràfics					
721	Física i Enginyeria Nuclear	Física / Nuclear	Nuclear	Mecànica	Electrotècnia	Materials	Termoenergia
723	Llenguatges i Sistemes Informàtics	Informàtica	Gràfics	CAD	Internet		
724	Màquines i Motors Tèrmics	Termoenergia	Motors	Termotècnia	Termodinàmica		
725	Matemàtica Aplicada I	Matemàtica	Mètodes Numèrics	Estadística	Història Tècnica	Modelització	Gràfics
729	Mecànica de Fluids	Fluids	Maq. Hidràuliques				
732	Organització d'Empreses	Gestió	Administració E.	O. Industrial	Economia	Recursos H.	
736	Projectes d'Enginyeria	Projectes	Disseny	Luminotècnia	Innovació Tecnològica	Sist. Audiovisuals	Medi Ambient
737	Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria	Estructures	Resistència	Mètodes Numèrics			

## Resum

Al món industrial es presenten, de forma sovint, petites instal·lacions industrials dedicades a la producció de peces mecàniques que ofereixen una fabricació de caràcter flexible. Molts cops es desitja disposar d'un control robust i modificable amb la intenció de poder realitzar ampliacions en un futur.

El present projecte final de carrera consisteix en el control i monitorització d'un d'aquests processos industrials, concretament una cèl·lula de fabricació flexible. Aquest projecte engloba des de la definició del procés inicial fins arribar a la implementació del control global i la seva monitorització.

El desenvolupament d'aquest projecte ha començat per definir el procés industrial a automatitzar. A partir d'aquest pas previ s'ha definit la disposició en planta determinant cada punt del procés sense intervenir en el funcionament intern dels components.

El segon punt del projecte ha consistit en realitzar una anàlisi qualitativa, per medi del formalisme de les XdP (*Xarxa de Petri*). L'objectiu d'aquesta anàlisi permet determinar l'estructura de relacions entre els diferents elements que conformen la cèl·lula, així com les característiques essencials d'aquesta.

En un tercer punt s'ha desenvolupat un model de simulació, a través del *software* Arena v. 7.01, sobre la definició del procés per verificar la correctesa del disseny i facilitar l'automatització del mateix. Aquest model aporta, per un altre lloc la possibilitat d'introduir i avaluar modificacions al sistema sense necessitat de fer canvis físics.

Finalment el projecte queda completat amb la implementació del control del procés per medi del *software* de monitorització WinCC v. 6.0 i el de programació d'autòmats STEP 7 v 5.3. L'automatització s'ha realitzat de forma modular amb la intenció de que en un futur sigui ampliable o modificable amb facilitat. S'han detallat les variables i blocs funcions que apareixen a les diferents parts del control per que la seva lectura sigui comprensible.

Aquest projecte es pot fer servir com una guia a l'hora d'automatitzar processos industrials similars al presentat en aquest document, fent ús de la modulació amb la que s'ha desenvolupat.





# Sumari

## MEMÒRIA

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACI</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del projecte.....	9
2.2. Motivació .....	9
2.3. Requeriments previs .....	10
<b>3. INTRODUCCIÓ</b>	<b>11</b>
3.1. Objectius del projecte .....	11
3.2. Abast del projecte .....	11
<b>4. DESCRIPCIÓ DE LA CÈL·LULA</b>	<b>13</b>
4.1. Definició de les línies de fabricació de la cèl·lula .....	14
4.2. Descripció de les zones de la cèl·lula.....	17
4.2.1. Descripció de la zona Z I: Tractament de les peces A i B .....	17
4.2.2. Descripció de la zona Z II: Assemblatge de les peces A' i B' .....	18
4.2.3. Descripció de la zona Z III: Assemblatge de la peça AB' amb la peça C .....	19
4.2.4. Descripció de la zona Z IV: Operacions sobre les peces AB'C.....	20
4.2.5. Descripció de la zona Z V: Tractament de les peces D i E.....	21
4.2.6. Descripció de la zona Z VI: Assemblatge de les peces D' i E' .....	22
4.2.7. Descripció de la zona Z VII: Nexa de les dues línies.....	23
4.3. Hipòtesis i consideracions sobre els elements de la cèl·lula .....	24
<b>5. ANÀLISI QUALITATIVA DE LA CÈL·LULA</b>	<b>27</b>
5.1. Procediment de formalització de la xarxa de Petri de la cèl·lula .....	27
5.2. Definició de la xarxa de Petri .....	28
5.2.1. Especificació de la xarxa de Petri de la zona Z I.....	29
5.2.2. Construcció de la xarxa de Petri de la zona Z I.....	34
5.2.3. Consideracions sobre la xarxa de Petri colorejada.....	39
5.3. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri.....	40
5.3.1. Anàlisi qualitativa de la zona Z I.....	40
5.3.2. Resultats de l'anàlisi qualitativa de la zona Z I.....	44



<b>6. MODEL PER L'ANÀLISI QUANTITATIVA DE LA CÈL·LULA</b>	<b>49</b>
6.1. Implementació del model.....	51
6.1.1. Implementació del model de la línia L I.....	51
6.1.2. Implementació de la línia L II i el Nexe.....	57
6.2. Verificació i flexibilitat del model.....	57
6.3. Interpretació dels resultats del model.....	60
<b>7. CONTROL I MONITORITZACIÓ DE LA CÈL·LULA</b>	<b>63</b>
7.1. Aplicació de la guia GEMMA.....	66
7.2. Configuració física del <i>hardware</i> .....	68
7.2.1. Configuració del PLC.....	69
7.2.2. Configuració de l'equip SCADA.....	71
7.3. Control de la cèl·lula.....	72
7.3.1. Especificacions del control.....	73
7.3.2. Programa de control del PLC.....	74
7.3.3. Programa de control de l'SCADA.....	78
<b>8. CRITERIS AMBIENTALS</b>	<b>85</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>89</b>
Referències bibliogràfiques.....	89
Bibliografia complementària.....	91





## ANNEXOS

<b>SUMARI</b>	<b>1</b>
<b>A. DESCRIPCIÓ DE LA CÈL·LULA</b>	<b>3</b>
A.1 Disposició en planta de la cèl·lula.....	3
A.2 Capacitat i nombre d'operacions dels elements .....	4
<b>B. XARXA DE PETRI I ANÀLISI QUALITATIVA</b>	<b>7</b>
B.1 Xarxa de Petri amb magatzems de sortida .....	7
B.2 Xarxa de Petri amb retorn de les peces .....	17
B.3 Descripció dels llocs de la xarxa de Petri.....	19
B.4 Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la cèl·lula.....	20
B.4.1. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la zona Z I.....	20
B.4.2. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la zona Z II.....	23
B.4.3. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la zona Z III.....	26
B.4.4. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la zona Z IV .....	29
B.4.5. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la zona Z V .....	31
B.4.6. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la zona Z VI .....	34
B.4.7. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri de la zona Z VII .....	36
<b>C. MODEL PER L'ANÀLISI QUANTITATIVA</b>	<b>39</b>
C.1 Model de la línia L I .....	39
C.1.1. Entorn gràfic del model de la línia L I .....	39
C.1.2. Característiques dels elements del model de la línia L I.....	44
C.2 Model de la línia L II .....	46
C.2.1. Entorn gràfic del model de la línia L II .....	46
C.2.2. Característiques dels elements del model de la línia L II.....	50
C.3 Model del Nexè .....	51
C.3.1. Entorn gràfic del model del Nexè.....	51
C.3.2. Característiques dels elements del model del Nexè.....	54
<b>D. RESUM DEL PROGRAMA DE CONTROL DEL PLC</b>	<b>55</b>
D.1 Estructura del programa .....	55
D.2 Blocs del programa .....	57
D.2.1. Bloc OB1.....	57
D.2.2. Bloc FB1: "ControlRobot" .....	62
D.2.3. Bloc FB2: "ControlMaquina".....	67
D.2.4. Bloc FB4: "ControlCinta" .....	68
D.2.5. Bloc FB8: "ControldActivacio" .....	71
D.2.6. Bloc FB11: "FabricacioPecesZonal" .....	74



D.2.7. Bloc FB18: "ActivacioControls" .....	79
<b>E. RESUM DEL PROGRAMA DE L'SCADA .....</b>	<b>81</b>
E.1 Pantalles de visualització de l'SCADA .....	81
E.2 Funcions implementades a l'SCADA .....	90
E.2.1. Funció de verificació de possibilitat de fabricació .....	90
E.2.2. Funció de verificació de l'activació física dels element.....	94
<b>F. PRESSUPOST .....</b>	<b>99</b>
F.1 Planificació .....	99
F.2 Pressupost .....	101
F.2.1. Pressupost de desenvolupament del projecte .....	101
F.2.2. Pressupost de la configuració física per al control de la cèl·lula .....	103
F.2.3. Resum del pressupost .....	106
<b>G. INFORMACIÓ COMPLEMENTÀRIA .....</b>	<b>107</b>
G.1 Anàlisi qualitativa .....	107
G.2 Model de simulació .....	107
G.3 Programa del PLC .....	108
G.4 Programa de l'SCADA.....	108



# 1. Glossari

## ▪ Acrònims

AVR (*Acotada Viva i Reversible*).

CIM (*Computer Integrated Manufacturing*): Fabricació integrada per computador.

DAFO (*Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats*).

FMS (*Flexible Manufacturing System*): Sistema de fabricació flexible.

GEMMA (*Guide d'Études de des Modes de Marches et d'Arrêts*): Guia d'estudis dels modes de marxes i aturades.

GRAF CET (*GRAphe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions*): Graf funcional de control d'etapes i transicions.

JIT (*Just in Time*): Just a temps.

PLC (*Programmable Logic Controller*): Autòmat programable.

PROFIBUS (*PROcess Field BUS*): Bus de camp del procés.

PROFIBUS DP (*PROcess Field BUS-Decentralised Periphery*): Bus de camp del procés per perifèrics descentralitzats.

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*): Sistema d'adquisició de dades i de control de la supervisió.

XdP (*Xarxa de Petri*).

## ▪ Símbols

En aquest projecte es mostren una gran quantitat de símbols, que encara que són mencionats al llarg de la memòria, és de cert interès mostrar els més habituals en aquest glossari, amb la intenció d'ajudar en el seguiment de la mateixa.

CQ \*: Control de qualitat \* de la cèl·lula.

LL \* M \*\*: Lloc lliure de la peça \* de la màquina \*\*.



M<sup>\*</sup>, seguit d'un número (I, II, III...): Màquina<sup>\*</sup> de la cèl·lula.

M<sup>\*</sup>, seguit d'una lletra o conjunt (A, B, AB',...): Magatzem de peces<sup>\*</sup> de la cèl·lula.

M DEF: Magatzem de peces defectuoses de la cèl·lula.

M INT: Magatzem intermedi per a peces (AB'C)''' i DE' de la cèl·lula.

OC<sup>\*</sup>: Operació de control de qualitat<sup>\*</sup> de la cèl·lula.

OD<sup>\*</sup>: Operació de decisió<sup>\*</sup> de la cèl·lula.

OE<sup>\*</sup>: Operació d'espera de la peça<sup>\*</sup> de la cèl·lula.

OP<sup>\*</sup>: Operació de procés<sup>\*</sup> de la cèl·lula.

OT<sup>\*</sup>: Operació de transport de la cèl·lula.

R<sup>\*</sup>: Robot<sup>\*</sup> de la cèl·lula.

T<sup>\*</sup>: Cinta transportadora<sup>\*</sup> de la cèl·lula.



## 2. Prefaci

### 2.1. Origen del projecte

Al món de l'automatització industrial es presenten infinitat de processos de caràcter diferents, però tots tenen una part en comú: l'optimització de la producció. En base a aquest concepte s'han desenvolupat diferents sistemes de fabricació d'automatització flexible, FMS (*Flexible Manufacturing System*), per poder ajustar aquesta producció a les necessitats d'una empresa.

Aquests sistemes oscil·len des d'un grau de complexitat elevat, per a grans processos, fins a petites aplicacions d'un petit taller. L'objectiu primordial d'aquests és, per una banda, ajustar la fabricació al pla de gestió de l'usuari i per altre informar-li en tot moment, oferint un control sobre els elements de la cèl·lula.

Un d'aquests tipus de sistemes és el concepte de cèl·lula de fabricació flexible: un conjunt d'elements, que coordinats entre ells a través d'un controlador lògic, poden produir una gama de productes a elecció específica de l'usuari. Actualment aquests sistemes es troben dins de la fabricació integrada per computador, CIM (*Computer Integrated Manufacturing*).

### 2.2. Motivació

La realització d'aquest projecte comporta l'aplicació d'una sèrie de passos, d'ordre divers, per portar a terme la seva elaboració. Des l'aplicació del formalisme de les xarxes de Petri, passant per l'elaboració d'un model de simulació i arribant a la implementació del seu control físic. És aquesta característica integradora la que aporta un al·licient al projecte a l'hora de la seva elecció.

Aquest projecte és bastant atractiu per a l'estudiant ja que permet que aquest posi en pràctica coneixements adquirits en assignatures de l'àrea d'automàtica. A més, a la part de l'elaboració del control l'alumne ha d'aprofundir sobre nous coneixements que s'han tractat superficialment a l'escola.

El sistemes de control industrial junt amb els de visualització de dades aporten una gran quantitat de millores en la producció. Poder intervenir al disseny d'aquest control emprant *softwares* amb els que es dissenyen una gran quantitat d'aplicacions industrials de control és un altre dels motius més atractius d'aquest projecte.



## 2.3. Requeriments previs

Prèviament a l'elaboració del projecte s'han tingut en compte característiques que permeten veure els avantatges i desavantatges que apareixen durant el seu desenvolupament. Amb aquestes es presenten les necessitats i problemes a partir dels quals es començarà a desenvolupar el projecte.

Amb la intenció d'extreure aquestes necessitats i problemes es mostra a la Taula 2.1 un esquema DAFO (*Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats*), que permet definir aquells punts essencials a tenir en compte des d'un començament. Així es poden observar les característiques esmentades que fan possible un anàlisi previ de la situació.

<b>Debilitats</b>	<b>Amenaces</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ És necessari que l'usuari conegui el funcionament de la cèl·lula de fabricació flexible.</li> <li>▪ La prioritat a l'hora de fabricar les peces no pot ser seleccionada per l'usuari del sistema de forma variable. S'ha de fixar des del control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dificil adaptació a un possible canvi en la producció del producte.               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El control de la cèl·lula depèn d'un sistema superior que transfereix les dades dels <i>stocks</i> de matèria prima i que guardi les dades de la producció.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Fortaleses</b>	<b>Oportunitats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disseny modular. Es poden fer canvis i ampliacions amb facilitat.</li> <li>▪ Llenguatge de programació de caràcter universal.               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adaptabilitat a altres sistemes de comunicació amb facilitat.</li> </ul> </li> <li>▪ Control total sobre la producció del sistema. Possibilitat ràpida de correcció.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pot servir de guia en un futur a l'hora de dissenyar el control de noves cèl·lules de fabricació flexible amb característiques similars.</li> <li>▪ Permet realitzar la fabricació que es desitgi.</li> </ul>

Taula 2.1. Esquema DAFO del projecte



## 3. Introducció

### 3.1. Objectius del projecte

Aquest projecte té com a objectiu principal la implementació d'un control sobre una sèrie d'elements que formen, en conjunt, una cèl·lula de fabricació flexible dedicada a la producció de diferents tipus de peces segons l'elecció de l'usuari.

Aquest control ha de permetre a l'usuari poder indicar quins tipus i quantitats de peces desitja fabricar i poder verificar quan s'ha terminat la fabricació d'aquestes. L'usuari ha de ser coneixedor de les peces que s'han fabricat correctament i incorrectament de cada un dels tipus dels que ha encomanat la seva producció. Per un altre banda el sistema ha d'informar a l'usuari de l'aturada de qualsevol de les línies de producció a conseqüència de que es presenti una avaria.

Per poder definir aquest control es definirà prèviament un estudi per medi del formalisme de les xarxes de Petri, així com un model de simulació amb la intenció de detectar diferents problemes a l'hora de fer el control.

Finalment el funcionament del sistema ha de consistir en una interfície gràfica que permeti a l'usuari realitzar una comunicació directa amb els diferents elements de la cèl·lula i li permeti la gestió de la producció. L'objectiu d'aquest control serà portar a terme les ordres de fabricació encomanades per l'usuari a la interfície gràfica, regulant els diferents elements que componen la cèl·lula.

### 3.2. Abast del projecte

Aquest projecte ofereix el desenvolupament total de la interfície de visualització de la cèl·lula, així com el control de gestió de la producció, sense intervenir en la instal·lació física del sistema. La part automatitzada es realitzarà únicament sobre una de les zones.

No forma part del projecte definir els elements que componen el sistema, és a dir, el funcionament intern i les seves característiques. Encara que si es defineixen les relacions establertes entre ells i les seves funcionalitats bàsiques: transport i operació.

Per tant, queden fora de l'abast del projecte les decisions d'elecció sobre els dispositius d'informació al sistema, per exemple els sensors de detecció. Si que s'especifiquen els dispositius electrònics necessaris per portar a terme el control de la cèl·lula: el PLC i l'SCADA.







## 4. Descripció de la cèl·lula

Dins del món industrial actual existeixen una nombrosa quantitat de fabricants que es dediquen a realitzar operacions parcials d'un gran procés industrial. A vegades es tracta de proveïdors que porten a terme processos per a fabricants finals o altres cops són els mateixos fabricants de producte final. Aquests processos són el final o una part intermèdia del procés industrial global en els que es realitzen petits tractaments sobre un producte i/o assemblatges amb altres. Aquest fet es presenta sovint en la indústria actual. De cara a realitzar una optimització de la producció en quant a temps i recursos és obvi que interessa produir la quantitat justa de productes amb la intenció de generar el mínim *stock* possible. Per aquest motiu el concepte de fabricació flexible s'integra ràpidament a qualsevol tipus d'indústria i és d'aquesta filosofia on neixen les cèl·lules de fabricació flexible.

El procés industrial sobre el que s'ha realitzat aquest projecte d'automatització consisteix en una cèl·lula de fabricació flexible amb una sèrie d'operacions mecàniques i de muntatge habitual a la indústria mecànica. No és intenció d'aquest projecte la definició d'aquestes operacions. L'objectiu consisteix en realitzar la gestió entre elles. Presentant com a resultat una solució a la gestió entre els diferents elements que la conformen amb la intenció de donar-li vivacitat, deixant oberta aquesta solució amb la possibilitat d'ampliar-la si es desitja. Per aquest motiu s'ha escollit un sistema de fabricació de tipus mecànic que es presenta actualment a la indústria, per exemple, en la fabricació de petits components.

La flexibilitat que presenta aquest sistema es posa de manifest en dos aspectes: l'alternança del tipus de peces segons desitgi l'usuari del sistema i la seva continuïtat d'aquestes en el sistema, en cas necessari. Aquesta cèl·lula pot generar diversos tipus de peces sense que aquestes completin el circuit sencer que defineix al sistema. El resultat que presenta una cèl·lula automatitzada d'aquest tipus consisteix en el fet de poder fabricar peces de diferents tipus i amb una certa prioritat.

La part d'aquesta cèl·lula de fabricació que la defineix com flexible, és el control de qualitat. Quan una peça arriba al control pot sortir del sistema com a peça bona o com peça dolenta o simplement continuar dins a l'espera de diferents operacions, fins que s'acabi el seu tractament. És en aquest punt on es pren la decisió que fa possible la flexibilitat de la cèl·lula. D'aquesta forma es disposa d'un sistema de fabricació personalitzat. L'usuari podrà executar la fabricació del pla de producció, segons s'hagi fixat, de forma diària, mensual o anual, amb la possibilitat d'ajustar la seva producció al límit.

En un intent de definir el procés s'ha establert una primera descripció on s'especifica com ha de ser el funcionament del sistema de forma general, és a dir, la relació entre els elements que defineixen el sistema i les funcionalitats que tenen cada un d'ells. Abans de realitzar



aquesta descripció s'ha subdividit la cèl·lula en diferents parts, que realitzen les diferents operacions sobre les peces. A la Figura 4.1 es pot contemplar la disposició global de la cèl·lula amb tots els elements que la componen: màquines (M), robots (R), magatzems (M), controls de qualitat (CQ) i cintes transportadores (T).

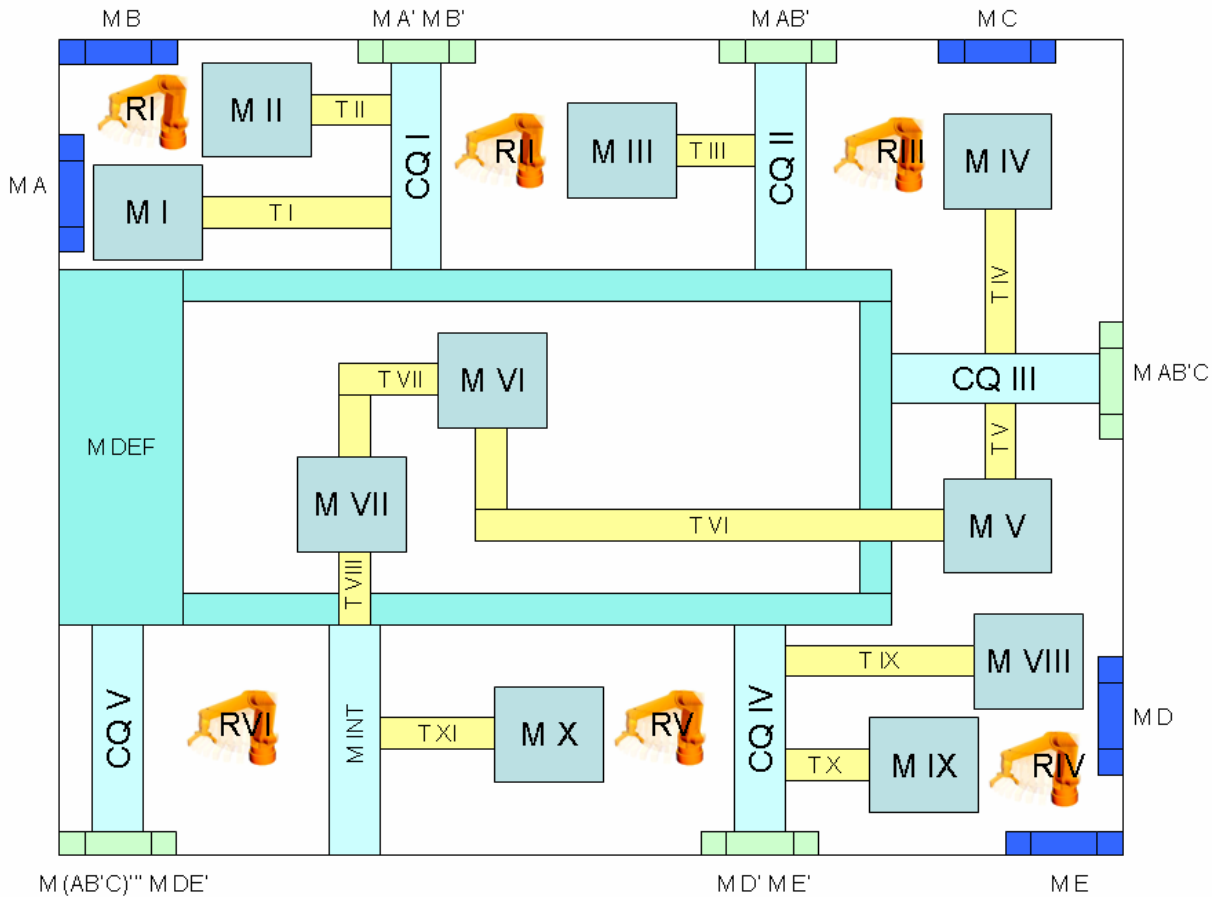


Figura 4.1. Disposició en planta amb tots els elements

### 4.1. Definició de les línies de fabricació de la cèl·lula

En primer lloc cal dir que a la cèl·lula hi han presents dos línies de fabricació que conflueixen en un punt final. La primera i mes gran (línia L I) disposa de 7 operacions mecàniques sobre les peces, 3 operacions de control de qualitat i 11 operacions de transport. Per altre lloc la segona línia (línia L II) disposa de 3 operacions mecàniques, 1 operació de control de qualitat i 4 operacions de transport. Finalment el nexa que uneix aquestes dos línies es caracteritza per fer un control de qualitat i una operació de transport final. A la Figura 4.2 es pot observar com es troben disposades aquestes dues línies i el nexa d'unió entre elles.



De color vermell es presenta la línia L I en la que com s'ha comentat anteriorment inclou una quantitat superior de processos respecte a la línia L II, representada amb color verd. Per altra banda de color groc es presenta el nexa de les dues línies, aquest es tracta d'un element comú a les dues línies. La seva funcionalitat consisteix a dur a terme l'operació final de control de qualitat de les peces que passen per les dues línies.

Cal notar com a condició important que aquestes dues línies, degut a la seva flexibilitat, no han de portar a terme un funcionament complet. Poden fer-ho parcialment per a realitzar una producció intermèdia.

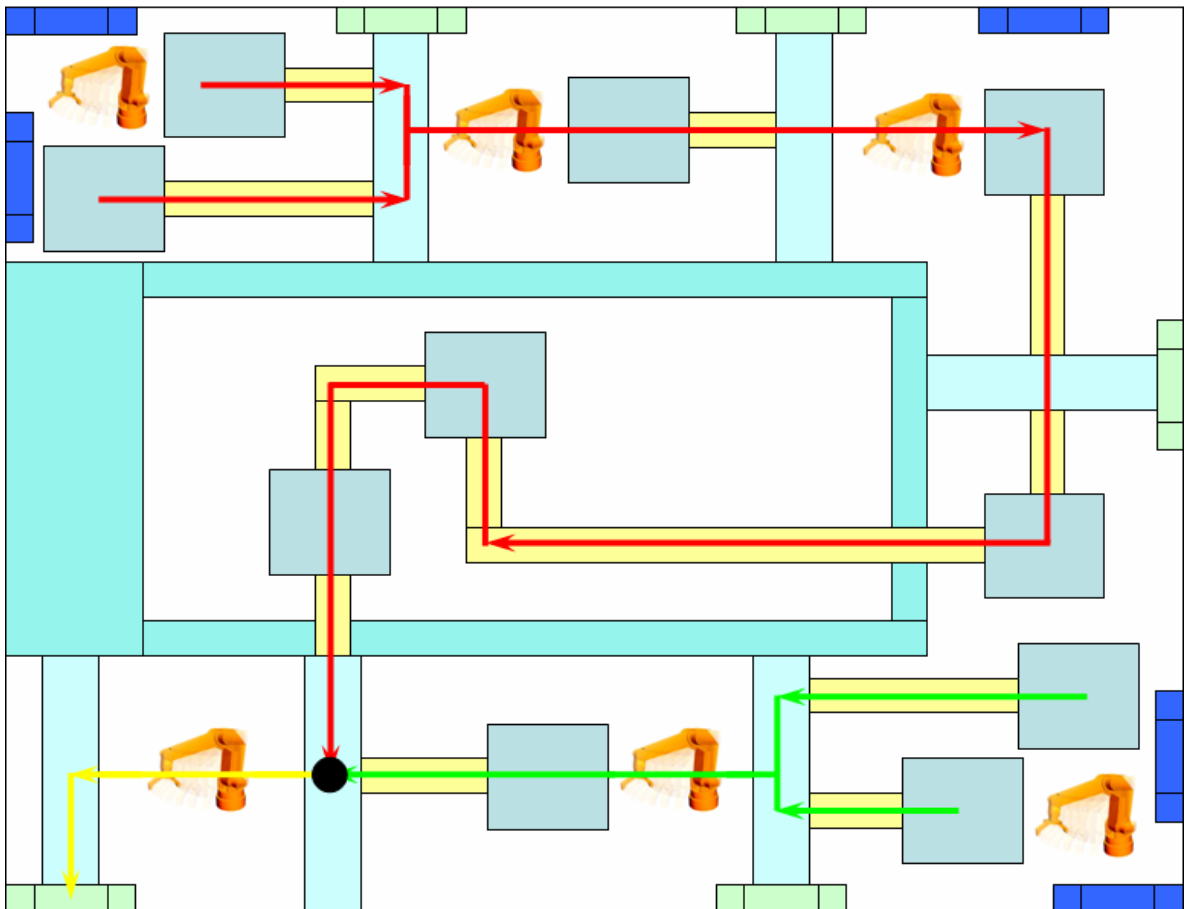


Figura 4.2. Línies i nexa de fabricació de la cèl·lula

Els magatzems que es presenten de color blau són magatzems de peces ja tractades en un procés posterior i és a partir d'aquests on s'inicia el procés de fabricació. En total es presenten 5 magatzems d'aquest tipus: M A, M B, M C, M D i M E, caracteritzant-se com a magatzems d'entrada.



