

Projecte de Fi de Carrera
Enginyer Industrial

**Estudi de la millor estratègia
d'alimentació d'una cel·la robotitzada
amb màquines treballant en paral·lel**

MEMÒRIA I ANNEXOS

Autor: Laia Pont i Marín
Director: Jan Rosell Gratacòs
Convocatòria: Febrer 2004 (pla 94)



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



RESUM

En el present projecte s'estudiarà com varia la millor alternativa d'alimentació d'una cel·la robotitzada en funció dels diferents paràmetres del sistema. Els paràmetres que s'analitzaran són aquells que, per les característiques de la cel·la, estan subjectes a possibles variacions segons el tipus de peces que es tractin.

Les estratègies d'alimentació que s'han estudiat són tres: una corresponent a una seqüència fixa de les màquines, una que segueix la lògica *First In First Out* i una tercera que pretén optimitzar la seqüència seguida pel robot.

Per a optimitzar el procés de fabricació, l'objectiu a assolir és reduir el temps mort sofert per les màquines degut a l'espera del robot que les ha d'alimentar. Per a reduir aquest temps, s'han estudiat dos possibles layouts de la cel·la: un layout lineal i un circular.

L'eina que s'utilitza per a realitzar aquesta anàlisi és la simulació per computador.

Per a assolir aquest objectiu, els diferents passos a seguir són els següents:

- ∅ Anàlisi del sistema real i de les diferents estratègies d'alimentació possibles.
- ∅ Modelatge del sistema mitjançant el software *Rockwell Arena 7.0*.
- ∅ Realització de les simulacions i anàlisi dels resultats obtinguts.
- ∅ Aplicació de tècniques de classificació.

Com a resultat de l'estudi, s'obtindran les funcions discriminants que permetran decidir, per a una situació concreta dels paràmetres de la cel·la de producció, quina és la millor estratègia d'alimentació possible.





SUMARI

RESUM.....	1
SUMARI.....	3
SUMARI D'IL·LUSTRACIONS.....	7
SUMARI DE TAULES	11
1. PREFACI	13
2. INTRODUCCIÓ.....	15
2.1. Objectius del projecte	15
2.2. Abast del projecte	15
3. LA SIMULACIÓ COM A EINA	17
3.1. Introducció.....	17
3.2. Què és la simulació?	17
3.3. Avantatges i inconvenients	18
3.4. Llenguatges de programació.....	19
3.5. Software <i>Rockwell Arena 7.0</i>	20
4. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA.....	21
4.1. Descripció de la cel·la real	21
4.2. Paràmetres del sistema	24
4.3. Estratègies d'alimentació.....	25
4.3.1. Anàlisi previ de les possibles estratègies.....	25
4.3.2. Resultats de les diferents estratègies.....	28
4.3.3. Elecció de les estratègies d'estudi	30
4.3.4. Descripció detallada de les estratègies escollides.....	31
4.4. Canvi de layout de la cel·la real	36
5. MODELATGE DEL SISTEMA	37
5.1. Introducció.....	37
5.2. Xarxes de Petri.....	38
5.2.1. Què són les xarxes de Petri?.....	38
5.2.2. Xarxes de Petri colorejades	40
5.2.3. Model i anàlisi de la cel·la de producció	42
5.3. Model en <i>Arena</i>	46
5.3.1. Descripció bàsica del model	46
5.3.2. Automatització del model.....	50
5.3.3. Millores realitzades al model.....	51



6. SIMULACIONS I ANÀLISI DE RESULTATS	53
6.1. Camp d'estudi.....	53
6.2. Disseny dels experiments	54
6.3. Resultats obtinguts de les simulacions	57
6.3.1. Comportament del robot	59
6.3.2. Comportament de l'operari	61
6.3.3. Comportament de les màquines	62
6.3.4. Anàlisi del temps mort	63
6.3.5. Layout circular	66
6.3.6. Anàlisi de la producció	67
7. FUNCIÓ DISCRIMINANT	69
7.1. Introducció	69
7.2. Funció discriminant lineal	70
7.2.1. Introducció teòrica	70
7.2.2. Cas particular del projecte d'estudi.....	74
7.2.3. Càlcul del vector pes	76
7.2.4. Implementació de l'anàlisi discriminant	78
7.3. Resultats	80
7.3.1. Layout lineal	80
7.3.2. Layout circular	82
CONCLUSIONS	83
BIBLIOGRAFIA.....	85
 ANNEXOS	
A. APROXIMACIÓ AL SOFTWARE ROCKWELL ARENA 7.0	89
A.1. Introducció a l' <i>Arena</i>	89
A.2. Blocs de l' <i>Arena</i>	90
A.2.1. Basic process panel	91
A.2.2. Advanced process panel	93
A.2.3. Advanced transfer panel.....	94
B. MODEL DEL SISTEMA EN ARENA.....	95
B.1. Model <i>FIFO</i> amb layout lineal	95
B.1.1. Definició dels <i>Data Modules</i>	95
B.1.2. Estructura del model.....	102
B.2. Model <i>FM-I</i> amb layout lineal.....	115
B.2.1. Definició dels <i>Data Modules</i>	115
B.2.2. Estructura del model.....	115



B.3. Model <i>CFO</i> amb layout lineal.....	123
B.3.1. Definició dels <i>Data Modules</i>	123
B.3.2. Estructura del model	124
B.4. Models <i>FIFO</i> , <i>FM-I</i> i <i>CFO</i> amb layout circular	138
B.5. Animació del model	139
B.5.1. Recurs Robot.....	139
B.5.2. Recurs Operari	139
B.5.3. Recurs Màquina	140
B.5.4. Palet extern.....	141
B.5.5. Palet intern	142
C. AUTOMATITZACIÓ DE L'ARENA	143
C.1. Arxius d'entrada.....	143
C.1.1. Arxiu <i>Variables_Sistema.xls</i>	144
C.1.2. Arxiu <i>Palets_Inicials1.xls</i> i <i>Palets_Inicials2.xls</i>	145
C.2. Arxiu de sortida.....	146
C.2.1. Full model per a incorporar els resultats.....	147
C.2.2. Codi per a insertar els resultats al full de càlcul	171
D. ANÀLISI ECONÒMIC.....	181
D.1. Cost de les hores de personal	181
D.2. Cost de la maquinària.....	182
D.3. Cost del software.....	182
D.4. Cost total	182
E. DOCUMENTACIÓ EN SUPORT INFORMÀTIC.....	183





SUMARI D'IL·LUSTRACIONS

Figura 4.1. Esquema de la cel·la de producció	21
Figura 4.2. Esquema d'una seqüència fixa	25
Figura 4.3. Lògica per a l'elecció del següent torn en l'estratègia <i>FM-I</i>	32
Figura 4.4. Lògica per a l'elecció del següent torn en l'estratègia <i>FIFO</i>	33
Figura 4.5. Lògica per a l'elecció del següent torn en l'estratègia <i>CFO</i>	35
Figura 4.6. Layout circular de la cel·la de producció	36
Figura 5.1. Símbol d'un lloc, una transició i un marcat	38
Figura 5.2. Exemple de transició: a) habilitada; b) no habilitada.....	39
Figura 5.3. Exemple de dispar d'una transició	39
Figura 5.4. Exemple de transició habilitada en una xarxa de Petri colorejada.....	41
Figura 5.5. Exemple de dispar d'una transició d'una xarxa de Petri colorejada.....	41
Figura 5.6. Xarxa de Petri colorejada de la cel·la de producció	42
Figura 5.7. Xarxa de Petri ordinària	45
Figura 5.8. Graf d'abastament	45
Figura 5.9. Distància entre màquines segons el layout	48
Figura 5.10. Model en <i>Arena</i> de l'estratègia <i>FIFO</i> amb un layout lineal	49
Figura 5.11. Model en <i>Arena</i> de l'estratègia <i>FIFO</i> amb un layout circular	49
Figura 6.1. Intervals de confiança del 95% corresponents als temps morts.....	56
Figura 6.2. Diferents situacions corresponents a l'estratègia <i>FIFO</i>	60
Figura 6.3. Diferents situacions corresponents a l'estratègia <i>CFO</i>	60
Figura 6.4. Estats de l'operari per a l'estratègia <i>FM-I</i>	61
Figura 6.5. Estats de la màquina <i>MI</i> en l'estratègia <i>FM-I</i>	62
Figura 6.6. Superfícies que representen els temps morts	64
Figura 7.1. Hiperplà que separa l'espai en dues regions segons el grup	70
Figura 7.2. Zona morta d'ample $2d$ d'una funció discriminant $g(x) = 0$	71
Figura 7.3. Hiperplans que separen diferents regions	73



ANNEXOS

Figura B.1. Data Module ENTITY	95
Figura B.2. Imatge associada a l'entitat del model	95
Figura B.3. Data Module RESOURCE	96
Figura B.4. Data Module VARIABLE (FIFO)	97
Figura B.5. Data Module SET	98
Figura B.6. Data Module ADVANCED SET	99
Figura B.7. Data Module EXPRESSION	99
Figura B.8. Data Module FILE	99
Figura B.9. Data Module STATE SET	100
Figura B.10. Data Module STATISTIC	101
Figura B.11. Estructura bàsica del model	102
Figura B.12. Submodel INICIALITZACIÓ VARIABLES	102
Figura B.13. Submodel MÀQUINES (FIFO)	104
Figura B.14. Submodel ROTACIÓ PALETS (FIFO)	105
Figura B.15. Submodel VIATGE ROBOT (FIFO)	106
Figura B.16. Submodel PALET INTERN	107
Figura B.17. Submodel MECANITZAT (FIFO)	107
Figura B.18. Submodel MANTENIMENT EINES (FIFO)	108
Figura B.19. Submodel CRIDA OPERARI 1 (FIFO)	109
Figura B.20. Submodel CRIDA OPERARI 2 (FIFO)	109
Figura B.21. Submodel PALET EXTERN (FIFO)	110
Figura B.22. Submodel OBERTURA BRIDES (FIFO)	111
Figura B.23. Submodel ESPERA ROBOT (FIFO)	111
Figura B.24. Submodel CANVI PALET (FIFO)	112
Figura B.25. Submodel CÀLCUL PRODUCCIÓ	112
Figura B.26. Submodel TANCAMENT BRIDES (FIFO)	112
Figura B.27. Submodel GENERACIÓ AVARIES	113
Figura B.28. Submodel ANIMACIÓ ROBOT	114
Figura B.29. Data Module VARIABLE (FM-I)	115
Figura B.30. Submodel MÀQUINES (FM-I)	116
Figura B.31. Submodel ROTACIÓ PALETS (FM-I)	116
Figura B.32. Submodel MANTENIMENT EINES (FM-I)	117
Figura B.33. Submodel CRIDA OPERARI 1 (FM-I)	118
Figura B.34. Submodel CRIDA OPERARI 2 (FM-I)	118
Figura B.35. Submodel PALET EXTERN (FM-I)	119
Figura B.36. Submodel ESPERA ROBOT (FM-I)	119
Figura B.37. Submodel CANVI PALET (FM-I)	120
Figura B.38. Submodel VIATGE ROBOT (FM-I)	120
Figura B.39. Submodel PASSA TORN	121
Figura B.40. Submodel VIATGE	121
Figura B.41. Data Module VARIABLE (CFO)	123
Figura B.42. Submodel MÀQUINES (CFO)	124
Figura B.43. Submodel TM 1	125



Figura B.44. Submodel TM 2.....	126
Figura B.45. Submodel ROTACIÓ PALETS (CFO).....	126
Figura B.46. Submodel MECANITZAT (CFO)	127
Figura B.47. Submodel TEMPS CFO	127
Figura B.48. Submodel MANTENIMENT EINES (CFO)	128
Figura B.49. Submodel TEMPS CFO 2	129
Figura B.50. Submodel CRIDA OPERARI 1 (CFO).....	130
Figura B.51. Submodel CRIDA OPERARI 2 (CFO).....	130
Figura B.52. Submodel PALET EXTERN (CFO)	131
Figura B.53. Submodel OBERTURA BRIDES (CFO).....	131
Figura B.54. Submodel ESPERA ROBOT (CFO).....	132
Figura B.55. Submodel CANVI PALET (CFO)	132
Figura B.56. Submodel VIATGE ROBOT (CFO).....	133
Figura B.57. Submodel RECÀLCUL.....	135
Figura B.58. Submodel ACTUALITZACIÓ TEMPS.....	136
Figura B.59. Submodel TOTS FORA LÍNIA	137
Figura C.1. Arxiu <i>Variables_Sistema</i>	144
Figura C.2. Arxiu <i>Palets_Inicials1</i> i <i>Palets_Inicials2</i>	145





SUMARI DE TAULES

Taula 4.1. Valors de la cel·la real	24
Taula 4.2. Resultats obtinguts amb els paràmetres reals del sistema	28
Taula 4.3. Resultats obtinguts a partir de diferents parelles de temps de mecanitzat	29
Taula 6.1. Rangs de variació dels paràmetres d'estudi.....	53
Taula 6.2. Possibles estats en què poden trobar-se les màquines, el robot i l'operari.....	58
Taula 6.3. Gràfics on s'observa l'evolució de l'estratègia òptima	65
Taula 7.1. Combinacions possibles dels discriminants per a cada tipus d'estratègia.....	75
Taula 7.2. Valors dels paràmetres per a la situació de l'exemple	81

ANNEXOS

Taula D.1. Hores de treball invertides	181
Taula D.2. Cost total de les hores de personal.....	181
Taula D.3. Cost de la maquinària	182
Taula D.4. Cost del software	182





1. PREFACI

L'origen d'aquest estudi radica en la necessitat d'optimitzar la productivitat d'una empresa de producció d'elements per a cotxes, en particular de la planta de *Metaldyne International Spain SL*, situada a Gavà (Barcelona). Aquesta fàbrica té una cel·la de producció amb quatre màquines treballant en paral·lel, alimentades per un robot i assistides per un operari cada cert període de temps.

El paràmetre que es desitja optimitzar és el temps d'espera de les màquines, temps en què les màquines no realitzen cap treball perquè estan esperant a què el robot les alimenti.

Inicialment, un projecte de l'*Institut d'Organització i Control de Sistemes Industrials (IOC)* va estudiar quina era la millor seqüència per a alimentar les màquines de la cel·la real. Les conclusions obtingudes reflectien que l'estratègia que s'utilitzava a la planta existent era massa estricta, de forma que altres seqüències podien millorar la productivitat. L'elecció d'aquesta seqüència, però, depenia dels temps de mecanitzat de la cel·la.

Posteriorment, un segon projecte va ampliar els resultats del primer, analitzant, per a diferents temps de mecanitzat, quina era la millor estratègia d'alimentació. D'aquesta forma, només sabent quins eren els temps de mecanitzat de les màquines, podia saber-se quina de les seqüències estudiades era l'òptima.

Amb aquest tercer projecte pretén ampliar-se l'estudi realitzat fins el moment, analitzant quina és la seqüència òptima no només en el cas en què es modifiquin els temps de mecanitzat, sinó també en el cas de variació de diferents paràmetres del sistema.





2. INTRODUCCIÓ

2.1. OBJECTIUS DEL PROJECTE

L'objectiu principal del projecte és poder predir quina és la millor estratègia d'alimentació d'una cel·la de producció real en funció dels paràmetres del sistema. Els paràmetres que s'estudiaran són aquells que, per les característiques de la cel·la, estan subjectes a possibles variacions segons el tipus de peces que es tractin.

Per assolir aquesta finalitat, els diferents passos a seguir són:

- â Analitzar el sistema real i les diferents estratègies d'alimentació possibles.
- â Millorar el model del sistema realitzat en els anteriors estudis.
- â Realitzar les simulacions adients segons els diferents paràmetres d'estudi.
- â Analitzar els resultats obtinguts.
- â Determinar una funció discriminant que permeti identificar la millor estratègia segons la combinació dels paràmetres del sistema.

2.2. ABAST DEL PROJECTE

L'estudi es basarà, com ja s'ha comentat, en predir la millor seqüència per a la cel·la real existent. També, però, s'analitzarà quina seria aquesta estratègia òptima en el cas en què es modifiqués el layout de la planta, convertint l'estructura en línia de les màquines en una estructura circular.





3. LA SIMULACIÓ COM A EINA

3.1. INTRODUCCIÓ

Per a conèixer quina és la millor estratègia d'alimentació de la cel·la, s'utilitzarà la simulació. La simulació comprèn una ampla col·lecció de mètodes i aplicacions que imiten el comportament dels sistemes reals.

Actualment, la simulació és molt més popular i potent gràcies a la millora dels ordinadors i del software [Kelton et al., 1998]. Permet, per tant, analitzar sistemes complexos, com la cel·la de producció que pretén estudiar-se.

3.2. QUÈ ÉS LA SIMULACIÓ?

La simulació és la reproducció d'un sistema real mitjançant un model, normalment computaritzat, per experimentar amb ell per tal d'entendre el comportament del sistema i avaluar diverses estratègies possibles sota unes condicions establertes prèviament pel dissenyador del model.

La tècnica de la simulació s'utilitza com a eina:

- è D'*anàlisi*, per a determinar els efectes produïts per canvis en un sistema existent.
- è De *disseny*, per a conèixer el funcionament d'un sistema real abans de construir-lo.



El disseny d'una simulació depèn del tipus de sistema que es vulgui estudiar. Existeixen dos tipus de sistemes:

- *Sistema de successos discrets*: és aquell l'estat del qual canvia només en certs punts del temps.
- *Sistema continu*: és aquell l'estat del qual canvia contínuament en cada instant del temps.

En el cas d'estudi d'aquest projecte, el sistema és un sistema de successos discrets.

3.3. AVANTATGES I INCONVENIENTS

Mitjançant la simulació no s'obté la solució d'un model matemàtic, sinó que s'observa el comportament que tindria el sistema real en unes condicions especificades. Això suposa uns certs inconvenients:

- Ø Els resultats numèrics obtinguts es basen en un conjunt específic de nombres aleatoris. Per tant, corresponen només a un dels resultats possibles. Els valors finals d'una simulació són, doncs, estimacions dels valors reals que s'estan cercant.
- Ø Per a obtenir estimacions més exactes, s'han de realitzar un gran nombre de rèpliques per a cada simulació. Això suposa un alt cost.
- Ø La construcció del model requereix d'un procés d'aprenentatge inicial, tot i que cada cop els programes de simulació són més fàcils d'utilitzar.
- Ø S'han de tenir uns certs coneixements per a poder interpretar els resultats correctament.



Tot i aquests inconvenients, la simulació per ordinador és una de les tècniques més freqüentment utilitzades, ja que ofereix els següents avantatges:

- ∅ Permet analitzar sistemes molt complexos dels quals no existeixen resultats analítics.
- ∅ Permet provar noves polítiques i modes de funcionament diferents sense canviar o experimentar directament amb el sistema real.
- ∅ Permet provar nous dissenys del sistema sense necessitat d'adquirir els recursos que l'involucren.
- ∅ És molt més senzill de comprendre i visualitzar que els mètodes purament analítics.
- ∅ Permet analitzar colls d'ampolla i comprovar interaccions entre variables.

3.4. LLENGUATGES DE PROGRAMACIÓ

Existeixen molts llenguatges de programació per a realitzar simulacions. Generalment, aquests llenguatges donen a l'usuari un conjunt d'eines per a descriure el sistema; posteriorment i de forma interna, aquesta descripció es converteix en programa de computadora, que és l'encarregat d'executar la simulació. Per tant, s'allibera a l'usuari de molt esforç de programació detallada.

Els paquets de software de simulació proporcionen els blocs de construcció comuns que s'han d'unir en la seqüència adient per a construir un model d'un sistema particular. Existeixen paquets especialitzats en algun camp en concret i paquets de propòsits generals. Aquests últims són prou flexibles com per a simular quasi qualsevol sistema. Un exemple d'aquest tipus de llenguatge de simulació és el llenguatge *SIMAN*, que és el que utilitza el software *Rockwell Arena 7.0*.



3.5. SOFTWARE ROCKWELL ARENA 7.0

Actualment, existeixen diferents programes per al modelatge i simulació de successos discrets. L'augment de la capacitat de processament dels ordinadors, unit a les seves majors possibilitats gràfiques, ha contribuït a l'aparició d'un software que facilita a l'usuari el procés d'elaboració, validació i experimentació de models mitjançant l'ús d'eines gràfiques, arribant, fins i tot, a la simulació *visual* del procés.

Dintre d'aquest conjunt de programes trobem l'aplicació *Rockwell Arena*. Aquest programa, en la seva versió 7.0, és l'utilitzat per a la simulació de la cel·la de producció.

L'*Arena* permet construir el model mitjançant un conjunt d'elements (entitats, atributs, recursos, cues, etcètera) i mitjançant la lògica del sistema (variables, funcions, taules, etcètera). El resultat final és un tipus de diagrama de blocs que integra tota la informació del model i, mitjançant el qual, és possible realitzar les simulacions necessàries i obtenir els informes de resultats desitjats sobre l'evolució del sistema.

Així mateix, també permet construir un *model visual*, vinculant-lo a les variables i condicions definides al diagrama de blocs, de forma que pugui observar-se el desenvolupament de la simulació del procés.

A més, l'*Arena* incorpora el *Visual Basic for Applications (VBA)*, que permet integrar el software amb altres programes que suportin l'interfície *Microsoft ActiveX™ Automation*. Gràcies a aquesta utilitat, l'*Arena* pot extreure els resultats de la simulació en un full de càlcul o en una base de dades, per a la seva posterior anàlisi.



4. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA

4.1. DESCRIPCIÓ DE LA CEL·LA REAL

La *Figura 4.1* mostra un esquema de la cel·la de producció. Aquesta cel·la està formada per quatre màquines iguals que treballen en paral·lel (*M1*, *M2*, *M3*, *M4*). Cada màquina opera, alternativament, sobre dos palets diferents, *A* i *B*, les posicions dels quals són intercanviades per una plataforma giratòria. Un robot s'encarrega de carregar i descarregar la peça en el palet extern de la plataforma, mentre la màquina s'encarrega de mecanitzar la peça situada en el palet intern.

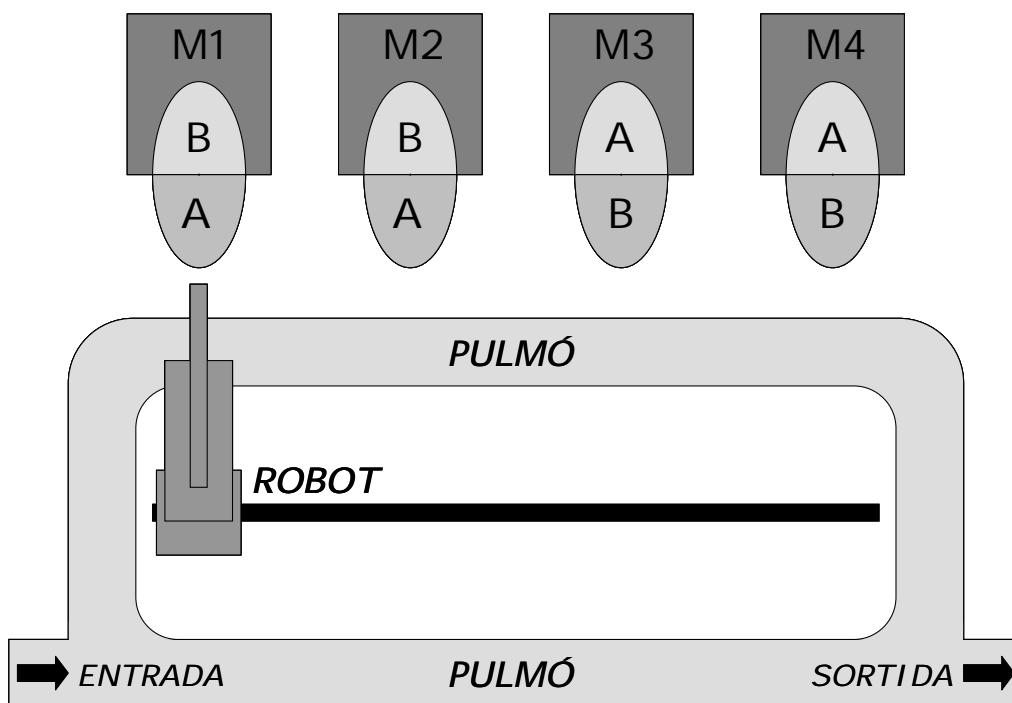


Figura 4.1. Esquema de la cel·la de producció



Cada màquina realitza dos tipus d'operacions diferents, segons es treballi sobre el palet *A* o el palet *B*. Els temps de mecanitzat corresponents són t_{wa} i t_{wb} respectivament.

Cadascuna de les peces que entra al sistema passa per tres estats de mecanitzat: **peça nova**, **peça semi-processada** i **peça acabada**. Totes les peces noves (aquelles que entren a la cel·la) s'han de col·locar, necessàriament, en el palet *A* de qualsevol màquina; després del corresponent mecanitzat s'obté una peça semi-processada. Aquesta peça semi-processada s'ha de col·locar, també necessàriament, en el palet *B* de qualsevol màquina (que podria ser la mateixa); al finalitzar aquest mecanitzat s'obté la peça acabada.

Les peces són carregades i descarregades dels palets per un robot. El temps que requereix el robot per a desplaçar-se depèn de la distància entre màquines: pot desplaçar-se a una màquina adjacent (t_{r1}), a dues màquines de distància (t_{r2}) o a tres màquines de distància (t_{r3}).

El temps que triga el robot en carregar i descarregar un palet varia segons el tipus de palet. Com que cada operació de càrrega implica una operació prèvia de descàrrega, el temps es considera conjuntament: t_{la} per al palet *A* i t_{lb} per al palet *B*.

Un cop la peça s'ha carregat al palet, es procedeix a tancar unes brides per a poder fixar la peça. Aquest procediment també requereix temps diferents segons el palet: t_{ca} per al palet *A* i t_{cb} per al palet *B*. En el moment en què la peça situada al palet exterior estigui fixada amb les brides i la peça del palet interior hagi acabat el corresponent mecanitzat, pot començar la rotació de la plataforma giratòria, que requereix un temps t_r .

Després del gir, abans que el robot pugui realitzar el procés de càrrega i descàrrega del palet extern, s'han d'obrir les brides, cosa que requereix un temps t_{oa} per al palet *A* i t_{ob} per al palet *B*.



La cel·la disposa d'un pulmó on el robot pot col·locar les peces semi-processades i recuperar-les sempre que ho necessiti. A més, les peces noves són automàticament introduïdes en aquest pulmó i, per tant, el robot sempre té accés directe tant a les peces noves com a les semi-processades.

Cada màquina utilitza unes vint-i-cinc eines per a realitzar les operacions als palets *A* i *B*. D'aquestes vint-i-cinc, unes corresponen al mecanitzat del palet *A* i les altres al del *B*. Aquestes eines han d'ésser canviades o ajustades després d'un cert nombre d'operacions. Cada eina té el seu propi cicle de vida però, per a simplificar, s'estima que la freqüència de canvi d'eina t_s segueix una distribució uniforme.

Quan es produeix una avaria, la màquina acaba el mecanitzat corresponent i queda fora de línia fins que un operari canvia les eines; per tant, equivaldria a dir que, al produir-se l'avaria, la màquina té un temps de mecanitzat major: $t_{wa} + t_{o1}$ ó $t_{wb} + t_{o1}$, on t_{o1} és el temps que triga l'operari a canviar les eines. A més del canvi d'eines, l'operari també ha de verificar que, en el següent mecanitzat del mateix palet en què s'ha produït l'avaria, la màquina realitza correctament l'operació. Llavors, el mecanitzat torna a ser major: $t_{wa} + t_{o2}$ ó $t_{wb} + t_{o2}$, on t_{o2} és el temps que triga l'operari a verificar el correcte funcionament de les noves eines.

Només existeix un operari per a realitzar el canvi i la verificació de les eines, de forma que si una màquina necessita l'assistència de l'operari però aquest està assistint una altra màquina, la nova màquina romandrà fora de línia fins que pugui disposar de l'operari i aquest acabi amb la reparació de l'avaria.



4.2. PARÀMETRES DEL SISTEMA

Els paràmetres que defineixen el sistema són els següents:

t_{wa}, t_{wb}	<i>Temps de mecanitzat dels palets A i B</i>
t_{r1}, t_{r2}, t_{r3}	<i>Temps que el robot triga a desplaçar-se una, dues o tres màquines</i>
t_{la}, t_{lb}	<i>Temps de càrrega i descàrrega dels palets A i B</i>
t_{ca}, t_{cb}	<i>Temps per al tancament de les brides als palets A i B</i>
t_{oa}, t_{ob}	<i>Temps per a l'obertura de les brides als palets A i B</i>
t_t	<i>Temps de rotació de la plataforma giratòria</i>
t_s	<i>Freqüència de canvi d'eina</i>
t_{o1}	<i>Temps per al canvi o ajustament de les eines</i>
t_{o2}	<i>Temps per a la verificació de les eines</i>

La Taula 4.1 mostra els valors de la cel·la real:

$t_{wa} = 4'11'' = 251''$	$t_{la} = 47''$	$t_{o1} = 2' = 120''$
$t_{wb} = 3'24'' = 204''$	$t_{lb} = 55''$	$t_{o2} = 1' = 60''$
$t_{r1} = 6.5''$	$t_{ca} = 28''$	$t_{oa} = 12''$
$t_{r2} = 10.25''$	$t_{cb} = 30''$	$t_{ob} = 12''$
$t_{r3} = 14''$	$t_t = 14''$	$30' \text{ } \pounds \text{ } t_s \text{ } \pounds \text{ } 150'$

Taula 4.1. Valors de la cel·la real



4.3. ESTRATÈGIES D'ALIMENTACIÓ

4.3.1. Anàlisi previ de les possibles estratègies

Existeixen diferents seqüències d'alimentació possibles per a ésser implementades a la cel·la real. D'entre aquestes estratègies s'han de diferenciar clarament aquelles que segueixen una lògica fixa i aquelles que segueixen una lògica variable.

â SEQÜÈNCIES FIXES

Només es consideren aquelles seqüències que inclouen totes les màquines abans de repetir-ne alguna (veure *Figura 4.2*).

En alguns casos particulars podria ésser més adient no utilitzar una seqüència tant estricta, però això provocaria que, en condicions normals, la producció d'algunes màquines fos el doble que la d'altres, cosa que produiria efectes no desitjats com, per exemple, diferents cicles de manteniment.

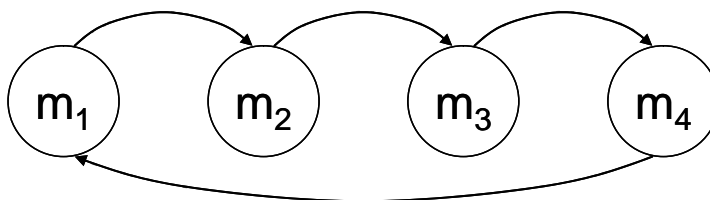


Figura 4.2. Esquema d'una seqüència fixa



Les possibles estratègies amb seqüències fixes són:

FMFP: Màquina fixa i palet fix

La seqüència seguida pel robot és $m_1-m_2-m_3-m_4$, alimentant primer els palets A de totes les màquines i després els palets B. L'estratègia imposa, doncs, tant la màquina com el palet a alimentar.

Seqüència: $m_1-A, m_2-A, m_3-A, m_4-A, m_1-B, m_2-B, m_3-B, m_4-B, \dots$

El robot se salta una màquina només en el cas en què aquesta estigui essent assistida per l'operari i el palet extern ja hagi estat carregat.

Aquesta estratègia és la implementada a la cel·la real.

FM-I: Màquina fixa i palet variable

La seqüència seguida pel robot és $m_1-m_2-m_3-m_4$, alimentant el palet A o el B segons les necessitats de la màquina en el moment de la càrrega. L'estratègia imposa, doncs, només la màquina a alimentar.

Seqüència: $m_1, m_2, m_3, m_4, \dots$

El robot se salta una màquina només en el cas en què aquesta estigui essent assistida per l'operari i el palet extern ja hagi estat carregat.

FM-II: Màquina fixa i palet variable

Aquesta estratègia és equivalent a l'anterior, però el robot se salta una màquina si aquesta no està llesta en el moment del seu torn, ja sigui degut a l'assistència de l'operari o degut a què encara està realitzant les operacions de mecanitzat i la peça del palet extern ja està servida.

Seqüència: $m_1, m_2, m_3, m_4, \dots$



â *SEQÜÈNCIES VARIABLES*

Les possibles estratègies amb seqüències variables són:

FIFO: First In First Out

Cada cop que una màquina ha acabat el corresponent mecanitzat, la plataforma ha girat i les brides s'han obert, la màquina s'afegeix a una cua. El robot alimenta sempre la primera màquina que ha entrat en aquesta cua.

Una variació de l'estratègia seria que la màquina entrés a la cua després de la rotació de la plataforma giratòria, és a dir, abans d'haver-se obert les brides; una altra variació possible seria que la màquina s'afegís a la cua en l'instant en què comença la rotació de la plataforma.

CFO: Optimització d'una funció de cost

La idea d'aquesta estratègia és poder optimitzar la seqüència seguida pel robot calculant, després de cada càrrega, quina és la màquina que necessitarà el robot abans.

Quan el robot ha acabat de carregar una màquina i ha de decidir quina serà la següent, es calcula, per a cada màquina, el temps que el robot necessita per arribar a ella més el temps que falta per tal que la màquina estigui llesta per a una nova càrrega. El robot anirà a aquella màquina que minimitzi aquest càlcul.

Amb aquesta estratègia, si dues màquines necessiten el robot en el mateix instant, el robot servirà aquella que estigui més propera.



4.3.2. Resultats de les diferents estratègies

Per a poder seleccionar les diferents estratègies que s'utilitzaran per a fer l'anàlisi del sistema, és interessant observar alguns dels resultats que van obtenir-se en els anteriors estudis realitzats sobre la mateixa cel·la de producció.

Utilitzant els valors reals dels paràmetres del sistema (exposats a la *Taula 4.1*), els resultats que van obtenir-se poden observar-se a la *Taula 4.2* [Rosell i Suàrez, 2001]:

<i>ESTRATÈGIA</i>	<i>PERCENTATGE DE TEMPS ESPERANT EL ROBOT</i>	<i>PERCENTATGE DE TEMPS ESPERANT L'OPERARI</i>	<i>PERCENTATGE DE TEMPS D'ASSISTÈNCIA DE L'OPERARI</i>
<i>FMFP</i>	5.72 %	0.57 %	5.53 %
<i>FM-I</i>	0.91 %	0.60 %	5.64 %
<i>FM-II</i>	0.17 %	0.55 %	5.66 %
<i>FIFO</i>	0.045 %	0.56 %	5.66 %

Taula 4.2. Resultats obtinguts amb els paràmetres reals del sistema

És obvi que els temps morts de les màquines degut a l'espera del robot depenen del tipus d'estratègia utilitzada. En canvi, el temps en què les màquines esperen l'operari i el temps en què aquests estan treballant és independent de l'estratègia. En realitat, existeix una petita correlació, ja que si una estratègia provoca que una màquina estigui molt temps esperant el robot, les eines duren més i, per tant, el percentatge de temps en què l'operari està treballant és menor.



Sembla, doncs, que l'estratègia *FIFO* és la més adient, però això no succeeix per a totes les combinacions de temps de mecanitzat (t_{wa} , t_{wb}). Si es torna a fer l'anàlisi del sistema però utilitzant diferents parelles de temps de mecanitzat, els resultats obtinguts, mostrats a la *Taula 4.3* [Rosell i Suárez, 2001], mostren que l'estratègia òptima depèn d'aquests temps de mecanitzat:

<i>ESTRATÈGIA</i>	<i>PERCENTATGE DE TEMPS ESPERANT EL ROBOT</i>			
	$t_{wa} = 251$ s $t_{wb} = 204$ s	$t_{wa} = 239$ s $t_{wb} = 207$ s	$t_{wa} = 240$ s $t_{wb} = 180$ s	$t_{wa} = 210$ s $t_{wb} = 150$ s
<i>FMFP</i>	5.72 %	5.72 %	5.98 %	6.43 %
<i>FM-I</i>	0.91 %	0.86 %	0.91 %	2.11 %
<i>FM-II</i>	0.17 %	0.20 %	1.45 %	12.16 %
<i>FIFO</i>	0.045 %	0.067 %	1.93 %	13.37 %

Taula 4.3. Resultats obtinguts a partir de diferents parelles de temps de mecanitzat

Com menys flexible és l'estratègia, menor és la influència dels temps de mecanitzat en el temps mort de les màquines degut a l'espera del robot. Un clar exemple és el resultat obtingut amb l'estratègia *FMFP* i el resultat obtingut amb l'estratègia *FIFO*. L'elecció de la seqüència òptima no és, doncs, una tasca evident.



4.3.3. Elecció de les estratègies d'estudi

D'entre les cinc estratègies considerades, només es realitzarà l'anàlisi amb tres d'elles: la *FM-I*, la *FIFO* i la *CFO*.

Es descarten les estratègies *FMFP* i *FM-II*. La primera, que és la implementada a la planta real, no s'analitzarà perquè en els primers estudis ja va observar-se que no era adient degut a la seva rigidesa a l'imposar l'ordre tant de les màquines com dels palets. La segona també es descarta degut a la seva similitud amb l'estratègia *FIFO*, ja que les dues alimenten les màquines de forma molt similar. La diferència entre la *FM-II* i la *FIFO* radica en què, quan dues o més màquines es posen a la cua en el mateix instant, la *FM-II* les alimenta seguint una seqüència fixa, mentre que la *FIFO* les alimenta segons l'ordre en què han estat introduïdes en la cua.

A més, observant els resultats dels estudis anteriors (veure *Taula 4.3*), es veu que:

- L'estratègia *FMFP* sempre presenta, per a qualsevol parella de temps de mecanitzat, temps morts superiors a la *FM-I*.
- Quan l'estratègia *FM-I* presenta temps morts superiors a la *FM-II*, els temps morts d'aquesta estratègia també són superiors als de la *FIFO*.

Per tant, d'entre les estratègies amb seqüència fixa es tria la *FM-I* i es descarten les seqüències *FMFP* i *FM-II*, i d'entre les seqüències variables s'estudiaran tant la *FIFO* com la *CFO*. Aquesta última estratègia no va ésser estudiada anteriorment i, per tant, no es tenen resultats, però sembla que podria ser una estratègia que donés resultats òptims.



4.3.4. Descripció detallada de les estratègies escollides

∅ ESTRATÈGIA FM-I

L'estratègia *FM-I* és una seqüència fixa basada únicament en senyals binaris, és a dir, només utilitza operacions lògiques (no realitza cap tipus de càlcul numèric). Com ja s'ha esmentat anteriorment, la seqüència seguida pel robot és m_1 - m_2 - m_3 - m_4 , alimentant el palet *A* o el *B* segons les necessitats de la màquina en el moment de la càrrega. El robot només se salta una màquina en el cas en què aquesta estigui essent assistida per l'operari i el palet extern ja hagi estat carregat.

L'elecció del nou torn es realitza en el moment en què el robot ha acabat de carregar una màquina. Llavors, la lògica que se segueix per a triar la propera màquina és l'observada en la *Figura 4.3*; en aquest diagrama de blocs es veu com, després d'una càrrega, s'alimenta la primera màquina que, seguint l'ordre de la seqüència, no estigui avariada o ho estigui però el palet extern estigui llest per a ésser canviat.

Es considerarà que un palet està llest quan comença la rotació de la plataforma, és a dir, abans de girar i d'obrir-se les brides.

Per a realitzar l'elecció del nou torn es fa una doble comprovació. La primera comprovació es realitza quan finalitza la càrrega d'un determinat palet. El que es verifica és si la màquina associada al següent torn està essent assistida per l'operari i, en cas afirmatiu, si el palet extern està llest per a ésser canviat. Si la màquina està avariada i el palet no està preparat per a un nou canvi, automàticament se salta aquesta màquina i es comprova la possibilitat de viatjar a la següent.