Per altra banda els magatzems de color verd són aquells on es dipositen les peces ja tractades pel sistema, referint-se a magatzems de sortida. D'aquests es presenten 8 magatzems: M A', M B', M AB', M AB'C, M (AB'C)''', M D', M E' i M DE'.

Òbviament a partir de les definicions dels magatzems de sortida es pot interpretar quines són les peces que fabrica el sistema. En aquest cas es presenten les 8 peces dels magatzems de sortida com a peces que produeix el sistema. Amb la intenció de conèixer a partir de quines peces dels magatzems d'entrada i de quines operacions es produeixen les peces de sortida es presenta la Figura 4.3. Cal notar que una operació sobre una peça de tipus \* la converteix en \*'.

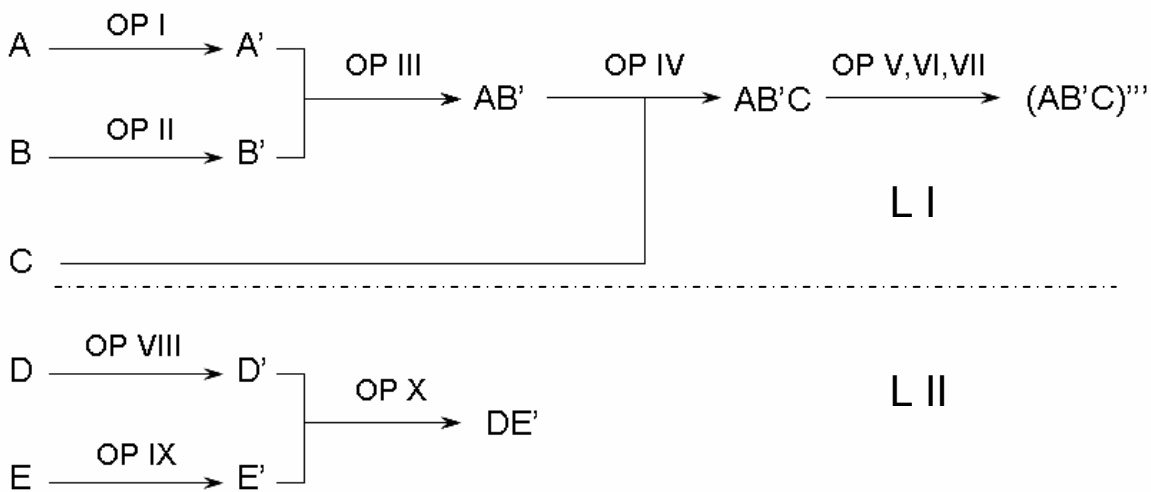


Figura 4.3. Tipus de peces fabricades

Com es posa de manifest a la Figura 4.3 les peces que fabrica el sistema són: A', B', AB', AB'C, (AB'C)', D', E' i DE'. Tots els tipus de peces poden sortir del sistema una vegada fabricats, per exemple, quan sobre la peça A s'aplica l'operació OP I aquesta es transforma en A' i ja pot sortir del sistema; o pot quedar-se a ell per a formar junt amb una peça B' la peça AB'. Cal notar que de la peça AB'C fins arribar a la peça (AB'C)''' s'han tingut que realitzar tres operacions, entre el transcurs d'aquestes la peça no pot sortir del sistema.

Respecte a les operacions de les màquines s'ha de dir que poden ser de dos tipus: operacions de tractament: OP I, OP II, OP V, OP VI, OP VII, OP VIII i OP IX i les operacions d'assemblatge que en aquest cas són: OP III, OP IV, OP X. Les primeres només es dediquen a realitzar algun tipus de tractament sobre una peça, en canvi les segones realitzen un assemblatge entre dues peces.



Les peces que pot fabricar la cèl·lula es distribueixen entre les dues línies de producció de la cèl·lula. Com es pot veure a la figura 4.3 les peces produïdes a partir de les inicials (A, B i C) pertanyen a la línia de fabricació L I. Per altra banda les peces inicials D i E pertanyen a la línia L II.

En cap moment les dues línies de fabricació es creuen, només ho fan al Nexe, però amb la particularitat que no es tracta d'una zona on es realitzen operacions de transformació sobre les peces, només es porta a terme una operació de transport.

## 4.2. Descripció de les zones de la cèl·lula

Una vegada feta aquesta divisió principal sobre la cèl·lula s'ha fet una segona, amb la intenció de delimitar el territori per on surten i entren les peces. Això permet poder donar-li a la cèl·lula una estructura modular. S'han considerat un total de 7 zones d'operacions. La primera línia disposa de 4 zones, la segona línia està formada per 2 zones i finalment el nexe d'unió s'ha considerat una zona en si. L'objectiu d'aquesta divisió teòrica aporta a l'hora de definir l'automatització del procés un ajut per a poder realitzar un millor control sobre la cèl·lula.

La divisió de les zones s'ha realitzat definint la frontera on es produeixen les sortides de peces del sistema, és a dir, als punts de decisió del sistema. Això es produeix, com s'ha comentat amb anterioritat, als controls de qualitat del sistema.

A continuació es descriuen aquestes zones indicant de que estan compostades i quines són les relacions entre els elements. Cal fer constància que aquest projecte ofereix una solució d'automatització a una instal·lació que ja està definida per la indústria on es vol implantar, però que si més no pot modificar-se lleugerament i adaptar-se a un altre procés diferent.

### 4.2.1. Descripció de la zona Z I: Tractament de les peces A i B

A la zona Z I entren les peces A i B dels magatzems M A i M B, les quals a través del robot R I, passen a fer a les operacions mecàniques OP I i OP II a les màquines M I i M II respectivament. Posteriorment les peces A i B, ja tractades i convertides en A' i B', són transportades per mitjà de cintes transportadores de rodets, T I i T II, respectivament, al control de qualitat, CQ I. Fins ara les dues peces seguien camins independents, però en aquest moment en el control de qualitat les dues peces són analitzades per separat, no a l'hora. És a dir les dues peces comparteixen el recurs d'anàlisi del control de qualitat. És aquí on es produeix una decisió: la peça pot ser correcta o incorrecta. Si és incorrecta aquesta passarà a la zona intermèdia de la cèl·lula, el magatzem de peces defectuoses, M DEF, però si es correcta té l'opció de quedar emmagatzemada o de seguir al sistema i entrar a la propera zona. En el cas de que quedi emmagatzemada segons sigui peça A' o B' es



guardarà al magatzem M A' o M B' respectivament, tots dos confinats en una mateixa zona. La Figura 4.4 mostra com es troba composta aquesta zona i el camí que segueixen les peces que es tracten. Cal notar que els punts negres separen el pas d'una operació a una altra. La fletxa de color blau indica el seguiment de la peça A i la de color ver correspon a la peça B.

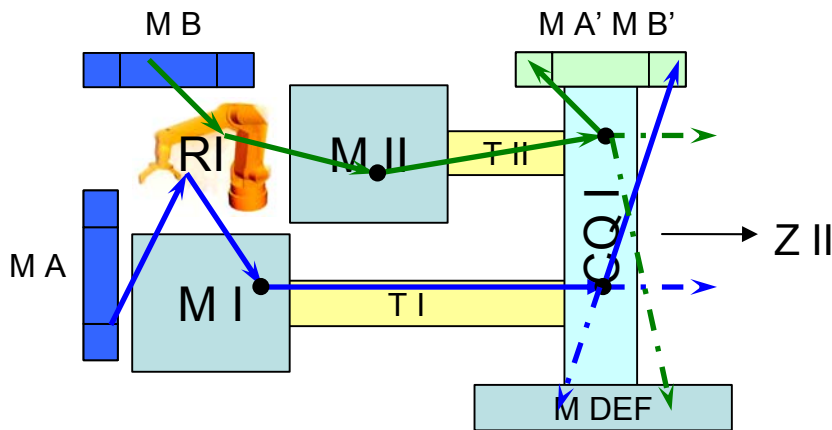


Figura 4.4. Operacions de la zona Z I de la cèl·lula

#### 4.2.2. Descripció de la zona Z II: Assemblatge de les peces A' i B'

La zona Z II es caracteritza per l'assemblatge de les peces A' i B' que han sortit de la zona Z I per seguir en el sistema. Aquestes dos peces son transportades pel robot R II a la màquina M III amb dues operacions de transports independents; una per cada peça. Cal dir que per executar l'operació OP III realitzada per aquesta màquina es necessari disposar de les dos peces. Una vegada es realitza l'operació, la peça assemblada es transportada per medi de la cinta T III a un nou control de qualitat CQ II. És aquí de nou on es realitza una decisió. En aquest cas la peça AB' si és correcta pot ser confinada en el magatzem M AB' o pot seguir al sistema i passar a la zona III. Cal notar que el magatzem de peces defectuoses M DEF és tota una instal·lació present en totes les zones i que forma un anell interior en el sistema.

L'objectiu d'aquest magatzem consisteix en poder recollir totes les peces que han sortit defectuoses, certificades pels controls de qualitat, amb la intenció que puguin ser reciclades per ser emprades en un altre procés extern a la cèl·lula.

A la Figura 4.5 es pot observar com es troba composta aquesta zona i el camí que segueixen les peces AB' que es tracten en aquesta. Cal notar que ara de la zona Z I arriben dos peces transportades pel mateix element el robot R II.



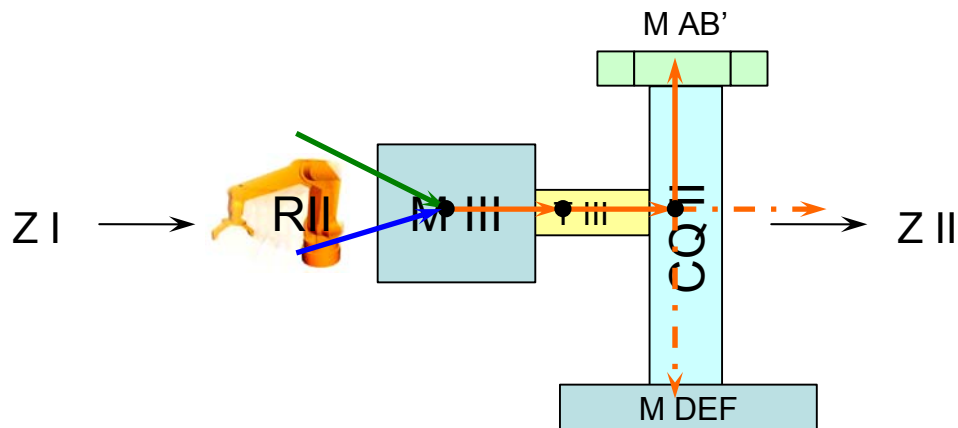


Figura 4.5. Operacions de la zona Z II de la cèl·lula

#### 4.2.3. Descripció de la zona Z III: Assemblatge de la peça AB' amb la peça C

En aquesta zona es realitza un nou assemblatge, la peça AB' amb una nova que entra al sistema, la C. Aquesta nova peça s'introdueix al sistema quan hi ha una peça AB' esperant a la màquina M IV. El transport de les dues peces a la màquina es realitza per medi d'un recurs compartit, en aquest cas el robot R III. Una vegada acabada aquesta operació d'assemblatge la nova peça AB'C es transportada per medi de la cinta T IV fins al nou control de qualitat, CQ II.

Cal dir que uns dels aspectes que ofereix aquesta cèl·lula de fabricació flexible és que les peces quan surten del sistema sigui en el moment que sigui han passat per un control de qualitat hi han estat verificades.

Un cop més aquí es torna a decidir que passa amb la peça després de realitzar el control de qualitat. Si la peça és incorrecta aquesta passarà al magatzem central M DEF. Per altre lloc si la peça és correcta aquesta pot sortir del sistema i es dipositarà al magatzem M AB'C. En cas contrari la peça continuarà al sistema passant a la zona Z IV. A la Figura 4.6 es mostren les operacions que es realitzen a la zona Z III i el camí que realitzen les peces que es fabriquen.



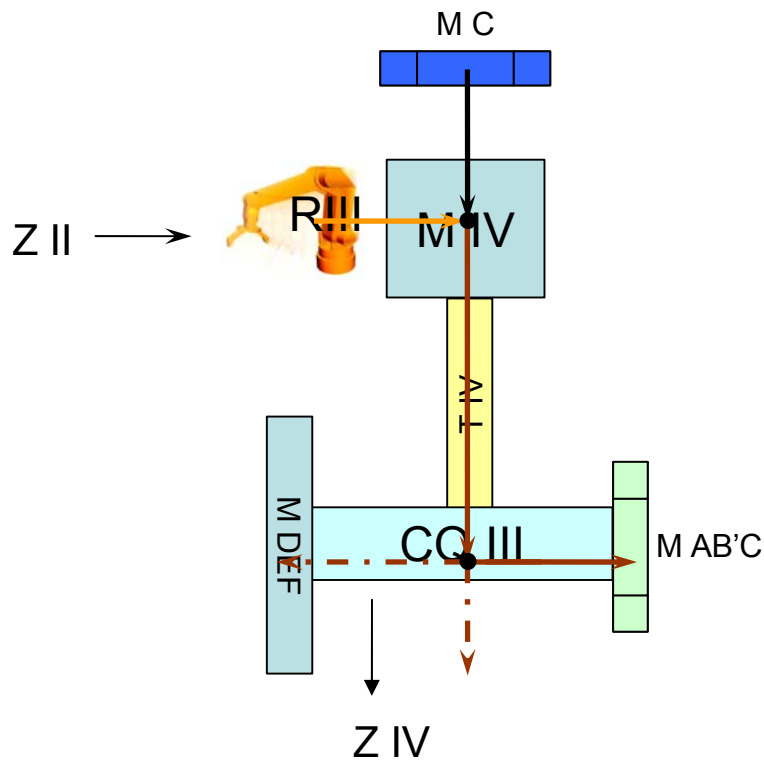


Figura 4.6. Operacions de la zona Z III de la cèl·lula

#### 4.2.4. Descripció de la zona Z IV: Operacions sobre les peces AB'C

La zona IV consisteix en un conjunt d'operacions finals que es realitzen sobre la peça AB'C fins arribar a un magatzem intermedi, M INT, on es diposita. Quan la peça surt de la zona Z IV passa a la màquina M V per medi de la cinta T V. Quan acaba aquesta operació per medi de la cinta T VI es transporta a la màquina M VI. Després d'aquest pas es trasllada a l'última màquina, la M VII per medi de la cinta T VII. Finalment la cinta T VIII transporta la peça (AB'C)" ja transformada al magatzem intermedi automatitzat M INT. A partir d'aquí la peça anirà a parar a la Zona VII, el nexa de les dues línies de fabricació.

En aquesta zona no es presenta cap control de qualitat, ja que és a la següent zona on es realitzarà aquest control. El motiu d'aquesta mancança és que ja no s'introdueix cap peça més al sistema de fabricació que s'assembla a la peça AB'C, per aquest motiu la comprovació es realitza al final de tot. A la Figura 4.7 es representa la zona Z IV amb les diferents operacions que s'han comentat anteriorment.





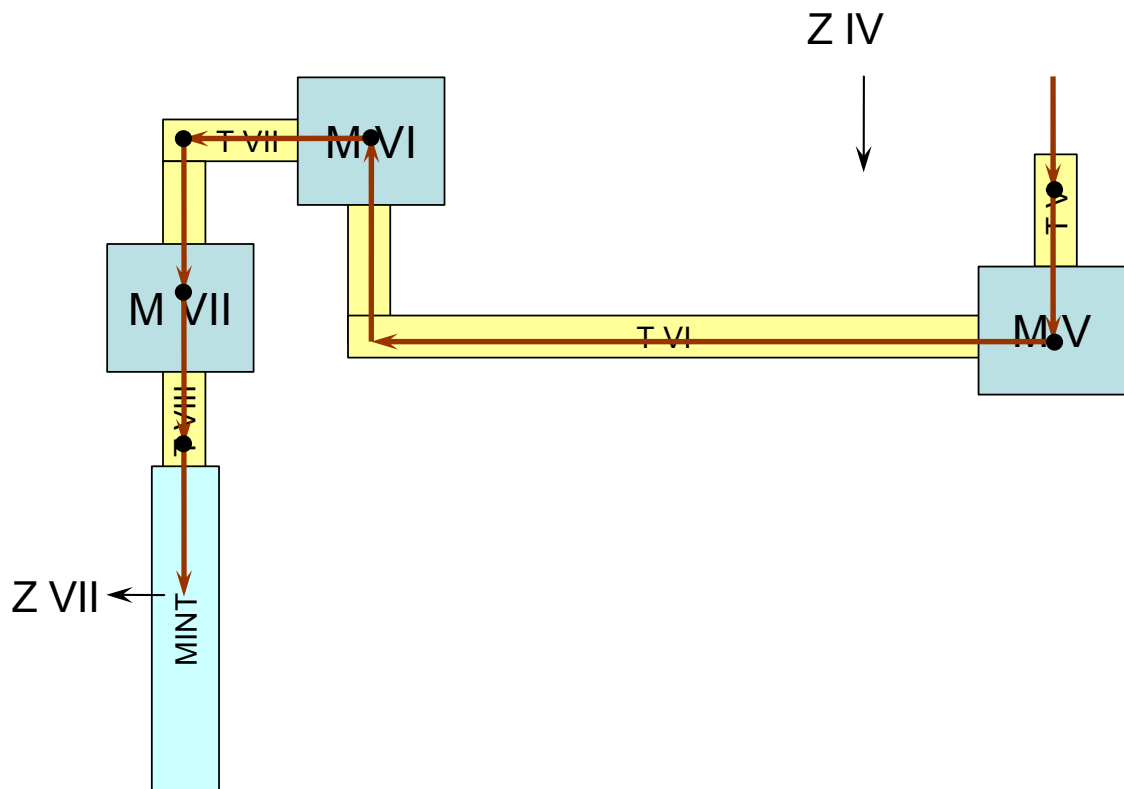


Figura 4.7. Operacions de la zona Z IV de la cèl·lula

#### 4.2.5. Descripció de la zona Z V: Tractament de les peces D i E

A la zona Z V, al igual que a la zona Z I, entren dos tipus de peces D i E. Aquesta zona i la VI són independents de la resta de zones. Aquí es presenta el començament de la segona línia de producció que treballa en paral·lel amb la primera. El funcionament és idèntic al de la zona I. Òbviament això és una avantatge ja que es pot fer servir una de les dos línies o les dos a l'hora.

Les peces D i E entren a la cèl·lula a través del robot R IV. Aquest les ubica a les màquines M I i M II. Després del tractament, les dues peces es transformen en D' i E' respectivament. Posteriorment són transportades a través de les cintes de rodets, T IX i T X, respectivament, al control de qualitat, CQ IV. Finalment presa la decisió al control de qualitat les peces D' i E' poden quedar confinades als magatzems D' i E' o passar degut a ser defectuoses al magatzem M DEF o continuar a la següent zona. A la Figura 4.8 es posen de manifest les operacions que es produeixen a la zona de fabricació Z V.





#### 4.2.7. Descripció de la zona Z VII: Nexe de les dues línies

En aquesta zona es realitza un control de qualitat final per a les dos línies independents de producció. Aquí poden entrar dos tipus de peces: les (AB'C)''' i les DE' que prèviament es troben al magatzem intermedi. Cal notar que el magatzem es troba dividit en dues zones, una per cada tipus de peça. Les peces confinades al magatzem intermedi M INT són transportades pel robot RV al control de qualitat C V. Un cop aquí es torna a decidir sobre l'estat de la peça. Si és correcte sortirà del sistema i anirà al magatzem que pertoqui, segons sigui un tipus de peça o un altre. En cas contrari la peça serà retirada al magatzem de peces defectuoses. Cal notar que el control de qualitat disposa de capacitat unitària per tant les peces entren d'una en una i s'ha de conèixer quina serà la peça que ha d'entrar. A la Figura 4.10 es mostra el funcionament de la zona Z VII.

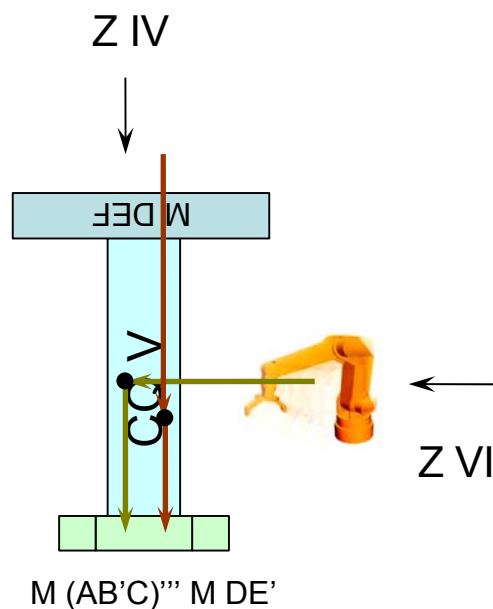


Figura 4.10. Operacions de la zona Z VII de la cèl·lula

Després d'analitzar totes les zones cal destacar que hi ha zones dependents i altres independents, és a dir, no es necessita disposar de l'activació de totes les zones per a poder realitzar la fabricació. Per exemple si es desitgen fabricar peces de tipus A' no es necessita activar la zona Z II, amb la zona Z I hi ha prou. Encara que si es desitgen fabricar peces de tipus AB' si que serà necessari activar les dues zones. Aquest fet és interessant a l'hora de realitzar el control que reguli el sistema, ja que si es desitgen fabricar, exclusivament, peces d'un cert tipus, no serà necessari activar totes les zones i el consum energètic serà menor. A l'annex A, a l'apartat A.1, es mostra una disposició en planta de la cèl·lula amb una subdivisió de totes les zones que la conformen.



### 4.3. Hipòtesis i consideracions sobre els elements de la cèl·lula

Amb la intenció de poder realitzar l'automatització de la cèl·lula s'han de tenir en compte una sèrie de consideracions prèvies sobre els elements que la componen. És important especificar el funcionament de les màquines, cintes, magatzems i robots amb l'objectiu de conèixer com s'haurà de realitzar el control.

#### ▪ **Funcionament de les cintes transportadores**

Les cintes transportadores són mogudes cada una per un motor. El control d'aquest es realitza de tal forma que fa avenços de les peces a la cinta, d'aquesta forma quan una peça avança sobre la cinta allibera una posició per dipositar una nova peça. Quan la cinta es troba plena es realitza una parada per a no ocasionar cues en el sistema.

Una cinta transportadora disposa d'un sensor d'entrada i d'un de sortida presents al principi i final de la mateixa, respectivament. Amb els que es permetrà conèixer la quantitat de peces que hi ha presents a la cinta en tot moment. D'aquesta manera es disposa al sistema de *buffers* intermedis. La capacitat de les cintes transportadores considerada en aquest projecte és de com a mínim de 4 peces.

#### ▪ **Funcionament de les màquines**

Com s'ha comentat anteriorment les màquines tenen una capacitat unitària per a processar. La màquina ha d'indicar al sistema quan té una peça processant, per a no carregar cap peça més i quan es troba lliure, és a dir, si la peça acabada ha estat dipositada a la cinta transportadora i encaminada al procés següent, per a no saturar la cinta.

#### ▪ **Funcionaments dels controls de qualitat**

Els controls de qualitat tenen una capacitat també de caràcter unitari. Quan entra una peça al control de qualitat, aquesta s'analitza i implícitament gracies a l'automatització del sistema es dirigeix la peça al lloc on li correspon. Com s'ha comentat anteriorment la peça pot sortir del sistema o continuar en ell.

La peculiaritat principal del control de qualitat es que ha de saber quina peça està analitzant ja que tres dels cinc controls de qualitat del sistema analitzen peces de dos tipus. Una vegada carregada la peça d'un cert tipus, al control de qualitat, no es carregarà una altra peça fins que no s'hagi alliberat el recurs.



- **Funcionament dels magatzems**

Els magatzems que presenta aquest sistema disposen de certa automatització. Aquests presenten una posició de sortida de peça. Quan un robot agafa la peça d'aquest magatzem i la treu, aquest fa avançar, internament, una peça per a que quedi preparada un altre cop per que el robot l'agafi.

Això mateix passa amb els magatzems de sortida de peça, el control de qualitat diposita la peça a l'entrada del magatzem i aquesta es desplaça per deixar lliure la entrada per una nova peça.

- **Magatzem intermedi**

Aquest magatzem guarda peces del tipus (AB'C)''' i DE', això es tracta d'un *buffer* intermedi que permet ajuntar les dues línies, oferint certa flexibilitat i limitació a l'hora al sistema. L'objectiu d'aquest magatzem es poder regular de forma controlada l'entrada de peces a la zona Z VII, amb la intenció de no provocar una saturació a la resta de zones. Per exemple, si es desitgen fabricar peces del tipus (AB'C)''' , DE' i A', pot ocorre que les peces (AB'C)''' i DE' bloquegin les línies i no es puguin fabricar peces A' que tenen el seu recorregut a la zona Z I. Si es considera un magatzem intermedi dimensionat adequadament es poden solucionar aquests tipus de problema.

- **Magatzem de peces defectuoses**

Cal notar que aquest magatzem de peces defectuoses no és mes que una cinta transportadora que envolta a tota la cèl·lula interiorment. Quan una peça és declarada com a defectuosa i es llançada a aquesta cinta, aquesta es mourà i es desplaçarà una posició, portant emmagatzemant així la peça en un contenidor final de peces defectuoses, per a la seva fàcil extracció del sistema.

A l'annex A, a les taules A.1, A.2, A.3 i A.4, es mostren les capacitats i el nombre d'operacions dels controls de qualitat, dels magatzems, de les màquines i dels robots i cintes transportadores, respectivament.





## 5. Anàlisi qualitativa de la cèl·lula

Els models d'esdeveniments discrets es basen en els conceptes d'esdeveniment i activitat. Un esdeveniment genera un canvi en les variables d'estat del sistema i una activitat és associada al que succeeix entre dos esdeveniments [4]. Les XdP (*Xarxa de Petri*) permeten realitzar una representació molt aproximada d'un model d'esdeveniments discrets. Per aquest motiu en aquest projecte s'ha fet ús d'aquesta eina matemàtica, que es caracteritza principalment per tractar-se d'un formalisme de modelat gràfic amb molt poques regles sintàctiques.