Si, en canvi, no es dona aquesta situació, el robot viatja a la màquina. Un cop finalitzat el recorregut, però, es realitza la segona comprovació. Aquesta serveix per a verificar si la màquina, durant el viatge del robot, ha passat a una situació d'avaría.

Aquesta situació d'avaría pot venir donada per dos casos: l'operari ja està assistint a la màquina o la màquina encara no ha acabat el mecanitzat però s'ha activat l'avaría de les eines. Si es produís algun d'aquests dos casos i el palet extern no estigués llest per a ésser canviat, el robot se saltaria la màquina i aniria cap a una altra que reunís les condicions.

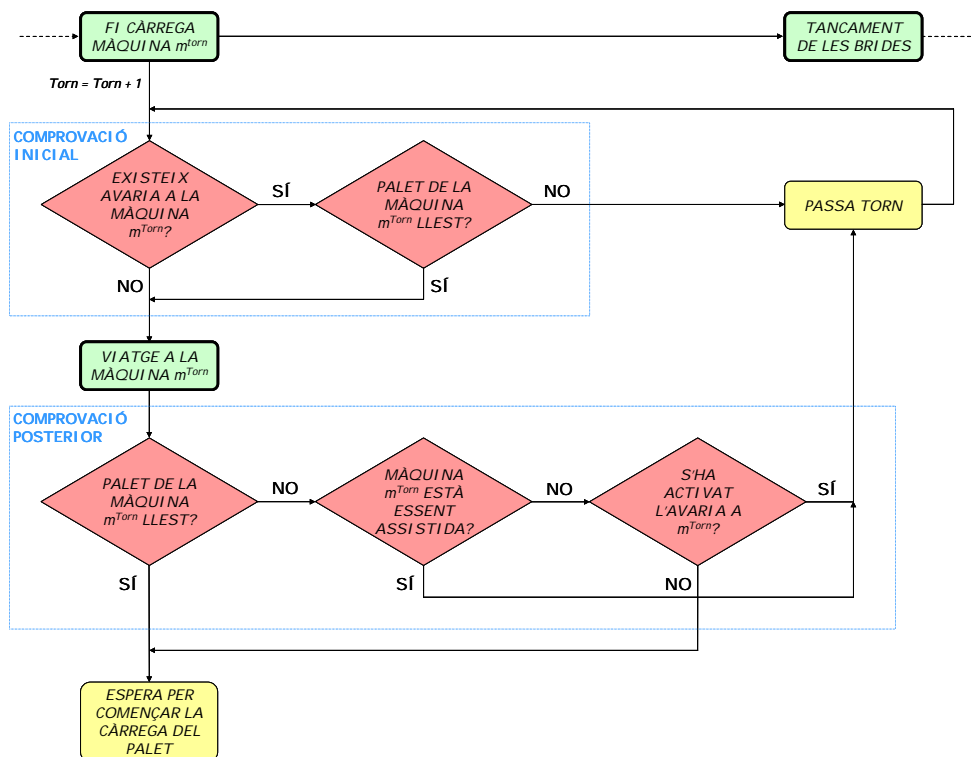


Figura 4.3. Lògica per a l'elecció del següent torn en l'estratègia FM-I



Ø ESTRATÈGIA FIFO

L'estratègia *FIFO* també és, igual que la *FM-I*, una seqüència basada en senyals binaris. La diferència, però, radica en què la *FIFO* és una seqüència variable, no pas fixa.

Com ja s'ha comentat, el robot alimenta sempre les màquines segons l'ordre en què aquestes han entrat en una cua. S'ha considerat que les màquines s'incorporaran a la cua en l'instant en què la plataforma giratòria comenci la rotació. Això és perquè un cop hagi començat la rotació, el temps que la màquina trigarà a estar preparada per a una nova càrrega serà el corresponent al temps de rotació més el temps d'obertura de les brides. Com, per a qualsevol tipus de palet, el temps de rotació i d'obertura de les brides és el mateix, la primera màquina que comenci el gir serà també la primera en necessitar el robot. Llavors, la lògica que se segueix per a triar la propera màquina és l'observada en la *Figura 4.4*:

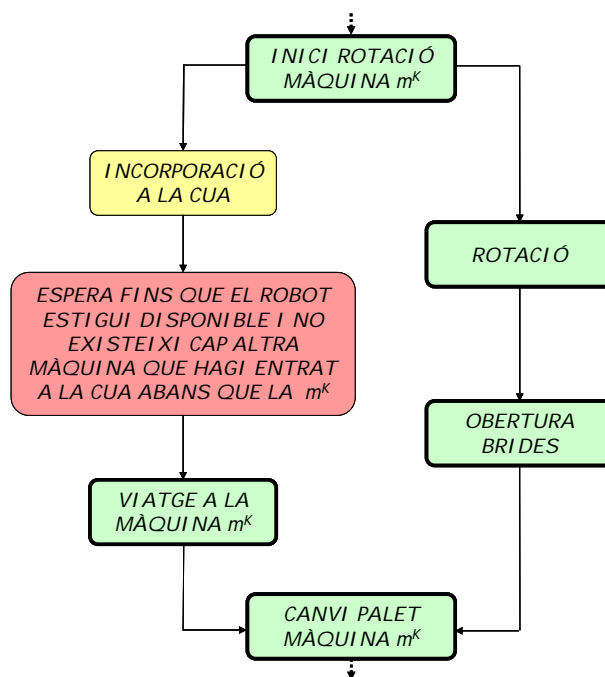


Figura 4.4. Lògica per a l'elecció del següent torn en l'estratègia FIFO



Ø *ESTRATÈGIA CFO*

L'estratègia *CFO*, a diferència de la *FM-I* i de la *FIFO*, és una seqüència variable basada en càlculs numèrics. Aquesta estratègia intenta optimitzar la seqüència seguida pel robot calculant, després de cada càrrega, quina és la màquina que necessitarà el robot abans. El robot es desplaçarà, òbviament, a aquella màquina que primer el necessiti.

El càlcul de l'instant en què cada màquina necessitarà el robot es realitza de la forma següent. Cada cop que el robot acaba de realitzar les tasques de càrrega i descàrrega d'una màquina determinada, es calcula en quin instant la peça que es troba al palet intern d'aquesta màquina estarà llesta per a ésser canviada. D'aquesta forma ja se sap en quin moment el robot hauria, idealment, de tornar a servir a la màquina. Aquest temps, però, pot veure's afectat per tres aspectes:

1. Existeix una avaria a les eines de la màquina i aquestes s'han de reparar o verificar.
2. Degut a una avaria, la màquina ha hagut d'esperar a l'operari, que no estava disponible.
3. Ha existit temps mort degut a què el robot ha trigat massa en servir a la màquina.

Per tant, durant tot el cicle d'una peça s'ha de comprovar si es produeix algun d'aquests tres casos. Si és així, en una variable auxiliar es guarda el temps de més que la peça trigarà a estar llesta. Després de la càrrega i descàrrega d'una màquina, a més de calcular-se el nou instant en què aquesta màquina tornarà a necessitar el robot, també es recalculen els temps de totes les altres màquines per a poder afegir el temps necessari si és que s'ha produït algun dels tres casos abans mencionats.



Existeix un altre aspecte a tenir en compte a l'hora d'implementar l'estratègia CFO. Un cop s'ha realitzat la càrrega i descàrrega d'una determinada màquina, és convenient no realitzar immediatament un nou viatge del robot. Això és degut a que si encara falten molts segons per a que la propera màquina necessiti el robot, és possible que durant aquest temps la màquina pateixi un dels tres casos mencionats anteriorment. Això faria que el temps calculat inicialment no fos correcte i que, per tant, alguna altra màquina pogués necessitar el robot abans.

El que es fa és, doncs, esperar el màxim possible abans de començar el següent viatge del robot. Un cop s'ha decidit quina és la propera màquina, es comprova si el temps que es necessita per arribar-hi és superior o inferior al temps que falta per tal que la màquina necessiti el robot. Si és superior, espera el màxim possible, torna a avaluar els temps de totes les màquines i decideix de nou quina màquina és la que el necessita primer. D'aquesta forma, s'eviten possibles eleccions errònies a l'hora d'escollir la següent màquina a ser servida.

La lògica que se segueix és, doncs, l'observada en la *Figura 4.5*:

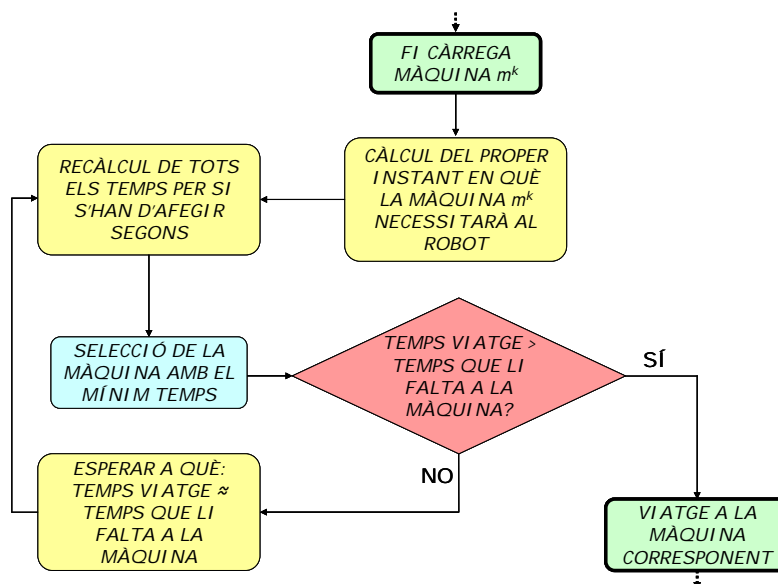


Figura 4.5. Lògica per a l'elecció del següent torn en l'estratègia CFO



4.4. CANVI DE LAYOUT DE LA CEL·LA REAL

Com ja s'ha comentat, la cel·la real està formada per quatre màquines que treballen amb una estructura de línia, és a dir, les màquines estan l'una al costat de l'altra (veure *Figura 4.1*). Aquest tipus de layout provoca que la distància que separa les màquines dels extrems sigui massa gran.

Un possible canvi per a millorar, és a dir, reduir, el temps que el robot fa servir per a desplaçar-se, és realitzar un canvi en el layout de la planta de producció. Aquest canvi radica en passa d'una estructura en línia a una estructura circular. D'aquesta forma, les distàncies entre màquines es redueixen, ja que per anar de la màquina m_1 a la màquina m_4 el robot només s'haurà de desplaçar una posició i no pas tres (veure *Figura 4.6*).

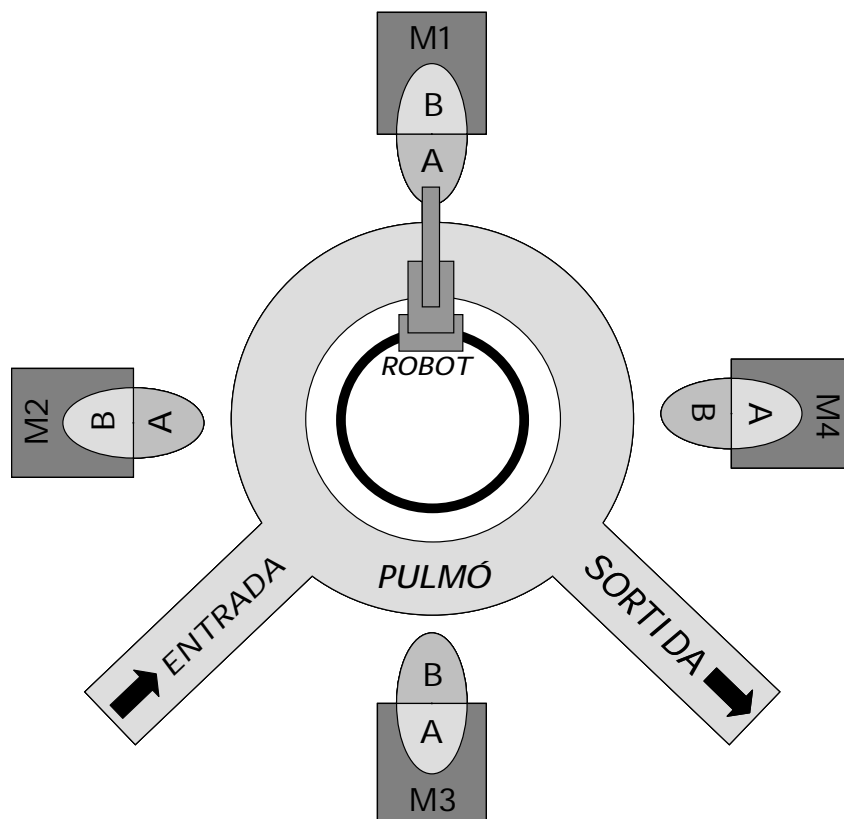


Figura 4.6. Layout circular de la cel·la de producció



5. MODELATGE DEL SISTEMA

5.1. INTRODUCCIÓ

Per a poder predir com es comportarà la cel·la de producció sota els paràmetres d'estudi és necessari realitzar un model del sistema. El model ha de reflectir, de la forma més exacta i fidel possible, el funcionament de la cel·la.

No existeix un únic model per a un sistema, ja que depèn de la naturalesa de la informació que reuneix.

L'obtenció del model es realitza mitjançant la determinació de l'estructura del model i mitjançant les dades. L'estructura fixa la frontera entre el sistema i identifica les entitats, atributs i activitats del sistema. Les dades subministren els valors dels atributs i defineixen les relacions involucrades en les activitats.

Com ja s'ha comentat, el model a simular es realitzarà mitjançant el software *Rockwell Arena 7.0*. Abans, però, és interessant analitzar el comportament del sistema i la seva estructura principal.

Aquest modelatge i anàlisi previs es realitzaran amb una eina anomenada *xarxa de Petri*. Les *xarxes de Petri* són especialment útils per a modelar i analitzar sistemes dinàmics basats en esdeveniments discrets que tenen evolucions en paral·lel i comportaments caracteritzats per sincronitzacions i compartiment de recursos [DiCesare et al., 1993]. La cel·la de producció respon a un sistema d'aquest tipus.



5.2. XARXES DE PETRI

5.2.1. Què són les xarxes de Petri?

Les *xarxes de Petri* són un formalisme matemàtic basat en simples objectes, relacions i regles que permet representar comportaments complexos, com sincronitzacions, bifurcacions, compartiment de recursos, etcètera.

Un model en *xarxa de Petri* consta de dues parts:

• *Estructura de la xarxa*: que és un graf dirigit, bipartit i ponderat que representa la part estàtica del sistema.

• *Marcats*: que representa la part dinàmica del sistema.

L'estructura de la xarxa està formada per dos tipus d'objectes que es relacionen amb un flux ponderat: els llocs, que representen l'estat del sistema, i les transicions, que representen els canvis d'estat (veure *Figura 5.1, a i b*).

El marcat és l'assignació d'una sèrie de marques a alguns dels llocs de l'estructura de la xarxa (veure *Figura 5.1, c*). Aquestes marques indiquen que una acció està realitzant-se o que un recurs es troba disponible. L'evolució d'aquestes marques es defineix a través de la regla d'ocurrència o dispar, anomenada *joc de marques*.

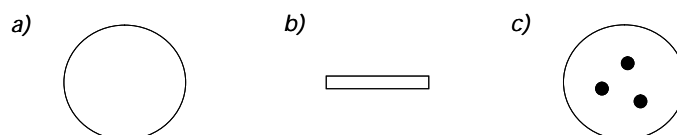


Figura 5.1. Símbol corresponent a:
a) un lloc; b) una transició; c) un lloc amb tres marques



Segons aquesta regla:

1. Una transició està habilitada per un determinat marcat si tots els seus llocs d'entrada tenen tantes marques (o més) com el pes de l'arc que connecta amb la transició. En la *Figura 5.2* pot veure's un exemple de transició habilitada i de transició no habilitada.

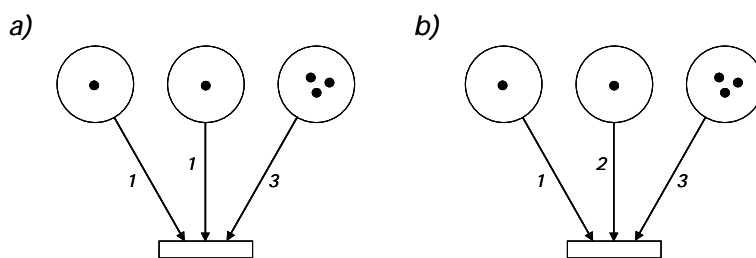


Figura 5.2. Exemple de transició: a) habilitada; b) no habilitada

2. El dispar d'una transició provoca que, de forma instantània, es tregui de cada lloc d'entrada un nombre de marques igual al pes de l'arc de la connexió i es posi a cada lloc de sortida un nombre de marques igual al pes de l'arc de la connexió. Si el pes no està indicat, se sobreentén que és u. En la *Figura 5.3* pot veure's un exemple de dispar.

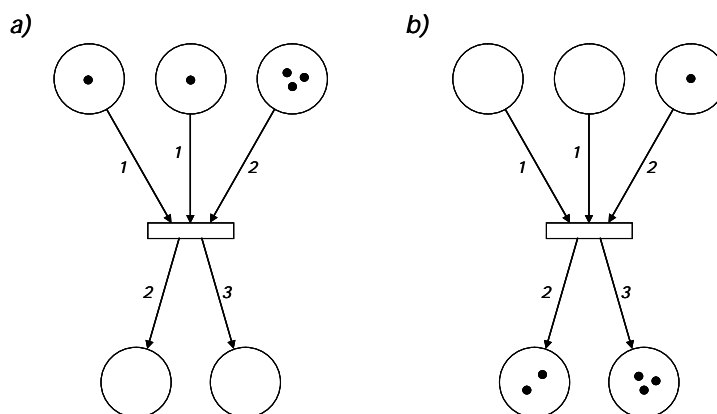


Figura 5.3. Exemple de dispar d'una transició: a) situació abans del dispar; b) situació després del dispar



5.2.2. Xarxes de Petri colorejades

Les *xarxes de Petri colorejades (CPN)* són *xarxes de Petri* on les marques tenen uns atributs associats. Aquests atributs s'anomenen *colors* i poden ser de diferent tipus, com per exemple enters, cadena de caràcters, etcètera.

Mitjançant aquest tipus de xarxa pot reduir-se molt el model en determinats sistemes, com és el cas de la cel·la de producció d'estudi. Aquesta cel·la està formada per quatre màquines iguals, que realitzen exactament les mateixes funcions. A l'hora de modelar el sistema no és necessari crear un submodel per a cadascuna d'aquestes màquines; pot crear-se un únic model que les englobi totes. El sistema diferenciarà una màquina d'una altra a partir de l'atribut associat a cadascuna de les marques.

D'aquesta forma el model es redueix substancialment i, a més, permet que, amb un petit canvi, la xarxa serveixi també per a analitzar un sistema idèntic però amb un nombre diferent de màquines.

En el cas de la cel·la de producció, la *xarxa de Petri colorejada* no només és útil quant a les màquines, sinó que també pot utilitzar-se per als diferents tipus de peça. N'existeixen dos: les peces associades al palet *A* i les associades al palet *B*. Com que el procés que segueixen les dues peces és el mateix, també pot reduir-se el sistema, ja que no s'han de considerar les accions de les dues peces per separat, sinó que poden considerar-se conjuntament i diferenciar-se mitjançant l'atribut de les marques.



La nomenclatura bàsica d'aquest tipus de xarxa és la següent:

1. Inicialització: és una expressió que indica el conjunt de marques inicials associat a un determinat lloc. S'expressa subratllant-lo.
2. Tipus: cada lloc només pot contenir marques d'un determinat tipus. Aquest s'indica al costat de cada lloc en cursiva.
3. Expressions dels arcs: són expressions que s'associen als arcs.
4. Guardes: són funcions booleanes associades a les transicions. Es col·loquen al costat d'aquestes entre claudàtors. Pot ser, però, que alguna transició no tingui cap guarda.
5. Inscripció: mitjançant la inscripció es defineixen els tipus de colors i les variables utilitzades a la xarxa.

En el cas de *xarxes de Petri colorejades*, una transició està habilitada si la guarda associada a ella s'avalua a "cert" i en els seus llocs d'entrada hi ha el nombre de marques que indiquen els arcs d'entrada i aquests tenen els atributs especificats. Un exemple pot observar-se a la *Figura 5.4*, on la transició s'habilita si existeix una marca de tipus (3):

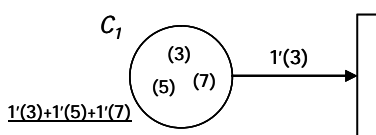


Figura 5.4. Exemple de transició habilitada en una xarxa de Petri colorejada

El dispar d'una transició consisteix en extreure dels llocs d'entrada les marques que indiquen els arcs d'entrada i posar als llocs de sortida les marques que indiquen els arcs de sortida. Un exemple pot veure's a la *Figura 5.5*:

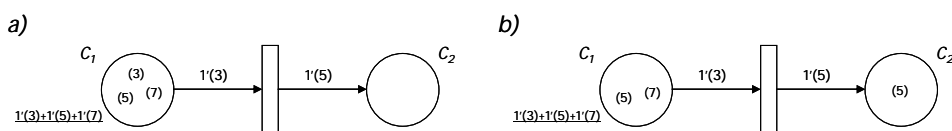


Figura 5.5. Exemple de dispar d'una transició d'una xarxa de Petri colorejada:
a) situació abans del dispar; b) situació després del dispar



5.2.3. Model i anàlisi de la cel·la de producció

La xarxa de Petri colorejada de la cel·la de producció és la que es mostra a la Figura 5.6:

Definició dels colors:

color M = with M1|M2|M3|M4;
 color R = with r;
 color P = with pA|pB;
 color PM = product P·M;
 color PPM = product P·P·M;
 color PMR = product P·M·R;
 color PPMR = product P·P·M·R;

Definició de les variables:

var palet_x: P;
 var palet_y: P;
 var p: P;
 var maquina_x: M;
 var maquina_y: M;
 var maquina: M;
 var m: M;

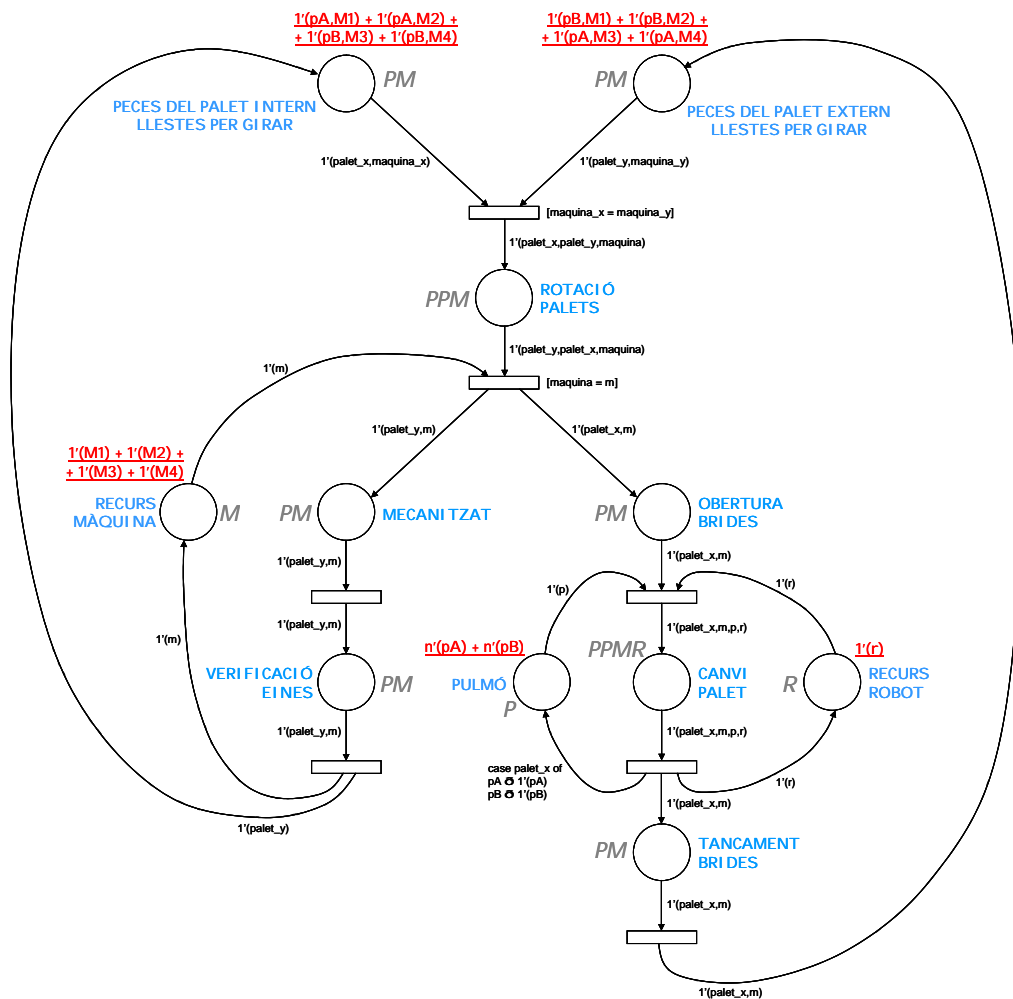


Figura 5.6. Xarxa de Petri colorejada de la cel·la de producció



La *xarxa de Petri colorejada* mostrada en la *Figura 5.6* correspon a l'estructura principal de la cel·la de producció. Serveix per a les tres estratègies d'estudi, però per a cadascuna d'elles s'hauria de definir la corresponent lògica del robot. Aquesta definició s'hauria de produir en la transició immediatament anterior a l'acció *CANVI PALET*, de forma que el robot viatgi a la màquina corresponent segons l'estratègia. Seria doncs, la guarda d'aquesta transició. Degut a la complexitat de la guarda en qüestió, la definició de la lògica del robot serà implementada directament amb el software *Rockwell Arena 7.0*.

Com pot observar-se en la *xarxa de Petri*, existeixen successos que evolucionen en paral·lel, comportaments caracteritzats per sincronitzacions i per bifurcacions i compartiment de recursos.

Observant la xarxa per la part superior, pot veure's l'existència d'una sincronització. Aquesta sincronització marca l'instant en què la peça situada al palet intern d'una màquina i la situada al palet extern de la mateixa màquina estan llestes per a començar la rotació de la plataforma giratòria. Un cop es produeix aquesta situació, els palets giren.

Després del gir, tenen lloc diferents processos en paral·lel. Per un costat, la peça que provenia del palet extern comença el corresponent mecanitzat i la posterior verificació de les eines. Per a realitzar aquestes accions, serà necessari l'ús del recurs màquina. Per l'altre costat, la peça provinent del palet intern comença el procés d'obertura de brides. Un cop les brides s'han obert i el robot està disponible, comença el canvi de palet. Aquest canvi consisteix en situar la peça al pulmó i en agafar la peça adient del pulmó per a situar-la al palet. Per tant, també és necessari que el pulmó contingui aquesta nova peça (per hipòtesi del problema, aquesta peça sempre existeix). Després del canvi, es produeix el tancament de les brides.

Un cop acabades totes aquestes accions, les peces dels dos palets estan llestes per a començar, de nou, el cicle.



Anàlisi de les propietats qualitatives de la xarxa

Les propietats qualitatives d'una xarxa són:

- A) **Acotació:** un sistema és acotat si l'espai d'estats és finit, és a dir, si tots els llocs tenen un nombre de marques finit.
- B) **Vivacitat:** un sistema és viu si des de qualsevol marcat assolible existeix una seqüència de dispars que habilita qualsevol transició.
- C) **Reversibilitat:** un sistema és reversible si des de qualsevol marcat assolible es pot tornar al marcat inicial.

Existeixen diferents tècniques per a realitzar l'anàlisi qualitatiu d'una xarxa. Una d'aquestes tècniques és l'anàlisi per enumeració, que es basa en la generació d'un graf, anomenat graf d'abastament, amb tots els possibles marcats i amb la seva connectivitat.

Per a realitzar aquest graf, es considerarà la *xarxa de Petri ordinària* del sistema. Els llocs i les transicions s'han de numerar (veure *Figura 5.7*). Llavors, partint de la situació inicial, es crea el graf indicant quin és el marcat (representat per un vector amb tantes components com llocs) existent segons l'evolució del dispar de les transicions (veure *Figura 5.8*).

Per a simplificar el graf, només es considerarà una màquina a la cel·la. A més, no es tindrà en compte el lloc associat al pulmó, ja que aquest no representa cap restricció al sistema perquè sempre hi ha peces disponibles.

A partir del graf d'abastament podem observar que el sistema és acotat (perquè el graf d'abastament és finit), viu i reversible.



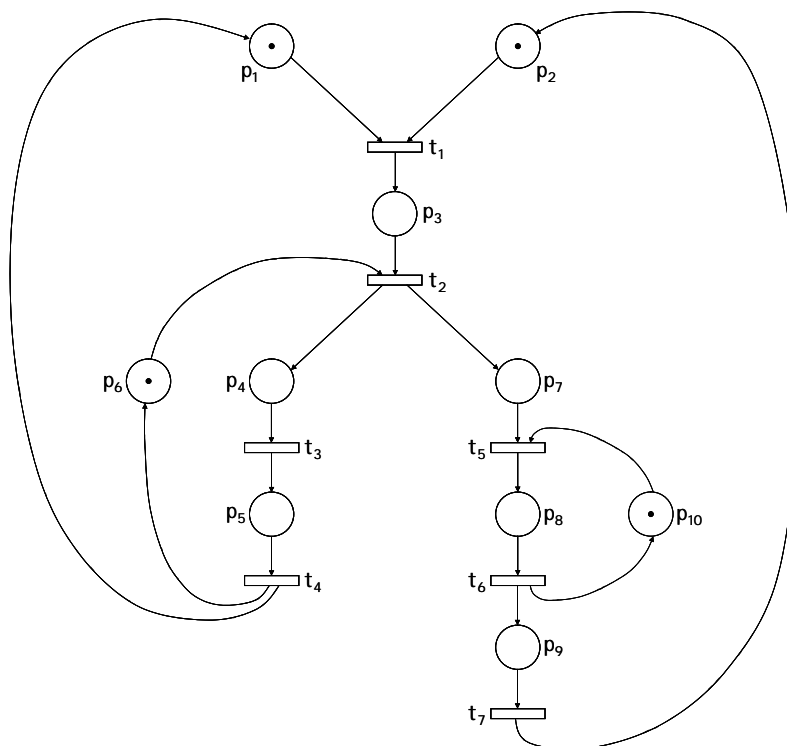


Figura 5.7. Xarxa de Petri ordinària

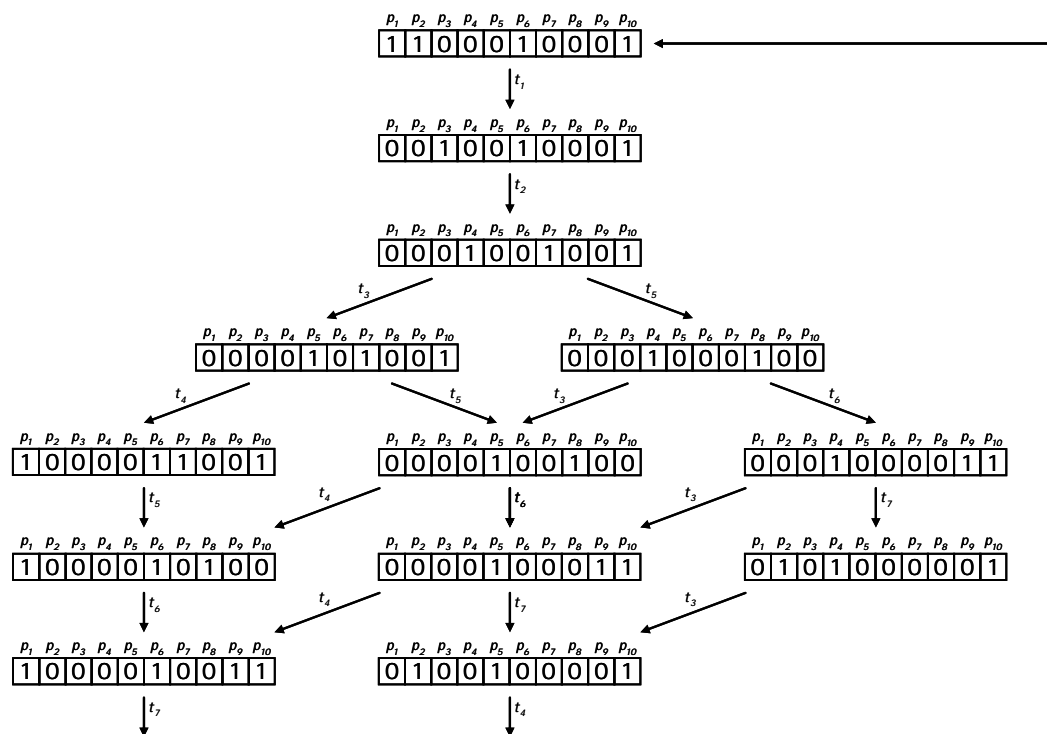


Figura 5.8. Graf d'abastament



5.3. MODEL EN ARENA

5.3.1. Descripció bàsica del model

La realització de l'estudi del model mitjançant *xarxes de Petri* facilita la seva implementació amb el software *Rockwell Arena 7.0*. L'*Arena*, com ja s'ha comentat anteriorment, permet construir el model mitjançant una sèrie de blocs, formant un diagrama que integra tota la informació del model. Com la *xarxa de Petri* mostra el model mitjançant un conjunt d'accions, és senzill traslladar aquestes accions a blocs de l'*Arena* i obtenir, d'aquesta forma, el model necessari per a realitzar les simulacions. Així doncs, l'estructura general del model serà la mateixa que l'estructura de la *xarxa de Petri*.

Aquesta estructura general, però, es complementa amb un conjunt de blocs necessaris per al correcte funcionament del model. Són blocs imprescindibles per a crear l'animació del model i per a l'obtenció de les dades que posteriorment serviran per a analitzar el sistema.

A més dels blocs, també hi ha altres elements de l'*Arena* que ajuden a definir la lògica del sistema. Aquests elements són, bàsicament, les variables i els recursos.

En conclusió, el model en *Arena* és difícil d'entendre sense una primera aproximació al software. És per aquest motiu que, a continuació, només es presentarà una idea del funcionament bàsic del model, sense aprofundir en cadascun dels blocs que el componen. Les descripcions més detallades, bloc a bloc, es presenten en l'*Annex B*, juntament amb una breu explicació del funcionament general del programa, presentat en l'*Annex A*.



Estructura general

La implementació del model per a les tres estratègies (*FM-I*, *FIFO*, *CFO*) és, bàsicament, la mateixa. La diferència principal es troba en la lògica del robot.

Per a organitzar millor els blocs de l'*Arena*, s'utilitzen els anomenats submodels. Els submodels permeten jerarquitzar el model principal, agrupant diferents blocs enllaçats entre sí. D'aquesta forma s'augmenta la quantitat d'espai de treball. En el model s'utilitzen quatre submodels, anomenats: *Inicialització Variables*, *Màquines*, *Generació Avaries* i *Animació Robot*.

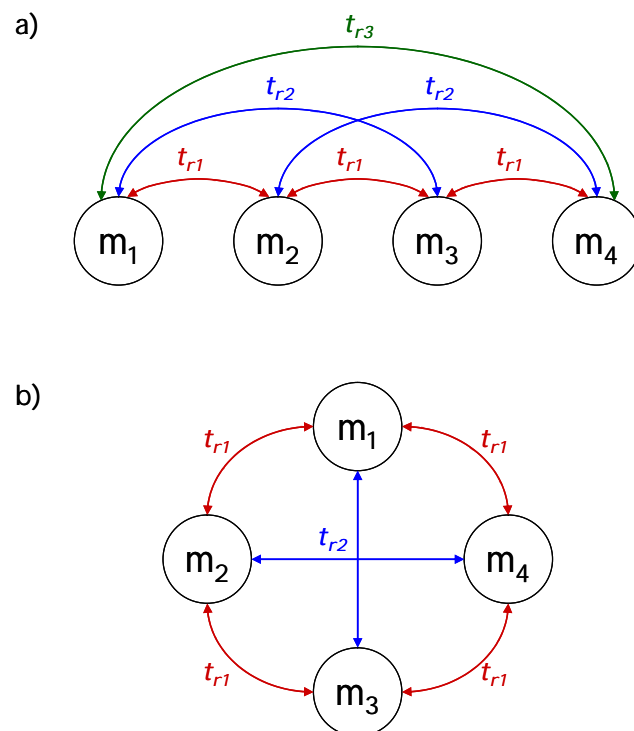
El submodel *Inicialització Variables* s'encarrega de llegir d'un fitxer extern el valor de les variables del model. *Màquines* és el submodel principal, on es defineixen totes les accions que es produeixen a la cel·la real (mecanitzat, obertura i tancament de les brides, càrrega i descàrrega del palet, gir de la plataforma, etcètera); també engloba tots aquells blocs que tenen com a finalitat el càlcul de la producció i dels estats de la màquina, el robot i l'operari. El submodel *Generació Avaries* és el que calcula en quins instants s'avarïen les eines de les màquines. I el submodel *Animació Robot* serveix per a crear l'animació del robot.

A més dels blocs que realitzen totes aquestes funcions, el model també conté una animació general del sistema. Gràcies a aquesta animació pot observar-se l'evolució del model d'una forma molt visual.

En ella s'observen els diferents estats de les màquines, del robot, de l'operari i dels palets *A* i *B*; també pot veure's la producció total i la de cada màquina, així com el temps de simulació.



Aquesta estructura general és la mateixa no només per a les tres estratègies, sinó també per als dos layouts de la planta. L'única diferència que existeix entre el model de la cel·la amb una col·locació de les màquines lineal i el model amb una col·locació circular és el temps de viatge. En el segon cas, si el robot ha d'anar de la màquina m_1 a la m_4 , per exemple, no és necessari que recorri tres posicions, doncs girant en sentit contrari només n'haurà de recórrer una (veure *Figura 5.9*).



*Figura 5.9. Distància entre màquines en un:
a) layout en línia; b) layout circular*

A la *Figura 5.10* i a la *Figura 5.11* es mostra una vista del model en *Arena*. A la part superior hi ha els quatre submodels; la resta és l'animació corresponent a una simulació amb un layout en línia i a una amb un layout circular.