L'objectiu de portar a terme la definició conceptual de les interaccions del sistema, consisteix en realitzar un anàlisi qualitativa del sistema. Amb la intenció de localitzar possibles anomalies de la xarxa, com són els bloqueigs. Un de les avantatges que ofereix la realització d'aquest estudi és el poder tenir una eina clau per la implementació de l'automatització de la xarxa i en el moment de realitzar la programació que gestioni el procés. Essent així de gran utilitat conèixer els vincles adequats que han de tenir tots els elements per a poder realitzar una correcta automatització. En cap moment aquest anàlisi vol introduir una reforma de la xarxa o millora d'aquesta, és a dir, només es desitja tenir una guia per poder il·lustrar el procés d'automatització. De totes formes això es tracta d'un pas per a poder realitzar modificacions sobre aquesta.

### 5.1. Procediment de formalització de la xarxa de Petri de la cèl·lula

Les xarxes de Petri formen el pas previ a la realització del modelat de simulació d'un sistema. Aquest projecte no té per objectiu simular el comportament del sistema, el que es pretén és arribar a donar una solució d'automatització de la xarxa, per medi físic, és a dir a través d'elements que gestionin les relacions entre les diferents parts de la xarxa. Per altra banda si que es desitja definir un model de simulació amb la intenció que sobre ell es puguin realitzar modificacions en cas que es desitgin realitzar ampliacions. La creació d'aquest model ajudarà a poder assentar les bases de la programació del control que reguli el sistema.

Una vegada definida la descripció del sistema es pretén descriure aquest mitjançant una xarxa de Petri amb la intenció de definir dita xarxa de tal forma que sigui AVR (*Acotada, Viva i Reversible*). L'acotació, la vivacitat i la reversibilitat d'una xarxa de Petri són propietats de caràcter important que permeten visualitzar si la xarxa pot començar a expandir-se incontroladament, si es pot arribar a tots els estats des de qualsevol i si es pot tornar a l'estat inicial, respectivament [14]. Òbviament amb aquestes característiques la xarxa no



presentarà cap tipus de bloqueig. Cal notar que sobre les XdP al llarg del temps s'han definit moltes més característiques i situacions, però són aquestes les que defineixen l'anàlisi qualitativa en aquest projecte i les que permeten verificar el sistema.

Per poder arribar a aconseguir aquest tipus de xarxa és necessari, en primer lloc, identificar les activitats i els recursos presents al sistema per fabricar el producte. En un segon lloc s'han d'ordenar les activitats per les relacions de precedència que mantinguin entre elles. Creant per cada activitat un lloc, que la descriu, i dos transicions, una d'inici i una de final, que descriuen el començament i el final de l'activitat. Posteriorment s'han de definir per cada activitat els llocs dels recursos que necessita per començar i connectar-los a la transició d'entrada. Lògicament la segona operació a realitzar és alliberar aquest recurs respecte a la transició de sortida. Finalment l'últim pas consisteix en especificar el marcat inicial.

A l'hora de construir la XdP s'ha emprat el mètode definit com *Bottom-Up*. Aquest mètode consisteix, en un primer pas, en la descomposició en sistemes més senzills partint del sistema general. Posteriorment el desenvolupament en XdP d'aquests subsistemes. Finalment es realitza la construcció del model del sistema complet a partir de les xarxes dels subsistemes [5]. Cal notar que les XdP d'aquests subsistemes s'han verificat amb anterioritat.

## 5.2. Definició de la xarxa de Petri

A partir de la propietat de descripció modular de les XdP s'ha definit la xarxa de Petri de cada subsistema i s'han comprovat les seves propietats, finalment s'han integrat tots aquests subsistemes conformant la XdP del sistema. Els subsistemes elegits per poder realitzar aquesta metodologia corresponen a les zones  $Z^*$  de la cèl·lula que s'han definit amb anterioritat. Una vegada definits aquests models s'analitzarà si es presenta bloqueig o no sobre ells, així com altres característiques.

Per a definir la xarxa de Petri s'han considerat, en un inici, tots els elements que componen el sistema, és a dir, els magatzems,  $M^*$ , els robots,  $R^*$ , les cintes transportadores,  $T^*$ , les màquines  $M^*$  i les operacions que els relacionen: els processos de transport de peces  $OT^*$ , les operacions de procés de les màquines  $OP^*$ , les de control  $OC^*$  així com altres llocs que s'han definit per poder desenvolupar la XdP.

En conclusió, es presentarà un anàlisi de cada subsistema indicant com s'ha modelat cada zona del sistema i com són les seves propietats. S'oferirà finalment una xarxa de Petri global de tota la cèl·lula. Encara que a l'hora de realitzar la construcció general s'ha fet seguint el procés de les peces per a poder vincular correctament els subsistemes. És a dir s'han introduït els llocs i operacions necessàries per evitar possibles bloqueigs.





Com a consideració de caràcter general, abans de començar amb la definició de les xarxes de Petri de cada subsistema s'ha tingut en compte el concepte de tancament de llaç. En l'aplicació de xarxes de Petri amb sistemes ja definits en els que ja hi ha uns magatzems d'entrades i sortides no és necessari retornar les peces als seus llocs d'entrades, ja que la càrrega del magatzem d'entrada és independent del magatzem de sortida. Per aquest motiu s'han presentat les dues disposicions de les XdP una amb tots els magatzems d'entrada i sortida definits i un altre amb el retorn de les peces a les entrades, obviant lògicament els magatzems de sortida. D'aquesta manera es podrà disposar d'una informació per si es desitja inserir aquesta cèl·lula en un procés de fabricació on hi hagi un pas continu de peces. A l'annex B, a l'apartat B.1 es presenta la XdP de la cèl·lula amb magatzems de sortida i a l'apartat B.2 es presenta la XdP amb retorn de peces.

### **5.2.1. Especificació de la xarxa de Petri de la zona Z I**

Amb la intenció d'especificar la construcció de la xarxa de Petri del sistema s'ha plantejat l'anàlisi sencer d'una de les seves zones, en aquest cas s'ha considerat una de les més significatives del sistema, la zona Z I. La construcció de la resta de zones es presenten a l'apartat B.1 de l'annex B.

A la zona Z I, com a la seva anàloga Z V, es presenta com un dels llocs del sistema on hi ha una gran quantitat de vincles entre els diferents elements que la componen. Per poder establir el disseny d'aquesta zona s'ha començat, com s'ha comentat anteriorment, per definir les activitats i recursos que la conformen.

En primer lloc s'han de definir les característiques dels elements que defineixen la xarxa. Aquestes són la precedència de les mateixes i el seu marcat inicial. A les màquines, els magatzems, els robots i les cintes transportadores és el marcat inicial la capacitat que presenten cada un d'ells.

La primera activitat que s'estableix és el transport d'una peça A o una B a les màquines M I i M II, respectivament. Posteriorment i en paral·lel, es defineixen les operacions que realitzen les màquines M I i M II. Finalment arriben les operacions realitzades pel control de qualitat que es componen d'analitzar l'estat d'una peça A' o d'una peça B'. Arribant a aquest punt la traçabilitat de les peces A' i B' es bifurca en tres camins: confinament al magatzem M A o M B respectivament, continuació al sistema per realitzar noves peces o eliminació al magatzem de peces defectuoses M DEF.

A la Taula 5.1 es mostren les característiques de precedència entre activitats i el marcat inicial que presenta cada una d'elles. Amb això s'aconsegueix una comprensió de les relacions entre les activitats.



Activitat	Símbol	Precedència	Marcats
Transport del magatzem M A a la màquina M I	OT I	1	0
Transport del magatzem M B a la màquina M I	OT II	1	0
Transport de la peça processada a la màquina M I al control de qualitat CQ I	OT III	2	0
Transport de la peça processada a la màquina M II al control de qualitat CQ I	OT IV	2	0
Anàlisi del control de qualitat CQ I sobre una peça A'	OC A'	3	0
Anàlisi del control de qualitat CQ I sobre una peça B'	OC B'	3	0
Tractament de peça correcta emmagatzemada A'	OD A'e	4	0
Tractament de peça incorrecta A'	OD A'i	4	0
Tractament de peça correcta A' que passa a la zona Z II	OD A'c	4	0
Tractament de peça correcta emmagatzemada B'	OD B'e	4	0
Tractament de peça incorrecta B'	OD B'i	4	0
Tractament de peça correcta B' que passa a la zona Z II	OD B'c	4	0

Taula 5.1. Característiques de les activitats de la zona Z I

Cal notar que la precedència de les activitats es defineix per nivells, dues o més operacions sobre les que el sistema ha de prendre una decisió formen part del mateix nivell. Per exemple és el cas del transport d'una peça A i B a les màquines M I i M II, respectivament. És cert que a l'hora de realitzar l'automatització del procés si que s'escollirà una certa prioritat, però dins d'aquest anàlisi teòric no es necessita realitzar aquesta elecció.

A la Taula 5.2 es mostren les característiques dels recursos. Es pot observar que les capacitats dels magatzems d'entrada i sortida no s'han definit ja que no afecten en aquest anàlisi, s'ha considerat una capacitat il·limitada. A l'hora de definir aquestes concepte a la XdP s'han considerat una capacitat teòrica expressada per  $C^*$ , on  $*$  és el tipus de peça que identifica al magatzem.



<b>Recurs</b>	<b>Símbol</b>	<b>Marcat</b>
Robot I	R I	1
Màquina M I	M I	1
Màquina M II	M II	1
Control de qualitat CQ I	CQ I	1
Cinta transportadora T I	T I	4
Cinta transportadora T II	T II	4
Magatzem A	M A	C M A
Magatzem B	M B	C M B
Magatzem A'	M A'	C M A'
Magatzem B'	M B'	C M B'
Magatzem peces defectuoses	M DEF	C M DEF

Taula 5.2. Característiques dels recursos de la zona Z I

El següent pas, després de definir totes les característiques de les activitats i dels recursos de la zona Z I, ha estat la construcció de la xarxa de Petri. El camí per construir la XdP ha consistit en crear una transició d'entrada i una de sortida per als llocs d'activitats, ja creats anteriorment, i afegir els recursos, siguin o no compartits, a aquestes transicions amb l'objectiu de permetre la seva activació. S'ha de dir que per realitzar la XdP s'han tingut en compte prèviament una sèrie d'hipòtesis amb la intenció d'arribar a fer més senzill el seu estudi.

La primera consideració que s'ha tingut en compte ha estat l'operació del robot. El robot quan carrega una peça a la màquina, realitza dos operacions la càrrega i descàrrega, aquestes operacions formen part de l'operació de transport del robot. La simplificació d'aquestes dues operacions de l'operació de transport del robot R I facilitarà l'estudi posterior del sistema. A la Figura 5.1 es pot observar com es representen aquestes operacions a través d'una XdP. En aquest moment és on es pot veure la propietat modular d'un formalisme com aquest; s'han definit una sèrie d'operacions que es troben dins d'una que la pot englobar.



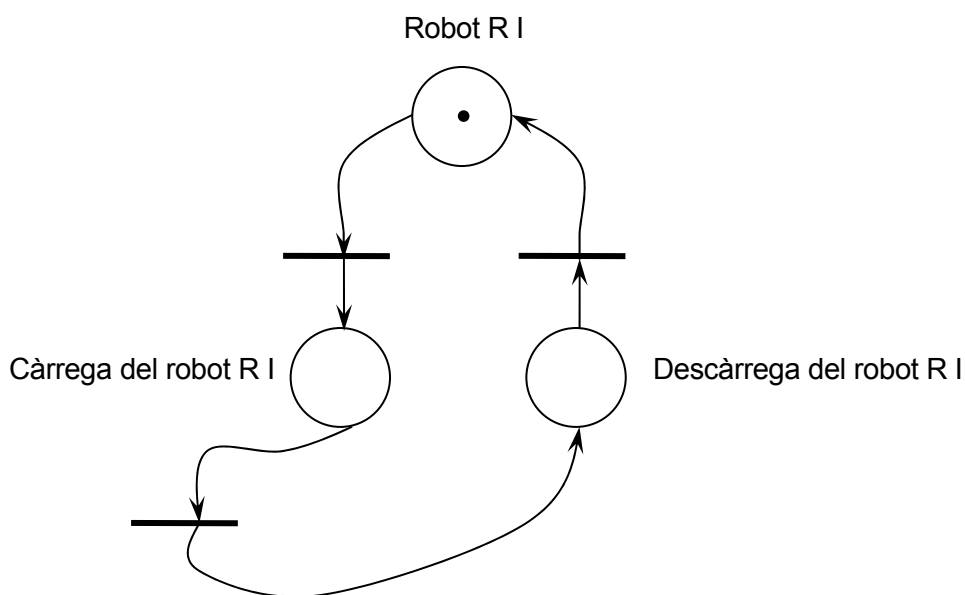


Figura 5.1. Xarxa de Petri de les operacions del robot R I

Per medi de les regles de simplificació que es realitzaria en un anàlisi per reducció, que preserven en tot moment les propietats qualitatives del sistema [19], s'ha arribaria a la situació exposada a la Figura 5.2. En cap moment es desitja començar a realitzar una sèrie de simplificacions que facilitarien l'estudi d'un sistema més senzill, l'objectiu d'aquesta part és poder disposar d'una XdP el més completa possible amb la intenció de poder visualitzar totes les interaccions entre els elements.

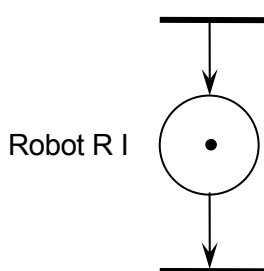


Figura 5.2. Xarxa de Petri simplificada de les operacions del robot R I

La propietat emprada per arribar a aquesta situació ha estat la regla de fusió de transicions [16]. Aquesta operació ha consistit en fusionar les transicions que envolten a la càrrega del robot i posteriorment les que envolten a la descàrrega del robot, d'aquesta forma només ha



quedat el recurs robot. Aquesta simplificació no afecta en cap moment a les propietats qualitatives que són l'objectiu fonamental d'aquest estudi.

Una segon punt que s'ha tingut en compte abans de començar a formalitzar la xarxa de Petri ha consistit en la consideració que el magatzem de peces defectuoses, M DEF, és un lloc que apareix després de cada control CQ \* i per cada peça que s'analitza. Cada control de qualitat té l'opció de determinar si la peça és correcta o incorrecta, en cas de que no ho sigui la peça es confina al magatzem de peces defectuoses. És en aquest moment on apareix aquest lloc repetit a la xarxa de Petri; és obvi que es podria focalitzar en un sol lloc i fer les vinculacions necessàries per medi dels enllaços de les transicions de sortida de cada anàlisi dels controls de qualitat. Però aquesta decisió podria portar una gran confusió a l'hora d'interpretar el sistema visualment. Per aquest motiu s'ha considerat representar el magatzem defectuós per a cada decisió de cada peça dels controls de qualitats. El mateix ha passat respecte al magatzem intermedi M INT. S'ha de considerar que aquests magatzems són els mateixos en tots els casos que s'han representat.

Una tercera consideració que s'ha tingut en compte respecte a la capacitat il·limitada dels magatzems de sortida, ha estat obviar la representació d'aquest recurs de capacitat ja que podia ser fàcilment simplificable. Al igual que les operacions de càrrega i descàrrega del robot s'han eliminat, però s'han tingut presents per dissenyar el controlador lògic, amb aquest recurs passa el mateix. A la Figura 5.3 es mostra com seria aquest recurs de capacitat del magatzem M A i es pot veure que la seva simplificació és immediata partint de dues propietats la fusió de transicions i eliminació del lloc implícit [16].

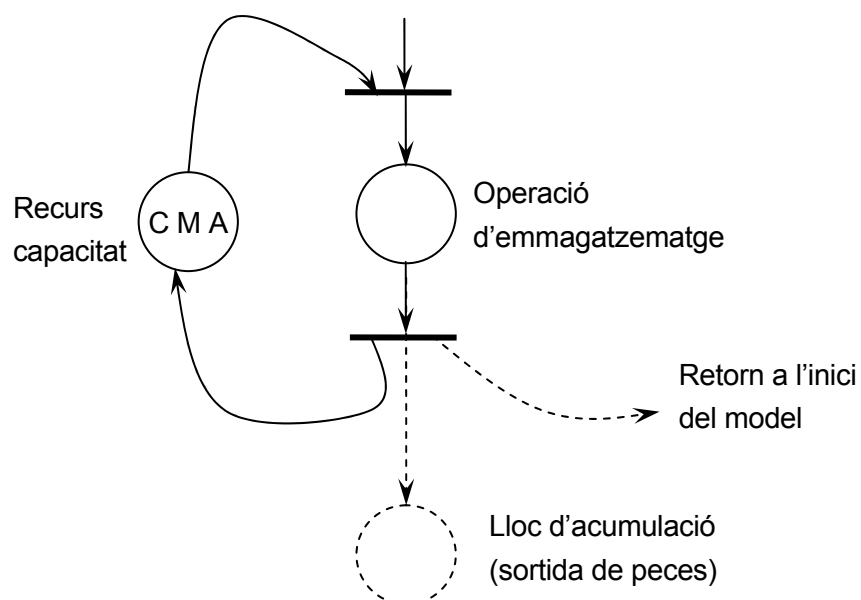


Figura 5.3. Xarxa de Petri de l'emmagatzematge i el seu recurs



Els dos llocs quedarien eliminats i la continuació del model consistiria en l'elecció entre dos possibles camins: introduir un lloc més on es produís una acumulació de peces, que seria una sortida de peces, o un retorn al inici del model. Com s'ha comentat anteriorment aquesta possibilitat a estat descartada, encara que es mostrarà com a solució alternativa, per si es vol integrar la cèl·lula dins d'un sistema continu.

L'elecció d'introduir el lloc d'acumulació en el sistema podria provocar, a efectes d'estudis, un bloqueig ja que les peces queden estancades en dita posició. De fet tenint en compte aquesta situació a l'hora de realitzar l'estudi qualitatiu es podria obviar aquest fet.

L'últim aspecte que s'ha considerat, de fet comentada anteriorment, és la separació entre l'anàlisi d'una peça en un control de qualitat CQ \* i l'execució que comporta aquest. És a dir quan una peça arriba al control de qualitat es realitzen dues operacions: l'anàlisi de la peça i el confinament de la peça allà on correspongui: el procés següent, el magatzem pertinent o el magatzem de peces defectuoses.

Cal dir que aquestes operacions es podrien formalitzar juntes a la XdP, però l'objectiu, un cop més és poder visualitzar les vinculacions entre els elements. De fet, el formalisme XdP és bastant similar al GRAFCET (*GRAPhe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions*). Per aquest motiu s'ha decidit representar allò que interessa per poder disposar d'informació a l'hora d'implementar el controlador lògic.

### **5.2.2. Construcció de la xarxa de Petri de la zona Z I**

Un cop ja donat els primers passos de construcció d'un model per medi del formalisme de Petri: definició d'activitats i recursos i consideracions prèvies, es passa a un nou estadi on es dissenyen les relacions entre els elements.

L'eina emprada en aquest nou pas és l'assignació de transicions d'entrada i sortida a cada una de les activitats i finalment l'assignació de recursos a cada una d'aquestes transicions assignant o alliberant el recurs segons sigui el cas.

A la Figura 5.4 es mostra l'assignació de les activitats relacionades amb la peça A. Com a indicació necessària s'ha de dir que les fletxes 1, 2 i 3 al final de la primera columna de la xarxa continuen amb les de la següent columna, respectivament. Aquesta situació es repetirà al llarg de les diferents xarxes exposades amb la intenció de facilitar la exposició d'aquestes.



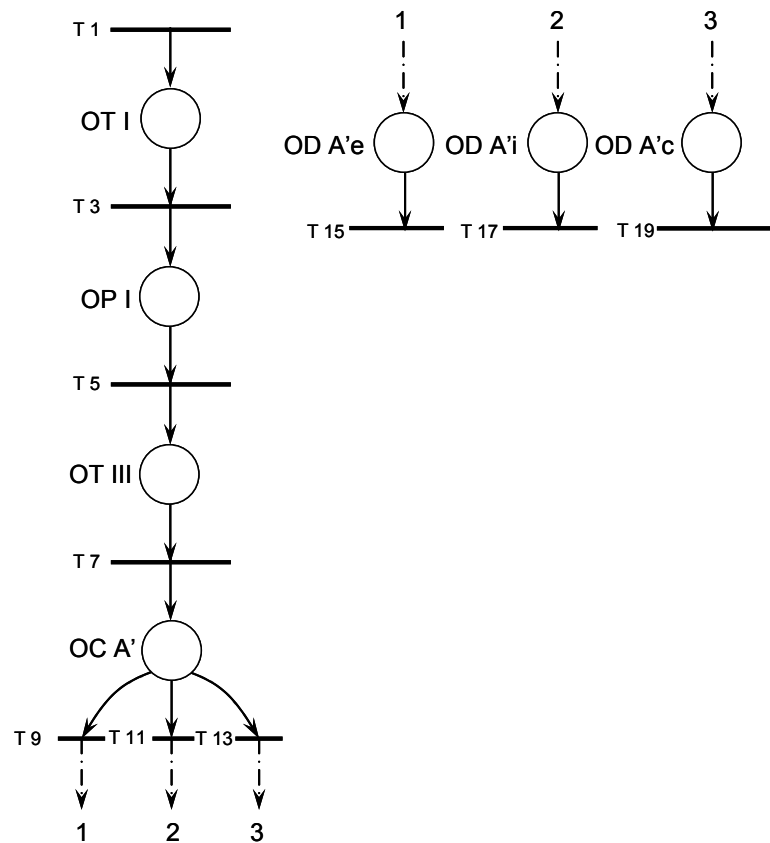


Figura 5.4. Activitats i transicions de la zona Z I

Les transicions s'han creat a partir de les activitats exposades a partir de la Taula 5.1, per cada activitat una transició d'entrada i una de sortida. Cal observar que arribats a aquest punt no es pot disparar cap transició ja que no hi ha un marcat inicial.

És important constatar que les transicions es defineixen com aquell pas entre una activitat i una altre. Per exemple la transició T 1 és defineix com la possibilitat de transportar una peça A a la màquina M I. No és objectiu en aquest projecte definir cada una de les transicions que conformen la XdP, per contra si que s'ha aportat la suficient informació gràfica per poder deduir que indica cada transició.

El següent pas a realitzar és la introducció de recursos. En aquest moment s'han d'introduir els recursos de la Taula 5.2 de forma que permetin segons es consideri necessari disparar les transicions. Si s'assigna un recurs a una transició, aquest ha de ser alliberat amb la intenció de que el sistema pugui ser cíclic i no hi hagi bloqueig.



Els recursos poden estar assignats a més d'una transició i per tant alliberats també per més d'una transició. Cal destacar que la modelització d'aquests recursos compartits pot arribar a produir exclusions mútues, en el cas de marques unitàries. Una exclusió mútua es pot classificar en dos tipus diferents. Un tipus és la exclusió t-mutex: quan no es poden disparar simultàniament dos transicions. L'altra tipus és la exclusió p-mutex: quan no es poden marcar simultàniament dos llocs [18]. A la Figura 5.5 es mostren aquests dos tipus d'exclusió.

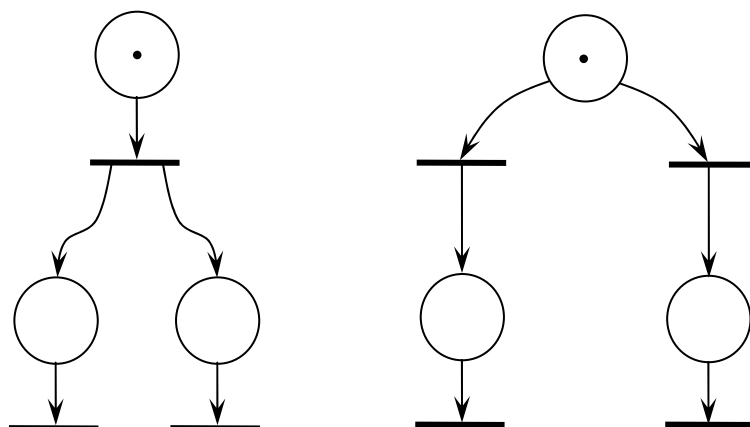


Figura 5.5. Exclusió p-mutex i exclusió t-mutex

En aquest sistema es presenten els dos tipus d'exclusió. Com es veurà més endavant aquest fet no afecta, segons la disposició restant de la xarxa, al resultat qualitatiu. L'exclusió t-mutex apareix com es pot veure a la Figura 5.6 en el moment de la introducció del recurs R I i a l'hora de col·locar el recurs CQ I. Per una altra banda es produeix la exclusió t-mutex a l'hora de portar a terme la decisió del control de qualitat.

També a la Figura 5.6 es pot veure que els recursos s'han capturat quan eren necessaris i s'han alliberat quan han deixat de ser-ho. Cal notar la importància del recurs de la màquina que ha de ser captat des de que el robot ha d'agafar peça del magatzem fins que la màquina l'acaba. És obvi que si no es fa d'aquesta manera es pot produir que el robot R I es quedi amb una peça al seu braç degut a que la màquina M \* es pugui trobar ocupada. Aquesta és una de les parts més importants a l'hora de programar els sistema i és per medi d'aquest formalisme com s'ha pogut trobar aquesta anomalia.





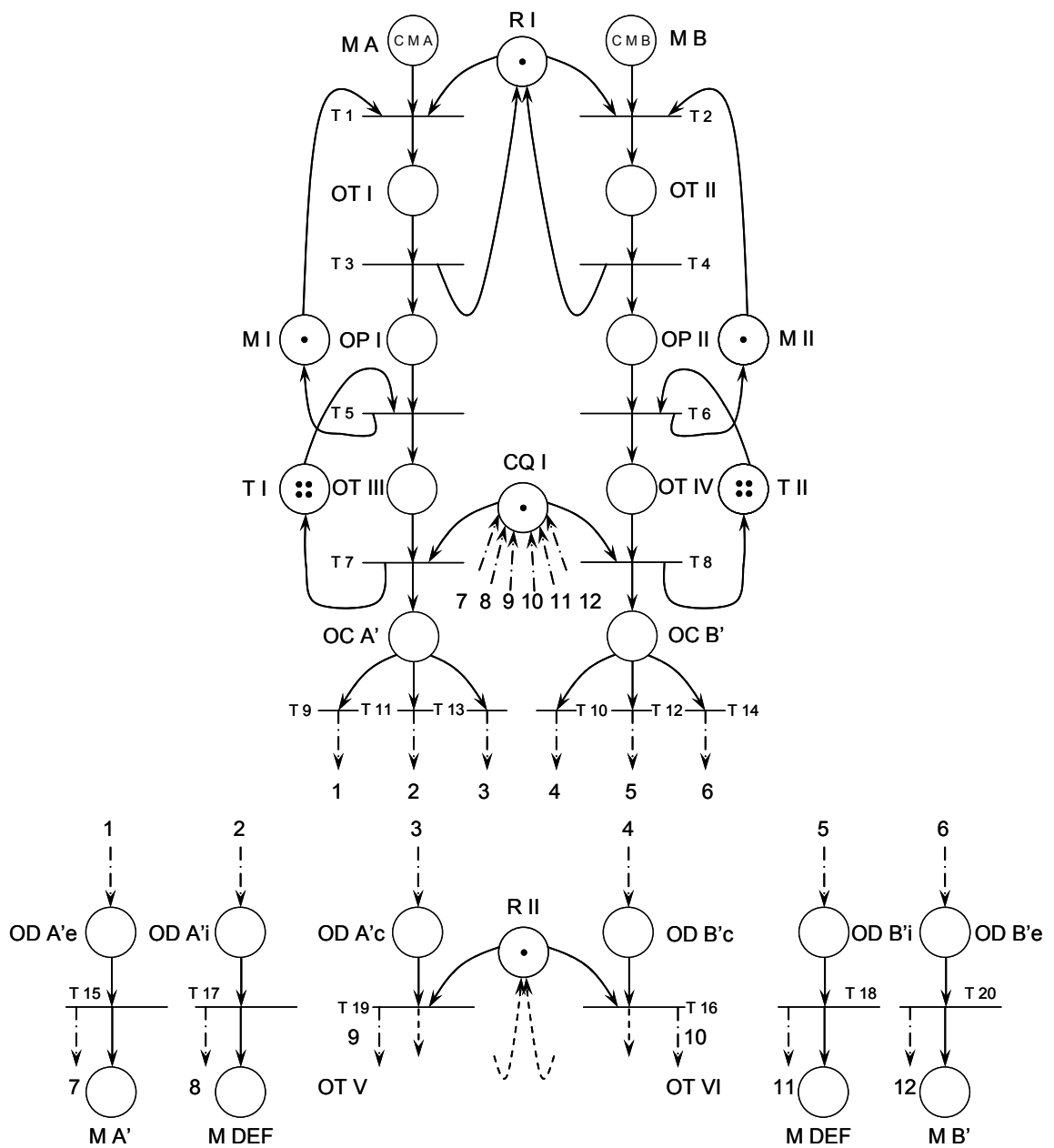


Figura 5.6. Xarxa de Petri de la zona Z I

Per altra banda cal destacar que el control de qualitat permet la bifurcació en 6 possibles opcions, gràcies de nou, al planteig de la exclusió mútua. Després de l'execució de qualsevol d'aquests camins el recurs del control de qualitat CQ I torna a ser alliberat.