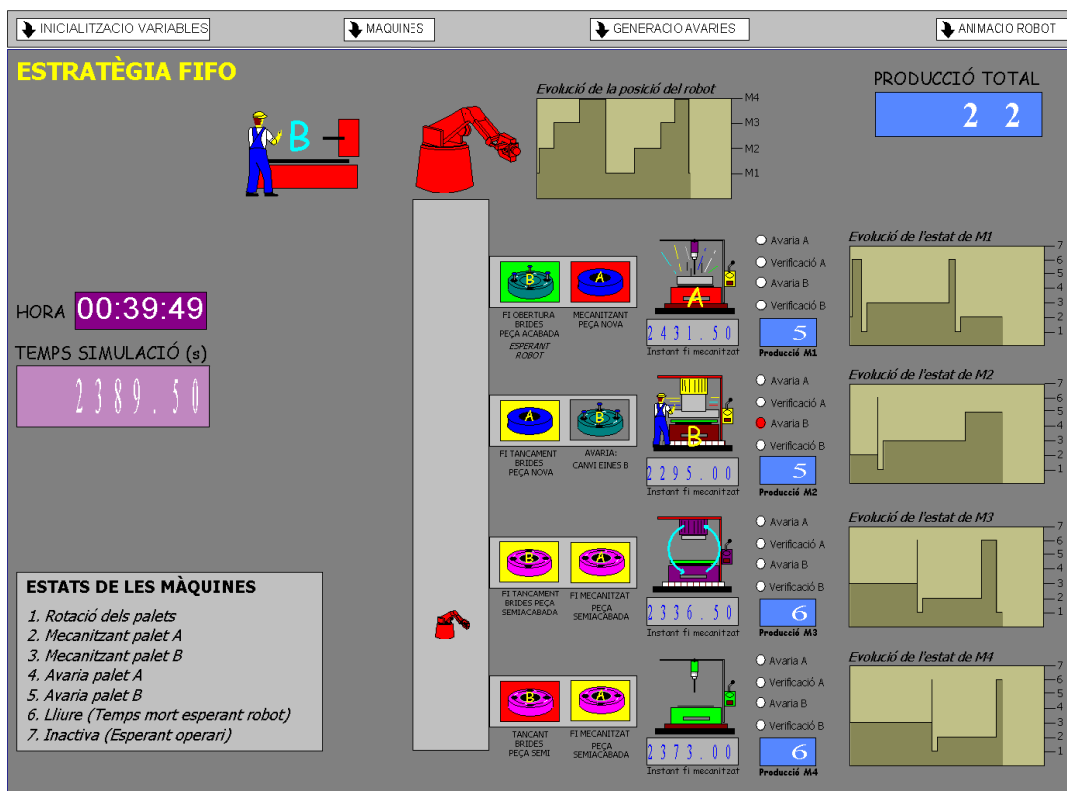


Figura 5.10. Model en Arena de l'estratègia FIFO amb un layout lineal

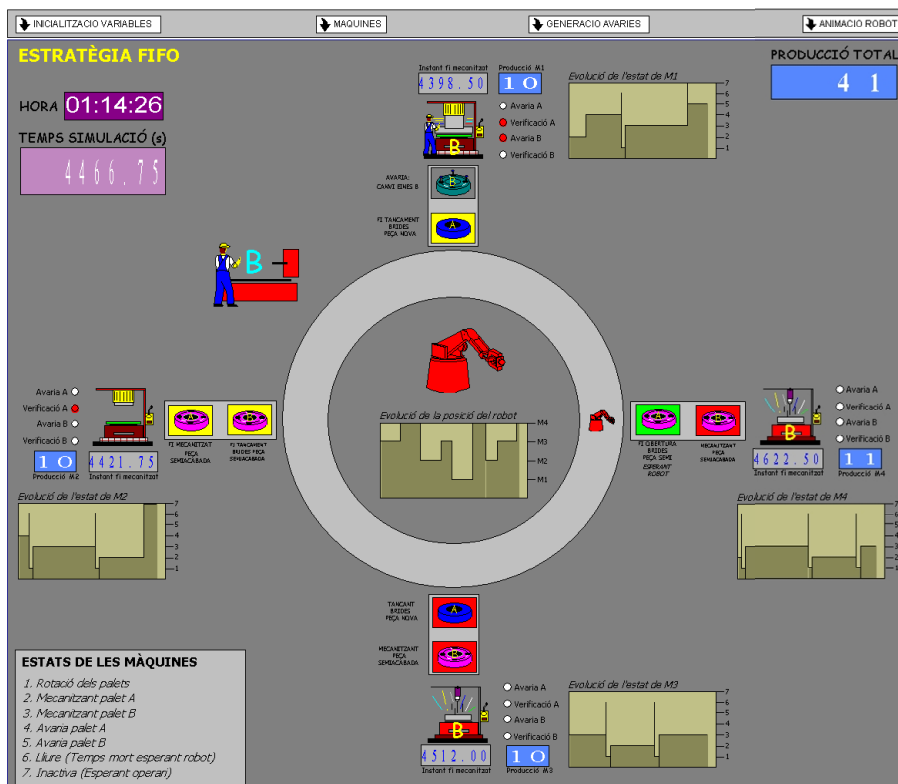


Figura 5.11. Model en Arena de l'estratègia FIFO amb un layout circular



5.3.2. Automatització del model

Una opció interessant que ofereix l'*Arena* és la possibilitat d'automatitzar tant l'entrada com la sortida de dades. Aquesta possibilitat ofereix molts avantatges, tant de comoditat com de flexibilitat.

Entrada de dades

L'*Arena* té un bloc, anomenat *READWRITE*, que permet llegir dades d'un fitxer extern. S'ha utilitzat aquest bloc per a llegir el valor de les variables del sistema. D'aquesta forma, si es volen realitzar moltes simulacions amb diferents valors de les variables, simplement s'han d'escriure en el fitxer tots els paràmetres que es volen simular i, automàticament, l'*Arena* els anirà llegint a l'inici de cada simulació.

Sortida de dades

Com ja s'ha comentat anteriorment, gràcies al *Visual Basic for Applications* (*VBA*) l'*Arena* pot programar-se per tal que extregui els resultats en un full de càlcul. Així s'obtenen tots els resultats de forma fàcil i directa. Aquest mètode per a obtenir els resultats és molt pràctic i concís, ja que l'altra opció que permet l'*Arena* mostra els resultats desitjats amb molts d'altres que no interessen per a l'anàlisi final.

La descripció detallada de l'entrada i la sortida de dades es troba a l'*Annex C*, on s'explica com s'ha programat el *VBA* i quines dades són les que s'han extret per a cada simulació.



5.3.3. Millores realitzades al model

Com ja s'ha comentat, un dels objectius del projecte era millorar el model ja existent en *Arena*. A més d'actualitzar-lo a l'última versió del software (l'últim model s'havia fet amb l'*Arena 3.51* i ara s'ha utilitzat la versió *7.0*), les altres millores realitzades són:

- Automatització de la lectura de tots els paràmetres del sistema, no només dels temps de mecanitzat. Això permet estudiar el model amb més comoditat en el cas d'haver de variar més paràmetres.
- Ús de les *xarxes de Petri colorejades* per a la posterior implementació amb l'*Arena*. D'aquesta forma es redueix en gran mesura el nombre de blocs utilitzats, ja que no existeix un *circuit* (o diagrama) per a cada màquina, ni tampoc existeixen els mateixos blocs però diferenciant-se pel tipus de palet. El que es té ara és un únic diagrama, per on passen totes les peces corresponguin a la màquina que corresponguin i siguin del tipus de palet que siguin.
- Aquesta última millora dóna una gran flexibilitat al model, ja que amb una petita variació de les variables i de la inicialització poden simular-se tantes màquines com es vulgui, podent estudiar, així, els canvis que es produïrien a la cel·la real si es decidís utilitzar alguna màquina més.





6. SIMULACIONS I ANÀLISI DE RESULTATS

6.1. CAMP D'ESTUDI

L'objectiu principal del projecte és poder conèixer quina és la millor estratègia d'alimentació de la cel·la de producció en funció dels paràmetres del sistema.

Aquests paràmetres no són tots fixos. N'existeixen alguns que, per les característiques del sistema, estan subjectes a possibles variacions. Això és degut a què no totes les peces que entren a la cel·la són idèntiques. N'hi ha de més simples i de més complexes.

La naturalesa d'aquestes peces, per tant, pot provocar que algunes accions que s'hagin de realitzar tinguin una durada superior o inferior.

Els paràmetres que es veuen afectats per la condició de les peces són els temps de mecanitzat, els temps de càrrega i descàrrega i els temps de tancament de les brides.

En el present projecte s'estudiarà el comportament del sistema quan els paràmetres abans esmentats varien en els rangs mostrats en la *Taula 6.1*:

<i>Temps de mecanitzat: t_{wa}, t_{wb}</i>	<i>[150'', 300'']</i>
<i>Temps de càrrega i descàrrega: t_{la}, t_{lb}</i>	<i>[30'', 60'']</i>
<i>Temps de tancament de brides: t_{ca}, t_{cb}</i>	<i>[15'', 30'']</i>

Taula 6.1. Rangs de variació dels paràmetres d'estudi



6.2. DISSENY DELS EXPERIMENTS

Abans de procedir a realitzar les simulacions, és necessari planificar i definir quins experiments es duran a terme. La situació ideal seria experimentar amb totes les combinacions possibles de variables. Aquest tipus de disseny és el que s'anomena disseny factorial. El principal avantatge és que és un mètode que permet acostar-se a l'òptim i estimar interaccions entre variables [Albert Prat et al., 1997]. Per contra, requereix un gran nombre d'experiments.

Com que els rangs d'estudi són amples, és impossible estudiar totes les combinacions per a les tres estratègies d'alimentació, ja que això suposaria una gran quantitat d'hores de treball. La solució radica en estudiar un nombre assequible de combinacions, de forma que pugui avaluar-se amb propietat l'evolució del comportament del sistema.

Per a cadascun dels sis paràmetres d'estudi s'avaluaran quatre dels seus possibles valors i es realitzaran les simulacions corresponents a totes les possibles combinacions. Com que existeixen sis variables i s'estudiaran quatre valors de cadascuna d'elles, el nombre de simulacions a realitzar per a cada estratègia d'alimentació és de 4^6 , és a dir, 4096 experiments.

Posteriorment, segons els resultats obtinguts, es realitzaran més simulacions que permetin definir correctament les diferents zones que delimiten les regions on cada estratègia és òptima.

Els valors que s'estudiaran de cada variable són, expressats en segons, els següents:

∅ *Temps de mecanitzat* (t_{wa} , t_{wb}): 150 – 200 – 250 – 300

∅ *Temps de càrrega i descàrrega* (t_{1a} , t_{1b}): 30 – 40 – 50 – 60

∅ *Temps de tancament de les brides* (t_{ca} , t_{cb}): 15 – 20 – 25 – 30



Un cop planificats els experiments, s'ha de definir el nombre de rèpliques i la durada de cadascuna d'elles.

Definició de la durada de cada rèplica

Cadascuna de les rèpliques tindrà una durada d'un mes. Amb aquesta llargada es considera que els resultats obtinguts tindran la precisió desitjada.

Definició del nombre de rèpliques

L'existència d'un paràmetre aleatori al model (la freqüència del canvi d'eina) fa que el sistema sigui molt variable. Per tant, s'han de realitzar diverses rèpliques per a cadascuna de les simulacions, és a dir, diversos experiments sota cada condició experimental. Llavors, a l'analitzar els resultats, es considera la mitjana d'aquestes rèpliques com a única resposta del sistema. D'aquesta forma, es redueix l'efecte de la variabilitat del sistema experimental en la resposta.

L'elecció del nombre de rèpliques a realitzar la defineix la precisió amb la qual es vulgui estimar el principal paràmetre d'estudi, que és el temps mort de les màquines.

Partint dels paràmetres reals de la cel·la de producció i realitzant deu rèpliques, la *Figura 6.1* mostra les mitjanes dels temps morts obtinguts i els corresponents intervals de confiança segons l'estratègia d'estudi.



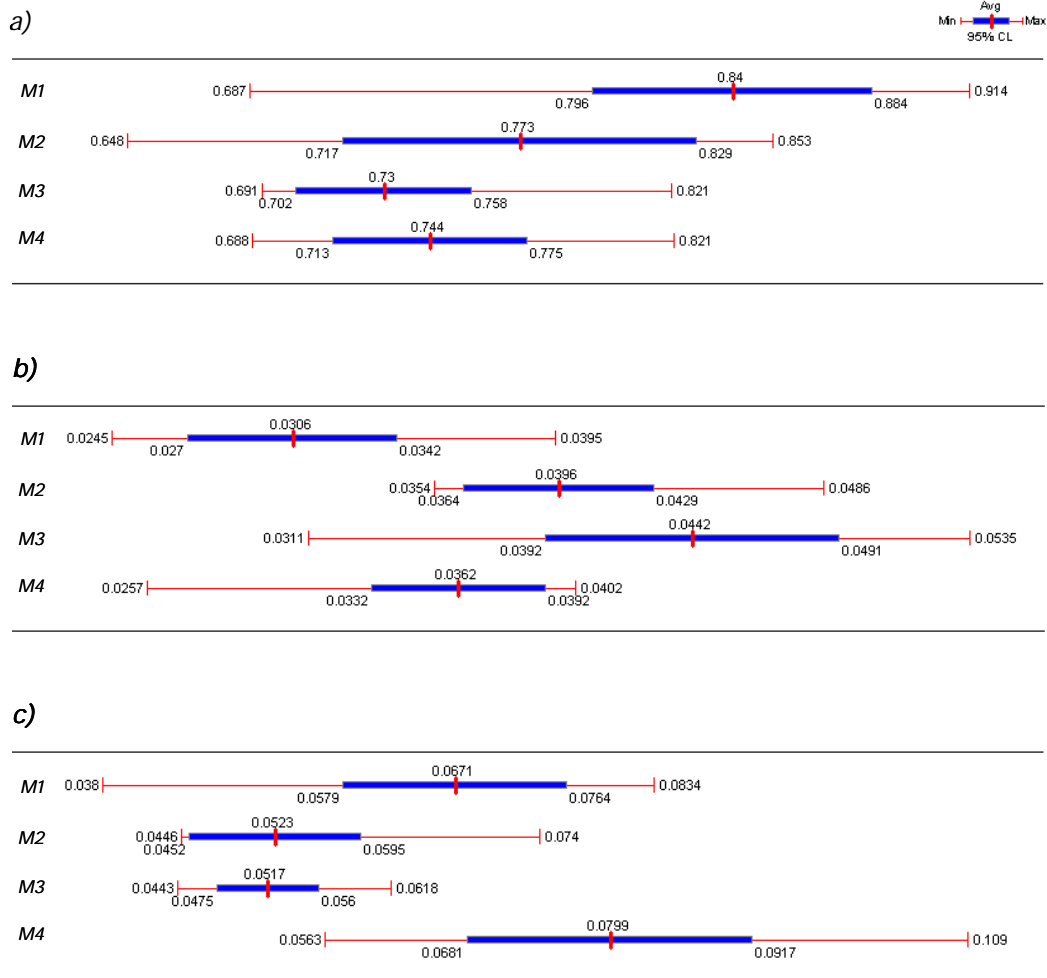


Figura 6.1. Interval de confiança del 95% corresponents als temps morts de les estratègies:
a) FM; b) FIFO; c) CFO

Amb deu rèpliques, l'interval de confiança obtingut dona una estimació prou bona dels temps morts de les màquines. Amb aquest nombre de rèpliques, la producció de cada màquina variarà entorn ± 3 peces per màquina i mes. Els resultats, doncs, són els desitjats.

Cada simulació serà, per tant, la mitjana de deu rèpliques d'un mes de durada cadascuna.



6.3. RESULTATS OBTINGUTS DE LES SIMULACIONS

Per a cadascuna de les simulacions realitzades, s'han extret els següents valors:

- â Estats de les màquines.
- â Estats del robot.
- â Estats de l'operari.
- â Producció.

El percentatge de temps en què les màquines, l'operari i el robot es troben en cada estat és útil per fer-se una idea de com a evolucionat el sistema. Per exemple, permeten conèixer si el robot ha estat ocupat durant tota la simulació i, per tant, ha estat un coll d'ampolla, o si, pel contrari, ha estat temps desocupat.

La producció és necessària per a poder quantificar els resultats obtinguts a la cel·la de producció, ja que sempre és interessant conèixer quantes peces es fabricaran segons els valors dels paràmetres del sistema.

En la *Taula 6.2* poden observar-se els diferents estats en els quals es poden trobar les màquines, el robot i l'operari. Quant a la producció, a cada simulació s'extraurà el valor de la producció total i el valor corresponent a la producció de cadascuna de les màquines.

Però independentment d'aquests paràmetres, el què realment interessa és el valor del temps mort de les màquines. Aquest paràmetre és el necessari per a poder optimitzar el sistema, ja que l'objectiu del projecte és trobar l'estratègia d'alimentació que produeixi el menor temps mort. Aquest temps mort és el corresponent al percentatge de temps en què la màquina s'hagi trobat en l'estat *Esperant Robot*.



ESTATS DE LES MÀQUINES	SITUACIÓ
<i>Rotació Palets</i>	<i>Temps en què la màquina espera el gir dels palets</i>
<i>Ocupada A</i>	<i>Temps en què la màquina mecanitza el palet A</i>
<i>Ocupada B</i>	<i>Temps en què la màquina mecanitza el palet B</i>
<i>Avariada A</i>	<i>Temps durant el qual la màquina està fora de línia degut a una avaria del palet A</i>
<i>Avariada B</i>	<i>Temps durant el qual la màquina està fora de línia degut a una avaria del palet B</i>
<i>Esperant Robot</i>	<i>Temps en què la màquina està lliure degut a què el robot no ha servit a temps el palet extern</i>
<i>Esperant Operari</i>	<i>Temps en què la màquina està inactiva degut a l'espera de l'operari</i>

ESTATS DEL ROBOT	SITUACIÓ
<i>Lliure</i>	<i>Temps en què el robot no realitza cap tasca</i>
<i>Ocupat</i>	<i>Temps que engloba el desplaçament del robot i les tasques de càrrega i descàrrega del palet. També considera el temps en què el robot ha d'esperar al palet un cop ja es troba davant de la màquina corresponent</i>

ESTATS DE L'OPERARI	SITUACIÓ
<i>Lliure</i>	<i>Temps en què l'operari no realitza cap tasca</i>
<i>Ocupat A</i>	<i>Temps en què l'operari està canviant o verificant les eines corresponents al palet A d'alguna màquina</i>
<i>Ocupat B</i>	<i>Temps en què l'operari està canviant o verificant les eines corresponents al palet B d'alguna màquina</i>

Taula 6.2. Possibles estats en què poden trobar-se les màquines, el robot i l'operari



6.3.1. *Comportament del robot*

Mitjançant els resultats obtinguts de les diferents simulacions, pot observar-se el comportament que segueix el robot en les situacions estudiades.

En l'estratègia *FM-I*, el robot no es troba, quasi mai, en l'estat *Lliure*. Siguin quins siguin els valors dels paràmetres, el percentatge de temps en què el robot es troba lliure no passa del *0.13%*. Aquest fet és degut a la pròpia implementació de l'estratègia. El robot sempre està ocupat perquè, un cop ha acabat les tasques de càrrega i descàrrega d'un palet, comença el desplaçament cap a la següent màquina. El petit percentatge de temps lliure és el que correspon als instants en què totes les màquines estan avariades i el robot ha d'esperar a què alguna entri en línia de nou.

En l'estratègia *FIFO* i *CFO* la tendència canvia. En ambdós casos, el percentatge de temps en què el robot roman lliure augmenta en augmentar els temps de mecanitzat i disminueix en augmentar els temps de càrrega i descàrrega dels palets.

Les dues situacions són evidents. Per un costat, en augmentar els temps de mecanitzat (t_{wa} , t_{wb}) les màquines triguen més en necessitar el robot i, per tant, aquest triga més en estar ocupat. Per l'altre costat, en augmentar els temps de càrrega i descàrrega (t_{la} , t_{lb}) s'està incrementant el temps en què el robot haurà d'estar treballant; per tant, com el robot necessitarà més temps per a servir les màquines, estarà menys temps lliure. En les figures *Figura 6.2* i *Figura 6.3*, pot observar-se els percentatges de cada estat del robot per a diferents situacions que mostren com varien els estats segons si augmenten o disminueixen els paràmetres abans mencionats.



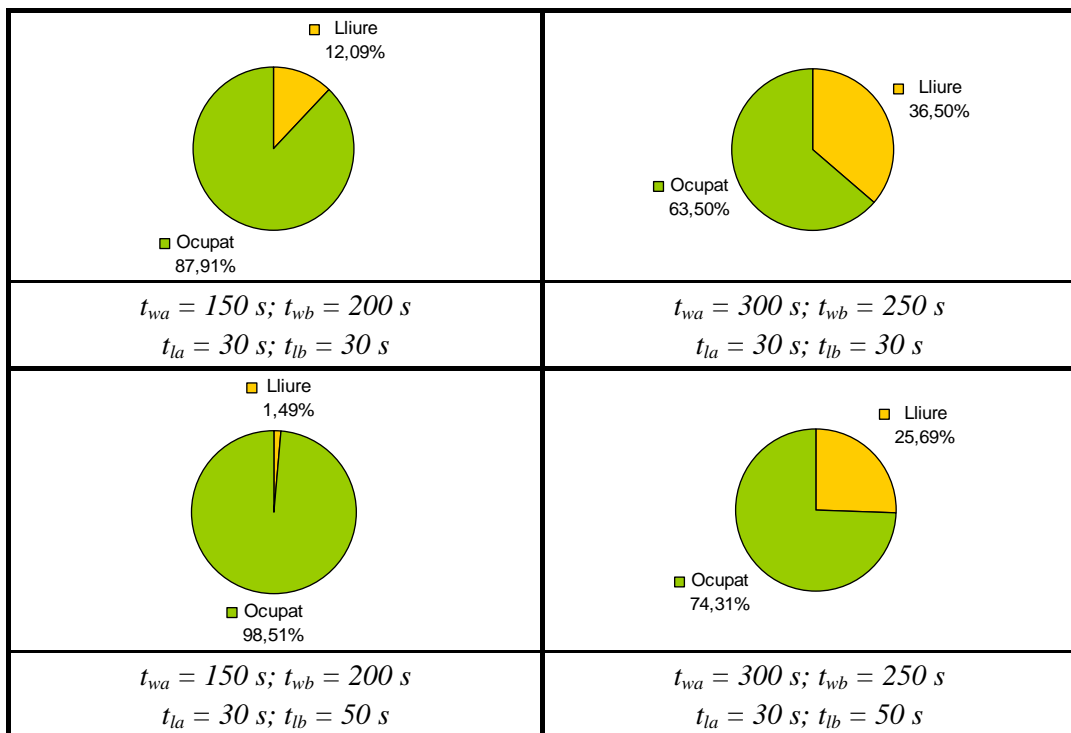


Figura 6.2. Diferents situacions corresponents a l'estratègia FIFO que posen de manifest el comportament del robot segons els valors dels paràmetres. En tots els casos $t_{ca}=15$ i $t_{cb}=15$. Totes les variables estan expressades en segons.

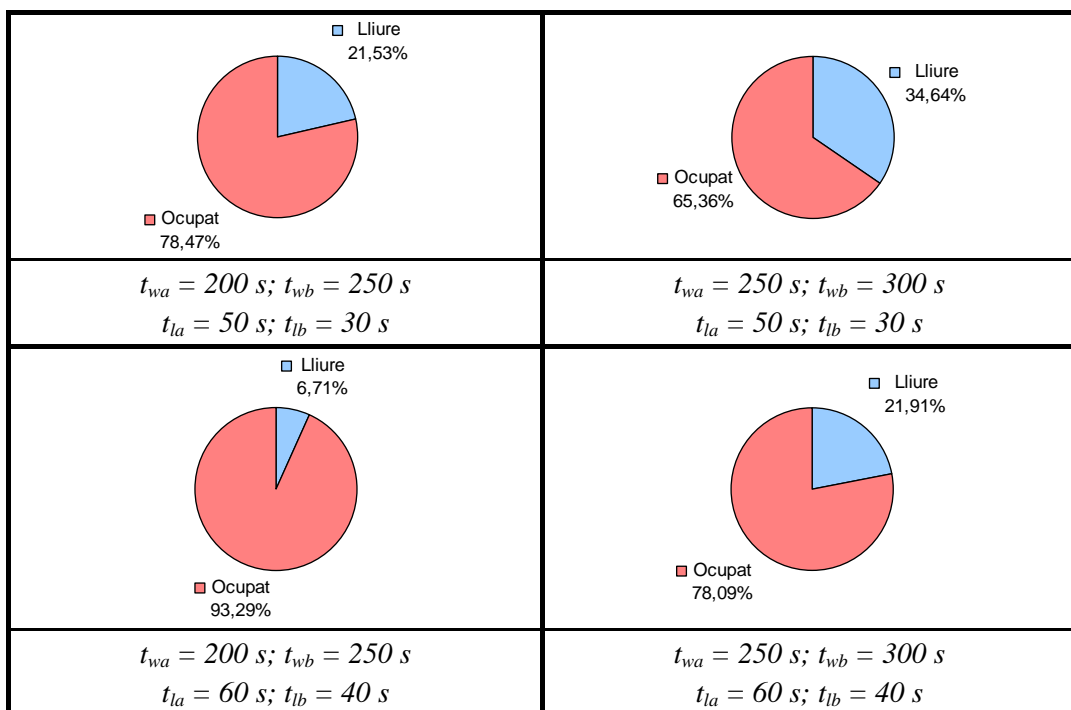


Figura 6.3. Diferents situacions corresponents a l'estratègia CFO que posen de manifest el comportament del robot segons els valors dels paràmetres. En tots els casos $t_{ca}=20$ i $t_{cb}=25$. Totes les variables estan expressades en segons.



6.3.2. Comportament de l'operari

El comportament que presenta l'operari coincideix per a les tres estratègies i per a qualsevol combinació dels paràmetres. Això és degut a que l'actuació de l'operari només depèn de la freqüència de canvi d'eina t_s . És a dir, l'operari roman lliure mentre no es produeixi una avaria en alguna de les eines de les màquines.

En realitat, s'aprecia una petita correlació entre el temps mort i el comportament de l'operari. Això és degut a que si una estratègia provoca que una màquina estigui molt temps esperant el robot, les eines duren més i, per tant, el percentatge de temps en que l'operari està treballant és menor. Però la variació entre el comportament de l'operari en una situació amb elevats temps morts i una amb menor temps morts és molt petita.

Com la freqüència de canvi d'eina és la mateixa tant per a les eines associades al palet *A* com per a les eines associades al palet *B*, el percentatge en que l'operari està treballant en cadascun dels dos casos és molt semblant.

En la *Figura 6.4* pot observar-se els resultats obtinguts en una de les simulacions realitzades amb l'estratègia *FM-I*. En la resta de simulacions els resultats són molt semblants, pràcticament idèntics.

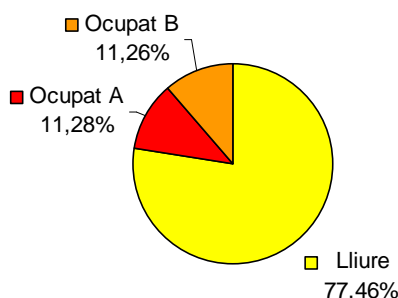


Figura 6.4. Estats de l'operari per a l'estratègia FM-I i per a la situació: $t_{wa}=200$; $t_{wb}=250$; $t_{la}=30$; $t_{lb}=30$; $t_{ca}=30$; $t_{cb}=30$, tots expressats en segons.

Per tant, els resultats obtinguts indiquen que l'operari no és un coll d'ampolla del sistema, ja que en la majoria dels casos l'operari està lliure en el moment de l'avaría.



6.3.3. Comportament de les màquines

Quant a les màquines, els estats *Rotació Palets*, *Avariada A*, *Avariada B* i *Esperant Operari* segueixen la mateixa tendència que el comportament de l'operari. Per tant, disminueixen com major és el temps mort. Però les diferències són mínimes, és a dir, la correlació existent entre el temps mort i els estats abans mencionats és mínima. Per tant, per a totes les simulacions els resultats són força semblants.

En canvi, els estats *Ocupada A* i *Ocupada B* estan directament relacionats amb els temps de mecanitzat. Òbviament, com majors siguin aquests temps de mecanitzat, majors seran els percentatges de temps dels dos estats.

Per últim, l'estat *Esperant Robot* és el que quantifica el temps mort que ha sofert la màquina. Aquest paràmetre s'analitzarà més endavant.

En la *Figura 6.5* pot observar-se un exemple del resultat obtingut per a una simulació concreta.

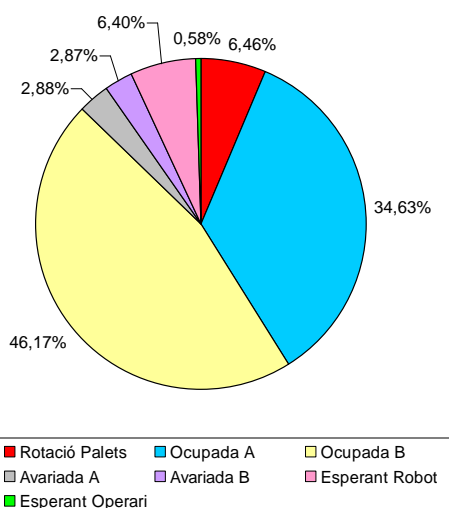


Figura 6.5. Estats de la màquina M1 per a la situació següent: estratègia FM-I; $t_{wa}=150$; $t_{wb}=200$; $t_{ia}=40$; $t_{ib}=50$; $t_{ca}=30$; $t_{cb}=15$, tots expressats en segons.



6.3.4. Anàlisi del temps mort

El temps mort és el paràmetre que realment interessa per a poder realitzar l'optimització del sistema, ja que l'objectiu és trobar la seqüència d'alimentació que minimitza aquest temps mort.

Comparant els resultats de les tres estratègies, s'observa que quasi no existeix cap diferència entre la *FIFO* i la *CFO*. Ambdues prenen valors molt semblants per a totes les simulacions. En alguns punts és millor la *FIFO* i en d'altres la millor és la *CFO*, però sempre amb molt poca diferència entre elles.

En general, els temps morts més elevats es donen en les parelles de menor temps de mecanitzat. A mesura que augmenta el valor de la parella de temps de mecanitzat, el temps mort va disminuint.

A més, també s'observa que el valor del temps mort augmenta a l'incrementar el temps de càrrega i descàrrega del robot. En canvi, en augmentar el temps corresponent al tancament de les brides, el valor del temps mort no varia significativament. En alguns casos augmenta lleugerament i en d'altres disminueix una mica, però sense seguir cap tipus de tendència.

El temps mort, doncs, ve determinat, bàsicament, pel valor de la parella de temps de mecanitzat i pel valor de la variable associada al temps de càrrega i descàrrega d'un palet.

En la *Figura 6.6* es presenten dos gràfics, un amb elevats temps de càrrega i un altre amb temps de càrrega menor. Com pot observar-se, el d'elevat temps de càrrega presenta un major temps mort. Alhora, aquesta figura també serveix per a il·lustrar com varia el temps mort en funció de la parella de temps de mecanitzat.



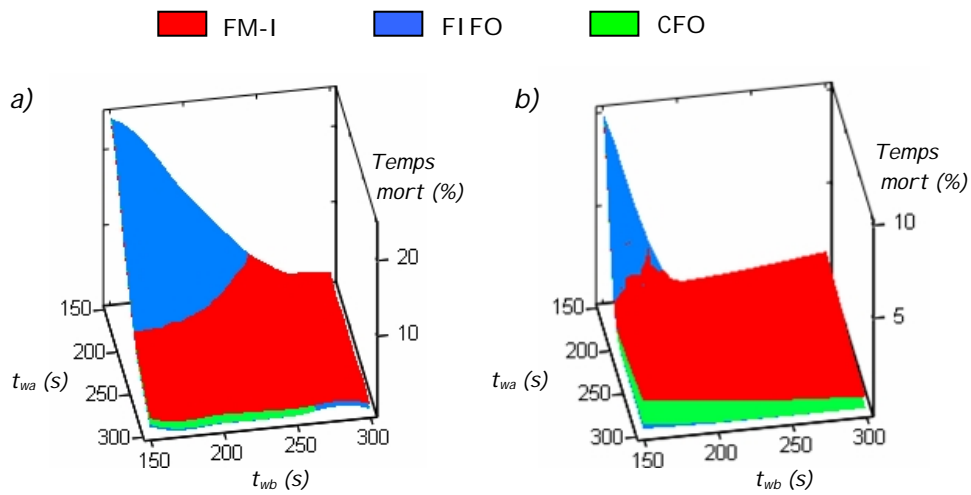


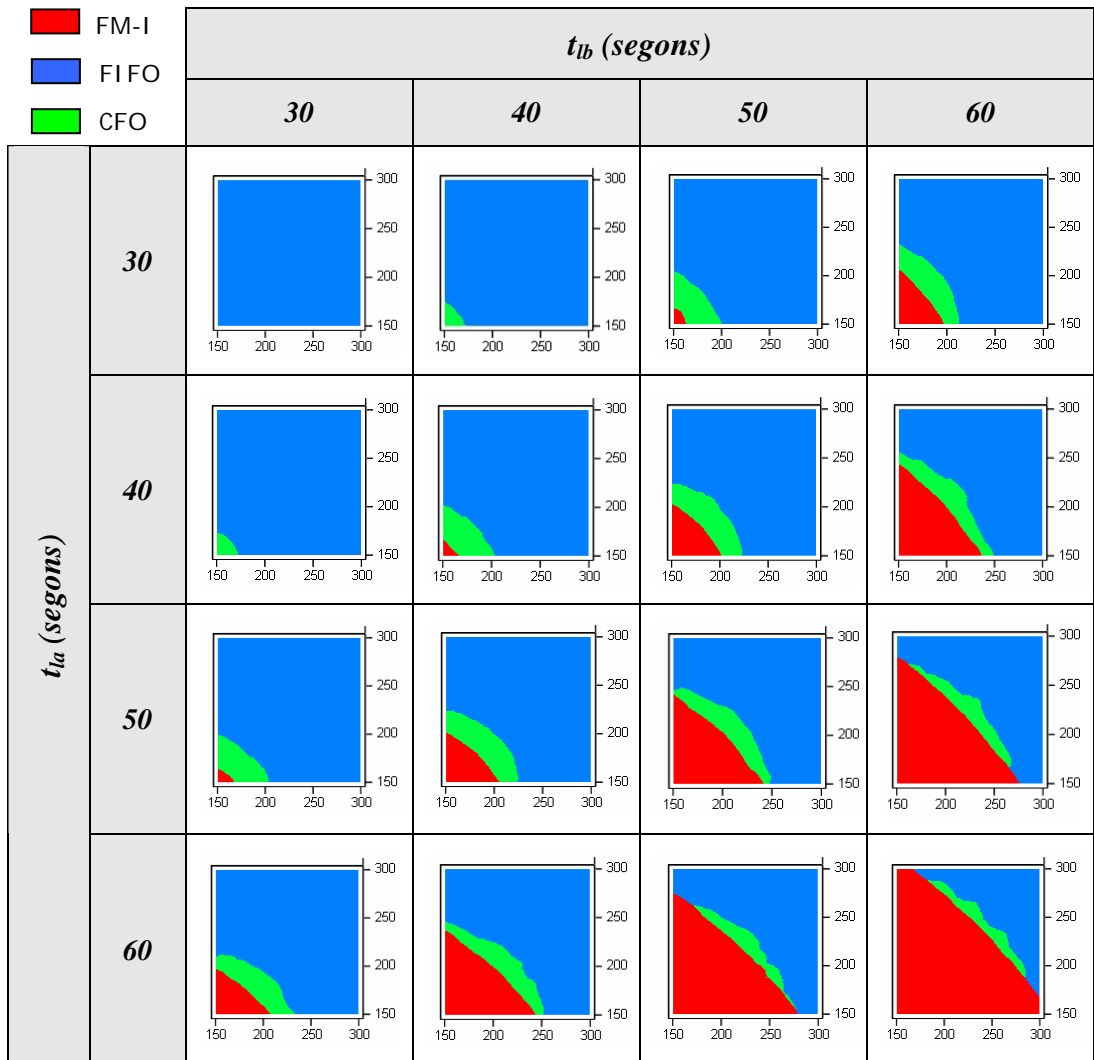
Figura 6.6. Superfícies que representen els temps morts associats a cadascuna de les tres estratègies d'alimentació per als casos següents: a) $t_{la}=60$, $t_{lb}=40$, $t_{ca}=15$, $t_{cb}=15$; b) $t_{la}=40$, $t_{lb}=40$, $t_{ca}=30$, $t_{cb}=20$, tots expressats en segons.

Com l'objectiu és minimitzar el temps mort, el que interessa és saber quina és l'estratègia que, en cada punt, té un temps mort inferior. En el cas de la Figura 6.6, això representaria observar el gràfic des de sota. Les superfícies que fossin visibles serien les que indicarien la millor seqüència d'alimentació.

En la Taula 6.3 pot observar-se l'evolució de l'estratègia òptima en funció dels temps de càrrega i descàrrega. Com pot veure's, en la majoria de situacions existeixen tres regions, una on la millor estratègia és la *FM-I*, una altra on la millor és la *FIFO* i una última on la millor és la *CFO*.

En els punts corresponents a les parelles de temps de mecanitzat elevats, sempre és millor l'estratègia *FIFO*. En canvi, els corresponents als temps de mecanitzats inferiors varien en funció del valor dels temps de càrrega i descàrrega. A mesura que aquests augmenten de valor, l'estratègia *FM-I* s'imposa sobre la *FIFO* i la *CFO*. Aquesta última estratègia es localitza en la zona que separa la regió on la *FM-I* i la *FIFO* són òptimes.





Taula 6.3. Gràfics corresponents al layout lineal, on s'observa l'evolució de l'estratègia òptima en funció dels temps de càrrega i descàrrega del robot. L'eix d'ordenades indica el valor de t_{wa} i el d'abscisses el de t_{wb} , ambdós en segons. El color vermell indica que la millor estratègia és la FM-I, el blau que la millor és la FIFO i el verd que és la CFO. Tots els gràfics corresponen a la situació $t_{ca}=15$ i $t_{cb}=15$, ambdós en segons.



6.3.5. Layout circular

Fins ara, l'anàlisi s'ha realitzat sobre els resultats obtinguts considerant el layout lineal. En aquest apartat s'analitzaran els canvis que pateixen els resultats al treballar amb un layout circular.

Quant al comportament del robot, l'operari i les màquines, no hi ha cap diferència amb el comportament obtingut amb el layout lineal. La tendència que segueixen és la mateixa.

Pel que fa als temps morts, s'observa una disminució d'aquests (respecte el layout lineal), sobretot en les parelles de menor temps de mecanitzat. A més, a mesura que augmenten els temps de càrrega i descàrrega també augmenta el valor del temps mort, tal i com passava en el cas de layout lineal. I, igual que en aquest cas, tampoc s'observa que la variació dels temps de tancament de brides influeixi massa en els resultats; els valors obtinguts es modifiquen lleugerament però sense seguir cap tipus de tendència.

Per tant, ambdós layouts tenen un comportament molt similar, amb la diferència que en el layout circular disminueixen els valors dels temps morts en les parelles de menor de temps de mecanitzat.

Com amb una distribució circular de les màquines s'aconsegueix reduir o mantenir els temps morts sense modificar el comportament que té el sistema amb un layout lineal, sembla que l'opció d'utilitzar aquest tipus de layout és prou bona per a optimitzar el sistema.



6.3.6. Anàlisi de la producció

La producció total obtinguda a la cel·la es veu afectada, per ambdós layouts i per a les tres estratègies, pels mateixos paràmetres que afecten els temps morts: els temps de mecanitzat i els de càrrega i descàrrega.

Com és evident, com major sigui la parella de temps de mecanitzat, menor és la producció, ja que les peces triguen més en ésser mecanitzades per les màquines.

Quant als temps de càrrega i descàrrega, com majors són, més temps mort existeix i, per tant, menys producció es realitza. Com el robot triga més en servir a les màquines, el cicle de cada peça és més llarg i, lògicament, s'acaben produint menys unitats.





7. FUNCIO DISCRIMINANT

7.1. INTRODUCCIÓ

Un cop realitzades les diferents simulacions, l'objectiu és poder saber, per a uns valors concrets dels paràmetres del sistema, quina és la millor estratègia d'alimentació.

D'entre els diversos mètodes possibles per a poder realitzar aquest càlcul, s'ha triat l'anàlisi discriminant. L'anàlisi discriminant és una tècnica estadística multivariant, la finalitat de la qual és analitzar si existeixen diferències significatives entre grups d'objectes respecte a un conjunt de variables mesurades sobre els mateixos per a, en el cas que existeixin, explicar en quin sentit es donen i proporcionar procediments de classificació sistemàtica de noves observacions d'origen desconegut en un dels grups analitzats [Duda et al., 2000].

Dintre de l'anàlisi discriminant, s'ha escollit l'anàlisi discriminant lineal, ja que és fàcil de determinar, fàcil d'analitzar i fàcil d'avaluar. A més, com ja s'ha pogut observar a partir dels resultats previs obtinguts de les simulacions (veure *Taula 6.3*), una anàlisi d'aquest tipus sembla que pot ésser apropiat, ja que els límits entre classes segueixen un comportament, en general, força lineal.

Mitjançant aquest mètode s'obtindran unes funcions que delimitaran les zones on cada estratègia és òptima. D'aquesta forma, només avaluant les funcions discriminants podrà saber-se quina és la millor seqüència d'alimentació de les màquines en funció dels paràmetres del sistema.