El vicle d'unió amb el següent subsistema, en aquest cas la zona Z II, és la decisió del control de qualitat de que la peça continuï en el sistema. Amb la intenció de realitzar un vicle el més robust possible, per evitar l'aparició de bloqueig, s'ha introduït una nova activitat: l'espera de peces a la màquina M II. És a dir quan les peces A' i B' arribin als seus llocs corresponents de la màquina M II, gràcies al transport del robot R II, es podrà activar l'operació II.

Òbviament a l'hora de crear aquesta nova activitat ha estat necessari introduir un recurs que permeti poder realitzar aquest pas de peces sense produir bloqueig. Aquest recurs s'assigna abans de començar el transport de peces i s'allibera un cop la màquina M II comença a assemblar les peces. Cal notar que la definició d'aquest vicle és important a l'hora de realitzar l'automatització d'aquest pas de zona. Un cop formalitzada aquestes noves activitats i recursos, s'ha formalitzat la seva descripció a les Taules 5.3 i 5.4 que es mostren a continuació.

Activitat	Símbol	Precedència	Marcat
Espera de la peça A' a l'arribada de B' a la màquina M II	OT I	5	0
Espera de la peça B' a l'arribada d' A' a la màquina M II	OT II	5	0

Taula 5.3. Activitat d'espera de peces a la màquina M II

Recurs	Símbol	Marcat
Posició d'espera de la peça A' a la màquina M II	PE A' M II	1
Posició d'espera de la peça B' a la màquina M II	PE B' M II	1

Taula 5.4. Recursos de la posició d'espera de la màquina M II

La precedència assignada es vincula amb la notificada per la resta d'activitats comentades anteriorment. Com la capacitat de la màquina per a les peces en espera és unitària s'ha definit una sola marca per els recursos.

A la Figura 5.7 es pot observar com s'ha establert aquest nexa d'unió entre les dues zones amb certa robustesa. D'aquesta forma quan les dues peces es posicionin a la màquina es començarà a realitzar l'operació, aigües avall sobre el sistema no es provocarà cap bloqueig.



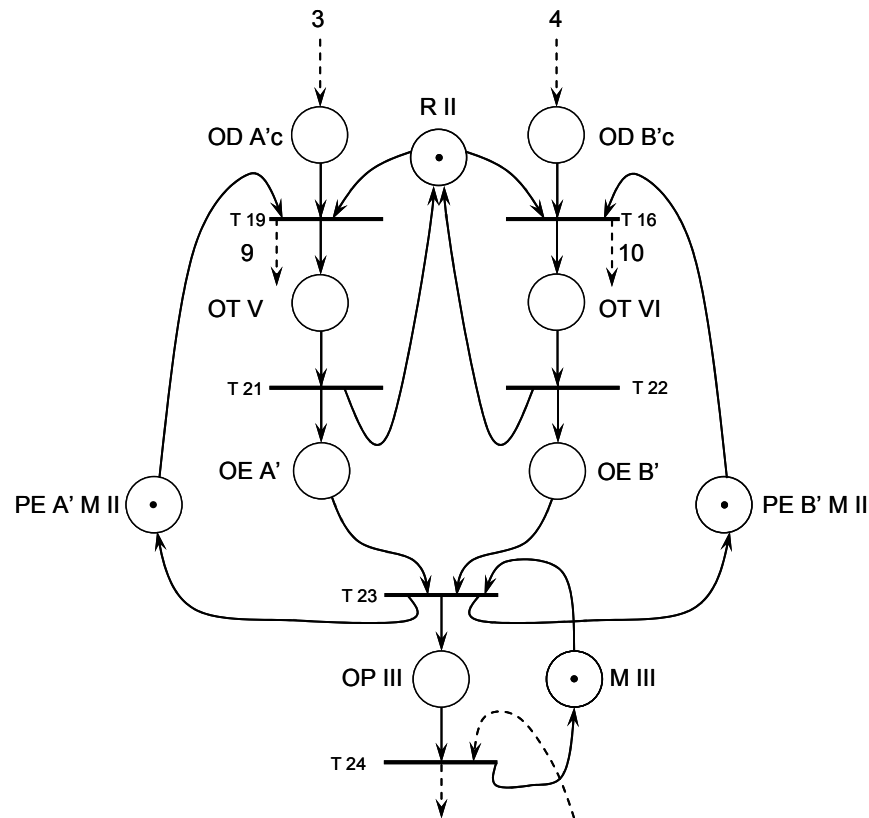


Figura 5.7. Xarxa de Petri que defineix el pas a la zona Z II

A l'annex B, a l'apartat B1, es presenta la XdP de la cèl·lula de fabricació flexible separada en les diferents zones que la conformen connectada per medi dels diferents nexes. Cal dir que entre la línia L I i la línia L II es presenta la zona Z VII com a nexes.

### 5.2.3. Consideracions sobre la xarxa de Petri colorejada

La xarxa de Petri colorejada (XdPC) neix a conseqüència d'una XdP. La principal aportació d'aquest formalisme respecte les XdP és l'assignació d'atributs a les marques. Es poden construir models més compactes i paramètrics [6], facilitant així el seu manteniment i codificació.

L'aplicació d'aquest mètode es pot portar a terme quan hi ha una estructura amb un nombre elevat de components aplicant el formalisme de les XdP. En aquesta cèl·lula hi ha 8 tipus de peces i en cap moment les màquines realitzen operacions diferents segons el tipus de peça, per tant no és útil aplicar aquest formalisme.

En cas que es desitges introduir, per exemple, dos subtipus d'una o de varies peces del sistema, si que seria útil aplicar aquest formalisme, ja que aquí si que es podria disparar considerablement el nombre d'elements de la xarxa.



### 5.3. Anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri

Un cop realitzada la descripció de la xarxa de Petri s'ha de passar a l'anàlisi qualitativa d'aquesta. L'objectiu fonamental d'aquest anàlisi es detectar l'existència de bloqueigs i l'anàlisi de propietats, com s'ha comentat anteriorment, acotació, vivacitat i reversibilitat.

Aquest anàlisi es pot portar a terme per medi del conjunt de tècniques d'anàlisi qualitativa. El conjunt conté bàsicament quatre tipus de tècniques: l'anàlisi per enumeració, l'anàlisi per reducció, les tècniques algebraiques i l'anàlisi de subclasses de xarxes [3] [20]. La primera consisteix en realitzar el graf d'abastament, degut a que per aquesta cèl·lula de fabricació sortiria un graf bastant gran s'ha descartat.

La segona consisteix en realitzar simplificacions sobre la xarxa de Petri, per intentar arribar a un model més senzill, una xarxa AVR (acotada, viva i reversible). De fet, aquesta tècnica s'ha emprat anteriorment, per exemple, en la simplificació de les operacions de càrrega i descàrrega del robot R I. L'ús d'aquesta no permet que es perdin les propietats de la xarxa. El problema resideix en el moment en que no es puguin realitzar més simplificacions.

La tercera tècnica consisteix en un anàlisi de caràcter algebraic que permet arribar per medi matemàtic a la determinació d'aquestes propietats. Aquesta tècnica permet, de forma clara, determinar les característiques de la xarxa, sigui com sigui de gran la xarxa.

Finalment l'anàlisi de subclasses consisteix en aplicar una sèrie de teoremes matemàtics sobre una sèrie de conjunts formats per llocs, segons la definició aportada per les seves transicions d'entrada i sortida. Aquest tipus d'anàlisi ha estat descartat degut a la seva gran quantitat de situacions possibles.

En conclusió, el mètode escollit per realitzar l'anàlisi qualitativa han estat les tècniques algebraiques. L'aplicació d'aquest anàlisi no s'ha realitzat sobre la globalitat de la xarxa, sinó que s'ha conceptualitzat per a cada una de les zones que componen la xarxa. Això permet verificar que la xarxa, a nivell nuclear, sigui robusta i realitzant els vincles entre zones s'obtidria un anàlisi global de la xarxa.

#### 5.3.1. Anàlisi qualitativa de la zona Z I

Amb la intenció d'especificar l'anàlisi qualitativa de la xarxa de Petri del sistema s'ha plantejat l'anàlisi de la zona Z I, descrita anteriorment. A l'annex B, a l'apartat B.4, es poden trobar tots els anàlisi que s'han realitzat per a totes les zones que conformen la xarxa de Petri de la cèl·lula.

Degut a la gran quantitat d'activitats i recursos que presenta la zona Z I s'ha emprat un *software* que permet realitzar l'estudi d'aquest anàlisi qualitativa. Aquest *software*, de lliure



distribució, és conegut com PIPE2 (*Plataform Independent Petri Net Editor 2*). Dins d'aquest *software* es pot editar la xarxa de Petri, encara que a mesura que s'expandeix una xarxa es poden presentar problemes a l'anàlisi, degut a les nombroses possibilitats. Però gràcies a la subdivisió de la cèl·lula realitzada al començament s'ha pogut evitar el problema.

Una vegada s'ha editat en aquest *software* la XdP de la zona Z I fent la divisió fins l'execució del resultat del control de qualitat, s'ha d'apreciar que existeix un bloqueig ja que un cop hagin sortit totes les peces dels magatzems d'entrada de peces A' i B' el sistema no podrà continuar disparant transicions. Per aquest motiu s'ha tancat el sistema, és a dir, després de les últimes activitats vinculades a la decisió per cada peça del control de qualitat s'ha afegit una transició més i s'han enllaçat amb els magatzems del control de qualitat.

Aquesta modificació de la xarxa permet arribar a obtenir uns resultats del programa lògics, ja que el bloqueig que apareixia en un inici no era real. Aquesta modificació s'ha de fixar a l'hora de realitzar l'anàlisi en cap moment es presenta una modificació oficial de la XdP de la zona Z I. A la Figura 5.8 es mostra la XdP editada al programa PIPE2 amb la modificació presentada anteriorment.

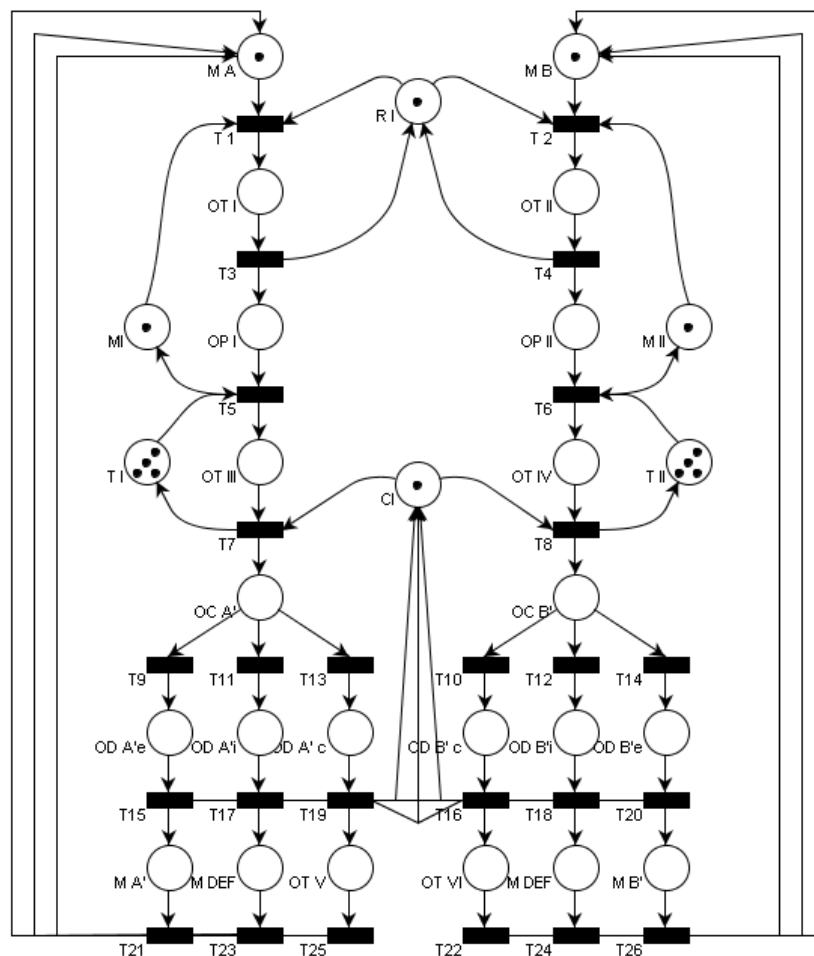


Figura 5.8. Xarxa de Petri de la zona Z I editada a PIPE2



Cal dir que ara si que s'ha fixat la capacitat dels magatzems ja que a l'hora d'establir el resultat de l'anàlisi si que es necessita disposar d'aquesta. Com que el sistema s'ha tancat no ha fet falta posar una capacitat molt elevada, ja que això podria portar problemes durant l'anàlisi. En aquest cas s'ha hagut de fixar una peça per magatzem encara que amb varies peces també funcionaria.

El mètode d'anàlisi qualitativa comença per definir les funcions matricials de preincidència, o d'entrada a les transicions, i la funció de postincidència, o sortida de les transicions. Aquestes funcions matricials vinculen els llocs (files) i les transicions (columnes). A la matriu de preincidència s'assigna el valor lògic 1 si el lloc ataca, a la seva sortida, a una transició, en cas contrari li correspon un 0. A la matriu de postincidència l'assignació unitària es realitza si el lloc és atacat, a la seva entrada, per una transició.

Per medi d'aquestes matrius es pot generar la matriu d'incidència, sempre hi quan no hi hagi cap parell d'un lloc i una transició que formin un llaç [17]. Aquesta matriu s'obté a partir de la resta de les matrius de postincidència i preincidència. D'aquesta manera es representen les postindicències com valors positius i les preindicències com valors negatius.

La xarxa editada al model PIPE2 disposa de 22 llocs i 26 transicions, aquest nombre és considerable i a l'hora de realitzar l'anàlisi la matriu d'incidències té lògicament 22 files i 26 columnes. Amb la intenció de fer més assequible aquest anàlisi s'han emprat la tècniques de simplificació de les XdP.

D'aquestes tècniques s'han emprat, en aquesta fase, bàsicament la fusió de transicions i la regla de les transicions idèntiques junt amb la regla de lloc implícit [18]. La primera consisteix a fusionar les transicions d'entrada i sortida d'un lloc si aquest només es veu afectat per aquestes. Aquesta simplificació s'ha realitzat, per exemple, a les activitats de decisió del control de qualitat.

La segona regla permet agrupar transicions de sortida d'un mateix lloc que són les transicions d'entrada a l'hora d'un mateix lloc. Aquesta regla es pot aplicar també a la decisió del control de qualitat, tenint en compte que es presenta una simetria entre les tres decisions del control per cada peça.

A la Figura 5.9 es pot veure el primer pas de simplificació, cal notar que a part de les simplificacions comentades anteriorment s'ha de dir que el robot R I ha quedat associat a les transicions T1 i T2 com a lloc implícit. Arribat a aquest punt s'ha pogut eliminar de la xarxa.



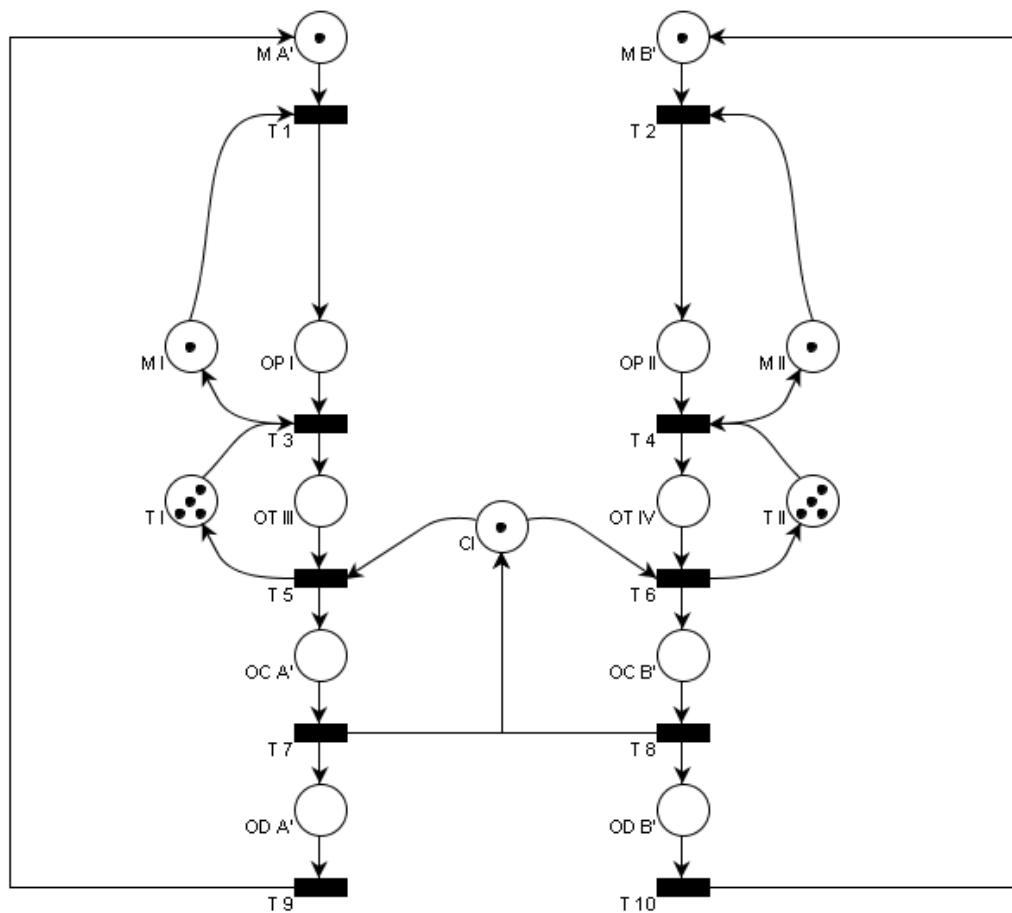


Figura 5.9. Primera simplificació de la xarxa de Petri editada a PIPE 2

Un cop s'ha arribat a aquesta simplificació s'ha realitzat una segona aprofitant la simetria de la xarxa. Com es pot veure a la Figura 5.9 i a la resta de figures relacionades amb la XdP de la cèl·lula, es presenten dues branques enllaçades per recursos compartits. D'aquestes branques es pot eliminar una d'elles amb la intenció de reduir el nombre de llocs i transicions presents a la xarxa. A la Figura 5.10 es poden veure la simplificació final realitzada sobre la xarxa fins arribar a la última per tècniques de reducció.

D'aquesta manera es poden contemplar les propietats de la xarxa de manera trivial sobre el sistema reduït. Aquestes simplificacions s'han aplicat a l'estudi de la XdP de la zona Z I, encara que el programa PIPE2 permet realitzar l'estudi, almenys de l'ordre de la primera xarxa sense simplificar. Per aquest motiu a l'annex B, a l'apartat B.4, s'ofereixen els resultats de l'anàlisi de les xarxes de Petri sense simplificar. Aquí es pot veure com les propietats de les xarxes són les mateixes simplificant o no.



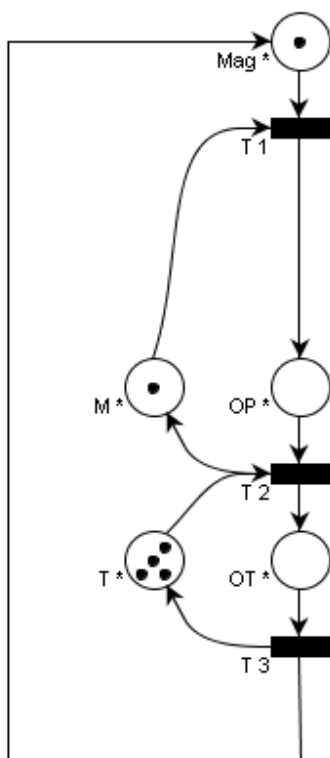


Figura 5.10. Segona simplificació de la XdP editada a PIPE 2

### 5.3.2. Resultats de l’anàlisi qualitativa de la zona Z I

Per a la realització de l’anàlisi en aquest cas s’ha pres la xarxa amb la segona simplificació presentada a la Figura 5.10. El primer pas de l’anàlisi qualitativa ha estat la definició de les matrius de postincidència ( $M Post$ ) i de preincidència ( $M Pre$ ), quedant ambdues:

$$M Post = \begin{matrix} & \begin{matrix} T1 & T2 & T3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} Mag^* \\ OP^* \\ M^* \\ T^* \\ OT^* \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \qquad M Pre = \begin{matrix} & \begin{matrix} T1 & T2 & T3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} Mag^* \\ OP^* \\ M^* \\ T^* \\ OT^* \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Com s’ha comentat anteriorment l’obtenció de la matriu d’incidències ( $M Inc$ ) s’obté a partir de l’Equació 5.1.

$$M Inc = M Post - M Pre \tag{5.1}$$





Quedant la matriu d'incidències de la següent forma:

$$MInc = \begin{matrix} & T1 & T2 & T3 \\ Mag^* & \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ OP^* & \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \\ M^* & \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ T^* & \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \\ OT^* & \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Un cop trobada aquesta matriu s'ha elaborat l'equació d'estat. Aquesta equació permet passar d'un estat inicial,  $M 1$ , a un altre,  $M 2$ , quan s'activin una sèrie de transicions indicades al vector  $\underline{\sigma}$  [15]. Durant l'anàlisi qualitativa s'aplicarà en certs punts d'aquest. L'Equació 5.2 correspon a l'equació fonamental de la xarxa.

$$M 2 = M 1 + M Inc \cdot \underline{\sigma} = M 1 + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \underline{\sigma} \quad (5.2)$$

A la matriu d'incidència es troba encapsulada la descripció del sistema. A partir d'aquesta matriu es poden determinar els t-invariants, vectors que pertanyen al nucli, i els p-invariants, que pertanyen al nucli de la matriu transposada.

Els t-invariants són vectors que defineixen el comportament cíclic del sistema. Per altre banda, els p-invariants permeten identificar si el nombre marques en un cert conjunt de llocs es manté impertorbable.

Amb la intenció de trobar els vectors t-invariants s'ha aplicat l'Equació 5.3 on  $Y$  és un vector teòric que permet realitzar el planteig del sistema d'equacions. En el cas dels P-invariants s'ha aplicat l'Equació 5.4 on  $X$  té la mateixa funcionalitat que  $Y$ .

$$MInc \cdot Y = 0 \quad (5.3)$$

$$X^T \cdot MInc = 0 \quad (5.4)$$

Aplicant l'Equació 5.3 i resolent el sistema que proposa, s'ha trobat el següent t-invariant:



$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Per altra banda a partir de l'Equació 5.4 s'han trobat els p-invariants del sistema:

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

La primera propietat ha analitzar ha estat l'acotació del sistema. Una xarxa es troba estructuralment acotada si existeix un p-invariant que inclogui a tots els llocs ( $X \geq 1$ ) [20]. Considerant que la suma de P-invariants és també un p-invariant a partir dels tres vectors anteriors es pot trobar un que inclogui tots els llocs; per tant la xarxa és acotada.

La segona propietat analitzada ha consistit en veure la possible existència de bloqueig. Quan apareix un bloqueig al sistema no es pot disparar cap transició. Tenint en compte l'Equació 5.5 per a totes les transicions en que la cota estructural dels llocs és igual al pes dels arcs de sortida:

$$M^T \cdot MPre < I_n^T \cdot MPre \quad (5.5)$$

On M és el marcat de cada un dels llocs de la xarxa. Si es compleix aquesta condició i M és assolible des del seu marcat inicial llavors el sistema presenta un bloqueig.

Amb la intenció de verificar que un sistema no presenti bloqueig s'ha de verificar que el següent sistema d'equacions compost per les Equacions 5.5 i 5.6 no tingui solució.

$$M = (M_0 + M \text{ Inc} \cdot \underline{\sigma}) \geq 0 \quad (5.6)$$

El sistema queda plantejat de la següent forma. Les inequacions de l'esquerra corresponen a les que surten de l'Equació matricial 5.6 i les de la dreta de l'Equació 5.5.

$$\begin{array}{ll} M(Mag^*) + M(M^*) < 2 & M(Mag^*) = 1 - \sigma_1 + \sigma_3 \geq 0 \\ M(Op^*) + M(T^*) < 2 & M(OP^*) = \sigma_1 - \sigma_2 \geq 0 \\ M(OT^*) < 1 & M(M^*) = 1 - \sigma_1 + \sigma_2 \geq 0 \\ & M(T^*) = 4 - \sigma_2 + \sigma_3 \geq 0 \\ & M(OT^*) = \sigma_2 - \sigma_3 \geq 0 \end{array}$$



Després d'obtenir totes les inequacions que presenta el sistema es pot observar que el sistema no té solució. El nombre d'incògnites és superior a les inequacions del sistema i per aquest motiu no és possible presentar solució i lògicament el sistema no presenta bloqueig.

La tercera propietat que s'ha d'analitzar és la vivacitat de la xarxa. Una xarxa de Petri és viva si existeix un t-invariant que impliqui a totes les transicions i no hi ha bloqueig a la xarxa. En aquest cas existeix un t-invariant on hi són presents totes les transicions i anteriorment s'ha demostrat que no hi ha bloqueig, per tant la xarxa és viva.

L'última característica que s'ha volgut analitzar és la reversibilitat del sistema. Un sistema és reversible si el seu graf d'abastabilitat està fortament connectat [20], és a dir, que des d'un estat es pugui anar a un altre. Com s'ha comentat anteriorment no es volia desenvolupar el graf d'abastament ja que el sistema presenta una gran quantitat de llocs i transicions i el graf es faria molt gran. Gràcies a la simplificació feta a l'apartat anterior el graf d'abastament és molt més senzill que el de la xarxa original.

El graf d'abastament consisteix bàsicament a realitzar el recorregut per a tots els llocs possibles. Aquest tipus d'anàlisi és una bona forma per trobar l'acotació i els possibles bloqueigs. A la Figura 5.11 es presenta el graf d'abastament, considerant que la capacitat de la cinta és unitària, no és necessari ja que la capacitat del magatzem també ho és i seria redundant ficar més capacitat a la cinta.

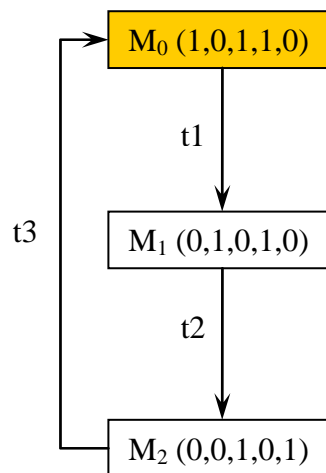


Figura 5.11. Graf d'abastabilitat de la XdP simplificada

Com es pot veure a la figura 5.11 es presenta un graf fortament connectat, per tant el sistema és reversible. Cal dir que la reversibilitat és una propietat conservativa com la resta, encara que s'hagin fet simplificacions.



Finalment s'ha arribat a la conclusió que la zona Z I presenta una xarxa de Petri és AVR. S'ha de dir que el *software* PIPE2 analitza les xarxes de Petri internament d'aquesta manera. Per tant a l'apartat B.4 de l'annex només s'han presentat els resultats d'anàlisi de la XdP.

Disposant finalment de totes les zones de la XdP analitzades per separat amb el resultat AVR, s'arriba a concloure que, gràcies a la forma de construcció *bottom-up*, la xarxa a nivell global és AVR.



## 6. Model per l'anàlisi quantitativa de la cèl·lula

Dins de l'àmbit de la fabricació industrial és d'interès disposar d'eines que permetin realitzar la predicció sobre possibles canvis a realitzar sobre sistemes reals, sense modificar el sistema físic. L'eina que permet aconseguir això és la simulació.

Per a poder analitzar el comportament previ d'un sistema industrial, així com la possibilitat d'avaluar diferents opcions de millora o fer possibles canvis en els temps dels elements és necessari disposar d'un model estadístic. El disseny d'aquest model s'ha de realitzar seguint una sèrie de passos per a verificar la seva correcció.

En un primer lloc és necessari establir la formulació del problema, és a dir, la descripció del comportament del sistema. Posteriorment en un segon pas s'ha de conceptualitzar el model. És en aquesta part on intervé la descripció del model de la xarxa de Petri, on s'han establert els vincles entre els elements que componen el sistema per medi de la descripció d'aquest formalisme, avaluant així els possibles problemes que podria tenir el sistema. A partir d'aquí es pot establir la implementació del model.

Un cop s'ha implementat el model s'ha de verificar i posteriorment validar. La verificació d'un model d'un sistema com aquest es pot realitzar de diferents formes: observant el comportament del model, realitzant una animació, introduir valors a les entrades del model per intentar verificar les sortides esperades... [2].

L'objectiu de validar una simulació consisteix a produir un model que representi fidelment el comportament del sistema i augmentar la credibilitat del model per tal que pugui ser emprat pel gestor del sistema.

Un cop realitzada la validació i si ha tingut èxit, el model estarà validat i ja es podrà emprar per realitzar experiments. En el cas en que no estigui correctament validat s'hauran de recollir dades extretes del sistema i tornar a implementar el model fins que la validació sigui correcta.

Com s'ha comentat anteriorment l'objectiu fonamental d'aquest projecte no és realitzar un model del sistema, amb la intenció de realitzar experiments sobre ell i veure possibles millores o analitzar canvis, encara que si que interessa disposar-hi per poder conèixer les limitacions que pot presentar la cèl·lula. Per tant la validació i millora del model no serà un objectiu present a aquest model.

A la Figura 6.1 es poden observar els passos comentats anteriorment. S'ha de dir que a partir de la validació es poden realitzar tota una sèrie d'experiments i canvis que terminin de concretar el model de simulació.



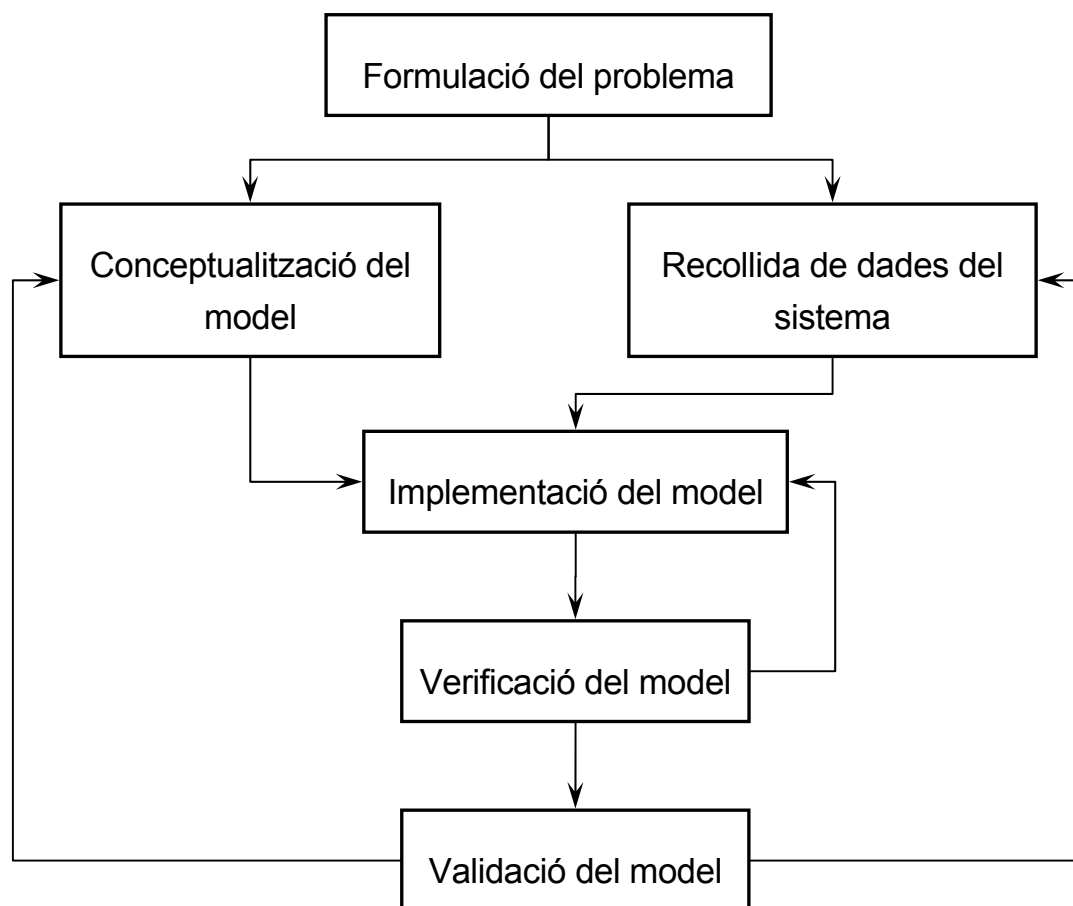


Figura 6.1. Mètode de la realització d'un model de simulació

A l'hora de realitzar l'automatització de la cèl·lula ha estat d'ajuda disposar del model que permet avaluar el comportament del sistema. És convenient a l'hora de realitzar un projecte d'automatització industrial incloure un model de simulació amb la intenció de que el client final disposi de les eines suficients per a poder realitzar canvis en el mateix o ampliacions.

En aquest apartat s'indica com s'ha construït el model i quines característiques s'han assignat a cada un dels elements que conformen la cèl·lula. Per a la realització d'aquest model s'ha emprat el *software* Arena v. 7.01 de Rockwell Software amb llicència educativa. Cal notar, que encara que la versió sigui de caràcter educatiu serveix per poder realitzar la modelització del sistema.



## 6.1. Implementació del model

La cèl·lula de fabricació disposa de 2 línies de fabricació que són pràcticament independents, en cap moment hi ha un creuament de les activitats dels seus elements exceptuant a la zona del Nexè. Com la versió que es disposa del *software* de simulació està restringida en 43 elements s'ha decidit aprofitar aquesta estructura de la cèl·lula per dissenyar el model.

Degut a aquesta limitació de *software* s'ha realitzat una divisió del model en tres parts: la línia L I que inclou les zones: Z I, Z II, Z III i Z IV; la línia L II que inclou les zones Z V i Z VI; i finalment la última part la zona Z VII. Degut a que la línies L II i la zona Z VII són molt semblants en alguns aspectes de la línia L I, s'ha considerat descriure en aquest apartat la construcció d'aquesta.

Aquests tres models independents no s'han validat, encara que si aporten una informació coherent de la realitat física del sistema. No és objectiu del projecte portar a terme una validació d'aquest tipus ja que s'hauria d'augmentar la credibilitat del model per tal que un usuari ho pugui emprar [21].

### 6.1.1. Implementació del model de la línia L I

La construcció del model de la línia L I s'ha realitzat de forma modular. Al igual que en el cas de la XdP s'ha pensat en una estructura modular, aquí també s'ha aprofitat aquest tipus de construcció.

Prèviament a la construcció del modelat de cada zona s'ha implementat la part de creació de peces. En els *softwares* de simulació com aquest les peces es generen cada cert temps. Per tant no es disposa d'un magatzem on es troben les peces, que és el cas que pertoca. A conseqüència d'això s'ha generat un lloc de sortida de peces de cada tipus, en aquest cas: A, B i C.

Un cop creada aquesta generació de peces s'ha establert un sistema per a poder etiquetar les peces generades, és a dir, fer l'elecció de les peces que s'han de fabricar. Aquesta elecció és simulada, és a dir, no hi ha una programació darrera que indiqui quina és la seqüència de peces que han d'entrar. Per tant cada peça creada s'etiqueta amb una certa referència. Aquesta referència correspon al tipus de peça que es desitgi fabricar: PAF, PABF, PABCFI i PABCFII, aquestes designacions corresponen a peces A', AB', AB'C i AB'C)", respectivament.

L'assignació d'aquestes referències es realitza en funció dels percentatges atorgats a cada una. Per tant en funció d'aquests entraran al sistema una certa quantitat de peces d'un tipus



o un altre. En aquest cas s'ha considerat un percentatge igualitari per a totes, encara que si es desitja fer un canvi és possible ja que per cada etiqueta s'ha considerat un paràmetre (V1, V2 i V3), òbviament el quart percentatge és el complementari a aquests. Al model aquesta operació s'ha establert just després de la primera assignació d'una peça A'.

A la Figura 6.2 es pot veure com s'ha implementat aquesta generació i etiquetat de peces, on la creació de peces i l'assignació d'etiquetes corresponen als magatzems i a la gestió de la producció de les peces, respectivament.

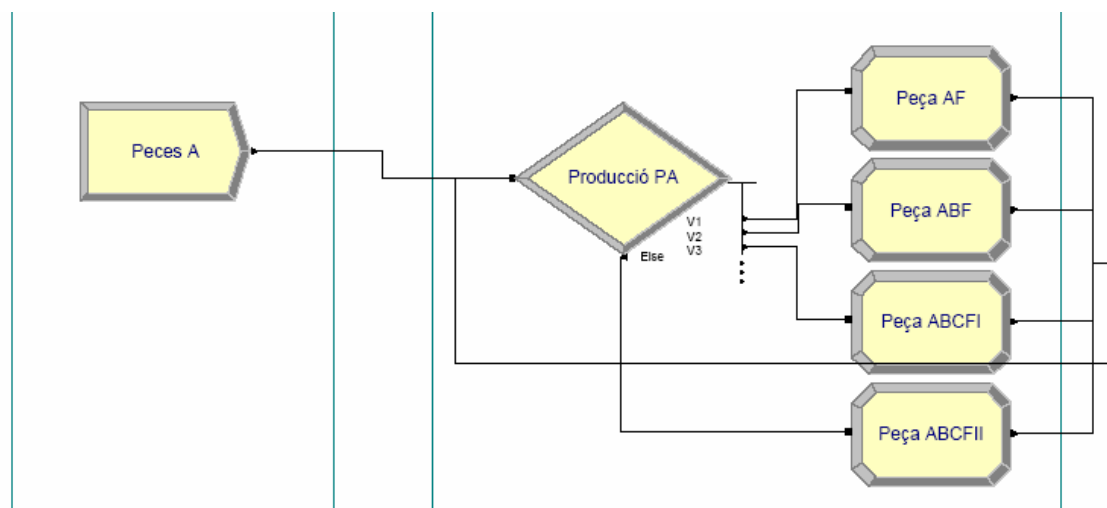


Figura 6.2. Creació i etiquetat de les peces

En relació a les peces B i C, com es pot veure a l'apartat C.1 de l'annex, també s'ha emprat la mateixa política. A partir de la generació de peces A es regula la producció dels diferents tipus de peces a fabricar. Per aquesta raó les peces B només poden ser generades per a que es processin de forma individual i es transformin en B' o continuïn dins del sistema unint-se a una peça etiquetada com PABF, PABCFI o PABCFII.

En el cas de les peces C no és necessari fer cap etiquetat ja que no es tracten de forma individual com és el cas d'A i de B. En el moment d'entrar s'enllaçaran amb una peça etiquetada com PABCFI o PABCFII.

Amb la intenció de conceptualitzar un model el més acurat possible per definir els magatzems s'ha optat per introduir un element que permeti modelar-los. Per medi d'un bloc *SEIZE*, anomenat Recurs del magatzem PA, s'ha realitzat un llaç que fa possible que sempre hi hagi peces al magatzem [8] [9]. És per aquest motiu que a l'hora de crear-les dona el mateix amb quina llei de distribució continua es faci, sempre hi haurà una generació continua de peces. De fet, en aquest projecte, s'ha modelat amb l'entrada d'una sola peça.





En aquesta cèl·lula de fabricació les peces són agafades del magatzem i llavors és en aquest moment quan entren al sistema. En aquest model de simulació les peces es generen i són replicades, però depenent dels temps de les operacions pot passar que entrin al sistema i generin cues. Aquestes cues podrien ser nocives ja que el sistema no disposa de *buffers* intermedis. Per evitar aquest problema s'ha inserit un bloc DECIDE, anomenat EVSI (*EVasió de Saturació I*), que permet realitzar aquest control i eliminar les peces que no poden ser fabricades en aquest moment just després de la producció de peces. A la Inequació 6.1 es mostra l'expressió inserida al bloc.

$$NQ(OT I.Queue) < 1 \quad (6.1)$$

Aquesta inequació indica que el nombre d'elements de la cua de l'operació de transport OT I és inferior a 1. Quan s'estigui transportant una peça del magatzem M A a la màquina M I no hi haurà possibilitat de que una peça estigui en espera de ser transportada. Quan aquesta inequació sigui certa la peça passarà al següent procés. En el cas que la inequació no ho sigui la peça serà eliminada del sistema. A la Figura 6.3 es pot observar la intervenció del bloc DECIDE i el bloc SEIZE.

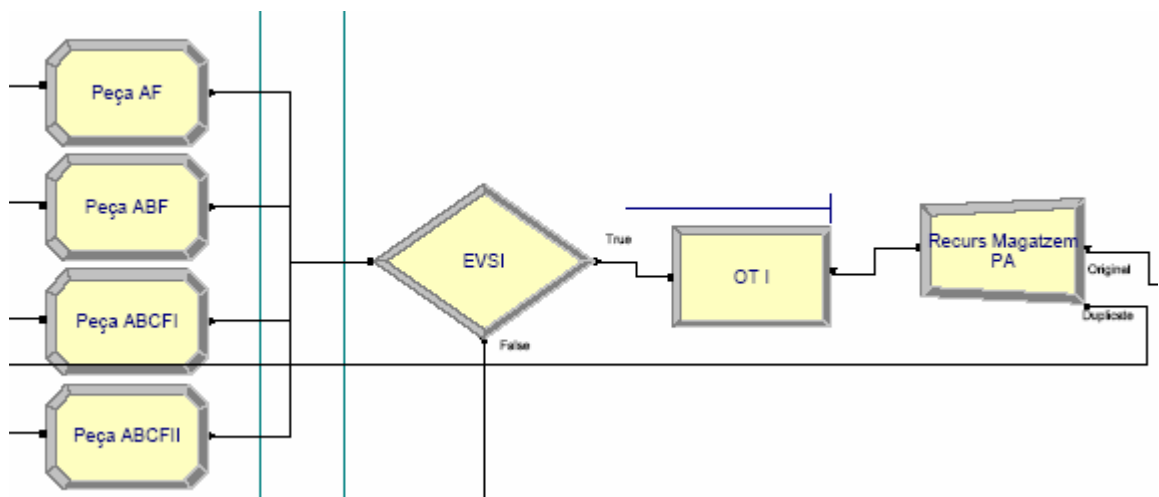


Figura 6.3. Control de la saturació de peces i simulació del magatzem

En el moment en que es genera una peça que el sistema no accepta, amb la intenció d'evitar la saturació, s'ha de procedir a la seva extracció del sistema. De la sortida del bloc EVSI hi ha un bloc DISPOSE, anomenat Peces Eliminades, que permet dipositar totes aquelles peces que s'han tret del sistema.

A la Figura 6.4 es pot observar aquest bloc, cal dir que les entrades a aquest provenen de diferents evasions de saturació, és a dir, durant la creació del model s'ha necessitat establir



més llocs on dipositar totes aquestes peces, degut a la limitació del nombre de blocs del *software*, s'han vinculat totes al mateix lloc.

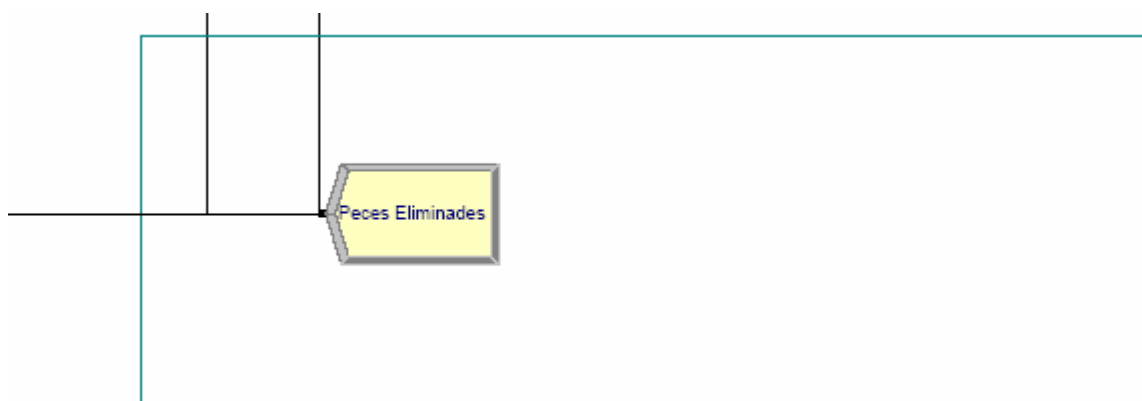


Figura 6.4. Emmagatzematge de peces no fabricades

Després de que la peça hagi estat etiquetada i pugui ser tractada pel sistema aquesta començarà a ser transportada a la màquina M I. Aquesta operació de transport s'ha definit amb una llei triangular. Com que el transport de les peces entre els elements és una operació que en un inici és desconeguda pel gestor del sistema, és convenient establir una llei d'aquest tipus fins el moment en que es disposi més informació del sistema [10]. En un possible futur, coneixent els temps del sistema, es podria fer un canvi d'aquesta llei triangular a una funció de distribució Gamma, ja que existeix la possibilitat de que es produeixin variacions de temps justificables físicament [7]. Aquest canvi seria apropiat realitzar-ho amb la intenció de fer alguna possible modificació sobre el sistema, un cop conegut el temps del sistema.

En el cas de les operacions realitzades per màquines s'ha de destacar que la llei escollida ha estat una normal, ja que probablement el gestor del sistema sigui coneixedor del temps de les operacions de fabricació [7]. Per poder fer aquesta elecció no s'han considerat avaries a les màquines. Si es desitja realitzar una implantació del sistema, existeix la possibilitat de modificar tots els temps i lleis de distribució assignades en aquest model.

Per representar les operacions tant de transport com de fabricació s'ha emprat el mòdul PROCESS. Aquest mòdul s'ha caracteritzat amb l'acció *Seize Delay Release*, que permet capturar la peça i simular el procés real per medi d'un recurs establert. Tant a l'operació OT I com a la OT II s'ha vinculat el recurs R I que està relacionat amb les dues operacions. És en aquesta vinculació on es fa ús directe de la descripció de la xarxa de Petri.

D'aquesta forma s'han vinculat totes les operacions entre si, assignant i alliberant recursos com s'ha exposat anteriorment a la descripció de la xarxa de Petri. Hi ha operacions que



tindran assignats més d'un recurs, per tant fins que els dos recursos no estiguin alliberats no es podrà portar a terme aquesta operació.

Un cop les peces han sortit del primer procés de fabricació, en el cas de les peces A', van a parar al control de qualitat. Aquesta part s'ha simulat per medi d'un bloc DECIDE, anomenat RCQIPAF (*Resultat Control de Qualitat I Peces A Finals*), en el que s'atorga un cert percentatge, és a dir, un valor d'efectivitat percentual fixat, en principi, pel gestor del sistema que ha de ser coneixedor de la funcionalitat de la màquina. En el cas que la peça sigui defectuosa aquesta anirà a parar al magatzem de peces defectuoses. Amb la intenció d'aprofitar el *software* de simulació s'ha inserit al model un magatzem de peces defectuoses per a cada tipus de peces que passi per un control de qualitat. Així es coneixerà quantes peces han estat defectuoses front les que el sistema pot produir correctament.

Després de que el control de qualitat tingui èxit la peça pot ser emmagatzemada o pot continuar al sistema. Per modelitzar aquest cas s'ha establert un bloc DECIDE, anomenat DPPAF (*Decisió de Pas de Peça A Final*), que identifica l'etiqueta de la peça i la deixa passar a la resta del sistema o l'emmagatzema. Aquest tipus de bloc permet inserir altres condicions i ramificar les sortides d'aquest. La segona condició establerta consisteix en el control de les possibles cues que es poden produir en la unió de dues peces com són en aquest cas les peces A' i B'. A continuació es mostra a la Figura 6.5 el mòdul RCQIPAF i els magatzems on es confina la peça A' tant en cas correcte com incorrecte, junt amb les operacions de transport corresponents.

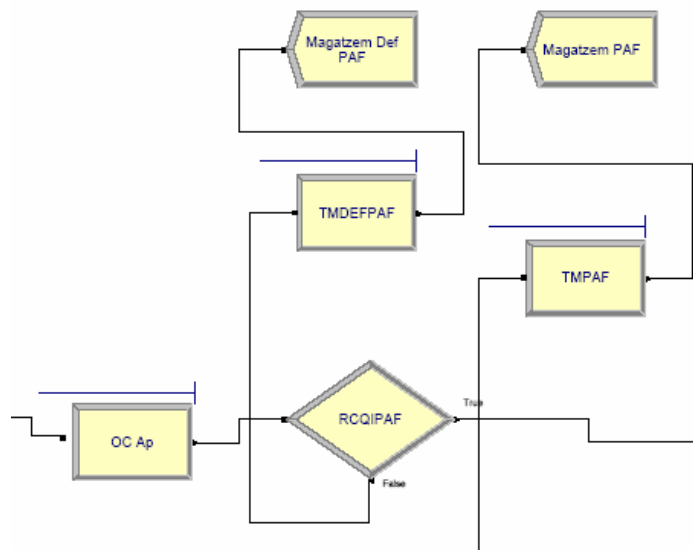


Figura 6.5. Continuïtat i emmagatzematge de peces



El següent pas consisteix en establir l'element que permet la unió de dues peces en aquest cas A' i B'. Per modelitzar aquest esdeveniment s'ha emprat el bloc MATCH, anomenat UPI (*Unió de Peces I*). Aquest permet treure una peça a partir de dues que han entrat a ell. A més disposa de dues cues una per cada tipus de peces, d'aquesta manera es poden considerar si en un futur es desitgen introduir magatzems intermedis.

Si es desitja que a la cua no es produeixi una acumulació de peces és necessari establir una condició similar a la que s'emprava a l'evasió de saturació, just després de la generació de peces. Aquesta condició permetrà que una peça AB' ja creada pugui continuar en el procés de fabricació o sigui eliminada en el cas que la cua ja estigui plena. La inequació 6.2, inserida al mòdul DPPAF, junt amb la identificació de la peça, reflexa aquestes condicions.

$$NQ(UPI.Queue1) == 0 \ \&\& \ NQ(OTV.Queue) == 0 \tag{6.2}$$

La primera condició estableix que la cua de les peces A' ha de ser una o cap peça, ja que es desitja no generar cap cua a la sortida del control de qualitat i la peça A' ha d'esperar a la B'. La segona condició indica que no hi hagi cap peça que s'estigui transportant del control de qualitat CQ I a la màquina M III per que la peça pugui passar d'un lloc a un altre.

A la Figura 6.6 és mostra tota la configuració dels diferents blocs que modelitzen el sistema des de la sortida positiva del control de qualitat CQ I fins al bloc que permet la continuïtat de les peces al sistema.

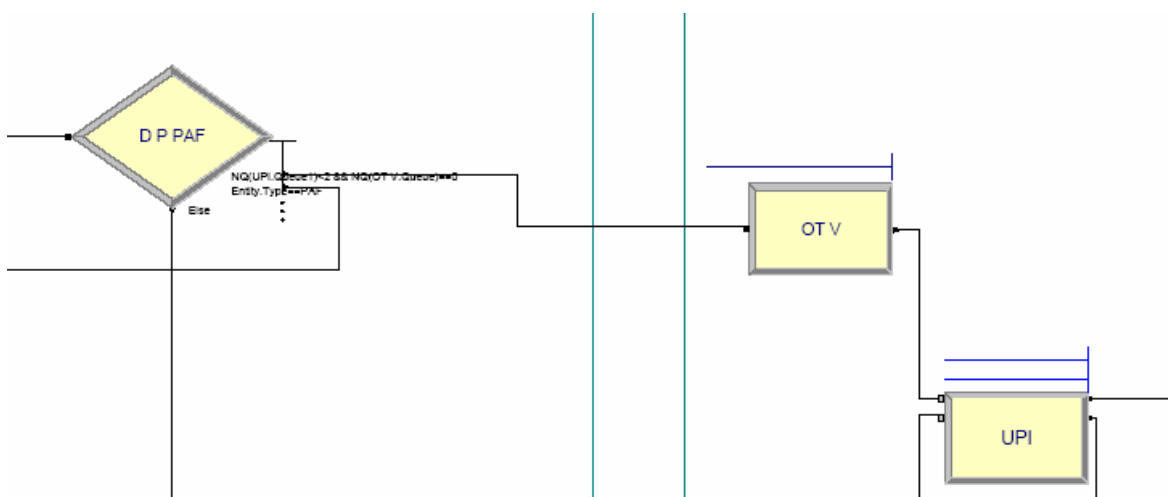


Figura 6.6. Decisió de continuïtat en el sistema i unió de peces

A partir d'aquest moment la construcció de la resta del model es realitza seguint el patró exposat anteriorment per a totes les peces i totes les unions pertinents. Les peces B' també



s'han modelat amb un cert percentatge de fabricació, per si es desitgen com a B' o que formin part d'una altra peça final AB', AB'C o (AB'C)'''. En contra d'això les peces C passen directament a unir-se amb les peces AB'C.

Cal dir que degut a la limitació del nombre de blocs la zona Z IV no s'ha pogut representar de forma sencera, amb tots els processos. Però els processos que es generen a aquesta zona són continus, és a dir, no hi ha un element de decisió que faci que les peces surtin fora del sistema, per tant s'han fixat en un sol procés amb la intenció de substituir a la resta.