7.2. FUNCIÓ DISCRIMINANT LINEAL

7.2.1. Introducció teòrica

Una funció discriminant lineal és una funció de la forma:

$$g(x) = w^T x + w_0 \quad (\text{Eq. 7.1})$$

on $x^T = [x_1, x_2, \mathbf{K}, x_m]$ és el vector de característiques

$w = [w_1, w_2, \mathbf{K}, w_m]$ és el vector pes

w_0 és l'anomenat biaix

m és el nombre de característiques que s'extreuen del model

En el cas de classificació de dos grups, ω_1 i ω_2 , l'hiperplà definit per $g(x) = 0$ divideix l'espai en dues regions, R_1 amb $g(x) > 0$ i R_2 amb $g(x) < 0$ (veure *Figura 7.1*). La regió R_1 és la que correspon al grup ω_1 i la R_2 la que correspon a ω_2 .

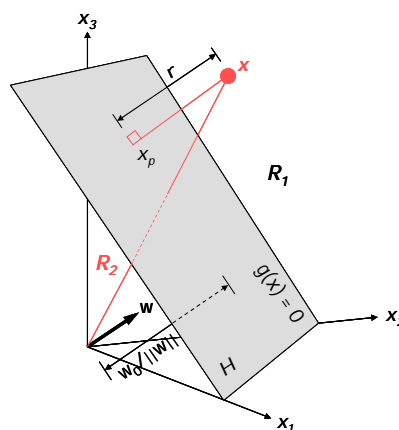


Figura 7.1. Hiperplà que separa l'espai en dues regions segons el grup al que corresponen els punts de cada zona

L'orientació de l'hiperplà la determina el vector normal w i la seva localització ve definida pel biaix w_0 .



La distància mínima de qualsevol punt a la funció discriminant és:

$$d(x, g(x) = 0) = \frac{w^T x + w_0}{\|w\|} \quad (\text{Eq. 7.2})$$

Entorn de la funció discriminant existeix una zona, anomenada *zona morta*, en la qual hi ha un risc elevat de classificar erròniament una mostra (veure *Figura 7.2*).

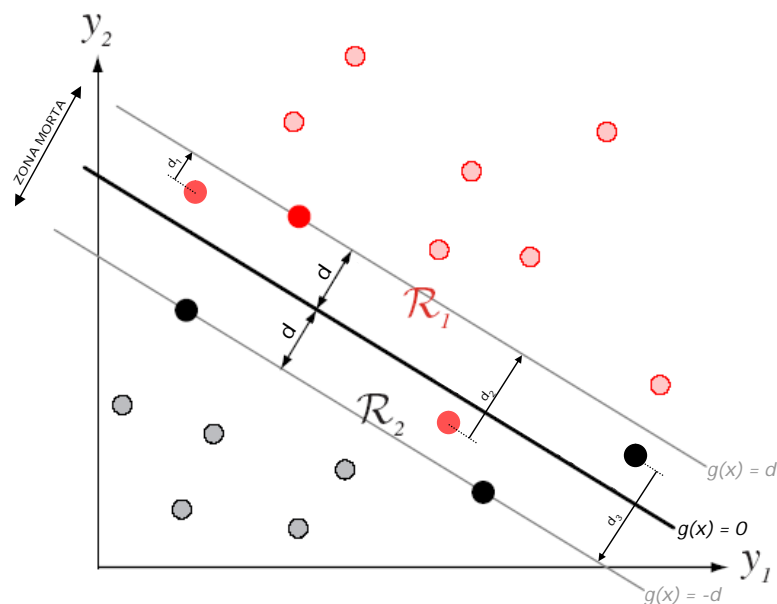


Figura 7.2. Zona morta d'ample $2d$ d'una funció discriminant $g(x) = 0$

La situació ideal seria aquella en què existís una separació de classes perfecta. Això, però, és difícil d'aconseguir, ja que, quasi sempre, alguna mostra estarà mal classificada per l'hiperplà. Com pot observar-se en la *Figura 7.2*, existeixen dues mostres mal classificades, una corresponent a la classe ω_1 i l'altra a la ω_2 . A més, també hi ha alguna mostra que, tot i estar ben classificada, es troba a la zona de risc.



Funció discriminant lineal per a més de dos grups

Per a poder discriminar entre i grups és necessari calcular i funcions discriminants lineals:

$$g_i(x) = w_i^T x + w_{0_i} \quad (\text{Eq. 7.3})$$

Denotarem:

$$g_i(x) = w_i^T x + w_{0_i} = a_i^T y \quad (\text{Eq. 7.4})$$

on:

$$y = \begin{bmatrix} 1 \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ x_1 \\ x_2 \\ \mathbf{M} \\ x_m \end{bmatrix} \quad a = \begin{bmatrix} w_0 \\ w \\ \mathbf{M} \\ w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ \mathbf{M} \\ w_m \end{bmatrix}$$

Llavors, cada vector de característiques x s'assigna al grup ω_i sempre que es compleixi:

$$g_i(x) > g_j(x) \quad \forall j \neq i \quad (\text{Eq. 7.5})$$

L'espai queda, doncs, dividit en i regions R_i convexes (veure *Figura 7.3*), a cadascuna de les quals el major discriminant és $g_i(x)$.

Dues regions contigües estan separades per una porció d'hiperplà H_{ij} definit per:

$$g_i(x) = g_j(x) \quad (\text{Eq. 7.6})$$

$$(a_i - a_j)^T y = 0 \quad (\text{Eq. 7.7})$$

En aquest cas, $(a_i - a_j)$ és normal a l'hiperplà H_{ij} .



L'objectiu és trobar aquests hiperplans per a poder separar l'espai segons el grup corresponent a cada punt.

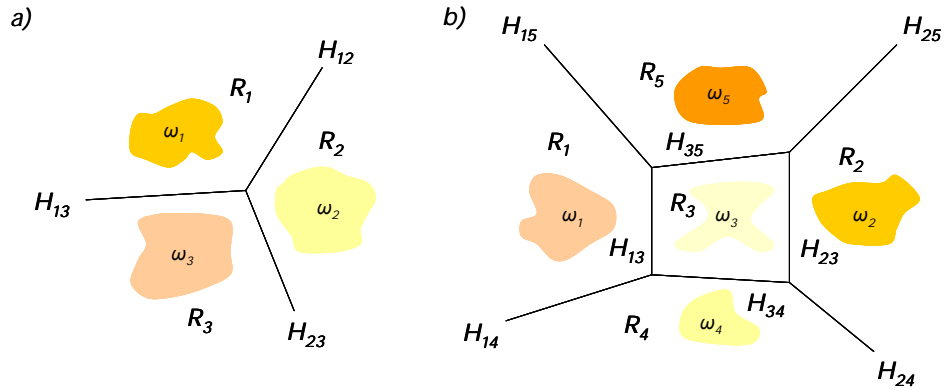


Figura 7.3. Hiperplans que separen les diferents regions en un problema amb:
 a) Tres grups a discriminar; b) Cinc grups a discriminar

La distància mínima de qualsevol punt de l'espai a l'hiperplà discriminant és:

$$d(x, H_{ij}) = \frac{a^T y}{\|a\|} = \frac{(a_i - a_j)^T y}{\|a_i - a_j\|} \tag{Eq. 7.8}$$

Si el que volguéssim fos calcular la distància mínima als hiperplans que defineixen la zona de risc, llavors l'expressió seria la següent:

$$d(x, H_{ij}^{+d}) = \frac{d - (a_i - a_j)^T y}{\|a_i - a_j\|} \tag{Eq. 7.9}$$

$$d(x, H_{ij}^{-d}) = \frac{d + (a_i - a_j)^T y}{\|a_i - a_j\|} \tag{Eq. 7.10}$$



7.2.2. Cas particular del projecte d'estudi

En el cas d'aquest projecte, els paràmetres corresponents són:

- El nombre de característiques estudiades del model és sis ($m = 6$): els temps de mecanitzat (t_{wa}, t_{wb}), els temps de càrrega i descàrrega del robot (t_{la}, t_{lb}) i els temps de tancament de les brides (t_{ca}, t_{cb}). Llavors, el vector de característiques i el vector pes són:

$$x^T = [t_{wa}, t_{wb}, t_{la}, t_{lb}, t_{ca}, t_{cb}]$$

$$w = [w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6]$$

i, per tant:

$$y = \begin{bmatrix} 1 \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ t_{wa} \\ t_{wb} \\ t_{la} \\ t_{lb} \\ t_{ca} \\ t_{cb} \end{bmatrix} \quad a = \begin{bmatrix} w_0 \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \end{bmatrix}$$

- El nombre de grups a discriminar és tres ($i = 3$), que correspon a les tres estratègies d'alimentació: *FM-I* ($i = 1$), *FIFO* ($i = 2$) i *CFO* ($i = 3$). Per tant, serà necessari calcular tres funcions discriminants lineals:

$$g_1(x) = a_1^T y \quad (\text{Eq. 7.11})$$

$$g_2(x) = a_2^T y \quad (\text{Eq. 7.12})$$

$$g_3(x) = a_3^T y \quad (\text{Eq. 7.13})$$

Llavors, existiran tres hiperplans, que vindran definits per:

$$g_1(x) = g_2(x) \Rightarrow (a_1 - a_2)^T y = 0 \quad (\text{Eq. 7.14})$$

$$g_1(x) = g_3(x) \Rightarrow (a_1 - a_3)^T y = 0 \quad (\text{Eq. 7.15})$$

$$g_3(x) = g_2(x) \Rightarrow (a_3 - a_2)^T y = 0 \quad (\text{Eq. 7.16})$$



El procediment a seguir serà:

1. Calcular les expressions dels tres hiperplans H_{ij} . Cada hiperplà és un discriminant entre dues classes; per tant, també pot denotar-se com g_{ij} .
2. Avaluar el punt x d'estudi per a cada discriminant g_{ij} . El punt pertanyerà a la classe ω_i si $g_{ij} > 0$ i a la classe ω_j si $g_{ij} < 0$. Com que els discriminants a calcular són g_{12} , g_{13} i g_{32} , els casos que s'han de donar per a què un punt pertanyi a cada classe són els observats en la *Taula 7.1*.

<i>POSSIBLES CASOS</i>	<i>ESTRATÈGIA ÒPTIMA</i>
$g_{12} > 0$ $g_{13} > 0$ $g_{32} > 0 \quad \text{ó} \quad g_{32} < 0$	<i>FM-I</i>
$g_{12} < 0$ $g_{13} > 0 \quad \text{ó} \quad g_{13} < 0$ $g_{32} < 0$	<i>FIFO</i>
$g_{12} > 0 \quad \text{ó} \quad g_{12} < 0$ $g_{13} < 0$ $g_{32} > 0$	<i>CFO</i>

Taula 7.1. Combinacions possibles dels discriminants per a cada tipus d'estratègia

Per al cas de la cel·la d'estudi, l'ample de la zona morta (d) és igual a vint-i-cinc. Aquest paràmetre va ésser determinat empíricament en treballs anteriors.



7.2.3. Càlcul del vector pes

Cada funció discriminant s'expressa en funció d'una sèrie de paràmetres, que són els components del vector pes. Aquests paràmetres s'han d'optimitzar de forma que es minimitzi el risc de classificar incorrectament les mostres. Però com pot quantificar-se el fet que una mostra s'hagi classificat erròniament?

Com ja s'ha vist, les mostres que es troben a la zona morta de l'hiperplà tenen un alt risc de no ésser classificades correctament. Per tant, aquest risc s'ha de reflectir a l'hora de realitzar el càlcul del vector pes. El que es fa és associar a cada mostra una certa pèrdua. La pèrdua de les mostres que es trobin al costat correcte de l'hiperplà i fora de la zona morta és nul·la; en canvi, la pèrdua de les mostres que es trobin dintre de la zona morta o de les mostres que s'hagin classificat incorrectament, és igual a la distància que les separa del seu hiperplà (referint-se a l'hiperplà que delimita la zona morta, és a dir, $g(x) = \pm d$). Un exemple seria el de la *Figura 7.2*, on hi ha tres mostres amb pèrdua no nul·la. Dues d'elles estan mal classificades; per tant, la seva pèrdua serà d_2 i d_3 . La tercera està al costat correcte de l'hiperplà, però dintre de la zona de risc; la seva pèrdua serà, doncs, d_1 .

Però la funció pèrdua no només s'ha d'avaluar segons la localització de cada mostra, sinó que també influeix la diferència de temps mort entre les diferents estratègies d'una mateixa mostra. Això és degut a què no és el mateix estudiar un punt on el temps mort existent és molt semblant entre dues estratègies, que estudiar-ne un on una estratègia produeix molt més temps mort que l'altra. En el primer cas, equivocar-se en la classificació comportarà un error en el càlcul menor que equivocar-se en el segon cas. Així doncs, la funció pèrdua ha de ser major com majors siguin les conseqüències d'una classificació errònia. Per tant, la funció pèrdua es ponderarà per a cada mostra segons la diferència de temps mort entre les estratègies.



L'objectiu serà, doncs, minimitzar aquesta funció pèrdua. La seva expressió, segons la mostra mal classificada, és la següent:

$$L_i[x] = \begin{cases} 0 & \text{si } (a_i - a_j)^T y \geq d \\ \frac{d - (a_i - a_j)y}{\|a_i - a_j\|} \cdot p(x) & \text{si } (a_i - a_j)^T y < d \end{cases} \quad (\text{Eq. 7.17})$$

$$L_j[x] = \begin{cases} 0 & \text{si } (a_i - a_j)^T y \leq -d \\ \frac{d + (a_i - a_j)y}{\|a_i - a_j\|} \cdot p(x) & \text{si } (a_i - a_j)^T y > -d \end{cases} \quad (\text{Eq. 7.18})$$

on $L_i[x]$ és la funció pèrdua associada a mostres amb millor estratègia i però:

- classificades com a mostres amb millor estratègia j
- classificades com a mostres amb millor estratègia i però situades en zona de risc.

$L_j[x]$ és la funció pèrdua associada a mostres amb millor estratègia j però:

- classificades com a mostres amb millor estratègia i
- classificades com a mostres amb millor estratègia j però situades en zona de risc.

$p(x)$ és el percentatge (en tant per u) de la diferència de temps mort entre estratègies.

Considerant $y > 0$ per a mostres que pertanyen a i i $-y > 0$ per a aquelles que pertanyen a j (en comptes de $y < 0$), la funció pèrdua pot expressar-se com:

$$L[x] = \begin{cases} 0 & \text{si } (a_i - a_j)^T y \geq d \\ \frac{d - (a_i - a_j)y}{\|a_i - a_j\|} \cdot p(x) & \text{si } (a_i - a_j)^T y < d \end{cases} \quad (\text{Eq. 7.19})$$

Aquesta és, finalment, la funció a minimitzar.



7.2.4. Implementació de l'anàlisi discriminant

L'anàlisi discriminant es realitzarà mitjançant el software *Matlab 6.5*.

Per a poder obtenir les expressions dels tres hiperplans però, primer és necessari *preparar* les dades adients. S'ha de crear un nou full d'*Excel* que contingui les dades corresponents a cadascun dels tres hiperplans: el nombre de mostres, el vector de característiques y i el vector de ponderació p .

Un cop es tenen totes les dades, s'han de copiar en arxius diferents per a facilitar la posterior lectura des del *Matlab*. Per tant, existiran tres arxius que contindran el nombre de mostres de cadascun dels tres hiperplans (*M12.xls*, *M13.xls*, *M32.xls*), tres arxius que contindran els vectors y (*Y12.xls*, *Y13.xls*, *Y32.xls*) i tres més que contindran els vectors p (*P12.xls*, *P13.xls*, *P32.xls*).

La implementació amb *Matlab* s'ha realitzat mitjançant la creació de tres funcions (*RiscTempsMort12*, *RiscTempsMort13*, *RiscTempsMort32*), cadascuna de les quals s'encarrega de calcular la funció pèrdua associada a un hiperplà. Llavors, mitjançant una rutina d'optimització, es calcula el vector pes w , que és el que determina els coeficients dels tres hiperplans discriminants.

A continuació es detalla la rutina d'optimització emprada i la funció *RiscTempsMort12*. Les altres dues funcions són idèntiques a aquesta, però canviant el nom dels arxius d'*Excel* que contenen les dades.



∅ Rutina d'optimització

<code>d = 25</code>	<i>/*Definició de l'ample de la zona morta</i>
<code>w012=[-400,-400,100,100,10,10,1440]</code>	<i>/*Valor estimat del vector w pel qual comença l'optimització per al càlcul d'H₁₂</i>
<code>w12=fminunc('RiscTempsMort12',w012)</code>	<i>/*Càlcul del vector w que minimitza el risc associat a l'hiperplà H₁₂</i>
<code>w013=[-25,-30,90,90,40,10,1440]</code>	<i>/*Valor estimat del vector w pel qual comença l'optimització per al càlcul d'H₁₃</i>
<code>w13=fminunc('RiscTempsMort13',w013)</code>	<i>/*Càlcul del vector w que minimitza el risc associat a l'hiperplà H₁₃</i>
<code>w032=[-27,-30,90,90,40,10,1440]</code>	<i>/*Valor estimat del vector w pel qual comença l'optimització per al càlcul d'H₃₂</i>
<code>w32=fminunc('RiscTempsMort32',w032)</code>	<i>/*Càlcul del vector w que minimitza el risc associat a l'hiperplà H₃₂</i>

∅ Funció RiscTempsMort12

```
function R=RiscTempsMort12(w)
    % Declaració del nombre de mostres, el vector de característiques i el vector ponderació
    M=xlsread('M12.xls');
    y=xlsread('Y12.xls');
    p=xlsread('P12.xls');
    % Inicialització del risc a zero
    R=0;
    % Declaració de l'ample de la zona morta
    d=25;
    % Càlcul de la funció risc (es realitza per a cada mostra)
    for i=1:M
        % Càlcul de la funció pèrdua (distància a l'hiperplà * ponderació de la mostra)
        z=((d-w*y(i,:))/sqrt(w(1)^2+w(2)^2+w(3)^2+w(4)^2+w(5)^2+w(6)^2)) * p(i);
        % Actualització de la funció risc
        if z>0
            R=R+z;
        end
    end
    % Visualització de w i de la funció risc mitjana
    w
    R=R/M
return
```



7.3. RESULTATS

7.3.1. Layout lineal

Mitjançant l'aplicació del mètode de l'anàlisi discriminant lineal per a la cel·la de producció amb layout lineal, s'obtenen els següents tres hiperplans:

$$\begin{aligned} H_{12}: \quad g_{12} = & -217.9t_{wa} - 217.7t_{wb} + 753.2t_{la} + \\ & + 761.3t_{lb} + 193.5t_{ca} + 193t_{cb} + 1447.7 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.20})$$

$$\begin{aligned} H_{13}: \quad g_{13} = & -27.5t_{wa} - 32.4t_{wb} + 89.5t_{la} + \\ & + 89.4t_{lb} + 39.7t_{ca} + 9.7t_{cb} + 1440 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.21})$$

$$\begin{aligned} H_{32}: \quad g_{32} = & -26.2t_{wa} - 29.2t_{wb} + 90.2t_{la} + 90.2t_{lb} + \\ & + 40.1t_{ca} + 10.1t_{cb} + 1440 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.22})$$

Llavors, mitjançant l'avaluació d'aquests discriminants en els paràmetres d'estudi desitjats, es pot conèixer, directament, quina és la millor seqüència d'alimentació de les màquines.

Com ja s'ha comentat, cada hiperplà té associat una pèrdua, degut a què la discriminació no és perfecta. És a dir, hi ha algunes mostres que l'hiperplà no classifica correctament. Aquesta pèrdua associada als hiperplans anteriors és la següent:

$$H_{12}: \quad R_{12} = 0.0044 \quad (\text{Eq. 7.23})$$

$$H_{13}: \quad R_{13} = 0.0076 \quad (\text{Eq. 7.24})$$

$$H_{32}: \quad R_{32} = 0.0136 \quad (\text{Eq. 7.25})$$



La pèrdua de cada hiperplà és mínima i, per tant, la classificació de les mostres no presenta gaire error. La discriminació serà, doncs, correcta en quasi tots els casos.

A continuació es presenta un exemple per a facilitar la comprensió. Suposem que es vol conèixer quina és la millor estratègia d'alimentació per a la situació de la *Taula 7.2*.

$t_{wa} = 195 \text{ s}$	$t_{la} = 36 \text{ s}$	$t_{ca} = 22 \text{ s}$
$t_{wb} = 217 \text{ s}$	$t_{lb} = 50 \text{ s}$	$t_{cb} = 24 \text{ s}$

Taula 7.2. Valors dels paràmetres per a la situació de l'exemple

Si s'avaluen els tres discriminants per a aquesta situació, els valors obtinguts són:

$$g_{12} = -14214.5 < 0 \quad g_{13} = -2155.1 < 0 \quad g_{32} = -1123.6 < 0$$

Comparant els resultats obtinguts amb els diferents casos presents en la *Taula 7.1*, es conclou que, per aquesta situació, la millor estratègia d'alimentació és la *FIFO*.

Si es realitzés la simulació corresponent a aquesta situació, els resultats que s'obtindrien serien els següents:

Temps mort corresponent a l'estratègia FM-I = 0.80%

Temps mort corresponent a l'estratègia FIFO = 0.02%

Temps mort corresponent a l'estratègia CFO = 0.04%

A partir d'aquests resultats es dedueix que la millor seqüència és la *FIFO*. Per tant, es confirma que la classificació realitzada amb l'anàlisi discriminant ha estat correcta.



7.3.2. Layout circular

Per al cas d'estudiar la cel·la de producció amb un layout circular, els discriminants obtinguts a partir dels resultats de les simulacions són els següents:

$$\begin{aligned} H_{12}: \quad g_{12} = & -28.6t_{wa} - 28.6t_{wb} + 100.4t_{la} + 100.4t_{lb} + \\ & + 0.3t_{ca} + 0.1t_{cb} + 1440 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.26})$$

$$\begin{aligned} H_{13}: \quad g_{13} = & -27.9t_{wa} - 27.9t_{wb} + 100.6t_{la} + 100.6t_{lb} + \\ & + 0.3t_{ca} + 0.1t_{cb} + 1440 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.27})$$

$$\begin{aligned} H_{32}: \quad g_{32} = & -28.8t_{wa} - 28.8t_{wb} + 100.3t_{la} + 100.3t_{lb} + \\ & + 0.3t_{ca} + 0.1t_{cb} + 1440 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.28})$$

En aquest cas, la pèrdua associada als hiperplans és:

$$H_{12}: \quad R_{12} = 0.0001 \quad (\text{Eq. 7.29})$$

$$H_{13}: \quad R_{13} = 0.0025 \quad (\text{Eq. 7.30})$$

$$H_{32}: \quad R_{32} = 0.0021 \quad (\text{Eq. 7.31})$$

Com en el cas de layout lineal, la pèrdua de cada hiperplà és molt petita i, per tant, pot considerar-se que els discriminants són vàlids per a realitzar la classificació de les diferents situacions.

Si s'estudia el mateix exemple que en el cas anterior (veure *Taula 7.2*), els resultats són els següents:

$$g_{12} = -1699.8 < 0 \quad g_{13} = -1394.2 < 0 \quad g_{32} = -1790.8 < 0$$

I, per tant, la millor estratègia és, igual que en el cas anterior, la *FIFO*.



CONCLUSIONS

En el present projecte s'ha analitzat, per a una cel·la robotitzada amb quatre màquines treballant en paral·lel, la millor estratègia d'alimentació possible, intentant optimitzar el temps mort sofert per les diferents màquines.

Per a reduir aquest temps mort, s'han estudiat dos possibles layouts de la cel·la: un layout lineal, que és l'existent al sistema real, i un layout circular. Alhora, s'han analitzat tres possibles estratègies d'alimentació: la *FM-I*, la *FIFO* i la *CFO*.

Com a resultat dels valors obtinguts a partir de la realització d'un conjunt de simulacions, s'ha pogut observar quina era la millor seqüència d'alimentació en funció dels paràmetres del sistema.

Per a poder quantificar aquesta anàlisi, s'han calculat tres funcions discriminants que permeten, a partir dels valors dels paràmetres de la cel·la, conèixer quina és la millor estratègia d'entre les tres possibles.

Els resultats obtinguts reflecteixen que les estratègies *FIFO* i *CFO* donen valors molt semblants. Entre ambdues, no hi ha diferències significatives. Per tant, es conclou que, entre les dues, la millor a l'hora d'aplicar-la a la cel·la real és la *FIFO*. Per a què la *CFO* pogués aplicar-se, es necessitaria un rellotge i operacions numèriques, ja que aquesta estratègia es basa en càlculs numèrics; això implicaria la modificació del software existent. Per tant, s'hauria de realitzar una despesa innecessària, ja que amb la *FIFO*, que només es basa en senyals binaris, s'obtenen resultats pràcticament idèntics.

Per tant, a efectes pràctics, la discriminació només es realitzaria entre les estratègies *FM-I* i *FIFO*. En aquest cas, seria la funció discriminant g_{12} la que permetria conèixer, per a uns valors concrets dels paràmetres del sistema, la seqüència òptima.



Un altre aspecte a considerar és la millora que aporta el canvi de layout del sistema. Utilitzant un layout circular en comptes de lineal, s'aconsegueix reduir, en molts dels casos, els temps morts de les màquines. En els casos en què això no succeeix, els temps morts són semblants en ambdós layouts. Per tant, el layout circular o millora o manté igual el paràmetre que pretén optimitzar-se.



BIBLIOGRAFIA

DAVID KELTON, W. [et al.]. *Simulation with Arena*. McGraw-Hill, 1998.

DICESARE, F. [et al.]. *Practice of Petri Nets in manufacturing*. Chapman & Hall, 1993.
ISBN: 0-412-41230-6.

DUDA, R. O. [et al.]. *Pattern Classification*. John Wiley & Sons, Segona edició, 2000.

PRAT, A. [et al.]. *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad*. Edicions UPC, 1997.
ISBN: 84-8301-222-7.

SUÀREZ, R., ROSELL, J. *Looking for Optimum Feeding Sequences in Manufacturing Cell*.
2001 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning ISATP'01, Fukuoka,
Japó, Maig 2001, p. 256-261.





ANNEXOS





A. APROXIMACIÓ AL SOFTWARE ROCKWELL ARENA 7.0

A.1. INTRODUCCIÓ A L'ARENA

El software *Rockwell Arena* és un dels molts programes que existeixen al mercat per a modelar i simular sistemes basats en successos discrets. És un programa que facilita a l'usuari el procés d'elaboració, validació i experimentació de models mitjançant l'ús d'eines gràfiques, arribant, fins i tot, a la simulació visual del procés.

Per a realitzar les diferents simulacions necessàries per a la resolució del projecte s'utilitzarà l'última versió existent del software *Rockwell Arena*: la versió 7.0.

L'*Arena* permet construir el model mitjançant un conjunt d'elements (entitats, atributs, recursos, cues, etcètera) i mitjançant la lògica del sistema (variables, funcions, taules, etcètera). El resultat final és un tipus de diagrama de blocs que integra tota la informació del model i, mitjançant el qual, és possible realitzar les simulacions necessàries i obtenir els informes de resultats desitjats sobre l'evolució del sistema.

Així mateix, també permet construir un *model visual*, vinculant-lo a les variables i condicions definides al diagrama de blocs, de forma que pugui observar-se el desenvolupament de la simulació del procés.



A.2. BLOCS DE L'ARENA

Per a construir els models en *Arena* és necessari l'ús dels anomenats mòduls. Aquests estan classificats mitjançant uns panells segons la seva finalitat. Existeixen tres panells bàsics, que són els següents:

- È *Basic Process Panel*, on es troben els blocs bàsics per a la construcció de models.
- È *Advanced Process Panel*, on hi ha els blocs per a modelar lògiques més complexes.
- È *Advanced Transfer Panel*, on es recullen els blocs destinats a implementar els transports.

A més, dintre de cada panell existeixen dos tipus de mòduls, uns anomenats *Flowchart Module* i els altres *Data Module*:



Flowchart Module: són mòduls que es col·loquen a la finestra de treball i que es connecten per formar un diagrama que representi la lògica del procés.



Data Module: són mòduls que no es col·loquen a la finestra de treball, sinó que s'editen mitjançant una interfície semblant a la d'un full de càlcul.

A continuació es presentarà una breu descripció de tots aquells mòduls utilitzats en el model de la cel·la de producció. Aquests mòduls són importants per a poder entendre com s'ha modelat el sistema.



A.2.1. Basic process panel

A.2.1.1. Flowchart Modules



Create

Representa el punt d'entrada de les entitats al model. El bloc crea les entitats que s'especifiquin de forma individual o en lots. També permet definir el temps que transcorre entre cada arribada.



Dispose

Representa el punt de sortida de les entitats.



Process

És el principal bloc de procés. S'utilitza per a definir una acció que duri un cert temps. En ell s'especifica el temps que dura l'activitat i també permet demanar i/o alliberar un determinat recurs que sigui necessari per a realitzar l'acció.



Decide

Permet realitzar decisions en el model. Les decisions poden basar-se en probabilitats o en alguna condició.



Batch

Serveix per a unir un determinat nombre d'entitats de forma permanent o temporal.



Separate

Serveix per a duplicar una entitat o per a separar un conjunt d'entitats unides mitjançant un bloc *BATCH*.



Assign

Permet assignar nous valors a variables, atributs, tipus d'entitats, dibuixos de les entitats i a altres paràmetres del sistema.



Record

Permet guardar diferents estadístiques del model (pot, per exemple, ésser utilitzat com a comptador).



A.2.1.2. Data Modules



Entity

Defineix els tipus d'entitats i el seu dibuix inicial.



Resource

Defineix els recursos del model, la seva capacitat i el seu estat inicial.



Variable

Defineix les diferents variables del sistema, la seva dimensió i el seu valor inicial.



Set

Defineix els diferents grups del sistema, com els recursos (per exemple, pot existir un set anomenat *Màquines* que inclogui totes les màquines del sistema).



A.2.2. Advanced process panel

A.2.2.1. Flowchart Modules



Delay

Quan una entitat arriba a aquest mòdul, l'entitat hi roman durant un cert temps (especificat al mòdul).



Hold

Manté l'entitat al bloc fins que es rebi un determinat senyal, fins que una determinada condició es compleixi o es manté de forma indefinida.



Signal

Bloc que envia als blocs *HOLD* un senyal determinat.



ReadWrite

S'utilitza per a llegir dades d'un fitxer extern i assigna aquestes dades a variables, atributs o altres expressions.



Seize

S'utilitza per a demanar un determinat recurs.



Release

Allibera un recurs que anteriorment ha estat demanat per un bloc *SEIZE*.








Search

Bloc que busca una determinada condició en una cua o variable.





A.2.2.2. Data Modules

- 
 Advanced Set
- Serveix per definir *sets* de cues, de magatzems i d'altres *sets*, així com els seus membres.
- 
 Expression
- Defineix expressions i els seus valors associats.
- 
 File
- Mitjançant aquest mòdul es defineixen els arxius externs llegits amb el bloc *READWRITE*.
- 
 StateSet
- Defineix els estats dels diferents recursos del sistema.
- 
 Statistic
- Defineix estadístiques addicionals que volen obtenir-se del model.

A.2.3. Advanced transfer panel

A.2.3.1. Flowchart Modules

- 
 Route
- Transfereix una entitat a una estació especificada.
- 
 Station
- Serveix per a definir una estació o un *set* d'estacions.



B. MODEL DEL SISTEMA EN ARENA

L'estructura general del model és la mateixa per a les tres estratègies d'estudi (*FM-I*, *FIFO*, *CFO*) i per als dos layout. A continuació es presentarà la descripció del model *FIFO* amb layout lineal; després es mostraran els canvis que existeixen entre aquest model i la resta.

B.1. MODEL FIFO AMB LAYOUT LINEAL

B.1.1. Definició dels Data Modules

Per a poder entendre els blocs que componen l'estructura del model, primer s'han de conèixer els paràmetres definits als *Data Modules*, sobretot els corresponents a les variables i als recursos que intervenen en el sistema. A continuació es mostraran com s'han definit tots els *Data Modules* abans descrits.

B.1.1.1. ENTITY

Només s'ha considerat un tipus d'entitat al model (veure *Figura B.1*), que vindrà representada pel dibuix de la *Figura B.2*.

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Entity 1	Picture.Truck	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura B. 1. Data Module ENTITY



Figura B. 2. Imatge associada a l'entitat del model

Aquesta entitat és la que representa al robot movent-se d'una màquina a una altra; per tant, serà la que es visualitzarà a la part del model referent a l'animació del robot. A la resta del sistema, aquesta imatge es canviarà per una altra segons la màquina a la qual estigui associada l'entitat. Això es detallarà més endavant.



B.1.1.2. RESOURCE

Es defineixen quatre tipus de recursos diferents (veure *Figura B.3*):

- Ø **Les màquines:** tot i que només s'ha utilitzat el model per a simular la cel·la de producció amb quatre màquines, s'ha considerat adient preparar el model per a futures simulacions amb més màquines. Per tant, s'han definit vuit recursos màquina, que són *M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8*.
- Ø **El robot:** lògicament s'ha definit un recurs que representi el robot que ha d'alimentar les màquines. Se l'ha anomenat *Robot*.
- Ø **L'operari:** el recurs operari és l'encarregat d'assistir a les màquines en cas d'avaría. Se l'ha anomenat *Operari*.
- Ø **Els palets:** la definició d'aquest recurs és simplement per a millorar l'animació. S'ha definit, per a cada màquina, un palet intern (anomenat *Palet1_M...*) i un palet extern (anomenat *Palet2_M...*).

A més, també s'ha definit la capacitat de cada recurs i el *set* que representa els seus possibles estats.

Resource - Basic Process										
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Initial State	Failures	Report Statistics
1	M1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
2	M2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
3	M3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
4	M4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
5	M5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
6	M6	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
7	M7	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
8	M8	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_M		0 rows	✓
9	Robot	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_R	Lliure	0 rows	✓
10	Operari	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_O	Lliure	0 rows	✓
11	Palet1_M1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
12	Palet1_M2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
13	Palet1_M3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
14	Palet1_M4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
15	Palet1_M5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
16	Palet1_M6	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
17	Palet1_M7	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
18	Palet1_M8	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P1		0 rows	✓
19	Palet2_M1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓
20	Palet2_M2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓
21	Palet2_M3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓
22	Palet2_M4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓
23	Palet2_M5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓
24	Palet2_M6	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓
25	Palet2_M7	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓
26	Palet2_M8	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	Estats_P2		0 rows	✓

Figura B. 3. Data Module RESOURCE



B.1.1.3. VARIABLE

Les variables necessàries són les observades en la *Figura B.4*.

Variable - Basic Process						
	Name	Rows	Columns	Clear Option	Initial Values	Report Statistics
1	Num_Maq			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
2	Tipus_Torn			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
3	TMec	1	2	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
4	TCanviEina			System	0 rows	<input type="checkbox"/>
5	TVerificacio			System	0 rows	<input type="checkbox"/>
6	TRotacio			System	0 rows	<input type="checkbox"/>
7	TCarregaPalet	1	2	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
8	TOberturaBrides	1	2	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
9	TTancamentBrides	1	2	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
10	TViatge	1	8	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
11	Posicions_Viatge			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
12	Posicio_Robot			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
13	CanviEina	2	8	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
14	VerificacioEina	2	8	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
15	FiAvaria	2	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
16	Temps_Fi_Mecanitzat	1	8	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
17	Num_Entitats			System	1 rows	<input type="checkbox"/>

Figura B. 4. Data Module VARIABLE (FIFO)

Algunes d'aquestes variables són vectors, les dimensions dels quals s'expressen mitjançant les columnes *Rows* i *Columns*. Les components dels vectors indiquen si la variable es refereix a una màquina o un palet concret. Per exemple, *TMec* és un vector d'una fila i dues columnes; la primera component del vector indica el temps de mecanitzat del palet *A* i la segona del palet *B*.

A més de les variables pròpies del model (temps de mecanitzat *TMec*, temps per a canviar les eines *TCanviEina*, temps per a verificar les eines *TVerificacio*, temps de rotació dels palets *TRotacio*, temps per a la càrrega i descàrrega del palet extern *TCarregaPalet*, temps per a l'obertura de les brides *TOberturaBrides*, temps per al tancament de les brides *TTancamentBrides*, temps de desplaçament del robot *TViatge*), també es defineixen variables per a controlar el correcte funcionament del sistema.



Aquestes variables són: *Num_Maq*, que indica el nombre de màquines; *Tipus_Torn*, que indica quina estratègia se simula; *Posicions_Viatge* i *Posicio_Robot*, que serveixen per a calcular les posicions que ha de recórrer el robot; *CanviEina*, *VerificacioEina* i *FiAvaria*, que indiquen si s'han de canviar les eines, si s'han de verificar o si ja s'ha acabat l'avaria; *Temps_Fi_Mecanitzat*, per saber en quin instant acabarà el mecanitzat; i *Num_Entitats*, per a automatitzar la creació d'entitats al model segons el nombre de màquines.

A més, mitjançant aquest *Data Module* es poden inicialitzar les variables que hagin de tenir un valor determinat.

B.1.1.4. SET

Mitjançant el mòdul Set (veure *Figura B.5*) es defineixen tres conjunts de recursos i un conjunt de comptadors:

- Ø **Maquines:** agrupa les vuit màquines definides al mòdul Recursos.
- Ø **Palet1 i Palet2:** cadascun agrupa els vuit palets definits al mòdul Recursos.
- Ø **Produccio_Maquina:** agrupa els comptadors que s'utilitzen per a calcular la producció de cadascuna de les vuit màquines.

Set - Basic Process			
	Name	Type	Members
1	Maquines	Resource	8 rows
2	Palet1	Resource	8 rows
3	Palet2	Resource	8 rows
4	Produccio_Maquina	Counter	8 rows

Figura B. 5. Data Module SET



B.1.1.5. ADVANCED SET

Mitjançant aquest mòdul (veure *Figura B.6*) es defineix el conjunt **Estacions**, que engloba les vuit estacions corresponents a cada màquina. Aquestes estacions, anomenades *Estacio_1*, *Estacio_2*, etcètera, són necessàries per a l'animació del robot.

Advanced Set - Advanced Process			
	Name	Set Type	Members
1	Estacions	Other	8 rows

Figura B. 6. Data Module ADVANCED SET

B.1.1.6. EXPRESSION

Amb aquest mòdul (veure *Figura B.7*) es defineix la freqüència de canvi d'eina, que segueix una distribució uniforme entre 1800 i 9000: $UNIF(1800,9000)$.

Expression - Advanced Process				
	Name	Rows	Columns	Expression Values
1	FreqCanviEina			1 rows

Figura B. 7. Data Module EXPRESSION

B.1.1.7. FILE

Mitjançant el mòdul *File* (veure *Figura B.8*) es defineixen els arxius externs dels quals es llegeix informació en el model. Aquests arxius es detallaran més endavant. També s'especifica què ha de fer el programa un cop hagi llegit l'arxiu i un cop comenci una nova rèplica (iniciar l'arxiu des del principi o iniciar-lo des del punt on s'hagi acabat de llegir en l'anterior rèplica).

File - Advanced Process						
	Name	Access Type	Operating System File Name	End of File Action	Initialize Option	Recordsets
1	Palets_Inicials1	Microsoft Excel (*.xls)	C:\PFC\Palets_Inicials1.xls	Rewind	Rewind	1 rows
2	Palets_Inicials2	Microsoft Excel (*.xls)	C:\PFC\Palets_Inicials2.xls	Rewind	Rewind	1 rows
3	Variables_Sistema	Microsoft Excel (*.xls)	C:\PFC\Variables_Sistema.xls	Dispose	Hold	1 rows

Figura B. 8. Data Module FILE



B.1.1.8. STATE SET

Amb el mòdul State Set (veure *Figura B.9*) es defineixen els diferents estats dels recursos: *Estats_M* per a les màquines, *Estats_R* per al robot, *Estats_O* per a l'operari, *Estats_P1* per al palet extern i *Estats_P2* per al palet intern.

StateSet - Advanced Process		
	Name	States
1	Estats_M	7 rows
2	Estats_R	2 rows
3	Estats_O	3 rows
4	Estats_P1	12 rows
5	Estats_P2	10 rows

Figura B. 9. Data Module STATE SET

Els diferents estats són:

- **Estats_M:**

	State Name	AutoState or Failure	
1	Rotacio_Palets		<i>Temps durant el qual gira la plataforma</i>
2	Ocupada_A		<i>Temps en què s'està mecanitzant el palet A</i>
3	Ocupada_B		<i>Temps en què s'està mecanitzant el palet B</i>
4	Avariada_A		<i>Temps en què la màquina està avariada degut a les eines A</i>
5	Avariada_B		<i>Temps en què la màquina està avariada degut a les eines B</i>
6	Lliure	IDLE	<i>Temps mort degut a l'espera del robot</i>
7	Inactiva	INACTIVE	<i>Temps d'inactivitat degut a l'espera de l'operari</i>

- **Estats_R:**

	State Name	AutoState or Failure	
1	Lliure	IDLE	<i>Robot lliure</i>
2	Ocupat	BUSY	<i>Robot ocupat</i>

- **Estats_O:**

	State Name	AutoState or Failure	
1	Lliure	IDLE	<i>Operari lliure</i>
2	Ocupat_A		<i>Operari assistint a les eines A</i>
3	Ocupat_B		<i>Operari assistint a les eines B</i>



- **Estats_P1:**

	State Name	AutoState or Failure	
1	ANova		Fi del tancament de les brides d'una peça nova
2	ANovaCanvi		Carregant peça nova – Descarregant peça semi-acabada
3	ASemi		Peça semi-acabada
4	ASemiBrides		Obrint brides d'una peça semiacabada
5	ASemiRobot		Fi de l'obertura de les brides d'una peça semi-acabada
6	ANovaBrides		Tancant brides d'una peça nova
7	BSemi		Fi del tancament de les brides d'una peça semi-acabada
8	BSemiCanvi		Carregant peça semi-acabada – Descarregant peça acabada
9	BAcabada		Peça acabada
10	BAcabadaBrides		Obrint brides d'una peça acabada
11	BAcabadaRobot		Fi de l'obertura de les brides d'una peça acabada
12	BSemiBrides		Tancant brides d'una peça semi-acabada

- **Estats_P2:**

	State Name	AutoState or Failure	
1	ANova		Peça nova
2	ANovaMec		Mecanitzant peça nova
3	ASemi		Fi del mecanitzat d'una peça semi-acabada
4	ACanvi		Canvi de les eines A
5	AVerificacio		Verificació de les eines A
6	BSemi		Peça semi-acabada
7	BSemiMec		Mecanitzant peça semi-acabada
8	BAcabada		Fi del mecanitzat d'una peça acabada
9	BCanvi		Canvi de les eines B
10	BVerificacio		Verificació de les eines B

B.1.1.9. STATISTIC

Amb aquest mòdul (veure *Figura B.10*) s'extreu la freqüència de cadascun dels estats en els que s'han trobat les màquines, el robot i l'operari.

Statistic - Advanced Process							
	Name	Type	Frequency Type	Resource Name	Report Label	Output File	Categories
1	FM1	Frequency	State	M1	FM1		0 rows
2	FM2	Frequency	State	M2	FM2		0 rows
3	FM3	Frequency	State	M3	FM3		0 rows
4	FM4	Frequency	State	M4	FM4		0 rows
5	FM5	Frequency	State	M5	FM5		0 rows
6	FM6	Frequency	State	M6	FM6		0 rows
7	FM7	Frequency	State	M7	FM7		0 rows
8	FM8	Frequency	State	M8	FM8		0 rows
9	FR	Frequency	State	Robot	FR		0 rows
10	FO	Frequency	State	Operari	FO		0 rows

Figura B. 10. Data Module STATISTIC



B.1.2. Estructura del model

L'estructura del model la formen quatre submodels (veure *Figura B.11*).



Figura B. 11. Estructura bàsica del model

B.1.2.1. INICIALITZACIÓ VARIABLES

Aquest submodel (veure *Figura B.12*) és l'encarregat d'inicialitzar les variables del sistema mitjançant la lectura d'aquestes variables d'un fitxer extern d'Excel.

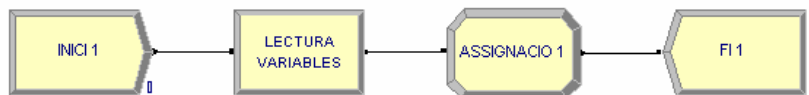


Figura B. 12. Submodel INICIALITZACIÓ VARIABLES

El bloc *Create INICI 1* crea una única entitat en l'instant zero. Aquesta entitat arriba al bloc *ReadWrite LECTURA VARIABLES* i llegeix, de l'arxiu *Variables_Sistema.xls* els valors de: *Num_Maq*, *Tipus_Torn*, *TMec(1,1)*, *TMec(1,2)*, *TCanviEina*, *TVerificacio*, *TRotacio*, *TCarregaPalet(1,1)*, *TCarrega-Palet(1,2)*, *TOberturaBrides(1,1)*, *TOberturaBrides(1,2)*, *TTancamentBrides(1,1)*, *TTancamentBrides(1,2)*, *TViatge(1,1)*, *TViatge(1,2)*, *TViatge(1,3)*, *TViatge(1,4)*, *TViatge(1,5)*, *TViatge(1,6)*, *TViatge(1,7)*, *TViatge(1,8)*. D'aquesta forma, segons els paràmetres introduïts a l'arxiu extern, se simularà el sistema amb uns valors de les variables o uns altres.

L'assignació *ASSIGNACIO 1* assigna a la variable *Num_Entitats* el valor $2 \cdot \text{Num_Maq}$. Aquesta variable s'utilitzarà per a inicialitzar la resta de submodels.

Finalment, un cop inicialitzades les variables, l'entitat creada s'elimina amb el bloc *Dispose FI 1*.



B.1.2.2. MÀQUINES

Aquest és el submodel principal, on es defineixen totes les accions que es produeixen a la cel·la real. També inclou els blocs que serveixen per a calcular la producció i els estats de les màquines, del robot i de l'operari.

La idea del model és crear dues entitats per a cada màquina; una d'aquestes entitats representarà la peça situada en el palet intern i l'altra la del palet extern. Per tant, cada màquina tindrà dues entitats associades a ella. Aquesta associació es realitza mitjançant l'assignació d'un atribut, anomenat *Maquina_Associada*, a cada entitat.

Per a poder diferenciar entre l'entitat del palet intern i la del palet extern s'utilitza un altre atribut, anomenat *Mecanitzat?*. Si *Mecanitzat?* és igual a zero és perquè l'entitat encara no s'ha mecanitzat i, per tant, pertany al palet extern; si és igual a u, pertany a l'intern.

A més d'aquests dos atributs, n'existeix un tercer per a diferenciar entre peces de tipus *A* i peces de tipus *B*. Aquest atribut s'anomena *Tipus_Palet*; si és igual a u és que és de tipus *A* i si val dos és que és de tipus *B*.

Per a facilitar la comprensió de l'evolució del sistema, s'utilitzen diferents imatges per a les entitats segons la màquina a la que estan associades:

● Màquina 1; ● Màquina 2; ● Màquina 3; ● Màquina 4

El canvi d'imatge d'una entitat es realitza mitjançant l'atribut *Entity.Picture*, que és un atribut associat a tots els models d'*Arena*.



El submodel *Màquines* és el que s'observa en la *Figura B.13*.

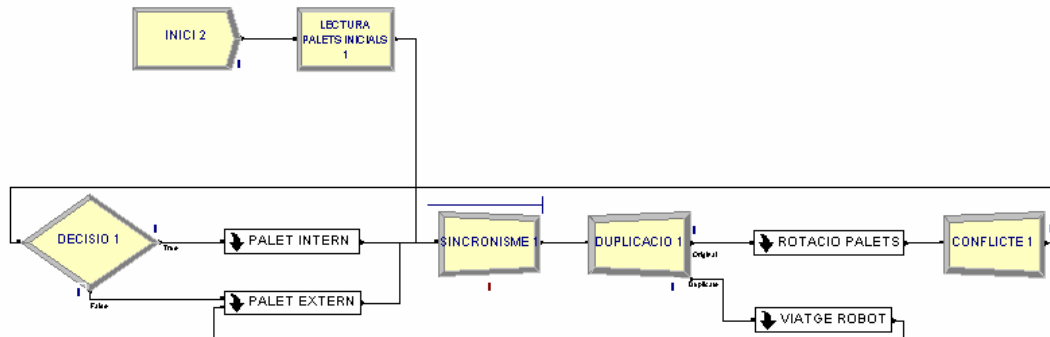


Figura B. 13. Submodel MÀQUINES (FIFO)

El bloc **INICI 2** és l'encarregat de crear dues entitats per a cada màquina. Aquesta creació s'inicia en l'instant *u*, creant les dues entitats associades a la màquina *M1*. Posteriorment, i cada cinquanta segons, es van inicialitzant la resta de màquines. Per tant, cada cinquanta segons existeix una arribada de dues entitats.

Les entitats creades arriben al bloc **LECTURA PALETS INICIALS 1**. És en aquest bloc on s'assignen els valors dels atributs *Tipus_Palet*, *Maquina_Associada*, *Mecanitzat?* i *Entity.Picture* mitjançant la lectura dels valors d'un fitxer extern anomenat *Palets_Inicials1.xls*.

A partir d'aquest moment, les entitats s'incorporen a l'estructura bàsica del sistema. Aquesta estructura està formada per un bloc *Batch*, anomenat **SINCRONISME 1**, que sincronitza les entitats procedents dels submodels **PALET INTERN** i **PALET EXTERN**. Aquesta sincronització representa que els dos palets d'una mateixa màquina estan llestos per a ésser rotats. Llavors, l'entitat que surt del bloc de sincronització es duplica; una de les entitats inicia la rotació (submodel **ROTACIÓ PALETS**) i l'altra es col·loca a la cua del robot i s'espera fins que el robot realitzi el viatge a la màquina associada a l'entitat (submodel **VIATGE ROBOT**).



Un cop ha finalitzat la rotació dels palets, les dues entitats que s'havien unit mitjançant el bloc **SINCRONISME 1** se separen de nou amb el bloc *Separate CONFLICTE 1*. Llavors, mitjançant el bloc *Decide DECISIO 1* s'avalua quina de les dues entitats ja ha estat mecanitzada i quina no, preguntant si l'atribut *Mecanitzat?* és igual a zero. Si ho és, l'entitat no ha estat mecanitzada i, per tant, li correspon situar-se en el palet intern (entra en el submodel *PALET INTERN*); si no és igual a zero, vol dir que és una entitat ja mecanitzada i que li correspon col·locar-se en el palet extern (entra en el submodel *PALET EXTERN*). Un cop han acabat totes les accions a realitzar-se en ambdós palets, les entitats surten dels corresponents models i se sincronitzen, una altra vegada, en el bloc **SINCRONISME 1**.

A continuació es detallaran els submodels existents a *Màquines*. A partir d'ara, tots els blocs que només facin referència a l'animació del model estaran marcats mitjançant un requadre. D'aquesta forma poden diferenciar-se clarament els blocs imprescindibles per al correcte funcionament del model dels blocs que, bàsicament, només serveixen per a millorar l'animació.

ROTACIÓ PALETS

Bàsicament, el submodel (veure *Figura B.14*) està format per un bloc *Process* anomenat **ROTACIO PALETS**, que és el que representa el temps de rotació de la plataforma giratòria (*TRotacio*). El bloc **ASSIGNACIO 4** assigna el valor zero a un atribut anomenat *Atribut_Auxiliar*; aquest atribut serà d'utilitat més endavant. La resta de blocs només canvien els estats de la màquina i dels palets segons la nova situació.

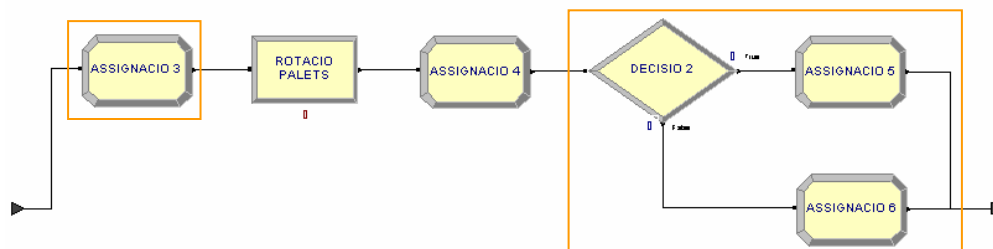


Figura B. 14. Submodel ROTACIÓ PALETS (FIFO)



VIATGE ROBOT

Quan una entitat entra en aquest submodel (veure *Figura B.15*), es posa a la cua del robot mitjançant el bloc *Seize CRIDA ROBOT*. Aquest bloc el que fa és demanar el robot; si aquest està disponible, l'entitat passa al següent bloc i, si no està disponible, s'espera fins que ho estigui.

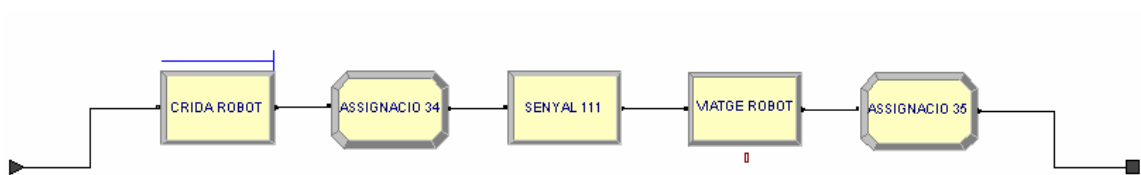


Figura B. 15. Submodel VIATGE ROBOT (FIFO)

Un cop es disposi del robot, aquest haurà d'anar a la màquina associada a l'entitat que l'ha demanat. Llavors, s'han de calcular el nombre de posicions que el robot haurà de recórrer. Això es realitza mitjançant el bloc *ASSIGNACIO 34*.

Després s'envia a tots els blocs *Hold* un senyal (111) mitjançant el bloc *Signal SENYAL 111*. Aquest senyal farà que s'activi el moviment de l'animació del robot. Llavors s'entra al bloc *Process VIATGE ROBOT*, que és el que representa el temps que el robot triga a realitzar el viatge. Aquest bloc dura un temps $T_{Viatge}(1, Posicions_Robot)$ i, un cop finalitzat, allibera el robot que prèviament s'havia demanat amb el bloc *CRIDA ROBOT*.

Finalment, el bloc *ASSIGNACIO 35* assigna a l'atribut *Atribut_Auxiliar* el valor 999. Aquest atribut serà útil més endavant, on ja s'explicarà quina és la seva finalitat.



PALET INTERN

En aquest submodel (veure *Figura B.16*) es realitza el mecanitzat i el manteniment de les eines.

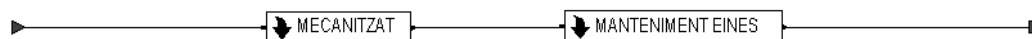


Figura B. 16. Submodel PALET INTERN

è MECANITZAT

Quan una entitat entra en aquest submodel (veure *Figura B.17*), el primer que fa és demanar la màquina corresponent mitjançant el bloc *Seize CRIDA MAQUINA*. Aquesta màquina, per les característiques del model, sempre estarà disponible. Després, mitjançant l'assignació *ASSIGNACIO 9*, es calcula en quin instant finalitzarà el mecanitzat. Aquest càlcul es realitza sumant, al temps actual (que l'*Arena* representa com a *TNOW*), el temps que dura el mecanitzat (*TMec*).

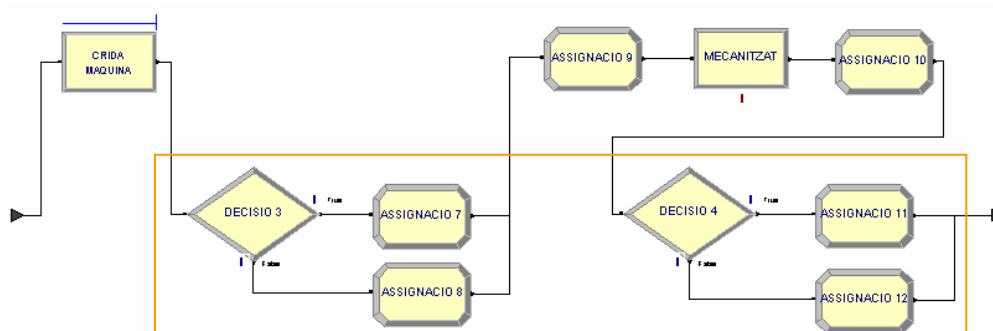


Figura B. 17. Submodel MECANITZAT (FIFO)

Posteriorment, s'inicia el mecanitzat mitjançant el bloc *Process MECANITZAT*. Per a diferenciar entre el temps de mecanitzat dels palets *A* i *B*, el temps que s'introdueix al bloc *Process* és $TMec(1, Tipus_Palet)$; d'aquesta forma, si *Tipus_Palet* és 1 (palet *A*), el temps a simular serà $TMec(1,1)$, i si és 2 (palet *B*), el temps serà $TMec(1,2)$. Aquesta lògica és la que se segueix per a la resta d'assignació de temps.

L'últim pas és posar l'atribut *Mecanitzat?* a 1 mitjançant el bloc *ASSIGNACIO 10*. La resta de blocs només serveixen per a canviar l'estat de la màquina i dels palets segons la situació corresponent.



è MANTENIMENT EINES

Un cop ha finalitzat el mecanitzat, l'entitat entra en aquest submodel (veure *Figura B.18*). Aquí és on s'avalua si les eines s'han de canviar, si s'han de verificar o si no s'hi ha de fer res. Aquesta avaluació es realitza mitjançant el bloc *Decide DECISIO 5*. En el cas en què s'hagin de canviar les eines (que es produeix si $CanviEina(Tipus_Palet, Maquina_Associada)$ és igual a 1), l'entitat passa per la primera branca; si s'han de verificar les eines ($VerificacioEina(Tipus_Palet, Maquina_Associada)$ igual a 1), l'entitat passa per la segona branca; i si no s'hi ha de fer res, passa per l'última branca.

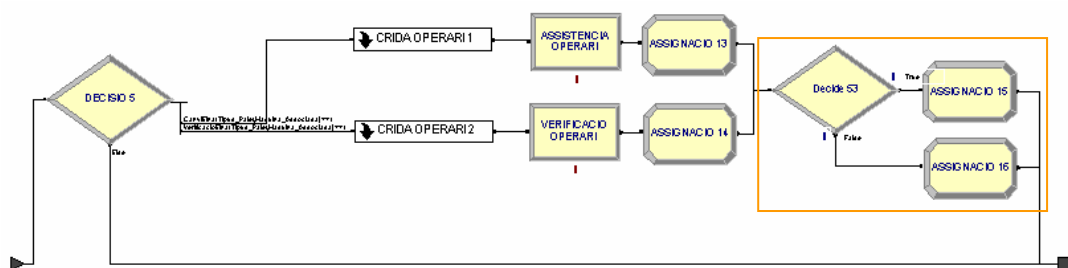


Figura B. 18. Submodel MANTENIMENT EINES (FIFO)

En la primera branca, l'entitat demana l'assistència de l'operari mitjançant el submodel *CRIDA OPERARI 1*. Un cop l'operari està disponible, comença el canvi d'eines, representat pel bloc *Process ASSISTENCIA OPERARI*. Finalment, amb el bloc *ASSIGNACIO 13* es posa la variable *CanviEina* a zero (per indicar que ja s'ha acabat el canvi de les eines) i es posa la variable *VerificacioEines* a u (per indicar que al proper cicle s'han de verificar les eines). Els últims blocs només canvien els estats de la màquina, l'operari i el palet intern.

La segona branca és igual a la primera, però ara el bloc *Process VERIFICACIO OPERARI* realitza les operacions de verificació de les eines. Un cop verificades, només es posen a zero les variables *VerificacioEines* i *FiAvaria* mitjançant el bloc *ASSIGNACIO 14* (per indicar que ja s'ha acabat l'avaría).



Els submodels *CRIDA OPERARI 1* (veure *Figura B.19*) i *CRIDA OPERARI 2* (veure *Figura B.20*) són iguals. L'única diferència existent és l'estat que s'assigna al palet intern. A més dels blocs que canvien els estats, només existeix un bloc *Seize CRIDA OPERARI 1* i *CRIDA OPERARI 2*, que és l'encarregat de demanar l'operari per a poder assistir a la màquina.

CRIDA OPERARI 1

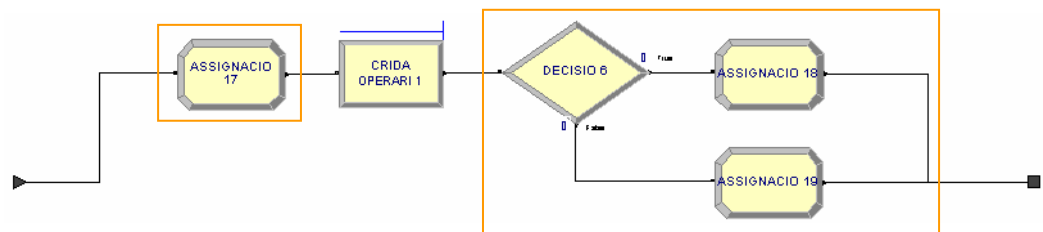


Figura B. 19. Submodel CRIDA OPERARI 1 (FIFO)

CRIDA OPERARI 2

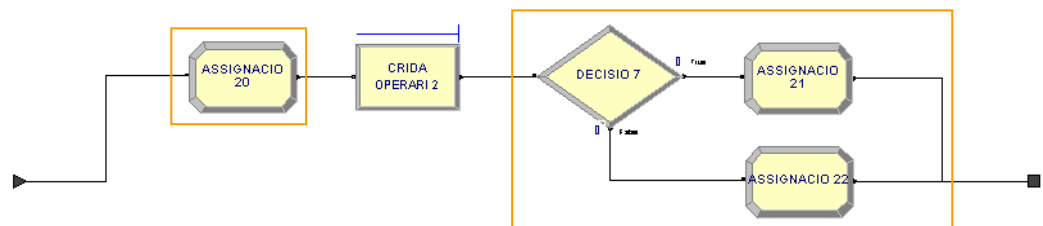


Figura B. 20. Submodel CRIDA OPERARI 2 (FIFO)



PALET EXTERN

En aquest submodel (veure *Figura B.21*) es realitzen totes les operacions que tenen lloc en el palet extern: obertura de les brides, càrrega i descàrrega del palet i tancament de les brides.

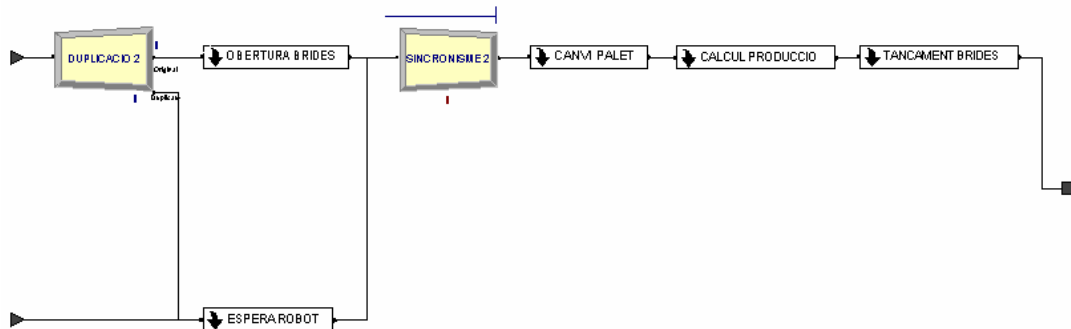


Figura B. 21. Submodel PALET EXTERN (FIFO)

El submodel té, a diferència dels altres, dues entrades. Una correspon a l'entitat que s'incorpora al palet extern del sistema; l'altra és la que prové del submodel *VIATGE ROBOT*. Aquesta última és necessària per a saber si el robot ha realitzat el viatge a una màquina determinada o si encara no ho ha fet.

L'entitat que entra per l'entrada superior es duplica mitjançant el bloc *DUPLICACIO 2*. D'aquesta forma, mentre s'obren les brides (submodel *OBERTURA BRIDES*), l'entitat espera a què el robot finalitzi el viatge a la màquina associada a l'entitat (submodel *ESPERA ROBOT*). Un cop s'han obert les brides i el robot ha arribat a la màquina, les dues branques se sincronitzen mitjançant el bloc *SINCRONISME 2*. Llavors, el robot comença la tasca de càrrega i descàrrega del palet (submodel *CANVI PALET*). Un cop finalitzat el canvi, si la peça que s'ha descarregat és una peça acabada es calcula la nova producció de la màquina i la nova producció total (submodel *CALCUL PRODUCCIO*). Finalment, es realitza el tancament de les brides (submodel *TANCAMENT BRIDES*).



è *OBERTURA BRIDES*

Aquest submodel (veure *Figura B.22*), a més de canviar els estats del palet extern, serveix per a representar l'acció de l'obertura de les brides mitjançant el bloc *Process OBERTURA BRIDES*.

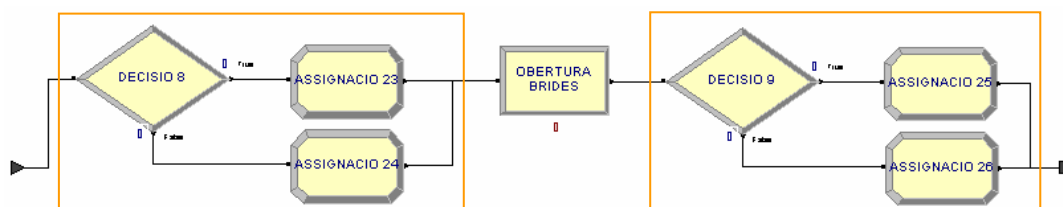


Figura B. 22. Submodel OBERTURA BRIDES (FIFO)

è *ESPERA ROBOT*

L'espera del robot (veure *Figura B.23*) es realitza mitjançant el bloc *Batch UNIO ENTITATS*. Aquest bloc uneix les entitats de dues en dues sempre que pertanyin a la mateixa màquina. Per tant, quan una entitat hi arriba ha d'esperar a l'altra. D'aquesta forma, només surten entitats del submodel si la plataforma giratòria ha rotat (i, per tant, hi ha una peça que necessitarà ésser canviada) i si el robot ja ha arribat a la màquina.

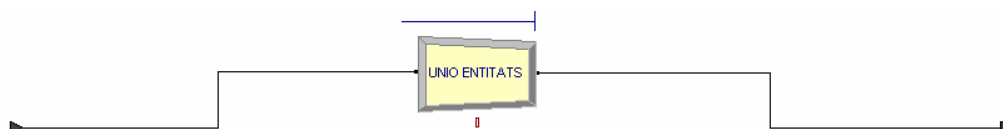


Figura B. 23. Submodel ESPERA ROBOT (FIFO)

Quan s'utilitza un bloc *Batch* s'ha d'especificar quines característiques de les entitats inicials s'han de mantenir en la nova entitat formada per la unió de les dues primeres. Com el que interessa és que la nova entitat mantingui els atributs que tenia l'entitat procedent de la rotació (no del viatge del robot), s'implementa el bloc *Batch* per tal que conservi les característiques de l'entitat amb menor *Atribut_Auxiliar*. Es recorda que a les entitats que surten del submodel *VIATGE ROBOT* se'ls assigna un *Atribut_Auxiliar* igual a 999 i que a les entitats procedents del submodel *ROTACIO PALETS* se'ls assigna un valor de 0.



è CANVI PALET

Aquest submodel (veure *Figura B.24*), a més de canviar els estats del palet extern, serveix per a representar l'acció de càrrega i descàrrega del palet mitjançant el bloc *Process CANVI PALET*.

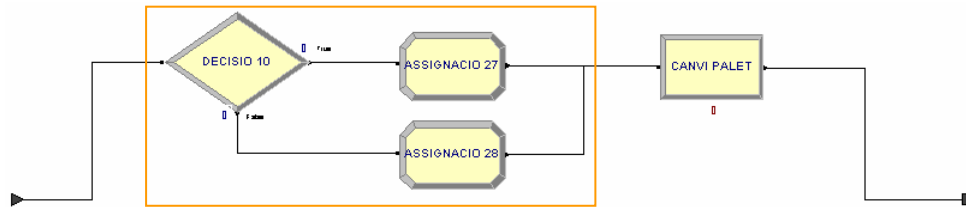


Figura B. 24. Submodel CANVI PALET (FIFO)

è CÀLCUL PRODUCCIÓ

Si la peça que s'acaba de descarregar era una peça acabada, mitjançant el bloc *DECISIO 11* (veure *Figura B.25*) l'entitat passa per la branca superior. En aquesta branca s'augmenta en una unitat el comptador de la producció de la màquina associada a l'entitat (bloc *Record PRODUCCIO*) i el comptador de la producció total de la cel·la (bloc *Record PRODUCCIO TOTAL*).

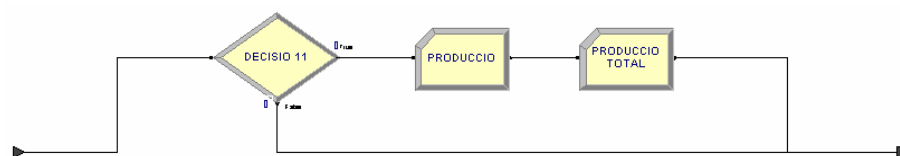


Figura B. 25. Submodel CÀLCUL PRODUCCIÓ

è TANCAMENT BRIDES

El submodel (veure *Figura B.26*) representa el tancament de les brides mitjançant el bloc *Process TANCAMENT BRIDES*. A més de canviar els estats del palet extern, canvia el valor de l'atribut *Mecanitzat?* a zero amb el bloc *ASSIGNACIO 33*; d'aquesta forma s'indica que després de la rotació la peça s'haurà de mecanitzar.

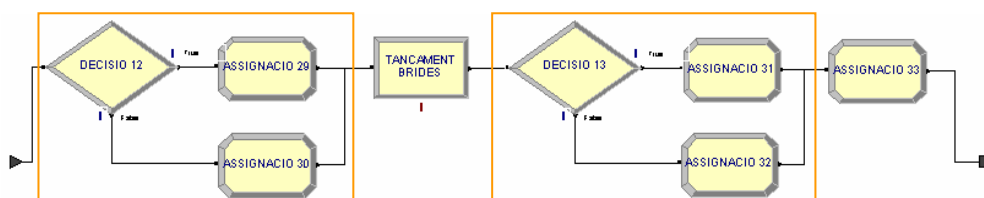


Figura B. 26. Submodel TANCAMENT BRIDES (FIFO)



B.1.2.3. GENERACIÓ AVARIES

Aquest submodel (veure *Figura B.27*) realitza la implementació de la creació de les avaries de les eines. Igual que en el submodel *MÀQUINES*, en aquest també es creen dues entitats per a cada màquina cada cinquanta segons, començant en l'instant u (bloc **INICI 3**). Posteriorment, es llegeix d'un arxiu extern anomenat *Palets_Inicials2.xls* (mitjançant el bloc **LECTURA PALETS INICIALS 2**) els valors dels atributs *Tipus_Palet*, *Maquina_Associada*, *Mecanitzat?* i *Entity.Picture*. D'aquesta forma es tenen dues entitat per màquina, una corresponent al palet A i l'altra al palet B.

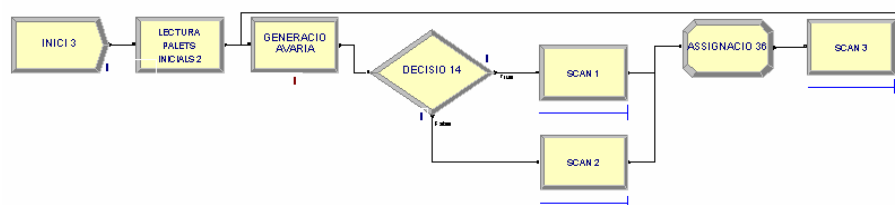


Figura B. 27. Submodel GENERACIÓ AVARIES

Totes les entitats entren en un bloc *Process* anomenat **GENERACIÓ AVARIA**. És aquest bloc el que indica en quin instant es produeix l'avaria. La durada de l'acció del bloc és *FreqCanviEina*, és a dir, la freqüència de canvi d'eina. Per tant, cada entitat romandrà en el bloc fins que es produeixi l'avaria. Un cop es produeixi, l'entitat entra en un bloc *Hold* anomenat **SCAN 1** (si l'entitat correspon al palet A) o **SCAN 2** (si correspon al palet B). Aquests blocs retenen l'entitat fins que es compleix una determinada condició. En aquest cas la condició és que la màquina estigui utilitzant les eines que s'han avariat; és a dir, no pot existir una avaria a les eines B si no s'estan utilitzant en el moment de l'avaria. Per tant, l'avaria no es fa efectiva fins que no s'utilitzin les eines corresponents. Un cop es compleixi la condició, amb el bloc **ASSIGNACIÓ 36** es posa la variable *CanviEina* a u per indicar que existeix avaria i la variable *FiAvaria* a zero per indicar que ha començat una nova avaria.

Finalment, amb el bloc **SCAN 3** l'entitat s'espera fins que hagi finalitzat l'avaria (*FiAvaria* igual a u), i després torna a **GENERACIÓ AVARIA** per a calcular el proper instant en què s'espatllaran les eines.



B.1.2.4. ANIMACIÓ ROBOT

Aquest submodel (veure *Figura B.28*) serveix per a visualitzar l'animació del robot movent-se d'una màquina a una altra.

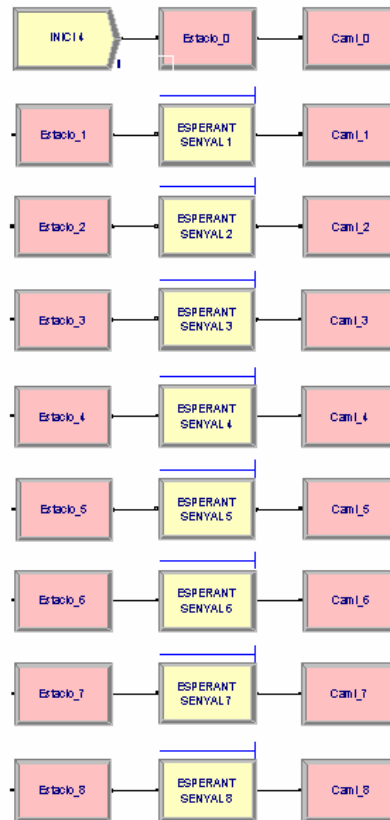


Figura B. 28. Submodel ANIMACIÓ ROBOT

Es crea una única entitat (*INICI 4*), que representa el robot, i se l'assigna a una estació auxiliar, anomenada *Estacio_0*. Com que el sistema s'inicialitza suposant que el robot es troba en l'*Estacio_1* (és a dir, davant de la màquina *M1*), l'entitat passa, de forma instantània, de l'*Estacio_0* a l'*Estacio_1* (mitjançant el bloc *Cami_0*). A partir d'aquest moment, l'entitat roman en el bloc *Hold ESPERANT SENYAL 1*, que és un bloc que reté l'entitat fins que rebí el senyal 111. Aquest senyal es rep un cop comença el viatge del robot. En aquest instant, doncs, l'entitat passa al bloc *Cami_1*, que porta el robot des de l'*Estacio_1* fins a l'estació corresponent a la màquina on es dirigeix el robot. A partir d'aquest moment, la lògica seguida per l'entitat és la mateixa: s'espera fins que es rebí el senyal d'inici de viatge i comença el seu recorregut fins a l'estació corresponent.



B.2. MODEL FM-I AMB LAYOUT LINEAL

L'estructura bàsica d'aquest model és la mateixa que la de l'estratègia *FIFO*. La principal diferència es troba en la lògica que segueix el robot. A continuació es detallaran només els canvis existents entre ambdues estratègies.

B.2.1. Definició dels Data Modules

L'únic canvi existent amb l'estratègia *FIFO* és la inclusió de quatre variables.

B.2.1.1. VARIABLE

Les noves variables (veure *Figura B.29*) serveixen per a implementar la nova lògica del robot. La variable *Torn* és la que indica quin és el següent torn en la seqüència *FM-I*; *Palet_Llest* i *Existeix_Operari* serveixen per a saber si el palet extern d'una màquina està llest per a ésser canviat i si la màquina està essent assistida per l'operari, respectivament; i *Inicialitzacio* és necessària per a iniciar la simulació sense problemes.

18	Torn			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
19	Palet_Llest	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
20	Inicialitzacio			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
21	Existeix_Operari	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>

Figura B. 29. Data Module VARIABLE (FM-I)

B.2.2. Estructura del model

A continuació es mostraran només aquells submodels que han estat modificats. *INICIALITZACIO VARIABLES*, *GENERACIO AVARIES* i *ANIMACIO ROBOT* romanen igual que en l'estratègia anterior. Per tant, només alguns blocs del submodel *MAQUINES* han estat canviats.



B.2.2.1. MÀQUINES

La diferència principal entre ambdós models la trobem en què en l'estratègia *FM-I* es decideix quina és la següent màquina a ésser servida després de la càrrega i descàrrega del palet extern d'una màquina. Per tant, el submodel *VIATGE ROBOT* s'ha eliminat de l'estructura principal de *MAQUINES* (veure *Figura B.30*) i ara es troba dintre del submodel *PALET EXTERN*.

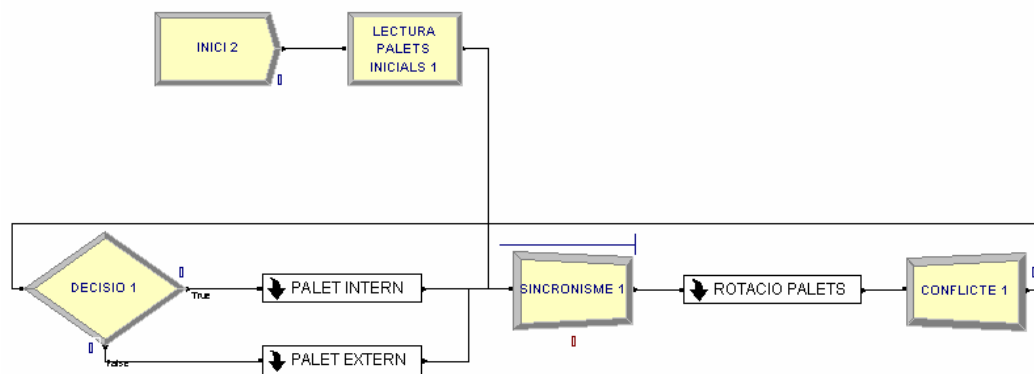


Figura B. 30. Submodel MÀQUINES (FM-I)

ROTACIÓ PALETS

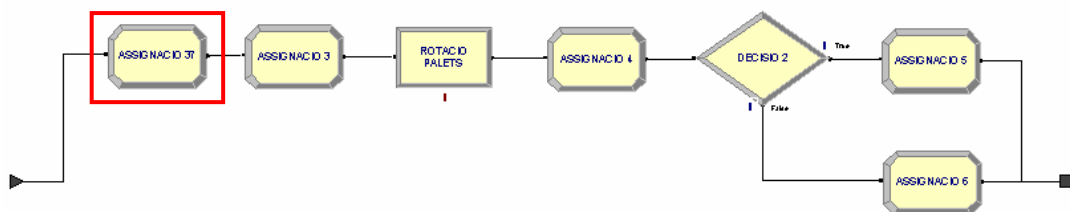


Figura B. 31. Submodel ROTACIÓ PALETS (FM-I)

En el submodel *ROTACIO PALETS* s'ha afegit un bloc (*ASSIGNACIO 37*). Aquest bloc posa a u la variable *Palet_Llest*. Per tant, un cop comença la rotació dels palets d'una màquina, se suposa que el palet ja es considera llest per a ésser canviat, ja que només falta que girin els palets i que s'obrin les brides.