### **6.1.2. Implementació de la línia L II i el Nexe**

Després de dissenyar la línia L I del model s'ha realitzat la implementació de la línia L II i el nexa, zona Z VII, de les dues. La política que s'ha seguit ha estat la mateixa que per la línia L I. El cas de la línia L II és molt similar, com s'ha vist a través de la descripció de la XdP, d'una part de la línia L I.

Respecte a la construcció del nexa s'ha realitzat de la mateixa manera que les línies, però en aquest cas s'ha realitzat la distinció, a diferència de la XdP, d'introduir un sol magatzem d'entrada de peces. D'aquest sortiran les peces a ser transportades al control de qualitat CQ I i s'aplicarà el percentatge que es desitgi entre peces (AB'C)''' i DE'.

Com a consideració final del model s'ha de dir que els temps dels processos emprats en la configuració del model són temps per a processos ràpids, petites operacions sobre les peces. Degut al tipus de fabricació definida en l'exposició del sistema no s'ha considerat cap canvi a les màquines, com per exemple canvis d'eines o avaries. A l'annex C, es poden trobar els models de les línies i el nexa junt amb la definició de les característiques dels blocs més significatius de cada un d'ells.

## **6.2. Verificació i flexibilitat del model**

Un cop establert el model s'ha verificat per medi de la realització de diverses proves, avaluant de forma visual les possibles cues que es podien formar als diferents punts del mateix.

El resultat obtingut d'aquesta verificació ha estat positiu, les cues no s'han format. En contra no es disposa d'un model sencer que permeti veure totes les zones de producció juntes. Però aquesta situació permet realitzar un anàlisi independent de cada línia. El gestor del sistema té la possibilitat d'avaluar les línies independentment i determinar la capacitat del magatzem intermedi. És pot, doncs, fer ampliacions per separat en una de les línies i mantenir l'altre intacte.



En el cas que és desitges tenir un model complert, disposant prèviament d'una llicència per més objectes, s'haurien d'integrar els dos models de les línies L I i L II en un, per realitzar això seria necessari fer una unió de les dues línies amb el nexa. En aquest cas s'haurien d'integrar els tres models eliminant la sortida final d'emmagatzematge de les peces (AB'C) i DE'. Per altra banda s'ha d'eliminar la generació de peces del model del nexa així com les etiquetes dels dos tipus de peces i replicar les operacions d'aquest nexa i disposar-les al final de cada línia.

Com últim pas s'ha d'introduir els recursos compartits que es presenten a aquesta zona, aquest és el cas del robot R V i del control de qualitat CQ I. És important fer la vinculació dels recursos presents ja que ara les dues línies es troben juntes en el mateix model, sent la zona Z VII comú als dos. A la Figura 6.7 es pot veure l'esquema que indica la realització d'aquesta operació.

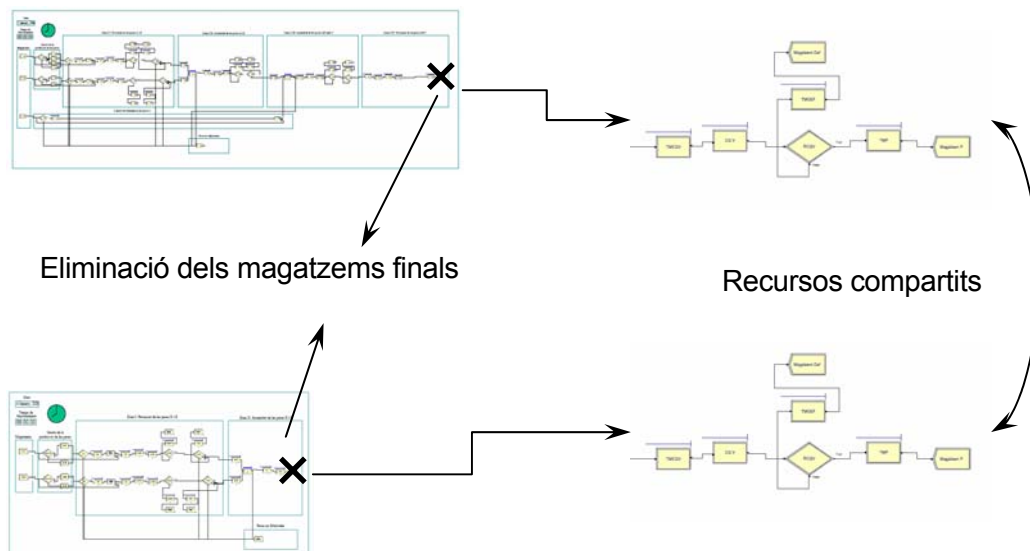


Figura 6.7. Unió de les dues línies de producció junt amb el nexa

A la Figura 6.8 es pot observar una ampliació de la modificació que s'ha d'inserir al final de les línies L I i L II, amb la intenció de disposar d'un model complert per poder emprar amb una llicència per a més objectes.



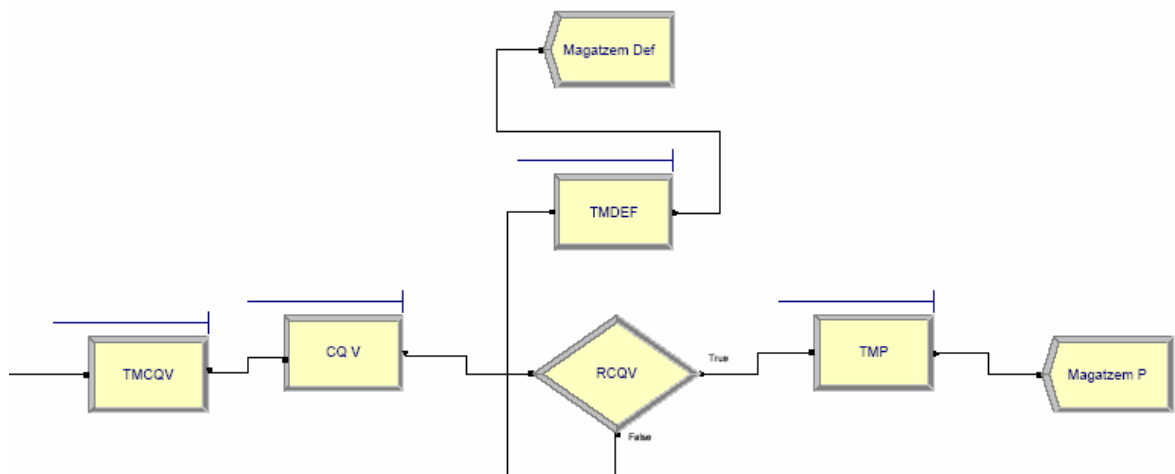


Figura 6.8. Ampliació de la modificació inserida al final de les línies L I i L II

En aquest model s'ha considerat una eliminació de peces que no es podrien fabricar ja que formarien cues. Les expressions que fan possible aquesta regulació són les inserides als blocs DECIDE com és per exemple la inequació 6.2.

Si el gestor del sistema decideix introduir magatzems intermedis per les peces acabades de fabricar que surten d'un control de qualitat, només hauria de treure aquestes condicions dels blocs DECIDE que regulen la formació de cues. Però hauria d'introduir un nou procés per a poder representar el magatzem.

Aquest nou procés és un bloc de tipus HOLD, anomenat Magatzem Intermedi. Aquest bloc permet retenir les peces fabricades que provenen, per exemple, d'un control de qualitat. D'aquesta forma queda aturat el pas de peces al següent procés en cas de que aquest no estigui lliure. Aquest bloc s'hauria d'assignar del tipus *Scan for condition*. Aquesta comprovació de condició permet que cada instant de la simulació es comprovi l'estat de la condició establerta. Quan aquesta condició es compleix s'allibera una peça que estigui retinguda al mantenidor.

A la Figura 6.9 s'indica com seria la inserció d'aquest bloc al model generat. Es pot veure com la condició del bloc DECIDE ja s'ha eliminat. El nou destí de la condició s'introduirà al mantenidor.



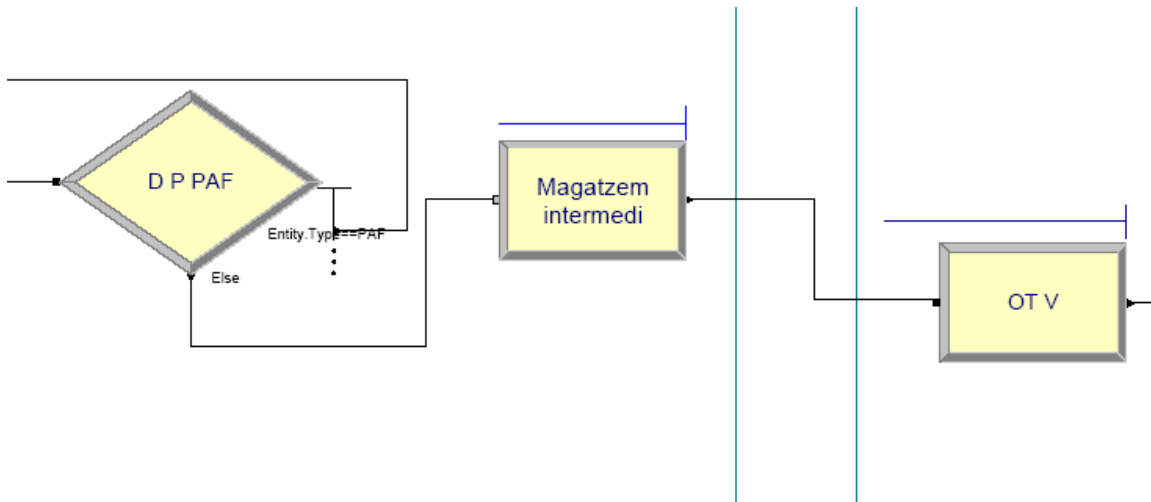


Figura 6.9. Introducció del mantenidor HOLD al model

Encara que no s'hagin introduït magatzems intermedis en el model original s'ha de dir que les cues de les operacions de transport que corresponen a les cintes són d'interès a l'hora de considerar la cinta de transport com *buffer* intermedi. Per tant en un estudi de millora del sistema s'hauria de tenir en compte en primer lloc aquesta propietat del sistema.

Amb aquests dos exemples s'han presentat possibles modificacions que es poden realitzar sobre el model del sistema. Això verifica la flexibilitat del model per poder fer ampliacions sobre les diferents zones o modificacions de caràcter general a l'hora d'intentar millorar-lo.

### 6.3. Interpretació dels resultats del model

Després de disposar dels respectius models de cada una de les parts de la cèl·lula és interessant que a l'hora de realitzar les simulacions pertinents es sigui conscient de la interpretació dels resultats.

El sistema comença a generar peces de forma seguida i les fabrica, però elimina moltes peces en meitat del procés de fabricació que comencen a generar cues. La idea és que aquestes peces eliminades són més que les que el sistema no podia portar a terme la seva fabricació en el temps transcorregut. A part s'ha de dir que totes aquestes peces es confinen al bloc de peces eliminades, aquest bloc no s'ha de tenir en compte a l'hora d'analitzar els resultats.

Les peces que han estat realment fabricades són aquelles que han quedat dipositades als respectius magatzems de peces fabricades. Per tant a través de la suma d'aquests blocs es





disposa de la capacitat de fabricació del sistema i per tant del rati de peces fabricades de forma incorrecta front el total.

Amb aquest model es pot obtenir una cota mínima de la quantitat de peces que pot fabricar el sistema en una certa quantitat de temps. És convenient que a l'hora de realitzar experiments es facin per separats, és a dir, que per un lloc s'analitzi la fabricació d'un cert tipus de peces o d'un altre. D'aquesta manera es pot estudiar la capacitat del sistema front una petició d'un mateix tipus de peces. Per poder realitzar aquest estudi s'ha de fixar al valor nul les condicions d'etiquetatge de les diferents peces.





## 7. Control i monitorització de la cèl·lula

Dins de l'àmbit industrial els sistemes de fabricació, FMS (*Flexible Manufacturing System*), tenen integrades les funcions d'una planta de fabricació com són la recepció de materials, la inspecció, l'emmagatzematge, el transport, la mecanització, el muntatge i la distribució. Aquest conjunt de característiques permeten que la fabricació dels productes sigui variada i fàcilment modificable [13].

La fabricació flexible intervé dins de l'empresa en l'estratègia de mercat, l'enginyeria de producte, que la permet integrar, l'estratègia de producció, com és el cas de la producció JIT (*Just In Time*) i en altres aspectes que defineixen una empresa.

Degut a aquests motius dins del món industrial existeix la necessitat d'integrar els processos de producció amb els de la gestió de l'empresa. D'aquesta forma s'obté la fabricació integrada per computador CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), que acaba formant part en general de l'estratègia d'una empresa de caràcter industrial.

Al capítol 4 s'ha descrit la cèl·lula com una eina de caràcter intermedi d'un gran procés industrial, per a petits o grans fabricants. Cal dir que també es pot integrar al concepte CIM. El concepte d'automatització d'aquesta cèl·lula s'adapta a un dels nivells de la piràmide que representa a la fabricació integrada per computador. A la Figura 7.1 es presenta aquesta piràmide.

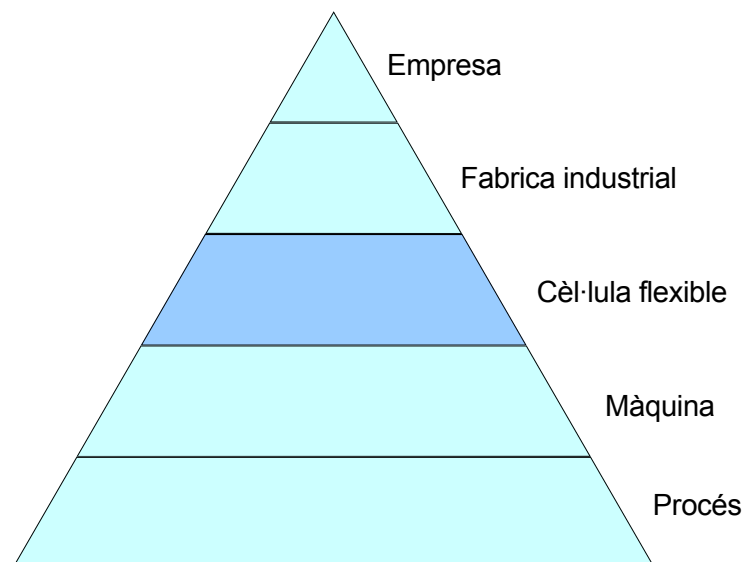


Figura 7.1. Piràmide CIM



La cèl·lula flexible és una part de la piràmide CIM que realitza la comunicació entre les decisions de gestió de l'empresa sobre la fàbrica i les màquines. En aquest projecte d'automatització es presenta una comunicació entre les decisions de l'empresa i les màquines que contempen el procés sense entrar en el comportament intern d'aquestes.

Després de realitzar un anàlisi teòric del comportament del sistema, per medi d'una XdP, i d'establir un model de simulació amb el *software* Arena v. 7.01 s'ha realitzat la implementació del control i monitorització de la cèl·lula.

Aquesta definició consisteix en dos programes: un que controla les entrades i sortides dels elements mecànics que conformen el sistema i un altre que executa les ordres de l'usuari del sistema, aportant-li a més la visualització de les variables. Ambdós programes es troben units en un vincle continu, entre ells s'ha establert una comunicació que fa possible que, de forma immediata, es puguin transferir la informació necessària per al control del sistema.

El primer programa s'ha implementat per medi del *software* STEP 7 v. 5.3, aquest va destinat a un PLC (*Programmable Logic Controller*) que permetrà realitzar la gestió entre les variables del sistema. Aquest algorisme té per funció activar i desactivar sortides en funció de l'estat de les seves entrades. Com entrades s'han considerat les senyals d'aquells elements que aporten informació al sistema, és a dir, les senyals de detecció de peça, les de procés acabat, les d'ocupació d'element... Per un altre lloc, com sortida s'han establert aquelles ordres que permet activar els passos necessaris per la fabricació d'una peça.

El segon programa s'ha implementat per medi del *software* WinCC v. 6.0. Aquest es tracta d'un SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que permet la visualització de totes les variables gestionades al PLC i serveix, a l'hora, per poder realitzar l'activació i/o desactivació d'algunes variables del sistema. Per medi d'aquest algorisme es permet realitzar l'activació d'una ordre de fabricació. Així l'usuari de forma clara podrà disposar de l'estat del sistema de forma global i específica element a element.

Els dos programes s'implanten en equips molt diferents. El primer està destinat com s'ha comentat anteriorment a un PLC. Això és un element de *hardware* que es troba dedicat a realitzar funcions específiques per al que es programat, és a dir, exclusivament a executar aquelles que se l'han indicat al seu programa. Per un altre lloc el programa que s'ha implementat a partir del SCADA està destinat a que corri sobre una màquina, en aquest cas un PC, que disposa d'un sistema operatiu i del propi SCADA. De fet aquest es basa en funcions del sistema operatiu per executar el programa que s'ha projectat sobre ell.

Una vegada definit el procediment per el qual es vol realitzar el control de la cèl·lula s'ha de definir la relació que tindran els diferents elements que componen tota la instal·lació. D'aquesta forma a l'hora de realitzar el control i monitorització de la cèl·lula es tindrà aquesta



definició que permetrà especificar els dos programes. Com es pot observar a la Figura 5.1 es presenta aquesta estructura de comunicació. L'usuari pot activar la fabricació directament a través del *software* de l'SCADA o establir-la des d'un sistema superior. També pot interferir directament en aquelles senyals de seguretat, per a poder aturar el sistema en cas d'emergència i en el supòsit en que, per algun motiu, no tingui accés al *software* de l'SCADA.

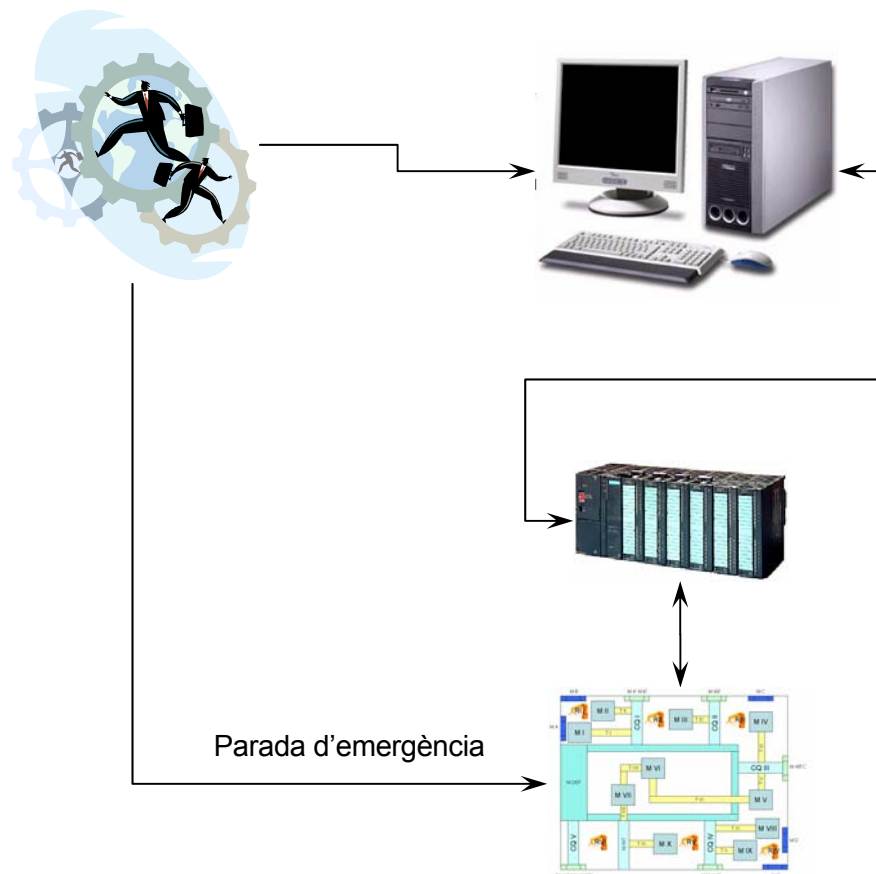


Figura 7.2. Comunicació entre els elements que conformen el sistema

Com es pot observar a la figura 7.2 l'SCADA rep ordres de l'usuari del sistema i les transfereix al PLC realitzant a l'hora una comunicació bidireccional. Al mateix temps el PLC realitza la mateixa funció amb els elements de la cèl·lula, gestionant així el control de la mateixa.

D'aquesta forma escalonada, des d'un alt nivell fins a un baix nivell es gestiona el funcionament general de la cèl·lula, amb la possibilitat, en una ocasió d'emergència, d'establir una comunicació entre l'alt nivell i el baix de forma directa.



## 7.1. Aplicació de la guia GEMMA

Un cop s'ha analitzat com funciona el sistema de forma normal s'han de preveure una sèrie de possibilitats a l'hora de realitzar el control de la cèl·lula. S'ha de dir que aquest projecte contempla la programació del sistema en producció normal.

L'eina bàsica que permet contemplar aquest tipus de programació és la guia GEMMA (*Guide d'Études de des Modes de Marches et d'Arrêts*). Aquesta guia permet descriure tots els estats de funcionament del sistema. Aquests estats es classifiquen en tres famílies: estats de funcionament (F), estats de parada (A) i estats de d'error (D) [1]. A continuació es descriuran tots els estats normalitzats d'aquestes famílies. La intenció és indicar les especificacions que s'haurien de tenir en compte a l'hora de realitzar una implantació física. A les Taules 7.1, 7.2 i 7.3 es mostren els diferents estats de funcionament, parada i d'error respectivament.

Estat de funcionament	Descripció
F1 (Producció normal)	En aquest estat es contempla la programació de la fabricació de forma natural, sense que hi hagi ni errades ni parades de fabricació. En aquest projecte es descriu la programació d'aquest estat.
F2 (Marxa de preparació)	Abans d'engegar el sistema de forma directa s'haurien de tenir en compte els temps de preparació de les màquines.
F3 (Marxa de finalització)	Els elements de la cèl·lula realitzen una sola operació, per tant es buiden un cop l'han realitzat.
F4 (Verificació de marxa en desordre)	Durant el procés no es tindran en compte aquestes verificacions.
F5 (Verificació de marxa en ordre)	S'ha implementat la possibilitat de conèixer el correcte funcionament de la màquina. Sabent així quantes peces s'han fabricat correctament i quantes de forma incorrecta. A part s'han establert avisos de l'estat dels elements en el cas que s'esgotin els recursos.
F6 (Marxa de test)	S'hauria de realitzar prèviament una verificació de tots els elements junt a operacions prèvies d'ajust.



Taula 7.1. Estats (F) de funcionament

<b>Estats de parada</b>	<b>Descripció</b>
A1 (Parada en estat inicial)	El sistema ha de disposar d'un estat inicial de repòs de la part operativa.
A2 (Sol·licitud de parada al final del cicle)	Durant el procés de fabricació si es demana la parada d'aquest, les màquines que estiguin realitzant un procés han de finalitzar aquest i s'han de retirar les peces.
A3 (Sol·licitud de parada en un estat determinat)	Si es sol·licita aquesta parada els elements de la cèl·lula han d'aturar-se a la situació a la que estiguin.
A4 (Parada en estat intermedi)	En aquest cas de forma manual s'ha de calibrar la màquina a un dels estats inicial o final segons correspongui.
A5 (Preparació després d'una errada)	En el cas de que hi hagi una avaria a un dels elements. La línia a la que correspongui aquest ha d'aturar-se. S'ha de solucionar el problema de forma manual i continuar amb la fabricació. L'altra línia pot continuar de forma natural.
A6 (Inicialització de la part operativa)	Abans de començar una fabricació s'ha de verificar que tots els elements necessaris per aquesta estiguin presents.
A7 (Preposicionament de la part operativa)	Si una fabricació s'ha aturat per algun motiu, per medi de la parada d'emergència es pot cancel·lar i s'ha de tornar a poder iniciar.

Taula 7.2. Estats (A) de parada

<b>Estats d'emergència</b>	<b>Descripció</b>
D1 (Parada d'emergència)	El sistema ha de disposar d'una parada d'emergència, el més ràpida possible.
D2 (Diagnòstic i tractament de l'error)	S'ha d'incloure una sèrie d'accions per saber ràpidament on s'ha presentat l'error.
D3 (Continuar la producció amb error)	En el cas que es produeixi un error en un dels elements, s'ha d'aturar la línia a la que pertany aquest.

Taula 7.3. Estats (D) d'error



## 7.2. Configuració física del *hardware*

Una vegada descrit com es gestiona la comunicació a través dels diferents elements que ho componen, s'ha definit quina seria una possible estructura de *hardware* i *software* necessària per poder dur a terme la implantació del sistema de control. Encara que no forma part d'aquest projecte la definició d'aquesta descripció, ja que el projecte no tracta la implantació de la cèl·lula, si que és una bona eina a tenir en compte a l'hora de realitzar el tractament informàtic. Aquesta estructura pot ser útil a l'hora de definir una possible ampliació de la cèl·lula, tant en la intervenció de nous elements com en el programa de gestió.

La comunicació entre el PLC i el PC industrial on estarà present l'SCADA s'ha definit via PROFIBUS. L'elecció d'aquest estàndard de comunicació ha estat la seva robustesa en front l'automatització. En un futur es preveu que aquest es convertirà en PROFINET, estàndard de PROFIBUS basat en ETHERNET Industrial. En aquest cas el sistema es podria adaptar de forma immediata al nou estàndard, per exemple, amb una targeta de comunicacions que serveixi de passarel·la.

A la Figura 7.3 es mostra la disposició dels elements junt amb les xarxes de comunicació. S'ha considerat oportú aprofitar la xarxa MPI pròpia de SIEMENS, de la que té un port integrat el PLC, per establir la comunicació amb un equip auxiliar de programació. L'objectiu d'aquesta connexió consisteix en poder disposar d'un canal de comunicació per realitzar modificacions o fer consulta sobre el programa de control, sense intervenir a través de la xarxa PROFIBUS DP.

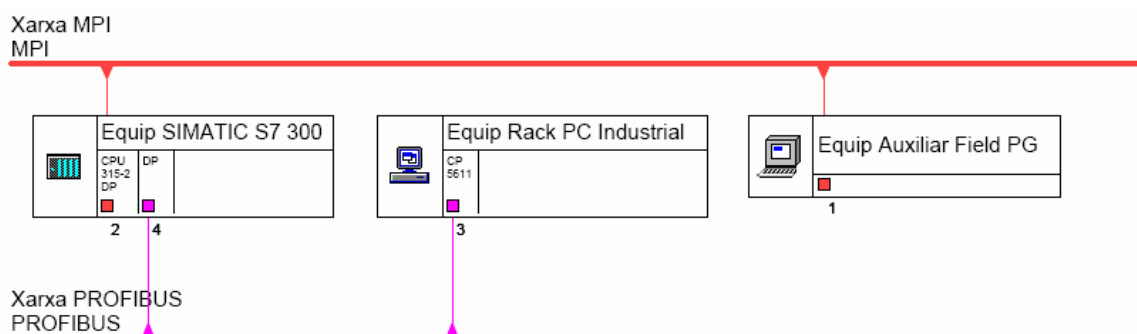


Figura 7.3. Xarxa de comunicacions de la cèl·lula





### 7.2.1. Configuració del PLC

Amb la intenció de realitzar la configuració de les senyals que haurà de tenir el PLC s'ha de definir de forma prèvia totes aquelles senyals d'entrada i sortida amb les que es comunicarà cada element que compon el sistema. És necessari definir la funcionalitat i programació de cada un per atorgar el nombre de senyals necessàries, mostrant quina relació presenta la cèl·lula respecte al sistema d'ordre superior.