PALET INTERN

En el submodel *PALET INTERN*, només es produeixen canvis al submodel *MANTENIMENT EINES*.

è *MANTENIMENT EINES*

Dintre d'aquest submodel (veure *Figura B.32*) s'ha d'especificar el que s'ha anomenat com *assistència de l'operari*. Quan en l'estratègia *FM-I* es parla de si una màquina està o no està essent assistida per l'operari, es refereix a si ja s'ha acabat el mecanitzat i és necessària l'assistència de l'operari. No necessàriament l'operari ja hi ha de ser present. Podria donar-se el cas que la màquina estigués esperant l'operari; aquest cas també s'inclou dintre de la ja anomenada *assistència de l'operari*.

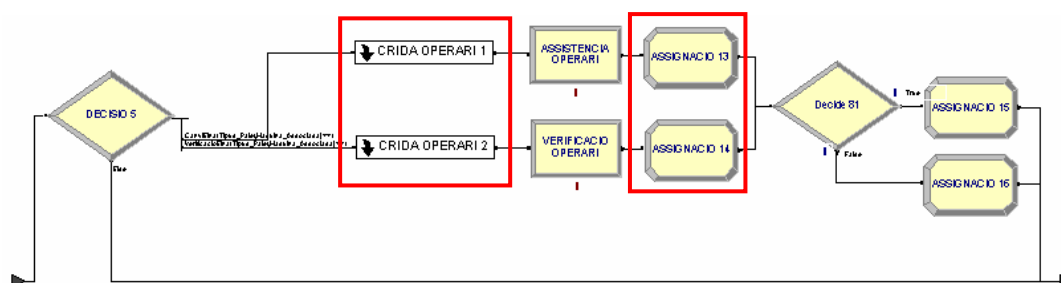
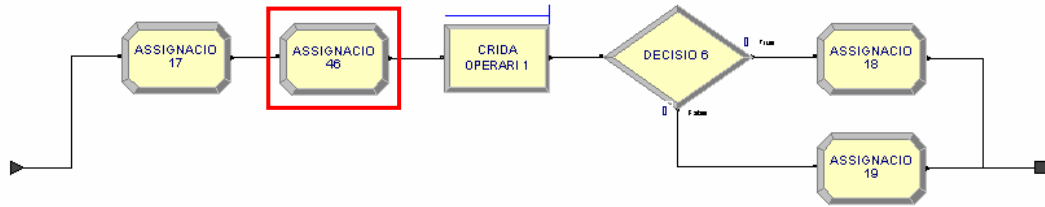
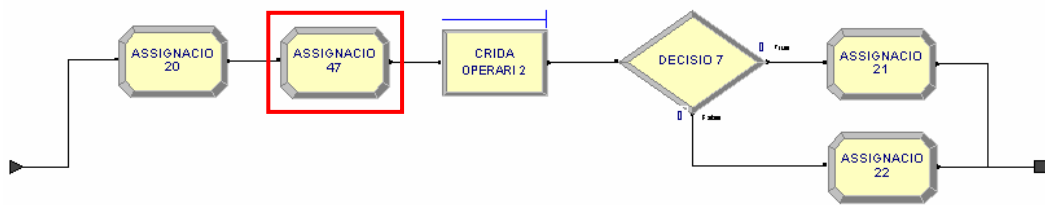


Figura B. 32. Submodel MANTENIMENT EINES (FM-I)

Per a especificar en quins moments una màquina està en fase d'*assistència de l'operari*, s'utilitza la variable *Existeix_Operari*. Aquesta variable és u si existeix assistència i zero si no n'existeix. La variable es posa a u en els submodels *CRIDA OPERARI 1* i *2* i es posa a zero en els blocs *ASSIGNACIO 13* i *14*.

A continuació es mostra, en les figures *Figura B.33* i *Figura B.34*, en quin bloc la variable *Existeix_Operari* es posa a u.



CRIDA OPERARI 1*Figura B. 33. Submodel CRIDA OPERARI 1 (FM-I)**CRIDA OPERARI 2**Figura B. 34. Submodel CRIDA OPERARI 2 (FM-I)*

PALET EXTERN

El viatge del robot es realitza un cop ha acabat la càrrega d'un palet (veure *Figura B.35*). Igual que en el model anterior, *VIATGE ROBOT* té dues sortides; la primera continua el flux del sistema i la segona entra al submodel *ESPERA ROBOT* per indicar que ja s'ha realitzat el viatge a la màquina associada a l'entitat.

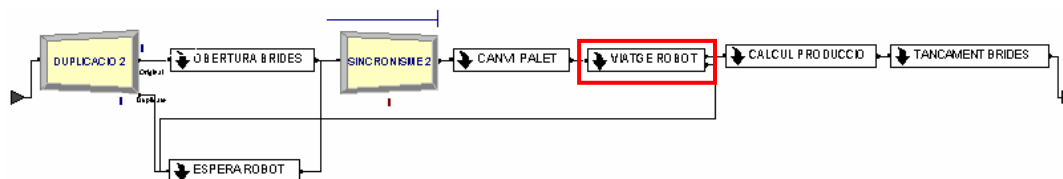


Figura B. 35. Submodel PALET EXTERN (FM-1)

è ESPERA ROBOT

La idea d'aquest submodel (veure *Figura B.36*) és la mateixa que en el model *FIFO*, és a dir, un bloc *Batch* (*UNIO ENTITATS*) que sincronitzi dues entitats, una que representa que el palet extern està esperant el robot i l'altra que indica que el robot ja ha arribat a la màquina. Inicialment, el robot es troba davant de la màquina M_1 . Per tant, quan arribi la primera entitat (que correspon a aquesta màquina M_1) el robot estarà davant seu, però no s'haurà demanat (mitjançant un bloc *Seize*). Si no es demana un recurs és com si no es disposés d'ell. Per evitar que el sistema quedi bloquejat, la primera entitat s'encarrega de demanar el robot passant per la branca inferior del bloc *DECISIO 15*. En aquesta branca es demana el robot (*CRIDA ROBOT 1*), es posa la variable *Inicialitzacio* a zero per tal que no es torni a passar per la branca inferior (*ASSIGNACIO 38*) i es duplica l'entitat per indicar que el robot ja ha arribat al palet que l'estava esperant (*DUPLICACIO 3*).

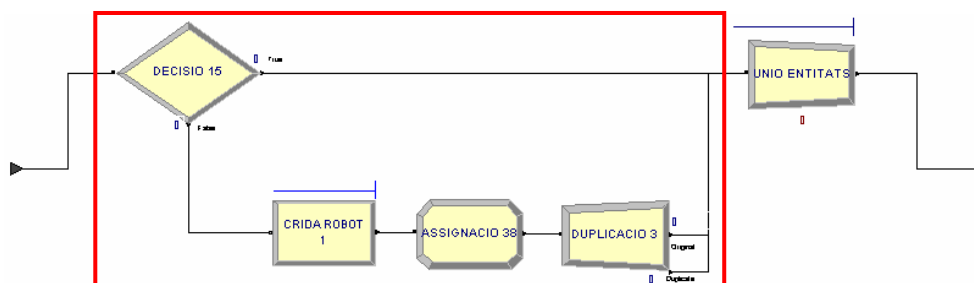


Figura B. 36. Submodel ESPERA ROBOT (FM-1)



è CANVI PALET

Un cop ha acabat la càrrega i descàrrega d'un palet, la variable *Palet_Llest* associada a aquesta màquina es posa a zero mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 39** (veure *Figura B.37*). D'aquesta forma s'indica que el palet no està llest per a ésser canviat.

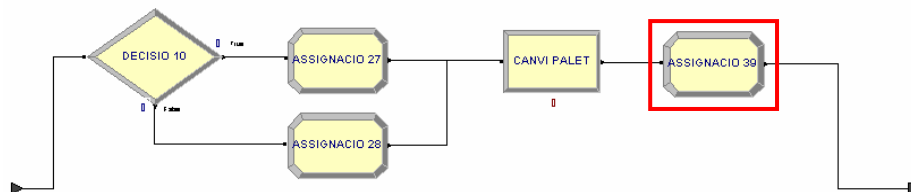


Figura B. 37. Submodel CANVI PALET (FM-I)

è VIATGE ROBOT

Mitjançant aquest submodel (veure *Figura B.38*) es decideix quina és la següent màquina a ésser servida i es realitza el viatge corresponent.

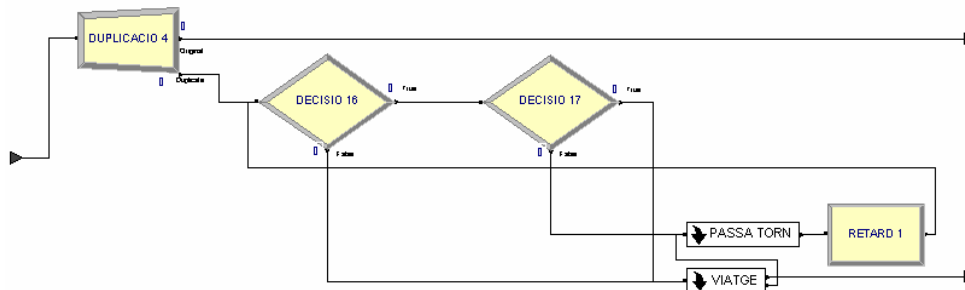


Figura B. 38. Submodel VIATGE ROBOT (FM-I)

Inicialment, l'entitat que entra es duplica (**DUPLICACIO 4**) ja que, mentre es realitza el viatge del robot, l'entitat ha de seguir el procés de la cel·la. L'entitat que roman en el submodel és la que representa la lògica del robot. Primer s'avalua si la següent màquina en el torn està essent assistida per l'operari mitjançant el bloc **DECISIO 16**. Si no existeix avaria, el robot realitza el viatge a aquesta màquina; si existeix avaria, s'avalua si el palet extern està llest per a ésser canviat (**DECISIO 17**). Si està preparat, es realitza el viatge a la màquina; si no està llest, es passa el torn a la màquina següent, es produeix un petit retard de 0.5 segons (**RETARD 1**) i torna a avaluar-se tot per a la màquina següent. Aquest retard és necessari per si es donés el cas que totes les màquines es trobessin avariades i cap dels palets estigués llest per a ésser canviat.



PASSA TORN

Mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 40** (veure *Figura B.39*) s'augmenta el torn (variable *Torn*) en una unitat. El torn indica el número de la propera màquina a ésser servida pel robot. Els blocs **DECISIO 18** i **ASSIGNACIO 41** serveixen per a posar el torn a 1 en el cas que la variable *Torn* hagi superat el nombre de màquines existents al model.

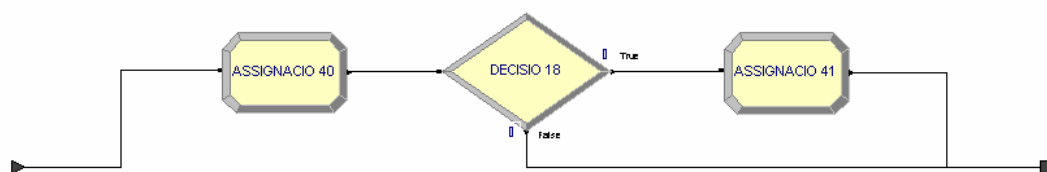


Figura B. 39. Submodel PASSA TORN

VIATGE

Aquest submodel (veure *Figura B.40*) és el mateix que en el cas del model *FIFO*. La diferència està en què un cop s'ha realitzat el viatge, s'avalua si la màquina està preparada per a ésser servida o si s'ha de saltar i passar a la del següent torn.

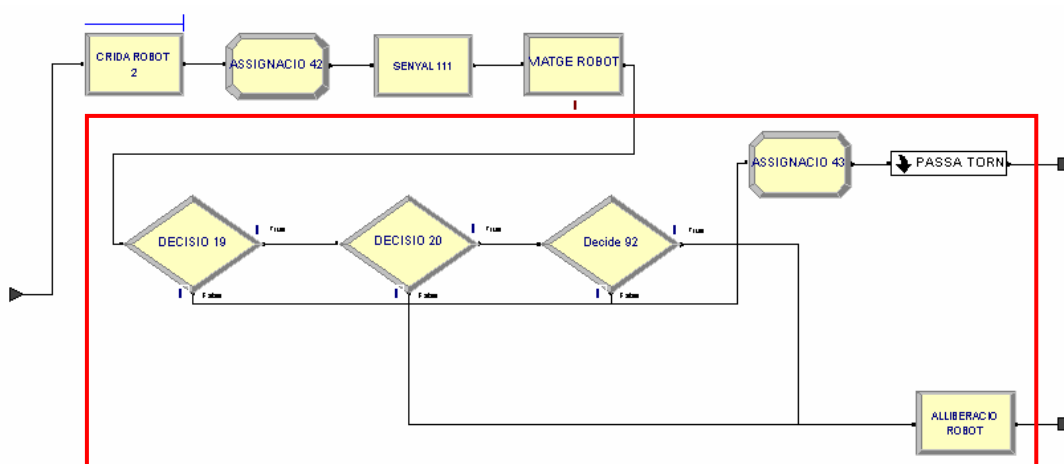


Figura B. 40. Submodel VIATGE



Quan ha acabat el viatge, es comprova (**DECISIO 19**) si el palet extern de la màquina està llest per a ser carregat. Si ho està (branca inferior), amb el bloc **ASSIGNACIO 43** s'assigna el valor de *Torn* a l'atribut *Maquina_Associada* i es posa l'atribut *Atribut_Auxiliar* a 999. D'aquesta forma, l'entitat que arriba a **ESPERA ROBOT** correspon a la màquina a la qual ha viatjat el robot. Si el palet no està llest (branca superior), es comprova (**DECISIO 20**) si l'operari està assistint a la màquina. Si l'està assistint, s'ha d'alliberar el robot (**ALLIBERACIO ROBOT**) i s'ha de passar el torn. L'entitat surt per la segona sortida del submodel i entra a **PASSA TORN** del submodel **VIATGE ROBOT**. Si no l'està assistint, s'ha de comprovar (**DECISIO 21**) si ja s'ha activat l'avaria, ja que en aquest cas s'hauria de passar a la següent màquina, igual que en el cas anterior.

El submodel **PASSA TORN** és idèntic al descrit abans (veure *Figura B.39*).



B.3. MODEL CFO AMB LAYOUT LINEAL

Igual que el model *FM-I*, el model *CFO* només es diferencia del *FIFO* en la lògica del robot. Per tant, es presentarà a continuació els canvis existents amb l'estratègia *FIFO*.

B.3.1. Definició dels Data Modules

L'únic canvi existent amb l'estratègia *FIFO* és la inclusió de vint-i-una variables.

B.3.1.1. VARIABLE

Les noves variables (veure *Figura B.41*) s'utilitzen per a poder decidir quina ha de ser la següent màquina a ésser servida.

18	Calcul_TM	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
19	TempsMort	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
20	Espera_Operari	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
21	Temps_Espera_Operari	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
22	Tipus_Palet_Mecanitzant	1	8	System	0 rows	<input type="checkbox"/>
23	Temps_Afegit	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
24	Avaria_Comptabilitzada	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
25	TViatgeMax			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
26	InstantUsRobot	1	8	System	8 rows	<input type="checkbox"/>
27	InstantUsRobotAuxiliar	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
28	Maquina			System	0 rows	<input type="checkbox"/>
29	TProperPalet			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
30	Inicialitzacio			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
31	Nou_Cicle	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
32	Variable_Auxiliar	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
33	Palet_Extern	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
34	Palet_Intern	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
35	Palet_Auxiliar			System	1 rows	<input type="checkbox"/>
36	No_Calcul	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
37	Fora_Linia	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>
38	Num_Arribada	1	8	System	1 rows	<input type="checkbox"/>

Figura B. 41. Data Module VARIABLE (CFO)



B.3.2. Estructura del model

A continuació es mostraran les modificacions realitzades sobre el model *FIFO* per a poder implementar l'estratègia *CFO*. En aquest cas i igual que el *FM-I*, l'únic submodel dels quatre principals que es veu afectat és *MAQUINES*. Els canvis realitzats i detallats a continuació estan fets sobre el model *FIFO*; és a dir, els canvis fets al *FM-I* no existeixen en aquest nou model.

B.3.2.1. MÀQUINES

Igual que en el model *FM-I*, es decideix quina és la següent màquina a ésser servida després de la càrrega i descàrrega del palet extern d'una màquina. Per tant, també s'ha eliminat el submodel *VIATGE ROBOT* de l'estructura principal de *MAQUINES* (veure *Figura B.42*) i ara es troba dintre del submodel *PALET EXTERN*.

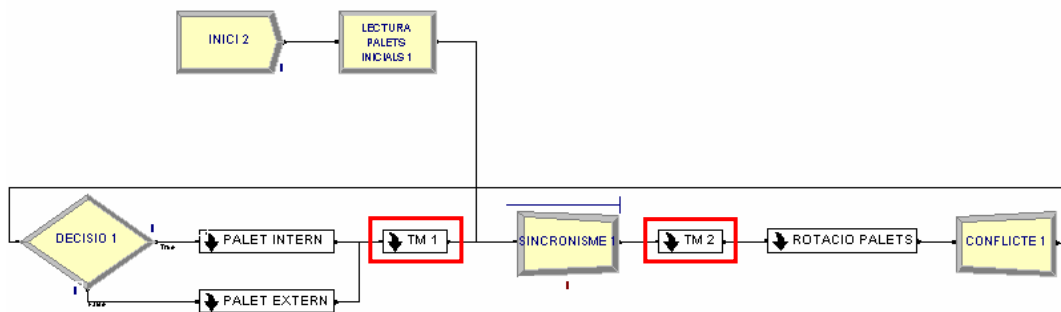


Figura B. 42. Submodel MÀQUINES (CFO)

La idea de l'estratègia *CFO* és calcular, per a cada màquina, en quin instant necessitarà el robot. Llavors, el robot selecciona aquella màquina que primer el necessiti. Per a fer-ho, es calcula, després de cada càrrega de palet, en quin instant la màquina que s'acaba de servir tornarà a necessitar al robot. Aquest instant s'actualitza si existeix pèrdua de temps degut a una avaria, a l'espera de l'operari o a l'existència de temps mort.

MAQUINES té dos submodels nous: *TM 1* i *TM 2*. Els dos són necessaris per a avaluar quants segons de temps mort pateix cada màquina a cada cicle.



TM 1

Aquest submodel (veure *Figura B.43*) serveix per a conèixer si existeix o no temps mort. El bloc **DECISIO 20** mira si l'entitat que hi passa és la primera o la segona entitat associada a una màquina concreta. Aquesta avaluació es realitza perquè en el cas que sigui la primera entitat la que hi passi, s'ha de mirar si aquesta entitat és la que ve del palet intern o de l'extern (mitjançant el bloc **DECISIO 21**).

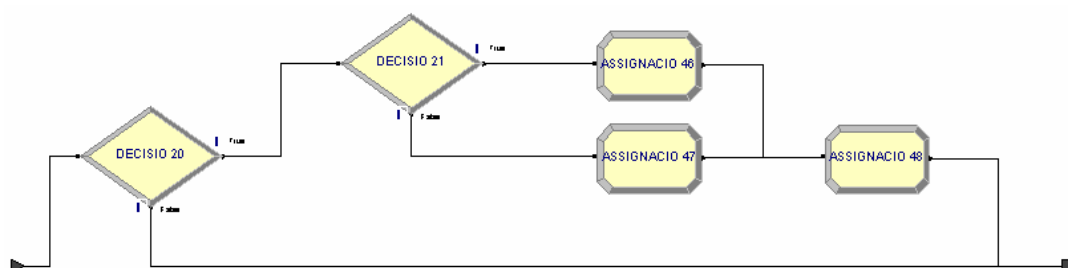


Figura B. 43. Submodel TM 1

Si ve del palet intern, és perquè el mecanitzat ha acabat abans que la preparació del palet extern; en aquest cas existeix temps mort. Mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 46** s'assigna a l'atribut *Temps_Inicial* el temps actual (*TNOW*) i la variable *Calcul_TM* es posa a u per a indicar que s'ha de calcular el temps mort. L'atribut *Temps_Inicial* serveix per a calcular, al submodel *TM 2*, quants segons ha estat la màquina en qüestió esperant al robot. Aquest càlcul es realitzarà restant al temps en què se sincronitzin les entitats del dos palets el *Temps_Inicial*, que indica l'instant en què ha començat l'espera.

Si la primera entitat venia del palet extern, llavors vol dir que el mecanitzat encara no ha acabat i que, per tant, no existeix temps mort. En aquest cas, *Calcul_TM* es posa a zero mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 47**. L'últim bloc, **ASSIGNACIO 48**, posa la variable *Num_Arribada* a 2; així s'indica que la primera entitat procedent dels palets ja ha passat pel submodel.



TM 2

El primer que es fa en aquest submodel (veure *Figura B.44*) és, mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 49**, tornar a posar a u la variable *Num_Arribada*. Després, el bloc **DECISIO 22** avalua si s'ha de calcular el temps mort o no. El temps mort s'haurà d'avaluar si la variable *Calcul_TM* és u (indica que existeix temps mort) i si la variable *No_Calcul* és zero (indica que per les condicions en què s'ha produït el temps mort no s'ha d'avaluar, ja que es tindrà en compte mitjançant un altre càlcul detallat en un altre submodel).

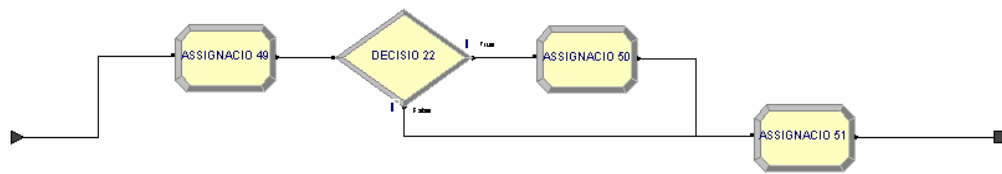


Figura B. 44. Submodel TM 2

En cas que s'hagi de calcular el temps mort, **ASSIGNACIO 50** calcula aquest temps i l'incorpora a la variable *Temps_Afegit*. Aquesta variable és la que guarda els segons que s'han de sumar a la variable que indica l'instant en què la màquina necessitarà el robot. Aquesta assignació també posa a u la variable *Palet_Intern*; així s'indica que el temps corresponent al palet intern s'haurà de tornar a avaluar, ja que s'ha incrementat per algun motiu. Finalment, **ASSIGNACIO 51** torna a posar a zero *No_Calcul*.

ROTACIÓ PALETS

Un cop finalitzada la rotació dels palets (veure *Figura B.45*), s'han d'intercanviar els valors de *Palet_Intern* i *Palet_Extern*. Això es realitza mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 45**, on també es posa a zero l'atribut *Atribut_Auxiliar*.

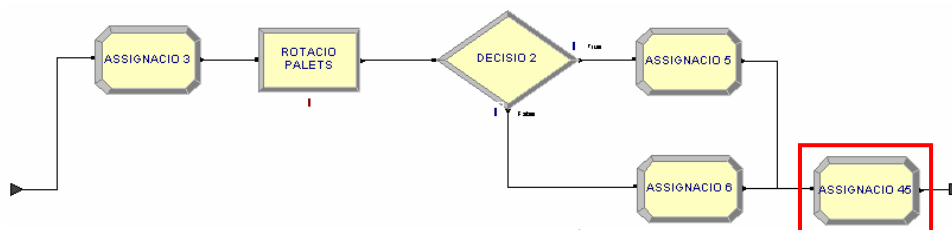


Figura B. 45. Submodel ROTACIÓ PALETS (CFO)



PALET INTERN

Aquest submodel presenta canvis tant al submodel *MECANITZAT* com a *MANTENIMENT EINES*.

è *MECANITZAT*

Aquest submodel (veure *Figura B.46*) només incorpora una assignació més a *ASSIGNACIO 9*, que serveix per a saber quin tipus de palet és el que s'està mecanitzant. També existeix un nou submodel: *TEMPS CFO*.

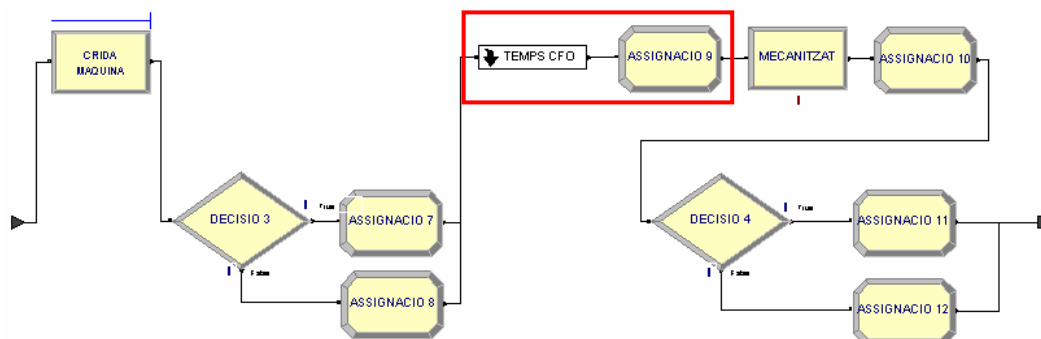


Figura B. 46. Submodel MECANITZAT (CFO)

TEMPS CFO

Mitjançant aquest submodel (veure *Figura B.47*) es comptabilitzen els temps que s'han d'afegir en el cas d'existència d'avaries o verificacions d'eines.

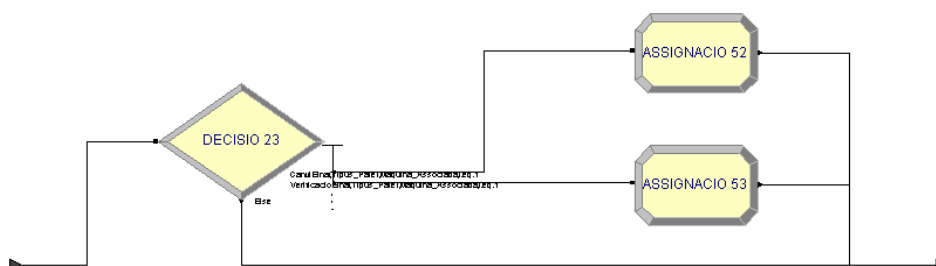


Figura B. 47. Submodel TEMPS CFO



Amb el bloc **DECISIO 23** es comprova si, just abans de començar el mecanitzat, ja s'ha activat l'avaria de les eines (primera branca del bloc *Decide*). En aquest cas, mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 52** s'afegeix el temps corresponent a *Temps_Afegit* i es posa a u la variable *Avaria_Comptabilitzada* per tal de no sumar el temps per duplicat. A més, posen a u les variables *Palet_Intern* i *Fora_Linia*, per indicar que s'ha de recalculer el temps associat al palet intern i que la màquina s'ha de treure de línia, respectivament. Una màquina es treu de línia quan es detecta que s'ha produït una avaria. Treure de línia una màquina només significa que aquesta màquina no podrà ésser servida fins que no acabi l'avaria.

Amb el bloc **DECISIO 23** també es comprova si al cicle anterior s'han canviat les eines i, per tant, al cicle actual s'han de verificar (segona branca del bloc *Decide*). En aquest cas també s'afegeix el temps adient a *Temps_Afegit* i es posen a u les variables *Palet_Intern* i *Fora_Linia*. Si no es produeixen cap dels dos casos, no es fa res.

è MANTENIMENT EINES

En aquest submodel (veure *Figura B.48*) s'afegeix el submodel *TEMPS CFO 2*, que afegeix el temps corresponent a l'avaria si no s'ha afegit amb anterioritat, i es realitzen uns petits canvis als submodels *CRIDA OPERARI 1* i *2*. A més, s'inclou una nova assignació a **ASSIGNACIO 13** i **14**. Aquesta assignació posa a zero la variable *Fora_Linia*, indicant així que ha finalitzat l'avaria a la màquina.

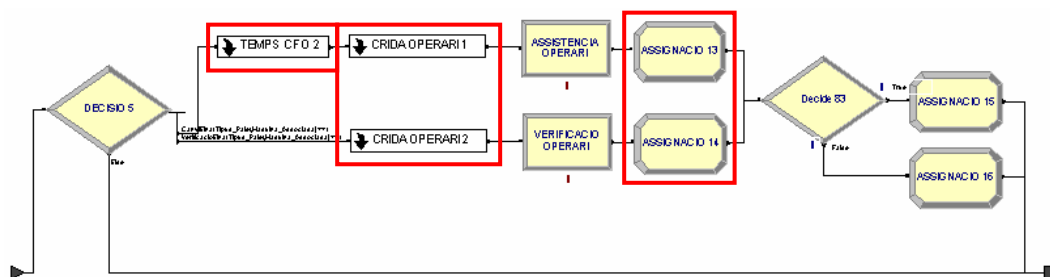


Figura B. 48. Submodel MANTENIMENT EINES (CFO)



TEMPS CFO 2

Amb aquest submodel (veure *Figura B.49*) s'avaluen les avaries que s'han produït durant el mecanitzat. Si s'entra en aquest submodel és perquè existeix una avaria. El bloc **DECISIO 24** avalua si l'avaría s'ha produït just abans d'iniciar-se el mecanitzat i, per tant, si ja s'ha comptabilitzat, o si ho ha fet després. Si ja s'ha comptabilitzat (branca superior), amb el bloc **ASSIGNACIO 54** es posa la variable *Avaria_Comptabilitzada* a zero. Si no s'ha comptabilitzat (branca inferior), s'afegeix a *Temps_Afegit* mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 55**. Amb aquest bloc també es posen a u les variables *Palet_Intern* i *Fora_Linia*.

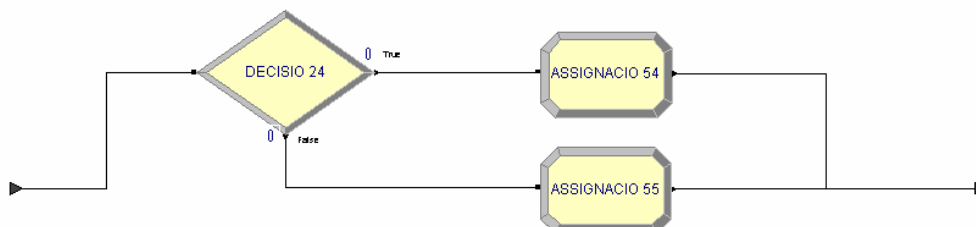


Figura B. 49. Submodel TEMPS CFO 2

CRIDA OPERARI 1

Amb les dues primeres noves assignacions (veure *Figura B.50*) s'avalua l'existència de temps d'espera degut a l'operari. Al bloc **ASSIGNACIO 56** s'assigna a la variable *Espera_Operari* el valor del temps actual (*TNOW*). Al bloc **ASSIGNACIO 57** es calcula el temps en què l'entitat ha hagut d'esperar a l'operari, restant a l'instant en què s'arribi a aquest bloc el temps *Espera_Operari*. Aquest càlcul, assignat a la variable *Temps_Espera_Operari*, s'afegeix a *Temps_Afegit*. Els blocs **DECISIO 25** i **ASSIGNACIO 58** s'utilitzen per a posar a u la variable *Palet_Intern* en el cas en què existeixi pèrdua de temps degut a l'espera de l'operari.



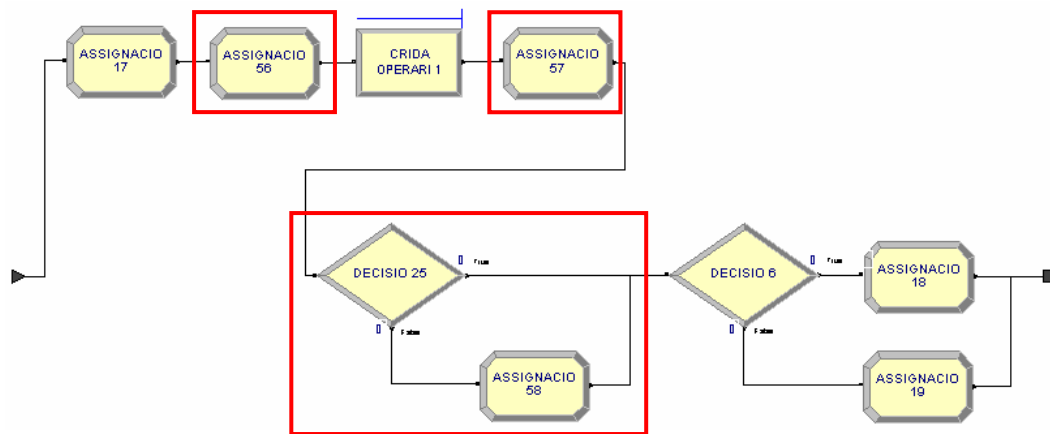


Figura B. 50. Submodel CRIDA OPERARI 1 (CFO)

CRIDA OPERARI 2

Els canvis realitzats en aquest submodel (veure *Figura B.51*) són exactament iguals al realitzats a *CRIDA OPERARI 2*. Els blocs *ASSIGNACIO 59* i *ASSIGNACIO 60* s'encarreguen d'avaluar l'existència de pèrdua de temps degut a l'espera de l'operari. Els blocs *DECISIO 26* i *ASSIGNACIO 61* posen a u *Palet_Intern* sempre que existeixi temps perdut degut a l'operari.

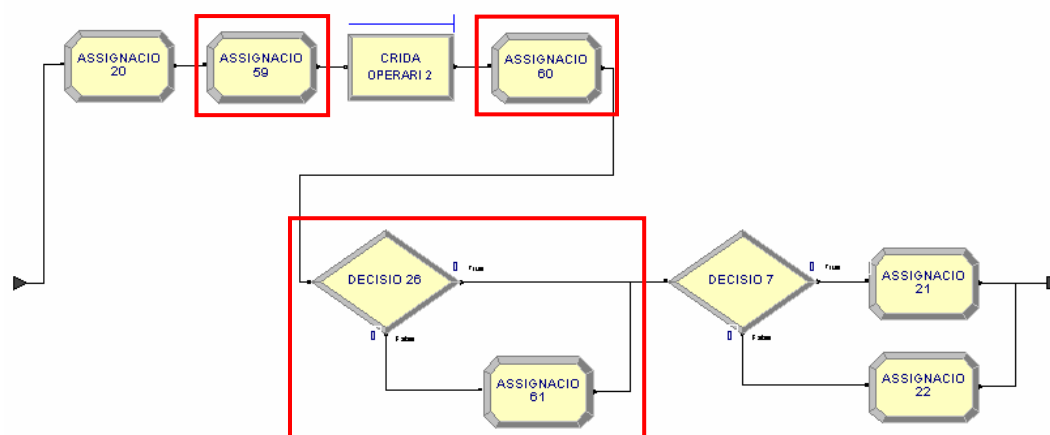


Figura B. 51. Submodel CRIDA OPERARI 2 (CFO)



PALET EXTERN

La seva estructura principal coincideix amb la del model *FM-I*. La tria de la nova màquina a ésser servida es realitza just després de cada càrrega (veure *Figura B.52*). El submodel *VIATGE ROBOT*, doncs, passa a situar-se després del submodel *CANVI PALET*.

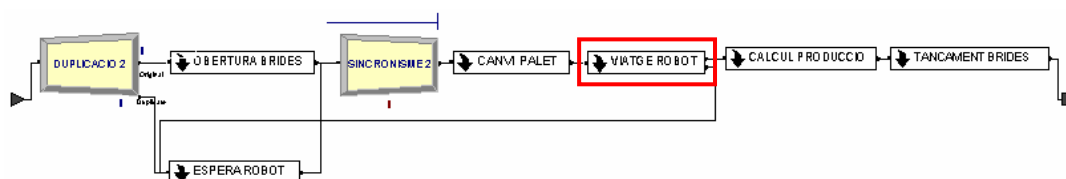


Figura B. 52. Submodel PALET EXTERN (CFO)

Tots els submodels que *PALET EXTERN* inclou tenen algun canvi respecte el model *FIFO*, excepte *CALCUL PRODUCCIÓ* i *TANCAMENT BRIDES*.

è *OBERTURA BRIDES*

OBERTURA BRIDES (veure *Figura B.53*) inclou un nou bloc, *ASSIGNACIÓ 63*, que posa la variable *Nou_Cicle* a zero. Aquesta variable serveix per a separar el cicle d'un palet del cicle de l'altre. És una variable necessària per a poder actualitzar correctament els temps en què les màquines necessitaran el robot. Si, per exemple, mentre el palet extern d'una màquina està esperant el robot existeix una avaria al palet intern, aquesta avaria no pot comptabilitzar-se com a un temps afegit corresponent al palet extern, sinó que correspon a l'intern. Amb aquesta variable, doncs, s'indiquen els límits en els quals els temps afegits s'han de comptabilitzar en un o altre palet.

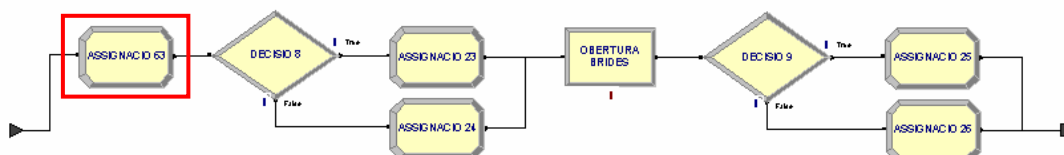


Figura B. 53. Submodel OBERTURA BRIDES (CFO)



è ESPERA ROBOT

El bloc **ASSIGNACIO 62** (veure *Figura B.54*) serveix, com en el submodel anterior, per posar la variable *Nou_Cicle* a zero. La resta de blocs s'utilitzen per a la correcta inicialització del model, igual que en el cas del model *FM-I*.

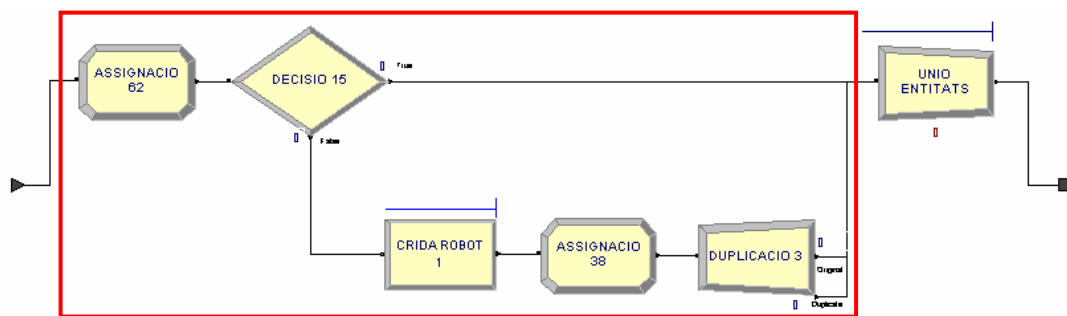


Figura B. 54. Submodel ESPERA ROBOT (CFO)

è CANVI PALET

En aquest submodel (veure *Figura B.55*) s'utilitza el bloc **ASSIGNACIO 64** per a posar la variable *Nou_Cicle* a 1.

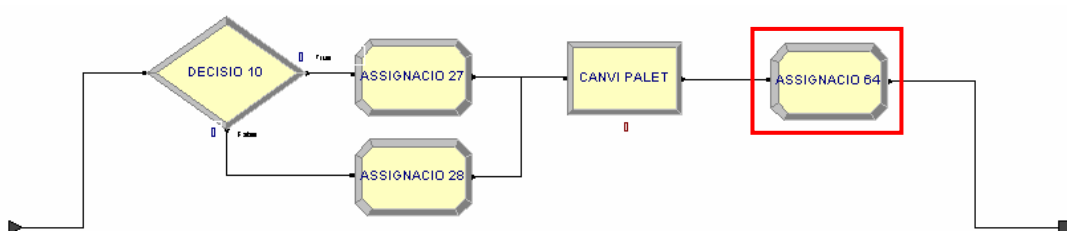


Figura B. 55. Submodel CANVI PALET (CFO)



è VIATGE ROBOT

Aquest submodel (veure *Figura B.56*) serveix per a decidir quina ha de ser la propera màquina a ésser servida per l'operari i per a realitzar aquest viatge.