- **Magatzems**

L'arquitectura dels magatzems d'aquesta cèl·lula és tal que quan el control de qualitat diposita una peça o un robot agafa una, el magatzem desplaça la peça o el lloc buit una posició més, així el control de qualitat o el robot realitzaran l'operació en el mateix lloc. Per poder saber el nombre de peces fabricades i emmagatzemades serà necessari disposar d'una senyal digital d'entrada al PLC als magatzems de sortida.

El contingut del magatzem d'entrada s'indicarà al SCADA per medi d'un sistema d'ordre superior, que actualitzarà les dades cada cert temps. En els magatzems de sortida de peça després de cada fabricació es realitzarà l'actualització dels mateixos en el sistema d'ordre superior i s'esborrarà el valor d'aquests. D'aquesta manera es permet a l'usuari del sistema portar un control més concret de l'ordre de peces que ha volgut fabricar i si en algun moment es decideixen fer certs canvis a la cèl·lula es podran realitzar amb més facilitat. Per tant serà el sistema d'ordre superior el que limiti la fabricació en cas que no hi hagi espai lliure als magatzems.

- **Robots**

Els robots d'aquesta cèl·lula poden realitzar més d'una operació segons sigui la seva funcionalitat. El control d'aquests s'ha considerat segons un ordre de preferència a l'hora de realitzar aquestes operacions. Llavors és necessari indicar al robot quina és l'operació que ha de realitzar. També s'ha considerat la possibilitat d'establir una senyal que indiqui si el robot realitza operació i en aquest cas quina. Per tant seran necessàries dues sortides digitals del PLC per cada operació a realitzar.

Per motius de seguretat s'ha considerat que per que un robot finalitzi la seva operació de transport i doni pas a la següent és necessari que estigui parat. Per aquest motiu ha d'haver una senyal digital d'entrada al PLC.

- **Màquines**

Les màquines han d'informar al PLC quan reben una peça i quan la finalitzen. Per motius de seguretat, igual que en el cas del robot, s'ha considerat que la màquina ha d'indicar que està



lliure i pot rebre una altra peça. A través de dues senyals d'entrada s'indicarà al PLC si la peça ha finalitzat i pot passar al següent procés i si la màquina està funcionant. També s'ha de presentar una senyal de sortida del PLC per controlar el funcionament de la màquina.

#### ▪ **Cintes transportadores**

Les cintes transportadores disposen d'un sensor al final d'elles, que pertany al següent procés. Aquesta cinta funcionarà només si el següent procés està lliure i si la cinta no es troba saturada. En aquest cas es controlarà la cinta per medi del control del motor que fa possible el seu moviment. S'ha emprat, per al seu control, 1 entrada digital al PLC i 4 sortides digitals al PLC.

#### ▪ **Controls de qualitat**

Els controls de qualitat decideixen la correctesa de cada peça fabricada. A l'hora de poder realitzar aquestes operacions ha estat necessari fixar un total de 12 sortides digitals i 4 entrades digitals al PLC degut a la quantitat de casos que es presenten.

#### ▪ **Senyals comuns**

Per a cada element s'ha decidit introduir una senyal d'entrada digital al PLC com avis de possible avaria per que s'aturi el funcionament del sistema. Depenent del tipus d'element s'han introduït una sèrie de senyals d'entrades digitals que permeten indicar avisos al PLC sobre l'estat dels recursos que necessiten alguns dels elements. En el cas de les màquines, els robots i els controls de qualitat es presenten dues senyals. Per altra banda en el cas de les cintes s'ha presentat una només. D'aquesta manera es conformen un total de 100 senyals d'entrades digitals al PLC.

Per cada un dels elements s'ha considerat una senyal digital de sortida del PLC per la seva activació, que junt amb la resta de senyals de sortida que permeten el control general de les operacions de la cèl·lula formen un total de 96 senyals digitals de sortida.

Degut a que la visualització per part de l'SCADA és ampliable en molts aspectes, s'ha considerat oportú introduir una senyal analògica per cada un dels elements que componen el sistema, exceptuant els magatzems amb la intenció de que es pugui visualitzar una variable interna de l'element, ja sigui temperatura, pressió, càrrega... També s'han introduït una sèrie de sortides analògiques per si es desitja introduir algun tipus de control addicional sobre la cèl·lula.

A la Taula 7.4 es mostra la quantitat de senyals estimades que són necessàries a l'hora de configurar el PLC. Cal notar que s'ha realitzat el càlcul de senyals en funció de les



necessàries per automatitzar una zona i les que es necessiten per a les 7 zones. A part s'han afegit les senyals de caràcter general.

A més es considera un cert percentatge de seguretat per si es decideixen realitzar ampliacions en un futur, o són necessàries més senyals. Per les senyals d'entrada al PLC s'ha considerat un 15%, en canvi per a les sortides digitals un 20%, ja que es possible que es desitgi ampliar més la part de sortides. En la columna del total de senyals s'indica el nombre de senyal aproximats, de cada tipus, necessaris per al control de la cèl·lula.

	Senyals Zona Z *	Senyals de les zones	Senyals generals	Total parcial	Seguretat (%)	Total de senyals
Entrades digitals	13	91	100	191	15	220
Sortides digitals	26	182	96	278	20	334
Entrades analòg.	-	-	32	32	-	32
Sortides analòg.	-	-	8	8	-	8

Taula 7.4. Entrades i sortides digitals i analògiques del PLC

Totes aquestes senyals corresponen a sensors i actuadors dels elements de la cèl·lula. En cas que les màquines seleccionades no tinguessin aquests elements s'haurien d'implantar de forma externa.

### 7.2.2. Configuració de l'equip SCADA

Un cop s'ha configurat l'autòmat programable a partir del nombre d'entrades i sortides digitals i analògiques. S'ha pensat en configurar el PC, on anirà instal·lat l'SCADA. En aquest cas s'ha escollit un PC de tipus industrial amb la intenció de que es pugui disposar a prop del lloc on s'implanti la cèl·lula. Les característiques d'aquest PC són diferents a la dels equips habituals, té una robustesa considerable i està protegit contra la pols i les vibracions. A aquest element se incorporaran els perifèrics adients: pantalla, teclat i ratolí, per a que l'usuari pugui comunicar-se amb el sistema.

També s'ha disposat de la introducció d'un element auxiliar per poder visualitzar el funcionament del PLC. Aquest equip és també un PC portàtil de característiques similars al anterior. L'objectiu d'aquest és poder realitzar una connexió directa al PLC, via MPI, i per medi del *software* STEP 7 es pugui realitzar les operacions necessàries de manteniment.



A l'annex F, al subapartat F.2.2, es pot trobar el pressupost de la configuració física necessària per al control de la cèl·lula, amb la descripció de tots els elements que la componen. La primera partida correspon al PLC i la segona a l'equip SCADA. En tot moment l'equip es pot ampliar de forma modular.

### 7.3. Control de la cèl·lula

El controlador que s'ha emprat per realitzar la regulació de la fabricació de la cèl·lula ha estat un controlador lògic. Aquest tipus de controlador es defineix com un controlador que té per entrades un número  $n$  de variables binàries, generades per la cèl·lula i genera un número  $m$  de variables binàries [11].

A la Figura 7.4 es presenta el diagrama de blocs corresponent on el controlador lògic permet la regulació de la producció realitzada per la cèl·lula. Cal destacar que l'element de visualització serveix per monitoritzar les variables que intervenen al procés.

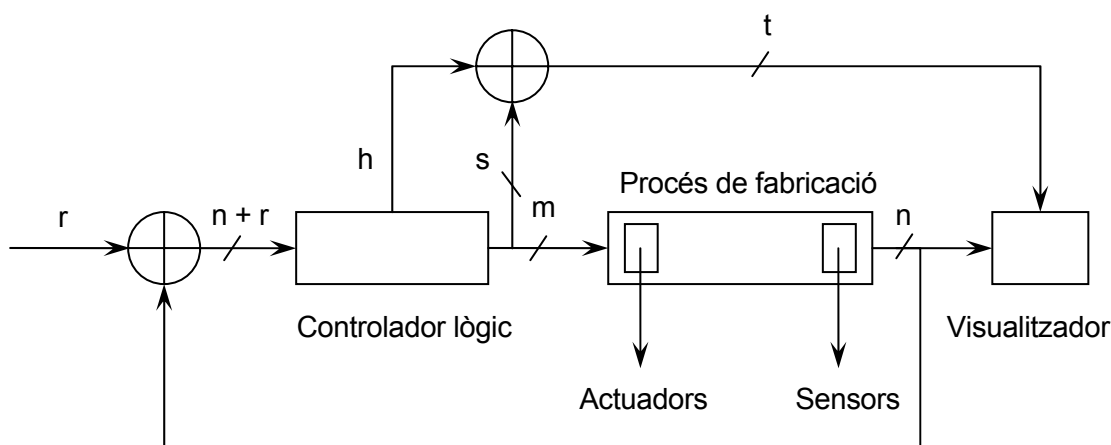


Figura 7.4. Controlador lògic del sistema

La consigna de control està influenciada pel gestor del sistema i per l'estat de les variables de sortida del procés. El controlador lògic transfereix les seves senyals ( $m$ ) de sortida als actuadors del procés de fabricació, seguidament els sensors del procés transfereixen les senyals ( $n$ ) al controlador lògic, cal notar que la realimentació del sistema és unitària. Finalment aquestes senyals ( $n$ ) provinents dels sensors i les senyals binàries ( $r$ ) facilitades pel gestor del sistema fan possible el tancament del llaç de control. Cal dir que alguna de les senyals ( $m$ ) transferides als actuadors també són transferides al visualitzador ( $s$ ), que junt amb altres senyals de tipus no binari ( $h$ ) (comptadors, temporitzadors...) es transfereixen al visualitzadors formant un conjunt de senyals ( $t$ ).



Les decisions preses pel gestor del sistema venen donades en funció de la informació obtinguda a través del visualitzador (alarmes, finalització de procés,...). És per tant, el gestor del sistema qui ha de seguir el procés de fabricació amb la intenció de que visualitzi el final de les operacions sol·licitades així com les possibles alarmes que es presentin a la cèl·lula.

L'estructura de control es confina bàsicament al programa del PLC. Hi ha part d'aquest control que es troba també a l'SCADA. El permís de poder fabricar, el control de peces en *stock* i el rati de correcció de les màquines són exemples d'aquest control a través de l'SCADA.

S'ha decidit implementar aquest controlador lògic al PLC ja que aquest permet una robustesa en quant a la comunicació amb els elements de la cèl·lula a través de les seves targetes d'entrada i sortida front al que es podria realitzar a través de l'SCADA.

### 7.3.1. Especificacions del control

Prèviament al disseny del control és necessari establir una sèrie d'especificacions que tenen per objectiu indicar quins són els objectius que es pretenen aconseguir amb aquest. L'objectiu d'aquestes especificacions és aportar una sèrie de pautes a l'hora de programar tant al PLC com a l'SCADA.

Aquestes especificacions s'han confeccionat respecte dos punts de vista: les possibilitats de visualització i control de l'usuari i el control automàtic del procés. De fet aquests punts de vista es troben vinculats. A la Taula 7.5 es presenten aquests dos tipus d'especificacions.

<b>Especificacions de les possibilitats de l'usuari</b>	<b>Especificacions del control automàtic del procés</b>
L'usuari ha de poder indicar quina és l'ordre de fabricació. Indicant el tipus de peces i la quantitat a fabricar.	El control del procés s'ha de portar a terme, de forma automàtica, un cop l'usuari ha donat l'ordre de fabricació.
L'usuari ha de poder visualitzar de manera ràpida tots els processos. Veient en cada un el nombre de peces que han passat per ell i la certificació del control de qualitat.	El control del procés ha de ser obert amb la intenció de que es pugui establir una vinculació amb un element de gestió d'ordre superior.
L'usuari ha de poder indicar quins elements han d'intervenir sobre el sistema a l'hora de realitzar una fabricació, reduint així el	El control ha de comprovar que abans de començar una fabricació estiguin activats tots els elements necessaris per poder



consum energètic. Això suposa que ha de conèixer els elements que precisa la fabricació de cada peça.	portar-la a terme, per evitar així problemes a la fabricació.
L'usuari ha de disposar d'un element d'emergència activat a l'SCADA que li permeti aturar el sistema i d'una possibilitat de realitzar una posada en marxa després de l'ús d'aquest element d'emergència.	El control ha de parar una línia L* quan un dels elements que pertany a una línia presenta un problema d'enclavament.
L'usuari del sistema ha de poder localitzar de forma immediata l'error que es pugui presentar degut a l'aturada d'una línia L*.	La visualització del conjunt ha d'aportar la major informació possible sobre les avaries i esdeveniments que es puguin presentar.

Taula 7.5. Especificacions generals del control

Durant l'elaboració del controlador, aquestes especificacions s'han ampliat i millorat, amb l'objectiu de seguir la traçabilitat de la peça i disposar de la màxima informació que pot oferir el conjunt.

### 7.3.2. Programa de control del PLC

Els processos de fabricació canvien al llarg de la seva vida útil. A vegades s'estableixen petites modificacions, ja siguin ampliacions o reduccions del procés. Per tant és d'interès disposar d'un control el més seccionat possible per a que aquests canvis es puguin realitzar amb rapidesa i facilitat.

El disseny del controlador lògic s'ha basat en dos aspectes més: la sistematització del disseny del programa, per garantir la seva correctesa, i la implementació amb un dels llenguatges que compleixin la norma IEC 1131-3 [12]. L'objectiu del compliment d'aquesta norma és facilitar a qualsevol programador la compressió del programa. El llenguatge de programació que s'ha escollit ha estat el diagrama de contactes, que permet de forma clara i ràpida entendre el funcionament del programa.

El programa inserit al PLC comprèn des del començament de fabricació fins al final de la mateixa. Cal dir que només s'ha implementat el control de la zona Z I, encara que s'han deixat preparades les senyals de finalització de peces amb la intenció de portar tot el control de les peces fabricades.



El disseny del programa s'ha realitzat de forma estructurada. A l'annex D, a l'apartat D.1, es presenta la taula d'estructura del programa. En un primer nivell de funció s'han realitzat les funcions bàsiques de gestió de la informació entre els elements seguint com a referència el disseny contemplat a la xarxa de Petri i al model de simulació.

Aquestes funcions bàsiques, algunes de caràcter simètric, disposen de les variables necessàries per poder ser inserides a qualsevol zona de la línia. La simetria de la que són propietàries algunes d'elles ofereix la possibilitat d'ampliar o disminuir les seves possibilitats. Per exemple en el cas d'un robot, la funció de control s'ha realitzat per dos operacions. Si el programador del sistema desitja implementar una nova funció que realitzi únicament una operació, ha de suprimir totes aquelles variables que estiguin relacionades amb l'altra operació. Pel contrari si el que es pretén és ampliar a una tercera operació s'han de replicar totes les condicions d'una de les operacions com una nova.

Aquest tipus de programació semblant a la programació orientada a objectes, en un nivell més baix, permet fàcilment modificar les operacions que es desitgin i fer les crides corresponents que es necessitin en cada moment.

Un cop establert aquest nivell d'operacions bàsiques es vincula directament amb un segon nivell d'operacions on es presenten les crides a totes aquestes operacions de gestió. És aquí on s'ha aportat una nova propietat a la cèl·lula. Aquesta propietat permet a la cèl·lula executar les seves funcions més primàries de control en relació al tipus de peces sol·licitades a l'ordre de fabricació.

Des d'aquest segon nivell de fabricació també es realitza la parada d'algunes operacions de fabricació. A mesura que s'arriba al nombre de peces sol·licitades hi ha operacions que s'han de desactivar, per exemple, la presa de peces dels magatzems d'entrada. Cal dir que si algunes de les peces que encara s'estan processant presenta una incorrecció, certificada per un control de qualitat, en aquest moment l'operació de presa de peces tornarà a començar. Aquesta és una manera d'optimitzar el funcionament dels recursos.

En un nivell més elevat s'han presentat funcions que permeten coordinar l'activació de les ordres de fabricació. En el cas que l'usuari sol·liciti peces d'un cert tipus s'han d'activar les senyals que permetin aquest tipus de fabricació.

Dins d'aquest tercer nivell s'han implementat tota una sèrie de funcions que realitzen aplicacions com són: el càlcul de peces d'un cert tipus a les diferents zones, l'activació d'alarmes i aturades de línies, així com el comptatge de peces al magatzem amb la intenció de finalitzar la fabricació.

Finalment és en el cycle principal de l'autòmat, Bloc OB1, on es realitza la crida de les funcions del tercer nivell. El PLC funciona de forma cíclica, en una primera fase llegeix l'estat



de les seves entrades, executa el bloc OB1 i finalment atorga el valor últim que correspongui a cada senyal. Així s'obté sempre un estat definit per a cada variable, és aquí on es presenta la seva robustesa. A la Figura 7.5 es mostra un esquema sobre les diferents relacions i crides que es presenten al programa de control de la cèl·lula.

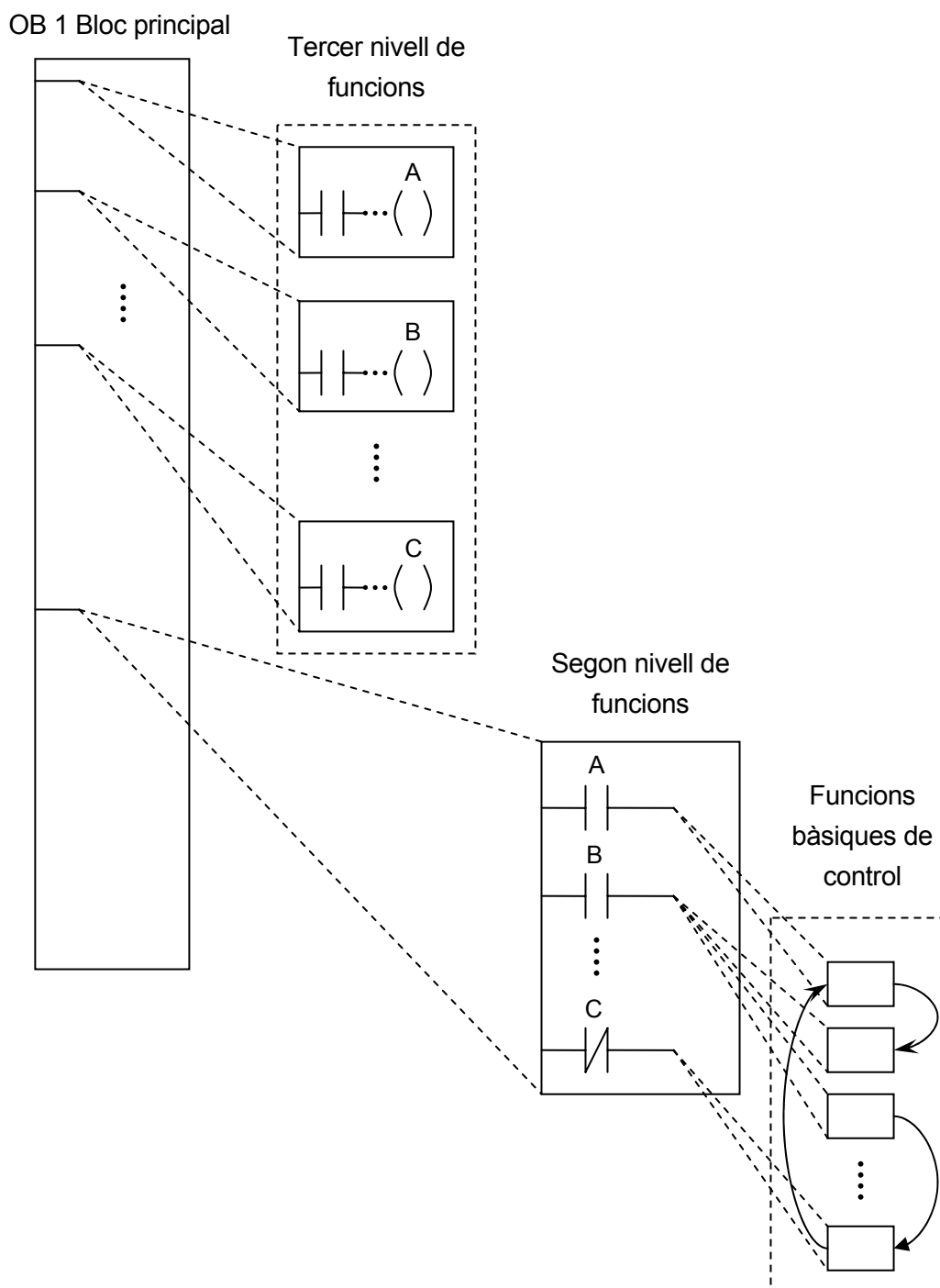


Figura 7.5. Relacions entre els diferents nivells del programa del PLC





A la Figura 7.5 es pot observar com es descriuen els diferents nivells de funcions. Cal notar que els blocs de funció del segon nivell es criden des de l'OB1 i al igual que els blocs del tercer nivell. Però l'execució d'aquests permet l'activació dels blocs del segon nivell, per això es produeix aquesta distinció.

Les funcions de control bàsiques estan vinculades entre elles. Això permet la possibilitat d'establir relacions de seguretat depenent de l'estat de les variables externes, per exemple els sensors, i les variables internes, marques del PLC. Encara que a l'hora de realitzar la programació s'ha tingut en compte que l'última decisió establerta és la que es realitza, degut al caràcter cíclic del PLC.

Totes les funcions s'han considerat blocs de funció amb la intenció que sempre es puguin vincular a un DB (zona de memòria del PLC). Aquest DB permet establir uns paràmetres diferents per a cada crida de la funció. Per tant si una funció és cridada en més d'una ocasió és convenient que es vinculi a dos DB's diferents, per que els valors de les variables internes de la funció no es substitueixin. D'aquesta manera el codi del programa queda obert a que es pugui ampliar amb un sistema superior. L'ús d'aquest DB's es veu clarament reflectit a la funció de control de les activacions de les diferents zones i elements. A la Figura 7.6 es mostra part del codi d'aquesta funció.

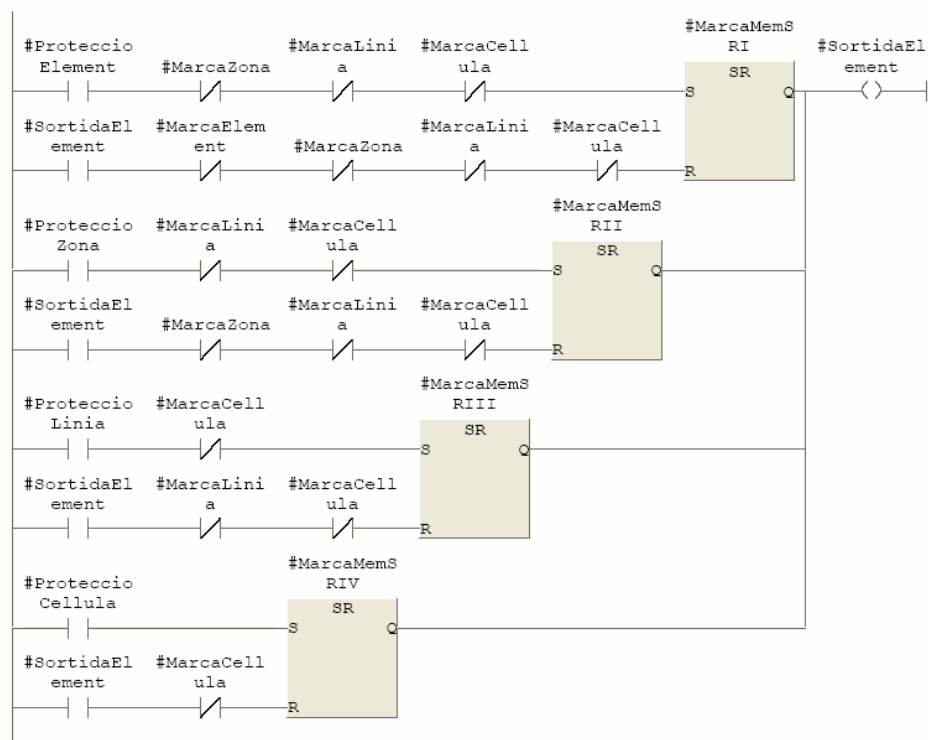


Figura 7.6. Part del codi de la funció d'activació de línies, zones i elements



Com es pot veure a la Figura 7.6 s'han atorgat tota una sèrie de noms genèrics, per exemple un d'ells: "SortidaElement", que correspon a l'activació de l'element. Aquesta senyal s'activarà o desactivarà quan una sèrie d'esdeveniments es produeixin. Aquesta funció serveix per a tots els elements de la cèl·lula i és crida amb diferents variables cada cop, per tant es precisa d'una zona de memòria diferent, per cada crida, evitant així una substitució dels valors.

El *software* STEP 7 ofereix la possibilitat de realitzar un projecte sencer. Es pot dissenyar la xarxa de comunicacions, la configuració física de la CPU així com la implementació de tot el programa. S'ha aprofitat aquesta característica oferint la configuració i descripció detallada de tots aquests aspectes que defineixen al projecte.

Per facilitar la comprensió a la persona que vulgui modificar el programa de control s'ha facilitat una descripció sencera. L'abast d'aquesta descripció compren la descripció de l'objectiu de cada subrutina, l'aclariment del funcionament de cada línia de programa així com la descripció detallada de cada variable.

Finalment cal dir que encara que el programa es presenta en diagrama de contactes s'ha ofert el codi font, en llistat d'instruccions (AWL), amb la intenció de que es pugui incorporar en un altre programa amb facilitat si es desitja. Tota aquesta informació es pot trobar a l'annex G, a l'apartat G.3.

### **7.3.3. Programa de control de l'SCADA**

L'objectiu de l'aplicació a l'SCADA és permetre a l'usuari la intervenció en el control de la cèl·lula i òbviament la monitorització dels diferents processos d'aquesta. Per portar a terme això s'han seguit i ampliat les especificacions comentades anteriorment.

L'estructura de l'SCADA es divideix en quatre parts fonamentals: Gestió de la producció, Itinerari de les peces, Control de la planta i Plànol General. Totes elles compreses en un menú general.

La gestió de la producció permet el governament de les ordres de fabricació que l'usuari desitja realitzar. Aquest pot visualitzar les peces brutes disponibles inicialment i les actuals, així com les peces que es van fabricant i confinant als respectius magatzems. Des d'aquí es poden fixar les comandes que es desitgen portar a terme, introduint al menú de peces a fabricar les desitjades. Durant el procés existeix la possibilitat de veure les peces que han estat fabricades de forma incorrecta.

El procés de comanda de fabricació s'ha pensat de forma el més tancada possible, amb la intenció de que l'usuari no cometi cap error a l'hora d'encomanar una fabricació. Aquest ha d'indicar, en primer lloc, les peces que desitja fabricar i acceptar la verificació d'aquestes.



Per medi d'aquesta acció es provoca una comprovació de la viabilitat d'operació respecte el nombre de peces disponibles. En cas que aquesta verificació fos negativa, l'usuari serà informat, per medi d'un missatge, de les incidències trobades.

Seguidament es presenta un pas de comprovació de l'activació de màquines. Si es desitja fabricar un cert tipus de peces es necessari que, com a mínim, s'hagin activat la sèrie de màquines que permetin la fabricació de dita peça. En el cas que aquestes màquines no s'hagin activat s'indicarà a l'usuari, per medi d'un missatge, la incidència trobada.

Finalment l'usuari ha d'indicar en quin moment s'inicia la fabricació. Cal dir que un cop comença la producció l'usuari ja no pot modificar el nombre de peces a fabricar. En canvi si que pot cancel·lar la fabricació i tornar a començar el procés. Cal llavors extreure aquelles peces que s'han quedat a mig procés a les màquines i reestructurar el control de l'*stock* des del sistema d'ordre superior.

Un cop finalitzada la fabricació l'usuari ha d'actualitzar l'*stock* i si ho desitja tornar a fer una nova fabricació. Per poder portar a terme totes aquestes accions s'han establert una sèrie de controls que permeten a l'usuari introduir les dades de peces i poder donar les ordres pertinents. A més s'ha facilitat un botó amb el que es poden esborrar tots aquells valors de peces a sol·licitades amb la intenció que l'usuari pugui tornar a editar una nova fabricació. A la Figura 7.7 es mostra la pantalla de gestió de la producció a traves de la qual es poden realitzar aquestes accions. S'han destacat, de color blau, els botons i camps que permeten donar l'ordre per part de l'usuari.

*Gestió de la Producció*

<b>Stock Inicial</b>		<b>Stock Peces Entrada</b>		<b>Peces a fabricar</b>		<b>Peces fabricades</b>		<b>Peces defectuoses</b>	
Peces A	0	Peces A	0	Peces A'	0	Peces A'	0	Peces A'	0
Peces B	0	Peces B	0	Peces B'	0	Peces B'	0	Peces B'	0
Peces C	0	Peces C	0	Peces AB'	0	Peces AB'	0	Peces AB'	0
Peces D	0	Peces D	0	Peces AB'C	0	Peces AB'C	0	Peces AB'C	0
Peces E	0	Peces E	0	Peces (AB'C)'''	0	Peces (AB'C)'''	0	Peces (AB'C)'''	0
				Peces D'	0	Peces D'	0	Peces D'	0
				Peces E'	0	Peces E'	0	Peces E'	0
				Peces DE'	0	Peces DE'	0	Peces DE'	0

<b>Peces necessaries</b>		<b>Stock Peces Sortida</b>	
Peces A	0	Peces A'	0
Peces B	0	Peces B'	0
Peces C	0	Peces AB'	0
Peces D	0	Peces AB'C	0
Peces E	0	Peces (AB'C)'''	0
		Peces D'	0
		Peces E'	0
		Peces DE'	0

Actualitzar Stocks de Peces

Reset Verificació

<b>Elements necessaris</b>		<b>Inici de Fabricació</b>	
Comprovació Inicial	<input type="button" value="●"/>	Inici de Fabricació	<input type="button" value="●"/>
<b>Cancel·lar Fabricació</b>		<b>Nova Fabricació</b>	
Cancel·lar	<input type="button" value="●"/>	Nova Fabricació	<input type="button" value="●"/>

Menú Principal

Figura 7.7. Pantalla de gestió de la producció



Una altra de les pantalles de visualització de l'SCADA és la d'itinerari de peces. Aquesta serveix per mostrar el recorregut que segueixen les diferents peces i per quins elements han de passar de la cèl·lula. A part per medi d'una intermitència es mostren les peces que s'estan fabricant. A la Figura E.4 de l'annex es mostra aquesta pantalla.

El control dels elements de la cèl·lula es realitza per medi d'una pantalla que es mostra a la Figura 7.8. L'usuari pot activar i desactivar les zones, les línies i la cèl·lula en general, per medi dels botons, indicats a la figura, que es faciliten a ambdós costats de la pantalla. Totes aquestes indicacions es coordinen amb intermitències a la mateixa pantalla, indicant el que està activat. A la Figura 7.8 s'han destacat de color blau els controls que pot emprar l'usuari.

Aquesta pantalla permet rearmar el sistema en cas que s'hagi aturat en algun moment per medi de la parada d'emergència. El botó de color verd permet realitzar aquesta inicialització del sistema. És convenient que quan s'hagi aturat el sistema per algun motiu l'usuari desconnecti aquelles màquines per retirar-les del procés de fabricació i per tant la línia on hagi passat el problema. Posteriorment pot tornar a armar el sistema.

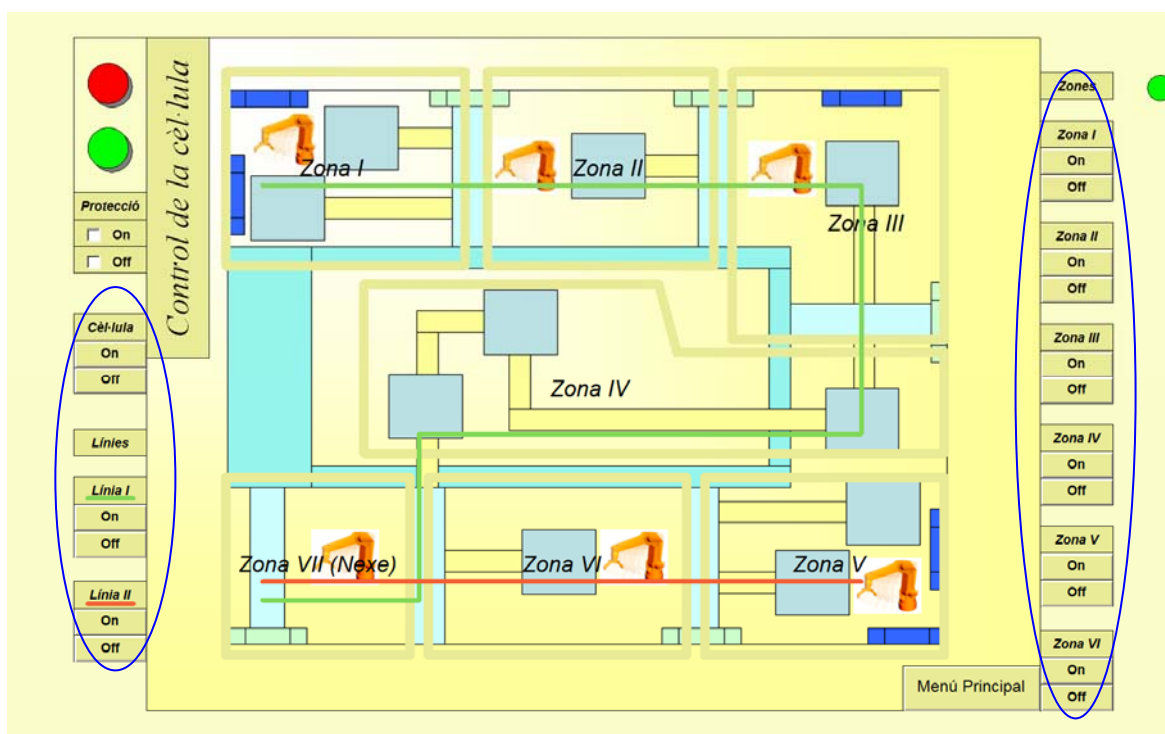


Figura 7.8. Pantalla de control de la cèl·lula

Finalment per medi del plànol general, mostrat a la Figura 7.9, es pot accedir al control de l'activació i desactivació dels elements de la cèl·lula així com la monitorització de les seves variables. Per un altre lloc també es presenta l'accés a les 7 zones que componen la cèl·lula,



mostrant la quantitat de peces que hi ha en cada element i l'activació o desactivació dels mateixos.

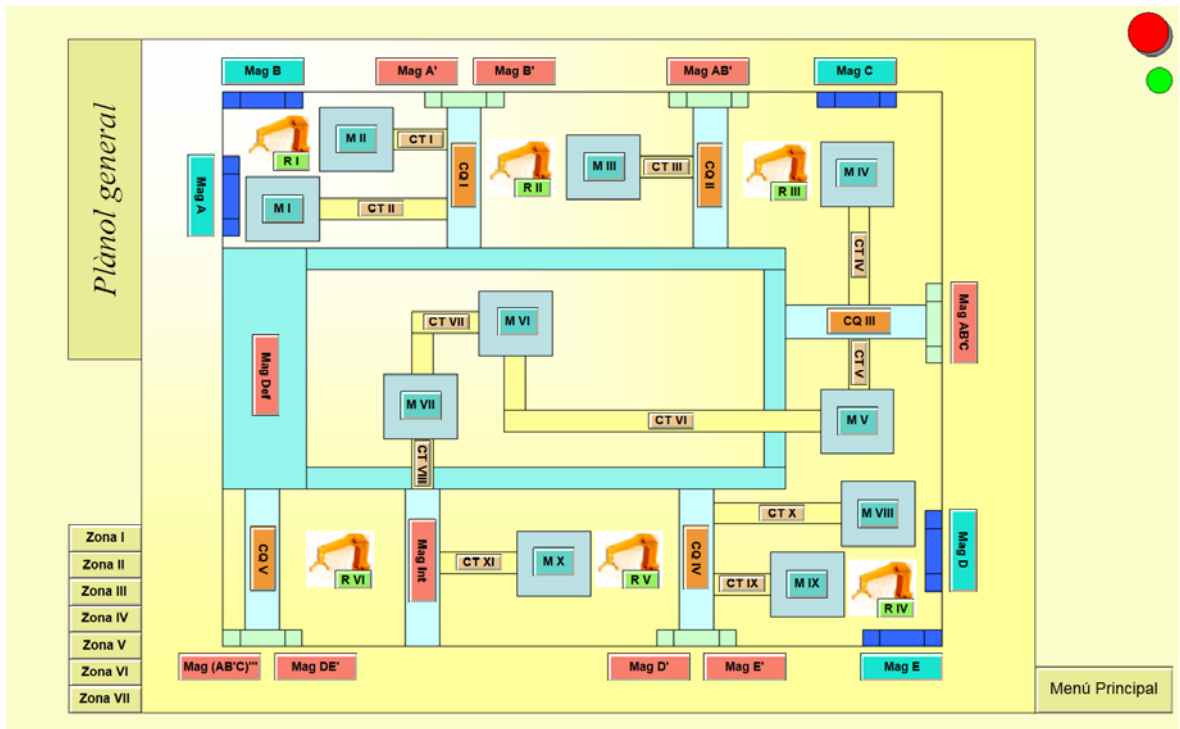


Figura 7.9. Pantalla de plànol general

Si en algun moment, com s'ha comentat anteriorment, hi ha un enclavament a algun element, a través d'aquesta pantalla s'indicarà clarament on ha succeït aquest esdeveniment. Aquesta indicació es realitza per medi d'una intermitència en el botó de l'element que ha sofert aquesta avaria. De totes formes a totes les pantalles hi ha un led que permet veure si s'ha produït un enclavament. L'usuari pot detectar fàcilment el lloc on s'ha produït l'avaría a través de d'aquesta pantalla. També es provoca la intermitència en cas que un dels recursos de l'element s'esgoti. Aquesta informació es pot comprovar dins de la pantalla que defineix cada un dels elements.

A la Figura 7.10 es mostra una de les pantalles que disposa de les característiques exclusives d'un dels elements, en aquest cas es tracta de la màquina M I. Aquí es presenta el nombre de peces fabricades durant una ordre de fabricació, així com el nombre de peces correctes i incorrectes fabricades. Com propietat complementària es troba la funció de càlcul del rati de correcció, per conèixer si la màquina està treballant correctament. L'usuari a través del sistema d'ordre superior ha de poder modificar el rati límit de la màquina.



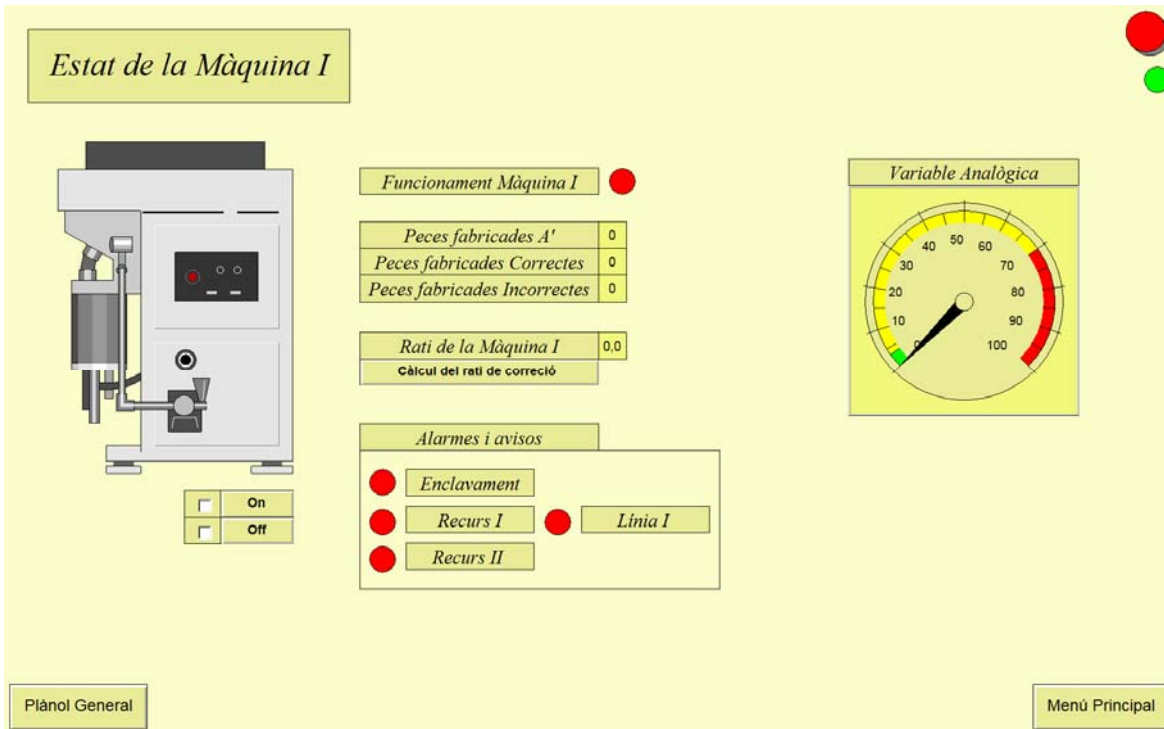


Figura 7.10. Pantalla d'estat de la màquina M I

A part de la informació relativa a la fabricació de peces, a la fitxa de la màquina M I, s'indica també si està funcionant, les alarmes i avisos relatives a l'enclavament o a la manca de recursos de la mateixa. Posteriorment també s'indica si la línia a la que pertany l'element, en aquest cas la línia L I, s'ha enclavat o no.

L'activació individual d'un element es realitza des de la pantalla de l'element. Cal dir que aquest tipus d'activació és independent del funcionament de la línia oposada a l'element. Si la zona o la línia a la que pertany l'element està activada l'element ja estarà activat i no es podrà desactivar.

En un últim punt s'ha inclòs un dispositiu per visualitzar variables analògiques amb la intenció de deixar-lo obert a una implementació futura. Des d'aquí es poden veure variables com la temperatura o la pressió. A l'hora de fer una posada en marxa s'ha de calibrar aquest dispositiu segons sigui la variable de mesura.

L'últim tipus de pantalla que es presenta és la d'una zona de la cèl·lula. Aquesta pantalla mostra el recorregut per als diferents elements i indica la seva activació i en el cas dels robots l'operació que estan realitzant. També es mostra la quantitat de peces analitzades pel control de qualitat i si són correctes o incorrectes. A la Figura 7.11 es mostra aquest tipus de pantalla que en aquest cas correspon a la zona Z I.



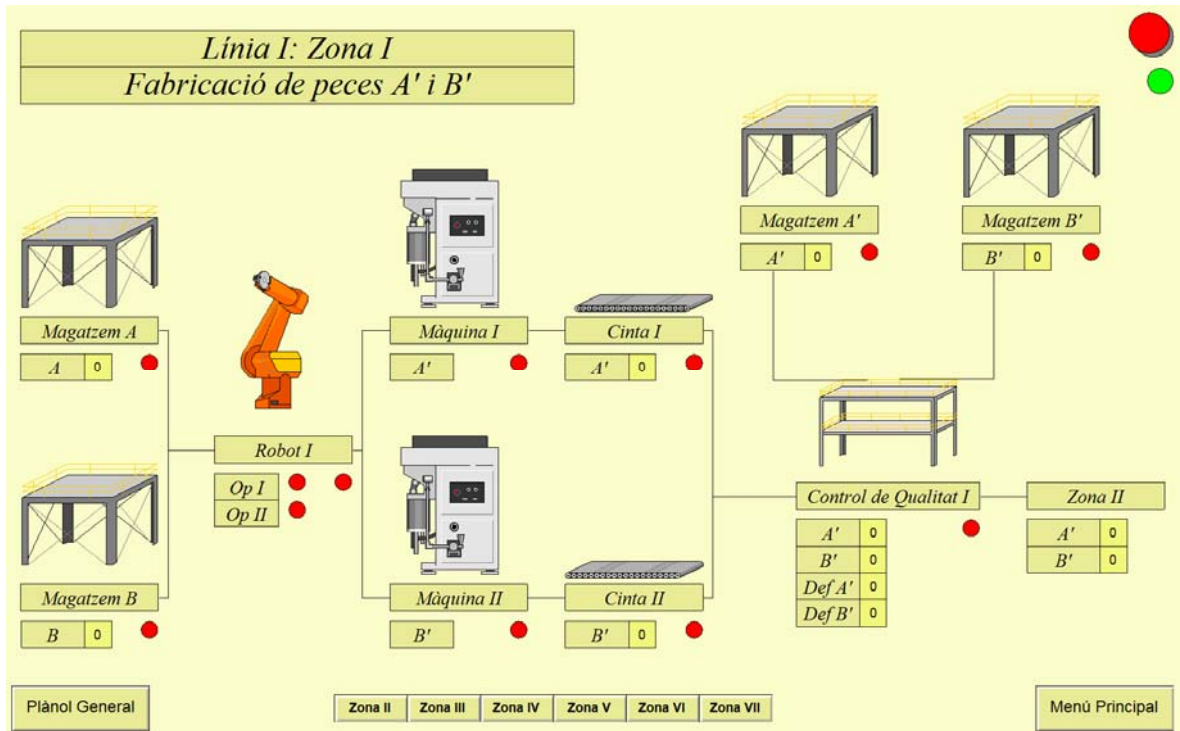


Figura 7.11. Pantalla de la zona Z I de la cèl·lula

Una de les propietats més interessants de les diferents zones és que des d'una qualsevol es pot accedir a la resta. D'aquesta forma l'usuari si ho desitja pot anar accedint a la resta de zones amb la intenció de visualitzar de forma continuada el seu estat.

Dins de totes les pantalles s'ha establert un accés directe al menú principal i un altre al plànol general, així l'usuari pot navegar amb comoditat per tota l'aplicació. Així com aquests dos accessos es presenta un botó d'emergència amb la intenció de que l'usuari pugui aturar el funcionament sencer de tota la cèl·lula en el cas que es produeixi algun tipus d'error.







## 8. Criteris ambientals

En aquest capítol s'ha considerat com afectaria el funcionament d'aquest projecte d'automatització al medi ambient. S'han realitzat consideracions sobre les possibilitats que pot aportar el programa amb la intenció de reduir l'impacte ambiental.

Durant el disseny del control global de la cèl·lula s'ha tingut en compte, com s'ha comentat anteriorment, la possibilitat d'accionar només aquells elements necessaris per executar l'ordre de fabricació. Això suposa que el consum energètic es redueixi considerablement i per tant la contaminació al medi ambient sigui menor que si s'activessin tots els elements a l'hora.

Un altre dels criteris ambientals que s'ha tingut en compte ha estat la disposició d'alarmes de visualització per l'usuari. Tots els elements del sistema precisen, a part del seu consum energètic, d'altres recursos necessaris per al seu funcionament. Si algun d'aquests recursos s'esgota poden ocórrer diferents situacions, per exemple, que l'element deixi de funcionar o que funcioni en condicions desfavorables. Aquest últim esdeveniment pot suposar un risc de contaminació respecte al medi ambient i a més pot produir l'aparició d'un risc laboral. Lògicament una manca d'aquest recurs no aturarà el sistema ja que podria afectar al procés de fabricació, però si és necessari avisar a temps al controlador del sistema amb la intenció que pugui reposar-lo.

L'activació d'una avaria pot comportar un risc major. En aquest cas és molt possible que el sistema no s'aturi degut a que l'avaría afecta a una de les línies. En cas que l'usuari ho cregui convenient pot parar tot el sistema amb la intenció d'evitar un accident ambiental.

El disseny del programa d'automatització ha aportat una certa millora respecte al medi ambient a l'hora d'intentar fer la producció el més efectiva possible. Degut a la sèrie de controls de qualitat que s'han implementat al llarg de la cèl·lula es pot evitar la continuïtat de fabricació de les peces que a mig procés són incorrectes. D'aquesta forma un cop més es redueix considerablement el consum d'energia.

En el cas que es desitges realitzar una implantació física amb tots els elements que conformen la cèl·lula, a part dels elements físics del control, seria necessari realitzar un estudi d'impacte ambiental i un altre de riscos laborals.





## Conclusions

El control realitzat sobre el programa del PLC junt amb el programa de l'SCADA permet a l'usuari disposar d'un ampli ventall d'informació de tot el que succeeix a la cèl·lula de fabricació flexible.

Aquest ventall es defineix començant per les pantalles que permeten a l'usuari disposar d'una visualització general de totes les zones de la cèl·lula, amb indicacions de les peces que han passat pels diferents llocs. Però no només a un nivell general té accés l'usuari sinó que disposa també de l'opció de visualitzar de forma individual cada un dels elements que componen la cèl·lula. A partir d'aquesta pantalla es poden identificar els avisos, les dades relatives a la traçabilitat de les peces en cada un dels elements i altres característiques d'interès com són els ratis de correcció de les màquines.

Una segona part d'aquesta interfície és el poder controlar, per part de l'usuari, l'activació i desactivació dels elements que conformen el sistema amb la intenció de poder reduir el cost energètic segons el tipus de peça que desitgi fabricar. L'usuari ha de ser coneixedor dels elements necessaris per poder portar a terme l'activació, per aquest motiu s'ha establert una pantalla que ofereix aquesta informació. A més, queda oberta la possibilitat de posar en funcionament màquines aïllades per si es desitja realitzar alguna operació de manteniment amb elles. Per tant es pot dir que s'han aconseguit els objectius proposats i inclús s'ha millorat aquesta proposta inicial.

Finalment cal notar que respecte els objectius inicials s'ha aconseguit introduir un valor afegit considerable. Això ha consistit en el model de simulació que pot servir al gestor del sistema per poder fer un estudi de millora sobre el sistema.

Al món industrial es presenten molts projectes d'automatització similars al present, per tant és interessant disposar d'aquest per implementar altres degut al seu disseny modular. En conseqüència aquest document pot servir de guia a l'hora d'automatitzar altres processos presents a la indústria.

Dins dels possibles treballs futurs a realitzar sobre aquest projecte cal notar un parell d'ampliacions. Només s'ha automatitzat una de les zones, però aprofitant el disseny modular aplicat durant l'elaboració de tot el projecte es pot completar la resta de zones i analitzar possibles canvis amb el model de simulació.

Una altre ampliació d'aquest projecte podria consistir a portar a terme l'automatització física de la primera zona del projecte amb algun tipus de maqueta. A més seria un bon moment per posar a prova les variables analògiques que es poguessin extreure de cada element.





## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] BALCELLS, J., ROMERAL, J. L. *Autómatas programables*. Barcelona: Marcombo, 1997, p. 33-40.
- [2] BANKS, J., [et al.]. *Handbook of Simulation*. New York: John Wiley & Sons, 1998, p. 17.
- [3] CERVANTES, J. *Representación y aprendizaje de conocimiento con redes de Petri difusas*. Mexico D.F, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, 2005, p. 14-17.
- [4] GUASCH, A., [et al.]. *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: Edicions UPC, 2002a, p. 30.
- [5] GUASCH, A., [et al.]. *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: Edicions UPC, 2002b, p. 39-40.
- [6] GUASCH, A., [et al.]. *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: Edicions UPC, 2002c, p. 58.
- [7] GUASCH, A., [et al.]. *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: Edicions UPC, 2002d, p. 127-134.
- [8] GUASCH, A., [et al.]. *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona: Edicions UPC, 2002e, p. 323-325.
- [9] KELTON, W., SADOWSKI, R., STURROCK, D. *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill, 2004a, p. 413.
- [10] KELTON, W., SADOWSKI, R., STURROCK, D. *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill, 2004b, p. 632.
- [11] MANDADO, E., [et al.]. *Autómatas Programables. Entorno y Aplicaciones*. Madrid: Thomson, 2005a, p. 2-3.
- [12] MANDADO, E., [et al.]. *Autómatas Programables. Entorno y Aplicaciones*. Madrid: Thomson, 2005b, p. 249.



- [13] MANDADO, E., [et al.]. *Autómatas Programables. Entorno y Aplicaciones*. Madrid: Thomson, 2005c, p. 401.
- [14] MURATA, T. *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE*. Vol. 77(4), 1989a, p. 547-549.
- [15] MURATA, T. *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE*. Vol. 77(4), 1989b, p. 551-552.
- [16] MURATA, T. *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE*. Vol. 77(4), 1989c, p. 553.
- [17] ROSELL, J. *Anàlisi Qualitativa. Sistemes de Producció Integrats*. Barcelona: ETSEIB, 2004a, p. 4.
- [18] ROSELL, J. *Anàlisi Qualitativa. Sistemes de Producció Integrats*. Barcelona: ETSEIB, 2004b, p. 9.
- [19] ROSELL, J. *Anàlisi Qualitativa. Sistemes de Producció Integrats*. Barcelona: ETSEIB, 2004c, p. 35.
- [20] ROSELL, J. *Anàlisi Qualitativa. Sistemes de Producció Integrats*. Barcelona: ETSEIB, 2004d, p. 32-40.
- [21] ROSELL, J. *Anàlisi Qualitativa. Sistemes de Producció Integrats*. Barcelona: ETSEIB, 2004e, p. 29.



## Bibliografia complementària

Documentació seleccionada per l'ús de la guia Gemma:

- BREU, J. *Curso Gemma*. Salamanca: Revista de Electricidad, Electrónica y Automàtica, 2004.

[<http://olmo.pntic.mec.es/~jmarti50/gemma/gemma.htm>, 5 de febrer de 2006].

Documentació seleccionada per la programació del control:

- GARCÍA DE JALON, J. [et. al.]. *Aprenda lenguaje ANSI C como si estuviera en Primero*. San Sebastian: Escuela de Ingenieros Industriales. Universidad de Navarra, 1999.

[<http://www.tayuda.com/ayudainf/index.htm>, 6 de novembre de 2005].

- LARA, J. *Redes de Petri. Curso de doctorado. Diseño de Software basado en Modelado y Simulación: Un enfoque multiparadigma*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2002.

[<http://www.ii.uam.es/~jlara/docencia/doctorado.2003/>, 26 de novembre de 2005].

- MARTINEZ, J. *WinCC v 4.02. Manual de Programación*. Madrid: División de Productos y Sistemas Industriales, 1999.

[[http://www.infopl.net/Descargas/Descargas\\_Siemens/Descargas-Siemens.htm](http://www.infopl.net/Descargas/Descargas_Siemens/Descargas-Siemens.htm), 7 de novembre de 2005]

- SIEMENS. *SIMATIC Manual Collection 02/2005. Manuales Electronicos*. Nürnberg: 2005. [DVD]
- SIEMENS. *Catálogo IK PI · 2005*. SIEMENS AG. Nürnberg: SIEMENS AG. Automation and Drives, 2005.
- SIEMENS. *Catálogo ST 70 · 2005*. SIEMENS AG. Nürnberg: SIEMENS AG. Automation and Drives, 2005.