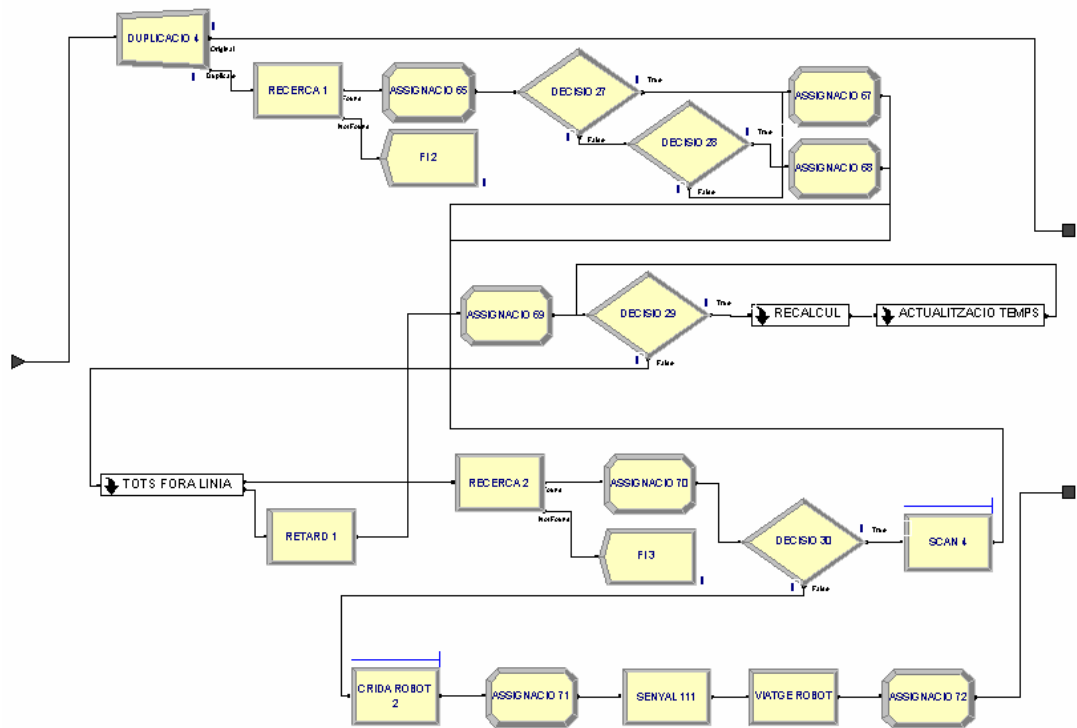


Figura B. 56. Submodel VIATGE ROBOT (CFO)

El primer que es realitza és la duplicació de l'entitat (**DUPLICACIO 4**), ja que mentre es realitza el viatge del robot, l'entitat ha de seguir el flux del sistema. Després, es calcula quin és el major valor de la variable $TViatge$ i s'assigna a la variable $TViatgeMax$. Això es realitza mitjançant els blocs **RECERCA 1**, **ASSIGNACIO 65** i **FI 2**.

Amb els blocs **DECISIO 27** i **28** i **ASSIGNACIO 67** i **68** es calcula en quin instant la màquina que acaba d'ésser carregada tornarà a necessitar el robot. Aquest instant es guarda a la variable $InstantUsRobot$ i s'actualitza amb el valor de $Temps_Afegit$. Si el mecanitzat de la màquina associada no ha finalitzat (branca superior del bloc **DECISIO 27**), **ASSIGNACIO 67** calcula el nou $InstantUsRobot$ com a la suma del temps actual ($TNOW$), el temps que falta per



tal que acabi el mecanitzat, el temps de rotació de la plataforma, el temps d'obertura de les brides i el possible temps afegit. Amb el mateix bloc, es posen a zero les variables *Temps_Afegit*, *Palet_Intern* i *Palet_Extern*, indicant així que ja s'ha recalculat el possible temps afegit. Si el mecanitzat ja ha acabat (segona branca del **DECISIO 27**), el bloc **DECISIO 28** avalua si hi ha avaria a les eines. Si n'hi ha, l'entitat va cap a **ASSIGNACIO 67** (igual que en el cas anterior). Si no n'hi ha, vol dir que existeix temps mort. Llavors, l'entitat es dirigeix cap al bloc **ASSIGNACIO 68**. En aquest bloc es calcula la variable *InstantUsRobot*, però mitjançant la suma del temps actual, el temps corresponent al tancament de les brides del palet extern que s'acaba de carregar, el temps de rotació i el temps d'obertura de les brides del palet que s'acaba de mecanitzar. És en aquest cas quan no s'ha de sumar el temps mort associat a la màquina, ja que el valor de la variable *InstantUsRobot* la determinarà el palet extern. El bloc **ASSIGNACIO 69** també posa a zero les variables *Palet_Intern* i *Palet_Extern*. A més, assigna el valor u a *No_Calcul*; d'aquesta forma, no es calcularà el temps mort en el bloc *TM2*, ja que és un temps que no s'utilitzarà per a res.

Mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 69** s'inicia un bucle posant el valor de *Maquines* a 1. Llavors, amb el bloc **DECISIO 29** s'avaluen totes les màquines existents al model. Per a cadascuna d'elles, primer es recalcula *InstantUsRobot* en aquells casos en què la màquina estigués fora de línia (*RECALCUL*) i s'actualitzen els temps *InstantUsRobot* per si s'hagués d'afegir algun temps a alguna màquina concreta (*ACTUALITZACIO TEMPS*).

Després, s'entra en el submodel *TOTS FORA LINIA*. Aquest submodel és necessari per si es donés el cas que totes les màquines es trobessin fora de línia. Si així fos, es produiria un petit retard de temps (*RETARD 1*) i tornarien a avaluar-se totes les màquines. Això es faria fins que alguna màquina finalitzés l'avaría.

Un cop s'han avaluat totes les màquines, es busca a quina màquina correspon el mínim valor de *InstantUsRobotAuxiliar* mitjançant els blocs **RECERCA 2** i **FI 3**. Amb el bloc **ASSIGNACIO 70** es guarda a *TProperPalet* l'instant en què aquesta màquina calculada necessitarà el robot.



El proper pas seria que el robot viatgés a aquesta màquina. El problema és que si el viatge es produeix massa d'hora, podria existir algun problema en aquesta màquina que fes que l'instant calculat no fos correcte (podria haver-hi una avaria, per exemple). El millor és, doncs, esperar per a començar el viatge tant com es pugui. Per tant, la implementació s'ha fet de la següent manera. Mentre el temps que falti fins que el primer palet que necessiti el robot sigui superior al temps màxim possible de viatge, el robot s'espera al bloc *SCAN 4*. Un cop arribat a l'espera màxima, tornen a avaluar-se els temps per a cada màquina. Així, si s'ha produït alguna avaria o algun temps degut a l'espera de l'operari o el robot, pot detectar-se i actualitzar-se. Aquest canvi en els temps podria produir l'elecció d'una altra màquina per a realitzar el viatge.

Si el temps que falta perquè la màquina escollida necessiti el robot és inferior al temps màxim de viatge, el bloc *DECISIO 30* desvia l'entitat cap a la segona branca del bloc. Llavors, el procés és el seguit en tots els models: es demana el robot, es calculen les posicions que ha de recórrer, s'envia un senyal al submodel *ANIMACIO ROBOT* i es realitza el viatge. Finalment, es posa el valor de l'atribut *Atribut_Auxiliar* a 999.

RECÀLCUL

Amb aquest submodel (veure *Figura B.58*), si *InstantUsRobot* d'una determinada màquina és 99999999 (cosa que indica que està fora de línia), el bloc *ASSIGNACIO 73* li torna a assignar el valor que li correspon.

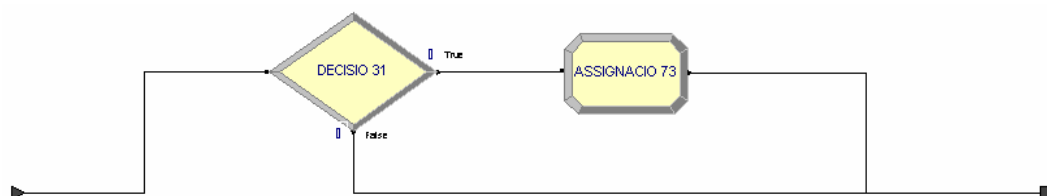


Figura B. 57. Submodel RECÀLCUL



ACTUALITZACIO TEMPS

En aquest submodel (veure *Figura B.58*) es recalculen els temps calculats a *InstantUsRobot* si és necessari.

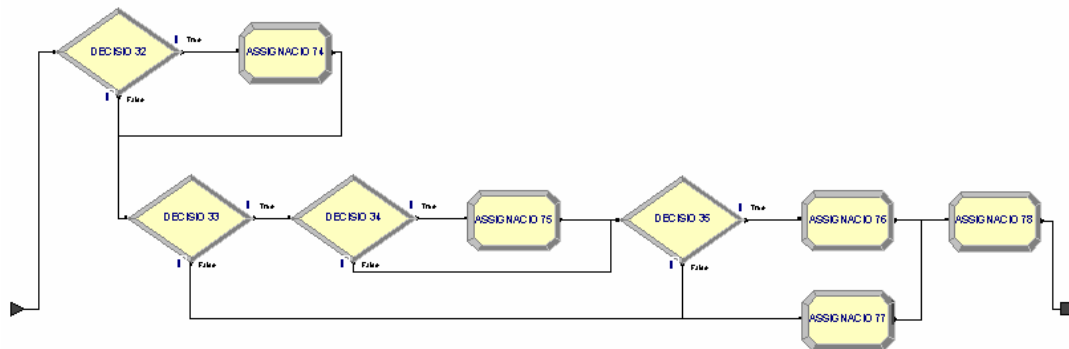


Figura B. 58. Submodel ACTUALITZACIÓ TEMPS

Primer s'avalua (**DECISIO 32**) si la variable *Palet_Extern* és u. Si ho és (branca superior), significa que el palet extern de la màquina que s'estigui avaluant ha patit en algun moment una pèrdua de temps. Per tant, s'ha de recalculer *InstantUsRobot*, afegint-li el *Temps_Afegit* corresponent. Això es realitza mitjançant el bloc **ASSIGNACIO 74**, que també posa a zero *Temps_Afegit* i *Palet_Extern* (indicant que ja s'ha avaluat).

Posteriorment, s'avalua si ens trobem en un nou cicle o no mitjançant el bloc **DECISIO 33**. Si ens trobem en un nou cicle (*Nou_Cicle* igual a u), s'ha de comprovar (**DECISIO 34**) si el valor de *Palet_Intern* és u. Si és així (branca superior), voldrà dir que s'ha produït una pèrdua de temps en el palet intern i que ja pot avaluar-se perquè estem en un nou cicle. Llavors, amb el bloc **ASSIGNACIO 75** es recalcula *InstantUsRobot* i s'anul·len *Temps_Afegit* i *Palet_Intern*.

Després, s'ha de comprovar si la màquina està fora de línia (**DECISIO 35**). Si ho està, amb el bloc **ASSIGNACIO 76** es guarda el valor de la variable *InstantUsRobot* a *Variable_Auxiliar* i es posa *InstantUsRobot* i *InstantUsRobotAuxiliar* a 99999999, indicant que la màquina està fora de línia.



En el cas que no ens trobéssim amb un nou cycle (branca inferior del **DECISIO 33**) o que la màquina no estigués fora de línia (branca inferior del **DECISIO 35**), amb el bloc **ASSIGNACIO 77** es calcularia el valor de la variable *InstantUsRobotAuxiliar*. Aquesta variable indica el temps corresponent a *InstantUsRobot* més el temps que el robot trigaria a anar a cada màquina segons la seva posició actual. Aquest temps és el que s'ha de minimitzar amb el bloc **RECERCA 2** de **VIATGE ROBOT**.

Sigui quin sigui el cas en el qual ens trobem, finalment s'ha d'augmentar la variable *Maquina* en una unitat.

TOTS FORA LÍNIA

En aquest submodel (veure *Figura B.59*) es torna a entrar en un bucle on s'avaluen totes les màquines del sistema. El bloc **ASSIGNACIO 79** posa a u la variable *Maquines*. El bloc **DECISIO 36** comprova si el valor de *Maquines* és superior al nombre de màquines existents a la cel·la. Si ho és, l'entitat surt per la branca inferior. Si no ho és, l'entitat continua cap al bloc **DECISIO 37**. Llavors, s'avalua si la màquina associada al valor *Maquines* es troba fora de línia. Si és així (branca superior), s'incrementa en una unitat el valor de *Maquines* (**ASSIGNACIO 80**). Només en el cas en què totes les màquines estiguessin fora de línia, l'entitat sortiria per la branca inferior del bloc **DECISIO 37** i marxaria per la primera sortida del model.

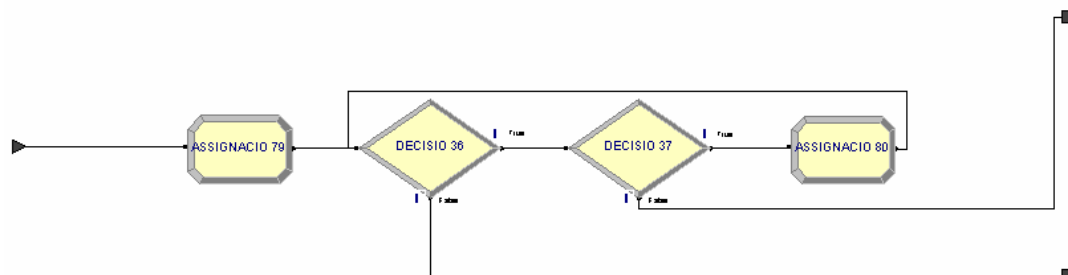


Figura B. 59. Submodel TOTS FORA LÍNIA



B.4. MODELS FIFO, FM-I I CFO AMB LAYOUT CIRCULAR

Per a implementar els models amb un layout circular en comptes de lineal no s'ha de realitzar cap canvi. Els models coincideixen plenament; l'única diferència la trobem en què el valor de t_{r3} (desplaçament de tres posicions del robot) passa a coincidir amb t_{r1} (desplaçament d'una única posició). Aquest canvi, però, es realitza en l'arxiu extern d'Excel que conté els valors de tots els paràmetres del sistema.

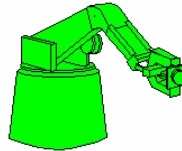


B.5. ANIMACIÓ DEL MODEL

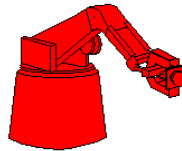
Per a visualitzar l'evolució del sistema, s'ha realitzat una animació del mateix. A continuació es presenten les diferents imatges que representen cadascun dels estats dels diferents recursos i elements del sistema.

B.5.1. Recurs Robot

Estat Lliure

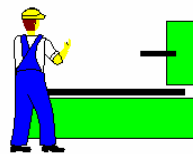


Estat Ocupat

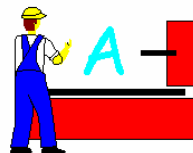


B.5.2. Recurs Operari

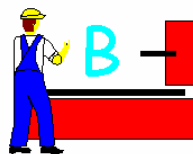
Estat Lliure



Estat Ocupat_A

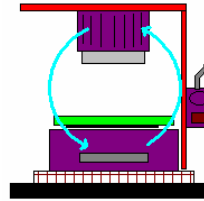


Estat Ocupat_B

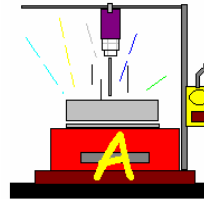


B.5.3. Recurs Màquina

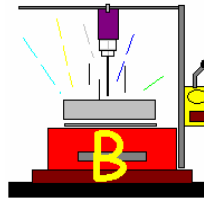
Estat Rotacio_Palets



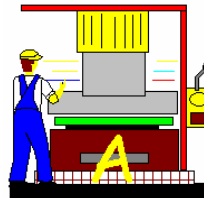
Estat Ocupada_A



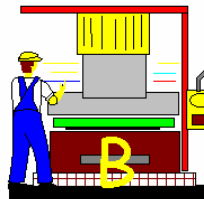
Estat Ocupada_B



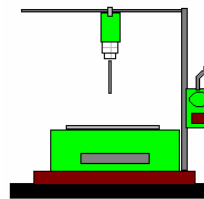
Estat Avariada_A



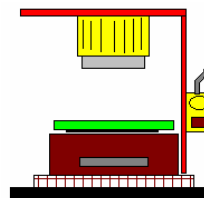
Estat Avariada_B



Estat Lliure




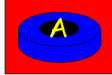



Estat Inactiva



B.5.4. Palet extern

Per a representar els estats dels palets, s'utilitza el següent codi de colors:

- Groc: sobre la peça del palet ja s'han realitzat totes les tasques i, per tant, el palet està llest per a girar.
- Vermell: alguna acció s'està realitzant sobre la peça del palet.
- Verd: s'ha acabat de realitzar una acció.

<i>Estat ANova</i>		<i>Estat BSemi</i>	
	FI TANCAMENT BRIDES PEÇA NOVA		FI TANCAMENT BRIDES PEÇA SEMIACABADA
<i>Estat ANovaCanvi</i>		<i>Estat BSemiCanvi</i>	
	CARREGANT PEÇA NOVA - DESCARREGANT PEÇA SEMI		CARREGANT PEÇA SEMI - DESCARREGANT PEÇA ACABADA
<i>Estat ANovaBrides</i>		<i>Estat BSemiBrides</i>	
	TANCANT BRIDES PEÇA NOVA		TANCANT BRIDES PEÇA SEMI
<i>Estat ASemi</i>		<i>Estat BAcabada</i>	
	PEÇA SEMIACABADA		PEÇA ACABADA
<i>Estat ASemiRobot</i>		<i>Estat BAcabadaRobot</i>	
	FI OBERTURA BRIDES PEÇA SEMI ESPERANT ROBOT		FI OBERTURA BRIDES PEÇA ACABADA ESPERANT ROBOT
<i>Estat ASemiBrides</i>		<i>Estat BAcabadaBrides</i>	
	OBRINT BRIDES PEÇA SEMI		OBRINT BRIDES PEÇA ACABADA



B.5.5. Palet intern

Per a representar els estats del palet intern se segueix el mateix codi de colors que en els palets externs. En aquest cas també s'utilitza el color gris, que indica que les eines de la màquina s'han avariat i, per tant, que la màquina està essent assistida per l'operari.

<i>Estat ANova</i>		<i>Estat BSemi</i>	
	PEÇA NOVA		PEÇA SEMIACABADA
<i>Estat ANovaMec</i>		<i>Estat BSemiMec</i>	
	MECANITZANT PEÇA NOVA		MECANITZANT PEÇA SEMIACABADA
<i>Estat ASemi</i>		<i>Estat BAcabada</i>	
	FI MECANITZAT PEÇA SEMIACABADA		FI MECANITZAT PEÇA ACABADA
<i>Estat ACanvi</i>		<i>Estat BCanvi</i>	
	AVARIA: CANVI EINES A		AVARIA: CANVI EINES B
<i>Estat AVerificacio</i>		<i>Estat BVerificacio</i>	
	AVARIA: VERIFICACIO EINES A		AVARIA: VERIFICACIO EINES B



C. AUTOMATITZACIÓ DE L'ARENA

C.1. ARXIUS D'ENTRADA

El model implementat en *Arena* utilitza dos arxius externs al sistema, que es llegeixen per a inicialitzar correctament la cel·la de producció. Aquests arxius, en format *Excel*, són:

è *Variables_Sistema.xls*

è *Palets_Inicials1.xls* i *Palets_Inicials2.xls*

El primer arxiu és el que conté el valor de les variables de cada simulació. Inclou els valors de les variables de totes les rèpliques que s'analitzaran amb l'*Arena*; d'aquesta forma, en un únic arxiu es tenen tots els paràmetres d'estudi. És l'arxiu que es llegeix al bloc **LECTURA VARIABLES** del submodel *INICIALITZACIO VARIABLES* (veure *Figura B.12*).

El següents dos arxius, *Palets_Inicials1.xls* i *Palets_Inicials2.xls*, són el mateix arxiu. Contenen els valors dels atributs necessaris per a inicialitzar cadascuna de les entitats creades al sistema. S'utilitzen dos arxius perquè el model en *Arena* els llegeix en el mateix instant de temps i, si s'utilitzés un únic arxiu, podrien existir problemes de lectura. El primer arxiu es llegeix al bloc **LECTURA PALETS INICIALS 1**, del submodel *MAQUINES* (veure *Figura B.13*); el segon es llegeix a **LECTURA PALETS INICIALS 2**, del submodel *GENERACIO AVARIES* (veure *Figura B.27*).

A continuació es presentarà el contingut d'aquests dos arxius.



C.1.1. Arxiu Variables_Sistema.xls

El contingut d'aquest arxiu és el que es mostra en la *Figura C.1.*

ARXIU QUE CONTÉ LES VARIABLES DEL SISTEMA

Nº Ròplica	Simulació corresponent	Nº Màq.	Estratègia	TMax	TCanviEina	TVerificació	TRotació	TCarregament	TOberturaBress	TTançamentBress	Pea0	Pea1	Pea2	T/Ings	Pea3	Pea4	Pea5	Pea6	Pea7
1	1	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
2	1	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
3	1	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
4	1	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
5	1	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
6	1	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
7	1	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
8	1	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
9	1	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
10	1	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
11	2	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
12	2	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
13	2	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
14	2	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
15	2	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
16	2	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
17	2	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
18	2	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
19	2	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
20	2	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
21	3	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
22	3	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
23	3	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
24	3	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
25	3	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
26	3	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
27	3	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
28	3	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
29	3	4	1	150	120	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29
30	3	4	1	150	150	60	14	30	12	12	15	15	6,5	10,25	14	17,75	21,5	25,25	29

Figura C. 1. Arxiu Variables_Sistema

L'arxiu continua amb la resta de combinacions de variables. L'Arena, a l'inici de cada rèplica i mitjançant el submodel *INICIALITZACIÓ VARIABLES*, llegeix fila a fila cadascuna de les combinacions possibles.



C.1.2. Arxiu Palets_Inicials1.xls i Palets_Inicials2.xls

El contingut d'aquest arxiu és el que s'observa en la *Figura C.2.*

ARXIU QUE CONTÉ ELS ATRIBUTS DELS PALETS CREATS INICIALMENT			
TIPUS DE PALET	MÀQUINA ASSOCIADA	JA S'HA MECANITZAT?	DIBUIX ENTITAT
1	1	1	25
2	1	0	25
1	2	1	2
2	2	0	2
1	3	0	8
2	3	1	8
1	4	0	5
2	4	1	5
1	5	1	1
2	5	0	1
1	6	1	3
2	6	0	3
1	7	0	4
2	7	1	4
1	8	0	6
2	8	1	6

on **Tipus de palet** :

1 = pA
2 = pB

Màquina associada :

1 = M1
2 = M2
3 = M3
4 = M4
5 = M5
6 = M6
7 = M7
8 = M8

Ja s'ha mecanitzat? :

0 = no
1 = sí

Dibuix entitat :

25 = ●
2 = ●
8 = ●
5 = ●
1 = ●
3 = ●
4 = ●
6 = ●

Figura C. 2. Arxiu Palets_Inicials1 i Palets_Inicials2

Amb ell s'assigna, a cada nova entitat creada als submodels *MAQUINES* i *GENERACIO AVARIES*, els atributs: *Tipus_Palet*, *Maquina_Associada*, *Mecanitzat?* i *Entity.Picture*.

L'*Arena*, cada vegada que llegeix aquest arxiu, ho fa de fila en fila. Per tant, la primera fila correspon als atributs associats a la primera entitat creada, la segona fila correspon a la segona entitat, i així respectivament. L'arxiu està preparat per a simular fins a vuit màquines; per això existeixen setze files, dues per a cada màquina. Si volguessin simular-se menys de vuit màquines, no s'hauria de realitzar cap modificació a l'arxiu ja que, un cop finalitza cada simulació, l'*Arena* torna a començar a llegir des del principi.



C.2. ARXIU DE SORTIDA

L'*Arena* permet extreure els resultats de les simulacions a un arxiu extern al programa de forma fàcil i directa. Aquest mètode per a obtenir els resultats és molt pràctic i concís, ja que l'*Arena* es pot programar per tal que només extregui aquells resultats que realment interessin per a l'anàlisi del sistema. La idea és insertar els paràmetres que interessin en un arxiu d'Excel, de forma que es tinguin tots els resultats ordenats i classificats.

Un cop realitzades totes les simulacions, es tindran els resultats en un únic full de càlcul. Posteriorment, podran realitzar-se les anàlisis per a l'estudi del sistema a partir d'aquest full d'*Excel*.

Els paràmetres que s'han extret de l'*Arena* són els corresponents a la producció de cada màquina i al percentatge del temps en què les màquines, el robot i l'operari es troben en cada estat.

Per a incorporar els resultats en el full d'*Excel*, l'*Arena* s'ha de programar per tal de col·locar cada paràmetre al lloc adient. El primer que hauria de fer l'*Arena* seria donar format a aquest full. Experimentalment, però, s'ha comprovat que aquest pas és massa lent si es realitza dintre de l'*Arena*. És molt més pràctic i eficient extreure aquesta part del codi del programa i crear amb ell una macro a l'*Excel*. D'aquesta forma es crea, abans de començar les simulacions, un full model a partir del nombre de màquines i de rèpliques que tindrà cada simulació. Un cop creat, l'*Arena* només l'haurà d'obrir cada cop que el necessiti.

Els passos a seguir són, doncs:

- è Creació del full model d'*Excel* on es guardaran els resultats.
- è Simulació del sistema i incorporació dels resultats al full model.



C.2.1. Full model per a incorporar els resultats

L'estructura del full d'*Excel* que servirà per a incorporar els resultats obtinguts amb l'*Arena* és la següent:

<i>VALOR DE LES VARIABLES DEL SISTEMA</i>	
<i>ESTATS DE LES MÀQUINES</i>	<i>RESULTATS</i>
<i>PRODUCCIÓ DE LES MÀQUINES</i>	<i>RESULTATS</i>
<i>ESTATS DEL ROBOT</i>	<i>RESULTATS</i>
<i>ESTATS DE L'OPERARI</i>	<i>RESULTATS</i>

Cada full consta d'un cert nombre de simulacions i, per a cada simulació, es realitzen deu rèpliques. Els resultats de cada simulació s'incorporen en una mateixa fila. Al final d'aquesta fila, es fa una mitjana de les deu rèpliques i s'obtenen els resultats de la simulació. Aquests resultats són els expressats al quadre anterior com a *RESULTATS*.

Per tant, a la part esquerra del full d'*Excel* hi ha els resultats de cadascuna de les deu rèpliques, i a la part dreta hi ha els resultats finals de cada simulació.

Com que poden realitzar-se tantes simulacions com es vulguin, és important saber quins són els valors de les variables de cada simulació. Aquests valors s'incorporen en la part superior del full, on s'indiquen els paràmetres associats a cada simulació.

Aquest full model es guarda amb el nom *MODEL_4M.xls*, on el quatre indica que es un full per a simular quatre màquines. Si se'n volguessin simular cinc seria *MODEL_5M.xls*, i així respectivament.



⋮																																			
S16	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari	
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari																	
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			

MÀQUINA 4

S1	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari	
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari																	
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			

S16	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari	
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rotació Palets</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupada B</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada A</td><td></td></tr> <tr><td>Avariada B</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Robot</td><td></td></tr> <tr><td>Esperant Operari</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Rotació Palets		Ocupada A		Ocupada B		Avariada A		Avariada B		Esperant Robot		Esperant Operari																	
ESTAT	PERCENTATGE																																		
Rotació Palets																																			
Ocupada A																																			
Ocupada B																																			
Avariada A																																			
Avariada B																																			
Esperant Robot																																			
Esperant Operari																																			

PRODUCCIÓ

S1	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MAQUINA</th> <th>PRODUCCIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td></td></tr> <tr><td>M2</td><td></td></tr> <tr><td>M3</td><td></td></tr> <tr><td>M4</td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MAQUINA	PRODUCCIO	M1		M2		M3		M4		TOTAL		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MAQUINA</th> <th>PRODUCCIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td></td></tr> <tr><td>M2</td><td></td></tr> <tr><td>M3</td><td></td></tr> <tr><td>M4</td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MAQUINA	PRODUCCIO	M1		M2		M3		M4		TOTAL	
MAQUINA	PRODUCCIO																										
M1																											
M2																											
M3																											
M4																											
TOTAL																											
MAQUINA	PRODUCCIO																										
M1																											
M2																											
M3																											
M4																											
TOTAL																											
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MAQUINA</th> <th>PRODUCCIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td></td></tr> <tr><td>M2</td><td></td></tr> <tr><td>M3</td><td></td></tr> <tr><td>M4</td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MAQUINA	PRODUCCIO	M1		M2		M3		M4		TOTAL													
MAQUINA	PRODUCCIO																										
M1																											
M2																											
M3																											
M4																											
TOTAL																											

S16	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MAQUINA</th> <th>PRODUCCIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td></td></tr> <tr><td>M2</td><td></td></tr> <tr><td>M3</td><td></td></tr> <tr><td>M4</td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MAQUINA	PRODUCCIO	M1		M2		M3		M4		TOTAL		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MAQUINA</th> <th>PRODUCCIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td></td></tr> <tr><td>M2</td><td></td></tr> <tr><td>M3</td><td></td></tr> <tr><td>M4</td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MAQUINA	PRODUCCIO	M1		M2		M3		M4		TOTAL	
MAQUINA	PRODUCCIO																										
M1																											
M2																											
M3																											
M4																											
TOTAL																											
MAQUINA	PRODUCCIO																										
M1																											
M2																											
M3																											
M4																											
TOTAL																											
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MAQUINA</th> <th>PRODUCCIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td></td></tr> <tr><td>M2</td><td></td></tr> <tr><td>M3</td><td></td></tr> <tr><td>M4</td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td></tr> </tbody> </table>	MAQUINA	PRODUCCIO	M1		M2		M3		M4		TOTAL													
MAQUINA	PRODUCCIO																										
M1																											
M2																											
M3																											
M4																											
TOTAL																											

ESTATS DEL ROBOT

S1	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat	
ESTAT	PERCENTATGE														
Lliure															
Ocupat															
ESTAT	PERCENTATGE														
Lliure															
Ocupat															
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat							
ESTAT	PERCENTATGE														
Lliure															
Ocupat															

S16	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat	
ESTAT	PERCENTATGE														
Lliure															
Ocupat															
ESTAT	PERCENTATGE														
Lliure															
Ocupat															
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat							
ESTAT	PERCENTATGE														
Lliure															
Ocupat															

ESTATS DE L'OPERARI

S1	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat B</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat A		Ocupat B		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat B</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat A		Ocupat B	
ESTAT	PERCENTATGE																		
Lliure																			
Ocupat A																			
Ocupat B																			
ESTAT	PERCENTATGE																		
Lliure																			
Ocupat A																			
Ocupat B																			
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat B</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat A		Ocupat B									
ESTAT	PERCENTATGE																		
Lliure																			
Ocupat A																			
Ocupat B																			

S16	<p>Mes 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat B</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat A		Ocupat B		...	<p>Mes 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat B</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat A		Ocupat B	
ESTAT	PERCENTATGE																		
Lliure																			
Ocupat A																			
Ocupat B																			
ESTAT	PERCENTATGE																		
Lliure																			
Ocupat A																			
Ocupat B																			
			<p>RESULTAT SIMULACIÓ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTAT</th> <th>PERCENTATGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lliure</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat A</td><td></td></tr> <tr><td>Ocupat B</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ESTAT	PERCENTATGE	Lliure		Ocupat A		Ocupat B									
ESTAT	PERCENTATGE																		
Lliure																			
Ocupat A																			
Ocupat B																			



Com ja s'ha comentat, aquest full es crea mitjançant una macro creada en un full d'*Excel*. S'ha realitzat aquesta macro perquè l'estructura del full pot canviar segons el nombre de simulacions que s'hi vulguin incorporar i segons el nombre de màquines que es vulguin estudiar. El codi de la macro és el següent:

Option Explicit

'Definició de les variables globals

'Num_Maq: nombre de màquines de la simulació

Dim Num_Maq As Integer

'Num_Parelles: nombre de parelles twa-twv a simular

Dim Num_Parelles As Integer

Private Sub Format_Inicial()

'Funció per a donar el format a tot el full de càlcul

'Selecció de tot el full per omplir les cel·les de blanc i definir l'ample de columna

Worksheets("Hoja1").Range("A1", "IV65536").Interior.Color = RGB(255, 255, 255)

Worksheets("Hoja1").Range("A1", "IV65536").ColumnWidth = 14.86

Worksheets("Hoja1").Columns("A").ColumnWidth = 11.57

End Sub

Private Sub Títols()

'Funció per a introduir i personalitzar els títols principals del full de càlcul

'Definició de les variables locals

'Fila0,Fila1,Fila2,Fila3,Fila4: comptadors de les noves línies

Dim Fila0 As Integer

Dim Fila1 As Integer

Dim Fila2 As Integer

Dim Fila3 As Integer

Dim Fila5 As Integer

'i,j,k: comptadors

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim k As Integer

'Títol "Resultats de la simulació"

'Introducció del text

Worksheets("Hoja1").Cells(1, 1).Value = "RESULTATS DE LA SIMULACIÓ"

'Introducció del format

Worksheets("Hoja1").Cells(1, 1).Select

With Selection.Font

.Name = "Arial"

.FontStyle = "Bold"

.Size = 20

.Underline = xlSingle

.Color = RGB(0, 0, 0)

End With



Títols "Estats de les màquines", "Producció", "Estats del robot" i "Estats de l'operari"

'Introducció del text

```
Fila0 = 29
Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0, 1).Value = "ESTATS DE LES MÀQUINES"
Fila1 = 5 + 3 * Num_Maq + 10 * Num_Parelles * Num_Maq
Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + Fila1, 1).Value = "PRODUCCIÓ"
Fila2 = 6 + 8 * Num_Parelles
Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + Fila1 + Fila2, 1).Value = "ESTATS DEL ROBOT"
Fila5 = 6 + 5 * Num_Parelles
Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + Fila1 + Fila2 + Fila5, 1).Value = "ESTATS DE
L'OPERARI"
```

'Introducció del format

```
For i = 0 To 1
  For j = 0 To 1
    For k = 0 To 1
      Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + (Fila1 + Fila2 * j + Fila5 * j * k) * i, 1).Select
      With Selection.Font
        .Name = "Arial"
        .FontStyle = "Bold"
        .Size = 14
        .Color = RGB(0, 128, 0)
      End With
    Next k
  Next j
Next i
```

Títols "Màquina ..."

'Introducció del text

```
Fila3 = 10 * Num_Parelles + 3
For i = 0 To (Num_Maq - 1)
  Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + 3 + Fila3 * i, 1) = "MÀQUINA"
  Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + 3 + Fila3 * i, 2) = "" & i + 1
Next i
```

'Introducció del format

```
For i = 0 To (Num_Maq - 1)
  Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + 3 + Fila3 * i, 1).Select
  With Selection
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 12
    .Font.Underline = xlSingle
    .Font.Color = RGB(255, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlRight
  End With
  Worksheets("Hoja1").Cells(Fila0 + 3 + Fila3 * i, 2).Select
  With Selection
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 12
    .Font.Underline = xlSingle
    .Font.Color = RGB(255, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlLeft
  End With
Next i
```

End Sub



Private Sub Text_Inicial()

'Funció per a introduir i personalitzar el text inicial del full de càlcul

'Definició de les variables locals

'i,j: comptadors de les columnes

Dim i As Integer

Dim j As Integer

'Introducció del text de les variables

```
Worksheets("Hoja1").Cells(4, 1).Value = "Nombre de màquines ="
Worksheets("Hoja1").Cells(5, 1).Value = "Tipus d'estratègia ="
Worksheets("Hoja1").Cells(7, 1).Value = "Valors de les variables de la simulació:"
Worksheets("Hoja1").Cells(7, 4).Value = "twa"
Worksheets("Hoja1").Cells(8, 4).Value = "twb"
Worksheets("Hoja1").Cells(9, 4).Value = "to1"
Worksheets("Hoja1").Cells(10, 4).Value = "to2"
Worksheets("Hoja1").Cells(11, 4).Value = "tt"
Worksheets("Hoja1").Cells(12, 4).Value = "tla"
Worksheets("Hoja1").Cells(13, 4).Value = "tlb"
Worksheets("Hoja1").Cells(14, 4).Value = "tca"
Worksheets("Hoja1").Cells(15, 4).Value = "tcb"
Worksheets("Hoja1").Cells(16, 4).Value = "toa"
Worksheets("Hoja1").Cells(17, 4).Value = "tob"
Worksheets("Hoja1").Cells(18, 4).Value = "tr1"
Worksheets("Hoja1").Cells(19, 4).Value = "tr2"
Worksheets("Hoja1").Cells(20, 4).Value = "tr3"
Worksheets("Hoja1").Cells(21, 4).Value = "tr4"
Worksheets("Hoja1").Cells(22, 4).Value = "tr5"
Worksheets("Hoja1").Cells(23, 4).Value = "tr6"
Worksheets("Hoja1").Cells(24, 4).Value = "tr7"
```

'Introducció del format del text de les variables

```
Worksheets("Hoja1").Range("A4", "C5").Select
With Selection
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    .Interior.Color = RGB(204, 153, 255)
    .Interior.Pattern = xlSolid
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(7, 1).Font.FontStyle = "bold"
Worksheets("Hoja1").Range("C4", "C5").HorizontalAlignment = xlCenter
For i = 0 To 17
    For j = 0 To (Num_Parelles)
        Worksheets("Hoja1").Cells(7 + i, 4 + j).Select
        With Selection
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
            .Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
            .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
            .Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
            .Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
            .HorizontalAlignment = xlCenter
        End With
    Next j
Next i
```



```

Next i
For i = 0 To 1
  For j = 0 To (Num_Parelles)
    Worksheets("Hoja1").Cells(7 + i, 4 + j).Font.Color = RGB(0, 0, 255)
  Next j
Next i
For i = 0 To 17
  Worksheets("Hoja1").Cells(7 + i, 4).Font.FontStyle = "Bold Italic"
Next i

```

'Introducció del text "S..." per a les variables + format

```

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  Worksheets("Hoja1").Cells(6, 5 + i).Value = "S" & (i + 1)
  Worksheets("Hoja1").Cells(6, 5 + i).Select
  With Selection
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
  End With
Next i

```

End Sub

Private Sub Subtítols()

'Funció per a introduir i personalitzar els subtítols del full de càlcul

'Definició de les variables locals

```

'i,j,k: comptadors
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim k As Integer
'Aux0,Aux1,Aux2,Aux3,Aux4: variables auxiliars per calcular les noves línies
Dim Aux0 As Integer
Dim Aux1 As Integer
Dim Aux2 As Integer
Dim Aux3 As Integer
Dim Aux4 As Integer

```

'Subtítols "S...", "Mes..." i "Resultats simulació"

```

'Introducció del text
Aux0 = 34
Aux1 = 13 + 10 * (Num_Parelles - 1)
Aux2 = 10 * (Num_Parelles - 1) + Aux1 * (Num_Maq - 1) + 16
Aux3 = Aux2 + 8 * (Num_Parelles - 1) + 14
Aux4 = Aux3 + 5 * (Num_Parelles - 1) + 11
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Value = "Mes"
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 3 + 3 * k).Value =
        "" & (k + 1)
    Next k
  Next j
Next i

```



```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 1).Value = "S" & (i + 1)
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Value = "RESULTAT"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 34).Value = "SIMULACIÓ"
```

Next j

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 1).Value = "S" & (i + 1)
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 1).Value = "S" & (i + 1)
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 1).Value = "S" & (i + 1)
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 33).Value = "RESULTAT"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 34).Value = "SIMULACIÓ"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 33).Value = "RESULTAT"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 34).Value = "SIMULACIÓ"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 33).Value = "RESULTAT"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 34).Value = "SIMULACIÓ"
```

Next i

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)

For k = 0 To 9

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 2 + 3 * k).Value = "Mes"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 3 + 3 * k).Value = "" & (k + 1)
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 2 + 3 * k).Value = "Mes"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 3 + 3 * k).Value = "" & (k + 1)
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 2 + 3 * k).Value = "Mes"
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 3 + 3 * k).Value = "" & (k + 1)
```

Next k

Next i

Introducció del format

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)

For j = 0 To (Num_Maq - 1)

```
Worksheets("Hoja1").Rows(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j).Select
```

With Selection

```
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Bold"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(51, 102, 255)
```

End With

Next j

```
Worksheets("Hoja1").Rows(Aux0 + Aux2 + 8 * i).Select
```

With Selection

```
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Bold"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(51, 102, 255)
```

End With

```
Worksheets("Hoja1").Rows(Aux0 + Aux3 + 5 * i).Select
```

With Selection

```
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Bold"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(51, 102, 255)
```

End With

```
Worksheets("Hoja1").Rows(Aux0 + Aux4 + 6 * i).Select
```

With Selection

```
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Bold"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(51, 102, 255)
```

End With



```

Next i
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 1).
      HorizontalAlignment = xlCenter
  Next j
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 1).HorizontalAlignment = xlCenter
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 1).HorizontalAlignment = xlCenter
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Next i
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).
        HorizontalAlignment = xlRight
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).
        Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
    Next k
  Next j
Next i
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For k = 0 To 9
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 2 + 3 * k).HorizontalAlignment =
      xlRight
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 2 + 3 * k).Borders(xlEdgeBottom).
      Weight = xlThick
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 2 + 3 * k).HorizontalAlignment =
      xlRight
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 2 + 3 * k).
      Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 2 + 3 * k).HorizontalAlignment =
      xlRight
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 2 + 3 * k).
      Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
  Next k
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 33).HorizontalAlignment =
      xlRight
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Borders(xlEdgeBottom).
      Weight = xlThick
  Next j
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 33).HorizontalAlignment = xlRight
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 33).Borders(xlEdgeBottom).
    Weight = xlThick
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 33).HorizontalAlignment = xlRight
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 33).Borders(xlEdgeBottom).
    Weight = xlThick
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 33).HorizontalAlignment = xlRight
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 33).Borders(xlEdgeBottom).
    Weight = xlThick
Next i
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For k = 0 To 9
    For j = 0 To (Num_Maq - 1)
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 3 + 3 * k).
        HorizontalAlignment = xlLeft
    Next j
  Next k

```



```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 3 + 3 * k).
Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
```

```
Next j
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 3 + 3 * k).
```

```
HorizontalAlignment = xlLeft
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 3 + 3 * k).
```

```
Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 3 + 3 * k).
```

```
HorizontalAlignment = xlLeft
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 3 + 3 * k).
```

```
Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 3 + 3 * k).
```

```
HorizontalAlignment = xlLeft
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 3 + 3 * k).
```

```
Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
```

```
Next k
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
```

```
For j = 0 To (Num_Maq - 1)
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 34).
```

```
HorizontalAlignment = xlLeft
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 10 * i + Aux1 * j, 34).
```

```
Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
```

```
Next j
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 34).HorizontalAlignment =
xlLeft
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 8 * i, 34).Borders(xlEdgeBottom).
Weight = xlThick
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 34).HorizontalAlignment =
xlLeft
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 5 * i, 34).Borders(xlEdgeBottom).
Weight = xlThick
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 34).HorizontalAlignment =
xlLeft
```

```
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 6 * i, 34).Borders(xlEdgeBottom).
Weight = xlThick
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text_EstatsMaquines()
```

'Funció per a introduir i personalitzar el text de "Estats de les màquines"

'Definició de les variables locals

'i,j,k: comptadors

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim k As Integer

'Aux0,Aux1,Aux2,Aux3,Aux4: variables auxiliars per calcular les noves línies

Dim Aux0 As Integer

Dim Aux1 As Integer

'Títols "Estat" i "Percentatge"

'Introducció del text i del format

Aux0 = 34

Aux1 = 13 + 10 * (Num_Parelles - 1)



```

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 1 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
      With Selection
        .Value = "ESTAT"
        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Bold"
        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
      End With
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 1 + 10 * i + Aux1 * j, 3 + 3 * k).Select
      With Selection
        .Value = "PERCENTATGE"
        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Bold"
        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
      End With
    Next k
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 1 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
    With Selection
      .Value = "ESTAT"
      .Font.Name = "Arial"
      .Font.FontStyle = "Bold"
      .Font.Size = 10
      .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
      .HorizontalAlignment = xlCenter
      .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
    End With
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 1 + 10 * i + Aux1 * j, 34).Select
    With Selection
      .Value = "PERCENTATGE"
      .Font.Name = "Arial"
      .Font.FontStyle = "Bold"
      .Font.Size = 10
      .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
      .HorizontalAlignment = xlCenter
      .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
    End With
  Next j
Next i

```

Text: estats de les màquines

Introducció del text i del format

```

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 2 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
      With Selection
        .Value = "Rotació Palets"
        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Italic"
      End With
    Next k
  Next j
Next i

```



```

        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 3 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Ocupada A"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 4 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Ocupada B"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 5 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Avariada A"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 6 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Avariada B"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 7 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Esperant Robot"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 8 + 10 * i + Aux1 * j, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Esperant Operari"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Next k
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 2 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
With Selection
    .Value = "Rotació Palets"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10

```




```
.Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 3 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
With Selection
.Value = "Ocupada A"
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Italic"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 4 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
With Selection
.Value = "Ocupada B"
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Italic"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 5 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
With Selection
.Value = "Avariada A"
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Italic"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 6 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
With Selection
.Value = "Avariada B"
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Italic"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 7 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
With Selection
.Value = "Esperant Robot"
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Italic"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 8 + 10 * i + Aux1 * j, 33).Select
With Selection
.Value = "Esperant Operari"
.Font.Name = "Arial"
.Font.FontStyle = "Italic"
.Font.Size = 10
.Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Next j
Next i
```

```
End Sub
```



Private Sub Text_Producció()

'Funció per a introduir i personalitzar el text de "Producció"

'Definició de les variables locals

'i,k: comptadors

Dim i As Integer

Dim k As Integer

'Aux0,Aux1,Aux2: variables auxiliars per calcular les noves línies

Dim Aux0 As Integer

Dim Aux1 As Integer

Dim Aux2 As Integer

'Títols "Màquina" i "Producció"

'Introducció del text i del format

Aux0 = 34

Aux1 = 13 + 10 * (Num_Parelles - 1)

Aux2 = 10 * (Num_Parelles - 1) + Aux1 * (Num_Maq - 1) + 16

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)

For k = 0 To 9

Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 1 + 8 * i, 2 + 3 * k).Select

With Selection

.Value = "MÀQUINA"

.Font.Name = "Arial"

.Font.FontStyle = "Bold"

.Font.Size = 10

.Font.Color = RGB(0, 0, 0)

.HorizontalAlignment = xlCenter

.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble

End With

Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 1 + 8 * i, 3 + 3 * k).Select

With Selection

.Value = "PRODUCCIÓ"

.Font.Name = "Arial"

.Font.FontStyle = "Bold"

.Font.Size = 10

.Font.Color = RGB(0, 0, 0)

.HorizontalAlignment = xlCenter

.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble

End With

Next k

Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 1 + 8 * i, 33).Select

With Selection

.Value = "MÀQUINA"

.Font.Name = "Arial"

.Font.FontStyle = "Bold"

.Font.Size = 10

.Font.Color = RGB(0, 0, 0)

.HorizontalAlignment = xlCenter

.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble

End With

Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 1 + 8 * i, 34).Select

With Selection

.Value = "PRODUCCIÓ"

.Font.Name = "Arial"

.Font.FontStyle = "Bold"



```

        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
    End With
Next i

'Text: M1,M2,M3,M4,Total
'Introducció del text i del format
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
    For k = 0 To 9
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 2 + 8 * i, 2 + 3 * k).Select
        With Selection
            .Value = "M1"
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        End With
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 3 + 8 * i, 2 + 3 * k).Select
        With Selection
            .Value = "M2"
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        End With
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 4 + 8 * i, 2 + 3 * k).Select
        With Selection
            .Value = "M3"
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        End With
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 5 + 8 * i, 2 + 3 * k).Select
        With Selection
            .Value = "M4"
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        End With
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 6 + 8 * i, 2 + 3 * k).Select
        With Selection
            .Value = "TOTAL"
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        End With
    Next k
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 2 + 8 * i, 33).Select
    With Selection
        .Value = "M1"
        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Italic"
    End With

```



```

        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 3 + 8 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "M2"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 4 + 8 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "M3"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 5 + 8 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "M4"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 6 + 8 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "TOTAL"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Next i

```

End Sub

Private Sub Text_EstatsRobot()

'Funció per a introduir i personalitzar el text de "Estats del robot"

'Definició de les variables locals

'i,k: comptadors

Dim i As Integer

Dim k As Integer

'Aux0,Aux1,Aux2,Aux3,Aux4: variables auxiliars per calcular les noves línies

Dim Aux0 As Integer

Dim Aux1 As Integer

Dim Aux2 As Integer

Dim Aux3 As Integer

'Títols "Estat" i "Percentatge"

'Introducció del text i del format

Aux0 = 34

Aux1 = 13 + 10 * (Num_Parelles - 1)

Aux2 = 10 * (Num_Parelles - 1) + Aux1 * (Num_Maq - 1) + 16

Aux3 = Aux2 + 8 * (Num_Parelles - 1) + 14



```

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For k = 0 To 9
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 1 + 5 * i, 2 + 3 * k).Select
    With Selection
      .Value = "ESTAT"
      .Font.Name = "Arial"
      .Font.FontStyle = "Bold"
      .Font.Size = 10
      .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
      .HorizontalAlignment = xlCenter
      .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
    End With
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 1 + 5 * i, 3 + 3 * k).Select
    With Selection
      .Value = "PERCENTATGE"
      .Font.Name = "Arial"
      .Font.FontStyle = "Bold"
      .Font.Size = 10
      .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
      .HorizontalAlignment = xlCenter
      .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
    End With
  Next k
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 1 + 5 * i, 33).Select
  With Selection
    .Value = "ESTAT"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
  End With
  Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 1 + 5 * i, 34).Select
  With Selection
    .Value = "PERCENTATGE"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
  End With
Next i

```

Text: Lliure, Ocupat

Introducció del text i del format

```

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For k = 0 To 9
    Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 2 + 5 * i, 2 + 3 * k).Select
    With Selection
      .Value = "Lliure"
      .Font.Name = "Arial"
      .Font.FontStyle = "Italic"
      .Font.Size = 10
      .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    End With
  Next k

```



```

Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 3 + 5 * i, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Ocupat"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Next k

Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 2 + 5 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "Lliure"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 3 + 5 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "Ocupat"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Next i

```

End Sub

Private Sub Text_EstatsOperari()

'Funció per a introduir i personalitzar el text de "Estats de l'operari"

'Definició de les variables locals

'i,k: comptadors

Dim i As Integer

Dim k As Integer

'Aux0,Aux1,Aux2,Aux3,Aux4: variables auxiliars per calcular les noves línies

Dim Aux0 As Integer

Dim Aux1 As Integer

Dim Aux2 As Integer

Dim Aux3 As Integer

Dim Aux4 As Integer

'Títols "Estat" i "Percentatge"

'Introducció del text i del format

Aux0 = 34

Aux1 = 13 + 10 * (Num_Parelles - 1)

Aux2 = 10 * (Num_Parelles - 1) + Aux1 * (Num_Maq - 1) + 16

Aux3 = Aux2 + 8 * (Num_Parelles - 1) + 14

Aux4 = Aux3 + 5 * (Num_Parelles - 1) + 11

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)

For k = 0 To 9

Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 1 + 6 * i, 2 + 3 * k).Select

With Selection



```

        .Value = "ESTAT"
        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Bold"
        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
    End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 1 + 6 * i, 3 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "PERCENTATGE"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
End With
Next k
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 1 + 6 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "ESTAT"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 1 + 6 * i, 34).Select
With Selection
    .Value = "PERCENTATGE"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Bold"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlDouble
End With
Next i

'Text: Lliure, Ocupat A, Ocupat B
'Introducció del text i del format
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
    For k = 0 To 9
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 2 + 6 * i, 2 + 3 * k).Select
        With Selection
            .Value = "Lliure"
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        End With
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 3 + 6 * i, 2 + 3 * k).Select
        With Selection
            .Value = "Ocupat A"

```



```

        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Italic"
        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
    End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 4 + 6 * i, 2 + 3 * k).Select
With Selection
    .Value = "Ocupat B"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Next k
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 2 + 6 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "Lliure"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 3 + 6 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "Ocupat A"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 4 + 6 * i, 33).Select
With Selection
    .Value = "Ocupat B"
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.FontStyle = "Italic"
    .Font.Size = 10
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
End With
Next i

```

End Sub

Private Sub Format_Resultats()

'Funció per a donar el format a les cel·les de resultats

'Definició de les variables locals

'i,j,k: comptadors

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim k As Integer

Dim h As Integer

'Aux0,Aux1,Aux2,Aux3,Aux4: variables auxiliars per calcular les noves línies

Dim Aux0 As Integer

Dim Aux1 As Integer

Dim Aux2 As Integer

Dim Aux3 As Integer

Dim Aux4 As Integer



Inicialització Aux0,Aux1,Aux2,Aux3,Aux4

```

Aux0 = 34
Aux1 = 13 + 10 * (Num_Parelles - 1)
Aux2 = 10 * (Num_Parelles - 1) + Aux1 * (Num_Maq - 1) + 16
Aux3 = Aux2 + 8 * (Num_Parelles - 1) + 14
Aux4 = Aux3 + 5 * (Num_Parelles - 1) + 11

```

Format a "Estats de les màquines"

```

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      For h = 0 To 6
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 2 + h + 10 * i + Aux1 * j, 3 + 3 * k).
          Select
            Select
              With Selection
                .Font.Name = "Arial"
                .Font.FontStyle = "Italic"
                .Font.Size = 10
                .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
                .HorizontalAlignment = xlCenter
                .NumberFormat = "0.00"
              End With
            Next h
          Next k
        Next j
      Next i
    For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
      For j = 0 To (Num_Maq - 1)
        For h = 0 To 6
          Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + 2 + h + 10 * i + Aux1 * j, 34).Select
            With Selection
              .Font.Name = "Arial"
              .Font.FontStyle = "Italic"
              .Font.Size = 10
              .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
              .HorizontalAlignment = xlCenter
              .NumberFormat = "0.00"
            End With
          Next h
        Next j
      Next i

```

Format a "Producció"

```

For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      For h = 0 To 4
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 2 + h + 8 * i, 3 + 3 * k).Select
          With Selection
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
            .HorizontalAlignment = xlCenter
            .NumberFormat = "0.0"
          End With
        Next h
      Next j
    Next i

```



```

    Next k
  Next j
Next i
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For h = 0 To 4
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux2 + 2 + h + 8 * i, 34).Select
      With Selection
        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Italic"
        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .NumberFormat = "0.0"
      End With
    Next h
  Next j
Next i

'Format a "Estats del robot"
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      For h = 0 To 1
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 2 + h + 5 * i, 3 + 3 * k).Select
        With Selection
          .Font.Name = "Arial"
          .Font.FontStyle = "Italic"
          .Font.Size = 10
          .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
          .HorizontalAlignment = xlCenter
          .NumberFormat = "0.00"
        End With
      Next h
    Next k
  Next j
Next i
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For h = 0 To 1
      Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux3 + 2 + h + 5 * i, 34).Select
      With Selection
        .Font.Name = "Arial"
        .Font.FontStyle = "Italic"
        .Font.Size = 10
        .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .NumberFormat = "0.00"
      End With
    Next h
  Next j
Next i

'Format a "Estats de l'operari"
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
  For j = 0 To (Num_Maq - 1)
    For k = 0 To 9
      For h = 0 To 2
        Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 2 + h + 6 * i, 3 + 3 * k).Select

```



```

        With Selection
            .Font.Name = "Arial"
            .Font.FontStyle = "Italic"
            .Font.Size = 10
            .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
            .HorizontalAlignment = xlCenter
            .NumberFormat = "0.00"
        End With
    Next h
Next k
Next j
Next i
For i = 0 To (Num_Parelles - 1)
    For j = 0 To (Num_Maq - 1)
        For h = 0 To 2
            Worksheets("Hoja1").Cells(Aux0 + Aux4 + 2 + h + 6 * i, 34).Select
            With Selection
                .Font.Name = "Arial"
                .Font.FontStyle = "Italic"
                .Font.Size = 10
                .Font.Color = RGB(0, 0, 0)
                .HorizontalAlignment = xlCenter
                .NumberFormat = "0.00"
            End With
        Next h
    Next j
Next i
End Sub

```

```
Private Sub Guardar_Full()
```

'Funció per canviar el nom del full i guardar l'arxiu

'Canvi de nom segons el nombre de màquines i gravació

```

Select Case Num_Maq
    Case Is = 4
        Worksheets("Hoja1").Name = "4_M"
        ActiveWorkbook.SaveCopyAs "Model_4M.XLS"
    Case Is = 5
        Worksheets("Hoja1").Name = "5_M"
        ActiveWorkbook.SaveCopyAs "Model_5M.XLS"
    Case Is = 6
        Worksheets("Hoja1").Name = "6_M"
        ActiveWorkbook.SaveCopyAs "Model_6M.XLS"
    Case Is = 7
        Worksheets("Hoja1").Name = "7_M"
        ActiveWorkbook.SaveCopyAs "Model_7M.XLS"
    Case Is = 8
        Worksheets("Hoja1").Name = "8_M"
        ActiveWorkbook.SaveCopyAs "Model_8M.XLS"
End Select

```

```
End Sub
```



Sub Model_General()

'Macro per a crear el full model per a incorporar els resultats de les simulacions

'Inicialització dels paràmetres

Num_Maq = 4

Num_Parelles = 16

} *Paràmetres a definir abans d'executar la macro*

'Funcions a realitzar

Format_Inicial

Format_Resultats

Títols

Text_Inicial

Subtítols

Text_EstatsMaquines

Text_Producció

Text_EstatsRobot

Text_EstatsOperari

Guardar_Full

End Sub



C.2.2. Codi per a insertar els resultats al full de càlcul

Mitjançant el *Visual Basic for Applications (VBA)*, pot escriure's un codi en l'*Arena* que incorpori els resultats desitjats en un arxiu extern. El codi que s'ha utilitzat per a insertar els resultats en el full model d'*Excel (MODEL_4M.xls)* és el següent:

Option Explicit

'Definició de les variables globals

'm: el model d'Arena

Dim m As Arena.Model

's: l'objecte de dades de SIMAN

Dim s As Arena.SIMAN

'i,j,a,b: comptadors d'estructures IF

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim a As Integer

Dim b As Integer

'k: comptador del nombre de fulls

Dim k As Integer

'r,n,q:comptadors per al càlcul de les files dels estats de les màquines

Dim r As Integer

Dim n As Integer

Dim q As Integer

'Obert_4,Obert_5,Obert_6,Obert_7,Obert_8: variables binàries per a indicar si ja s'ha obert l'arxiu corresponent

Dim Obert_4 As Integer

Dim Obert_5 As Integer

Dim Obert_6 As Integer

Dim Obert_7 As Integer

Dim Obert_8 As Integer

'Num_Maq: nombre de màquines de la simulació

Dim Num_Maq As Integer

'Num_Parelles: nombre de parelles twa-twb a simular

Dim Num_Parelles As Integer

'Num_Mesos: nombre de mesos (nombre de rèpliques per cada parella twa-twb)

Dim Num_Mesos As Integer

'Definició de les variables globals d'Excel

Dim g_XLApp As Excel.Application

Dim g_XLWorkbook As Excel.Workbook

Dim g_XLDataSheet As Excel.Worksheet



```
Private Sub ModelLogic_RunBeginSimulation()
```

```
'Definició de la variable SIMAN global
```

```
Set m = ThisDocument.Model
```

```
Set s = m.SIMAN
```

```
'Inicialització i visualització d'Excel
```

```
Set g_XLApp = CreateObject("Excel.Application")
```

```
g_XLApp.Visible = True
```

```
'Inicialització de les variables del sistema
```

```
Num_Parelles = 16
```

```
Num_Mesos = 10
```

} *Paràmetres a definir abans d'iniciar les simulacions*

```
'Inicialització de la variable "k" (número associat al full de resultats d'Excel)
```

```
k = 1
```

```
'Inicialització de les variables comptador "a", "b", "i", "j", "Obert_..."
```

```
a = 1
```

```
b = 0
```

```
i = 0
```

```
j = 1
```

```
Obert_4 = 0
```

```
Obert_5 = 0
```

```
Obert_6 = 0
```

```
Obert_7 = 0
```

```
Obert_8 = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CreacioNouFull_GravarFull()
```

```
'Funció per a crear una nova còpia del full model
```

```
'Obertura de l'arxiu que serveix de model i creació de la còpia corresponent
```

```
Select Case Num_Maq
```

```
Case Is = 4
```

```
'Obertura de l'arxiu (si encara no s'ha obert)
```

```
If (Obert_4 = 0) Then
```

```
Set g_XLWorkbook = Workbooks.Open(FileName:="MODEL_4M.XLS")
```

```
Obert_4 = 1
```

```
g_XLWorkbook.SaveAs "Simulació_4_M"
```

```
End If
```

```
'Creació de la còpia
```

```
Worksheets("4_M").Copy After:=Worksheets("4_M")
```

```
'Donem nom al nou full de càlcul: "Full..."
```

```
Set g_XLDataSheet = g_XLWorkbook.ActiveSheet
```

```
g_XLDataSheet.Name = "Full" & k
```

```
'Gravem el full
```

```
g_XLWorkbook.Save
```

```
Case Is = 5
```

```
'Obertura de l'arxiu (si encara no s'ha obert)
```

```
If (Obert_5 = 0) Then
```

```
Set g_XLWorkbook = Workbooks.Open(FileName:="MODEL_5M.XLS")
```

```
Obert_5 = 1
```

```
g_XLWorkbook.SaveAs "Simulació_5_M"
```

```
End If
```



```

'Creació de la còpia
Worksheets("5_M").Copy After:=Worksheets("5_M")
'Donem nom al nou full de càlcul: "Full..."
Set g_XLDataSheet = g_XLWorkbook.ActiveSheet
g_XLDataSheet.Name = "Full" & k
'Gravem el full
g_XLWorkbook.Save
Case Is = 6
'Obertura de l'arxiu (si encara no s'ha obert)
If (Obert_6 = 0) Then
Set g_XLWorkbook = Workbooks.Open(Filename:="MODEL_6M.XLS")
Obert_6 = 1
g_XLWorkbook.SaveAs "Simulació_6_M"
End If
'Creació de la còpia
Worksheets("6_M").Copy After:=Worksheets("6_M")
'Donem nom al nou full de càlcul: "Full..."
Set g_XLDataSheet = g_XLWorkbook.ActiveSheet
g_XLDataSheet.Name = "Full" & k
'Gravem el full
g_XLWorkbook.Save
Case Is = 7
'Obertura de l'arxiu (si encara no s'ha obert)
If (Obert_7 = 0) Then
Set g_XLWorkbook = Workbooks.Open(Filename:="MODEL_7M.XLS")
Obert_7 = 1
g_XLWorkbook.SaveAs "Simulació_7_M"
End If
'Creació de la còpia
Worksheets("7_M").Copy After:=Worksheets("7_M")
'Donem nom al nou full de càlcul: "Full..."
Set g_XLDataSheet = g_XLWorkbook.ActiveSheet
g_XLDataSheet.Name = "Full" & k
'Gravem el full
g_XLWorkbook.Save
Case Is = 8
'Obertura de l'arxiu (si encara no s'ha obert)
If (Obert_8 = 0) Then
Set g_XLWorkbook = Workbooks.Open(Filename:="MODEL_8M.XLS")
Obert_8 = 1
g_XLWorkbook.SaveAs "Simulació_8_M"
End If
'Creació de la còpia
Worksheets("8_M").Copy After:=Worksheets("8_M")
'Donem nom al nou full de càlcul: "Full..."
Set g_XLDataSheet = g_XLWorkbook.ActiveSheet
g_XLDataSheet.Name = "Full" & k
'Gravem el full
g_XLWorkbook.Save
End Select

'Insertem el tipus d'estratègia i canviem el nom del full + insertem nombre de màquines
If (s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("Tipus_Torn")) = 1) Then
g_XLDataSheet.Cells(5, 3).value = "FM-I"
g_XLDataSheet.Name = "Full" & k & " - FM-I"
ElseIf (s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("Tipus_Torn")) = 2) Then
g_XLDataSheet.Cells(5, 3).value = "FIFO"

```



```

g_XLDataSheet.Name = "Full" & k & " - FIFO"
Elseif (s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("Tipus_Torn")) = 3) Then
g_XLDataSheet.Cells(5, 3).value = "CFO"
g_XLDataSheet.Name = "Full" & k & " - CFO"
End If
g_XLDataSheet.Cells(4, 3).value = Num_Maq

```

'Actualització de la variable "k" (nombre de fulls)

```
k = k + 1
```

End Sub

Private Sub VariablesSimulacio()

'Funció per a insertar els valors de les variables del sistema corresponents a la simulació

'Definició de les variables locals

'Columna: variable per a calcular la columna corresponent

```
Dim Columna As Integer
```

'Càlcul de la columna corresponent

```
Columna = 5 + r
```

'Insertem els temps de treball dels palets A i B

```
g_XLDataSheet.Cells(7, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TMec", 1, 1))
```

```
g_XLDataSheet.Cells(8, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TMec", 1, 2))
```

'Insertem els temps de treball de l'operari (canvi eines i verificació)

```
g_XLDataSheet.Cells(9, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TCanviEina"))
```

```
g_XLDataSheet.Cells(10, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TVerificacio"))
```

'Insertem el temps de rotació

```
g_XLDataSheet.Cells(11, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TRotacio"))
```

'Insertem els temps de càrrega dels palets A i B

```
g_XLDataSheet.Cells(12, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TCarregaPalet", 1, 1))
```

```
g_XLDataSheet.Cells(13, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TCarregaPalet", 1, 2))
```

'Insertem els temps de tancament de brides segons el palet sigui A o B

```
g_XLDataSheet.Cells(14, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TTancamentBrides", 1, 1))
```

```
g_XLDataSheet.Cells(15, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TTancamentBrides", 1, 2))
```

'Insertem els temps d'obertura de brides segons el palet sigui A o B

```
g_XLDataSheet.Cells(16, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TOberturaBrides", 1, 1))
```

```
g_XLDataSheet.Cells(17, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TOberturaBrides", 1, 2))
```

'Insertem els temps de desplaçament del robot segons les posicions necessàries

```
g_XLDataSheet.Cells(18, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TViatge", 1, 2))
```

```
g_XLDataSheet.Cells(19, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TViatge", 1, 3))
```

```
g_XLDataSheet.Cells(20, Columna).value =
```




```

s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TViatge", 1, 4))
g_XLDataSheet.Cells(21, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TViatge", 1, 5))
g_XLDataSheet.Cells(22, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TViatge", 1, 6))
g_XLDataSheet.Cells(23, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TViatge", 1, 7))
g_XLDataSheet.Cells(24, Columna).value =
s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("TViatge", 1, 8))

```

End Sub

Private Sub EstatsMaquines()

'Funció per a insertar el percentatge de cada estat de les màquines

'Definició de les variables locals

'FrequencyNumber: variable per definir l'Statistic corresponent (FM1,FM2,...)

Dim FrequencyNumber As Long

'Category: variable per determinar el número corresponent a cada estat (1,2,...,7)

Dim Category As Long

'Insertem els percentatges corresponents

For n = 0 To (Num_Maq - 1)

Select Case n

Case Is = 0

'Cas de la màquina 1

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM1")

Case Is = 1

'Cas de la màquina 2

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM2")

Case Is = 2

'Cas de la màquina 3

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM3")

Case Is = 3

'Cas de la màquina 4

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM4")

Case Is = 4

'Cas de la màquina 5

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM5")

Case Is = 5

'Cas de la màquina 6

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM6")

Case Is = 6

'Cas de la màquina 7

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM7")

Case Is = 7

'Cas de la màquina 8

FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FM8")

End Select

Category = 1

g_XLDataSheet.Cells(36 + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * q).

value = s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)

Category = 2

g_XLDataSheet.Cells(37 + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * q).

value = s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)



```

Category = 3
g_XLDataSheet.Cells(38 + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * q).
    value = s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
Category = 4
g_XLDataSheet.Cells(39 + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * q).
    value = s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
Category = 5
g_XLDataSheet.Cells(40 + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * q).
    value = s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
Category = 6
g_XLDataSheet.Cells(41 + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * q).
    value = s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
Category = 7
g_XLDataSheet.Cells(42 + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * q).
    value = s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
Next n

```

End Sub

Private Sub Produccio()

'Funció per a insertar la producció de cada màquina i la producció total

'Definició de les variables locals

'CounterNumber: variable per definir l'Statistic corresponent (Producció_M1,...)

Dim CounterNumber As Long

'Insertem els comptadors corresponents

For n = 0 To (Num_Maq - 1)

Select Case n

Case Is = 0

'Cas de la màquina 1

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M1")

Case Is = 1

'Cas de la màquina 2

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M2")

Case Is = 2

'Cas de la màquina 3

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M3")

Case Is = 3

'Cas de la màquina 4

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M4")

Case Is = 4

'Cas de la màquina 5

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M5")

Case Is = 5

'Cas de la màquina 6

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M6")

Case Is = 6

'Cas de la màquina 7

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M7")

Case Is = 7

'Cas de la màquina 8

CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_M8")

End Select

g_XLDataSheet.Cells(52 + n + (10 * (Num_Parelles - 1)) + (13 +
 10 * (Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1)) + (4 + Num_Maq) * r,
 3 + 3 * q).value = s.CounterValue(CounterNumber)

Next n



'Producció total

```
CounterNumber = s.SymbolNumber("Produccio_Total")
g_XLDataSheet.Cells(52 + Num_Maq + (10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
(Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1)) + (4 + Num_Maq) * r, 3 + 3 * q).value =
s.CounterValue(CounterNumber)
```

End Sub

Private Sub EstatsRobot()

'Funció per a insertar el percentatge de cada estat del robot

Definició de les variables locals

'FrequencyNumber: variable per definir l'Statistic corresponent (FR)

Dim FrequencyNumber As Long

'Category: variable per determinar el número corresponent a cada estat (1,2)

Dim Category As Long

Insertem els percentatges corresponents

```
FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FR")
Category = 1
g_XLDataSheet.Cells(62 + Num_Maq + 10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
(Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) + (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) +
5 * r, 3 + 3 * q).value =
s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
Category = 2
g_XLDataSheet.Cells(63 + Num_Maq + 10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
(Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) + (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) +
5 * r, 3 + 3 * q).value =
s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
```

End Sub

Private Sub EstatsOperari()

'Funció per a insertar el percentatge de cada estat de l'operari

Definició de les variables locals

'FrequencyNumber: variable per definir l'Statistic corresponent (FO)

Dim FrequencyNumber As Long

'Category: variable per determinar el número corresponent a cada estat (1,2,3)

Dim Category As Long

Insertem els percentatges corresponents

```
FrequencyNumber = s.SymbolNumber("FO")
Category = 1
g_XLDataSheet.Cells(73 + Num_Maq + 10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
(Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) + (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) + 5 *
(Num_Parelles - 1) + 6 * r, 3 + 3 * q).value =
s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
Category = 2
g_XLDataSheet.Cells(74 + Num_Maq + 10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
(Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) + (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) + 5 *
(Num_Parelles - 1) + 6 * r, 3 + 3 * q).value =
s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)
```



```

Category = 3
g_XLDataSheet.Cells(75 + Num_Maq + 10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
(Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) + (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) + 5 *
(Num_Parelles - 1) + 6 * r, 3 + 3 * q).value =
s.FrequencyCategoryStandardPercent(FrequencyNumber, Category)

```

End Sub

Private Sub ResumResultats()

'Funció per a insertar el resum dels resultats obtinguts per a cada parella twa-twb

'Definició de les variables locals

'qq: equivalent a "q" però d'ús només en aquesta funció

Dim qq As Integer

'd: variable comptador per a l'estructura FOR

Dim d As Integer

'Suma: variable auxiliar per a calcular la suma de les produccions

Dim Suma As Double

'Resum dels resultats dels estats de les màquines

For n = 0 To (Num_Maq - 1)

For d = 0 To 6

qq = 0

Suma = 0

While qq < Num_Mesos

Suma = Suma + g_XLDataSheet.Cells(36 + d + 10 * r +
(13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 3 + 3 * qq)

qq = qq + 1

Wend

g_XLDataSheet.Cells(36 + d + 10 * r + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * n, 34).
value = Suma / Num_Mesos

Next d

Next n

'Resum dels resultats de la producció

For n = 0 To Num_Maq

qq = 0

Suma = 0

While qq < Num_Mesos

Suma = Suma + g_XLDataSheet.Cells(52 + n + (10 * (Num_Parelles - 1) +
(13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1)) + (4 + Num_Maq) * r, 3 +
3 * qq)

qq = qq + 1

Wend

g_XLDataSheet.Cells(52 + n + (10 * (Num_Parelles - 1) +
(13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1)) + (4 + Num_Maq) * r,
34).value = Suma / Num_Mesos

Next n

'Resum dels resultats dels estats del robot

For n = 0 To 1

qq = 0

Suma = 0

While qq < Num_Mesos

Suma = Suma + g_XLDataSheet.Cells(62 + n + Num_Maq + 10 *
(Num_Parelles - 1) + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) +
(4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) + 5 * r, 3 + 3 * qq)



```

    qq = qq + 1
Wend
g_XLDataSheet.Cells(62 + n + Num_Maq + 10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
    (Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) + (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) +
    5 * r, 34).value = Suma / Num_Mesos
Next n

'Resum dels resultats dels estats de l'operari
For n = 0 To 2
    qq = 0
    Suma = 0
    While qq < Num_Mesos
        Suma = Suma + g_XLDataSheet.Cells(73 + n + Num_Maq + 10 *
            (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 * (Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) +
            (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1) + 5 * (Num_Parelles - 1) + 6 * r, 3 + 3 * qq)
        qq = qq + 1
    Wend
    g_XLDataSheet.Cells(73 + n + Num_Maq + 10 * (Num_Parelles - 1) + (13 + 10 *
        (Num_Parelles - 1)) * (Num_Maq - 1) + (4 + Num_Maq) * (Num_Parelles - 1)
        + 5 * (Num_Parelles - 1) + 6 * r, 34).value = Suma / Num_Mesos
Next n

End Sub

```

```

Private Sub ModelLogic_RunBeginReplication()

End Sub

```

```

Private Sub ModelLogic_RunEndReplication()

    'Definició de les variables locals
    'Num_Replica: variable que determina el número de rèplica
    Dim Num_Replica As Long

    'Càlcul del número de rèplica actual
    Num_Replica = s.RunCurrentReplication

    'Lectura d'algunes variables del sistema
    'Lectura del nombre de màquines
    Num_Maq = CInt(s.VariableArrayValue(s.SymbolNumber("Num_Maq")))

    'Bucle per determinar si s'ha de crear un nou full de càlcul
    If (Num_Replica = (Num_Parelles * Num_Mesos) * i + 1) Then
        CreacioNouFull_GravarFull
        i = i + 1
    End If

    'Càlcul de variables per a saber la posterior posició de les cel·les
    'Comptadors per a la fila dels estats de les màquines
    'r: serveix per indicar la fila de la simulació S(r-1)
    If ((Num_Replica - (i - 1) * (Num_Parelles * Num_Mesos)) < Num_Mesos * a) Then
        r = a - 1
    ElseIf ((Num_Replica - (i - 1) * (Num_Parelles * Num_Mesos)) = Num_Mesos * a)
    Then
        r = a - 1
        a = a + 1
        If (a > Num_Parelles) Then
            a = 1
        End If
    End If
End Sub

```



```

'q: serveix per indicar la columna segons el mes
If (Num_Replica = Num_Mesos * b + 1) Then
    q = 0
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 2) Then
    q = 1
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 3) Then
    q = 2
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 4) Then
    q = 3
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 5) Then
    q = 4
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 6) Then
    q = 5
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 7) Then
    q = 6
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 8) Then
    q = 7
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b + 9) Then
    q = 8
    b = b + 1
ElseIf (Num_Replica = Num_Mesos * b) Then
    q = 9
End If

```

'Funcions per insertar els resultats obtinguts de cada rèplica

```

EstatsMaquines
Produccio
EstatsRobot
EstatsOperari

```

'Bucle per determinar si s'ha de crear el resum dels resultats obtinguts

```

If (Num_Replica = Num_Mesos * j) Then
    VariablesSimulacio
    ResumResultats
    j = j + 1
End If

```

End Sub

Private Sub ModelLogic_RunEnd()

```

'Es guarda el fitxer
g_XLWorkbook.Save

'S'eliminen les variables d'Excel
Set g_XLApp = Nothing
Set g_XLWorkbook = Nothing
Set g_XLDataSheet = Nothing

```

End Sub

El nou full d'Excel creat, on ja s'inclouen tots els resultats, es guarda amb el nom *Simulació_4M.xls* (per al cas de simulacions amb quatre màquines).



D. ANÀLISI ECONÒMIC

En l'estudi econòmic del present projecte s'analitzarà la despesa que ha suposat la realització del mateix. No es tindran en compte, doncs, les inversions i despeses que sorgeixin al portar a terme el projecte.

Els aspectes a pressupostar són els relacionats amb l'anàlisi, el modelatge i les simulacions.

A continuació, es detallen les despeses segons la seva naturalesa.

D.1. COST DE LES HORES DE PERSONAL

Les hores de treball invertides per a la realització del projecte es detallen a continuació en la *Taula D.1*.

	<i>MESOS</i>	<i>DIES / MES</i>	<i>HORES / DIA</i>	<i>HORES TOTALS</i>
<i>Enginyer Sènior</i>	10	3	1	30
<i>Enginyer Júnior</i>	10	20	4	800

Taula D. 1. Hores de treball invertides

En conseqüència, el cost de cada enginyer és el detallat en la *Taula D.2*.

	<i>HORES TOTALS</i>	<i>COST / HORA</i>	<i>COST TOTAL</i>
<i>Enginyer Sènior</i>	30	36 €	1080 €
<i>Enginyer Júnior</i>	800	24 €	19200 €
TOTAL	830	---	20280 €

Taula D. 2. Cost total de les hores de personal



D.2. COST DE LA MAQUINÀRIA

La maquinària emprada per a la realització del projecte és l'ordinador. Suposant que s'adquireix un ordinador de gamma mitjana i que s'amortitzarà en tres anys, el cost associat a la maquinària és l'observat en la *Taula D.3*.

<i>COST D'ADQUISICIÓ</i>	<i>PERÍODE D'UTILITZACIÓ</i>	<i>AMORTITZACIÓ</i>	<i>COST TOTAL</i>
1200 €	10 mesos	27 %	324 €

Taula D. 3. Cost de la maquinària

D.3. COST DEL SOFTWARE

El cost del software inclou la llicència del programa *Rockwell Arena 7.0 (Arena SE Educational Package)*, utilitzat per al modelatge i la simulació del sistema. Suposant que s'amortitzarà en tres anys, el cost total és l'observat en la *Taula D.4*.

<i>COST D'ADQUISICIÓ</i>	<i>PERÍODE D'UTILITZACIÓ</i>	<i>AMORTITZACIÓ</i>	<i>COST TOTAL</i>
1570 €	10 mesos	27 %	423.9 €

Taula D. 4. Cost del software

D.4. COST TOTAL

Sumant les quantitats calculades anteriorment, el cost total del projecte és:

21027.9 €



E. DOCUMENTACIÓ EN SUPORT INFORMÀTIC

Al final de l'annex, s'adjunta un *CD* que conté la documentació bàsica del projecte realitzat. Dintre del *CD* hi ha dues carpetes: **Memòria i Annexos** i **Documentació**. La primera conté la memòria i els annexos en format *pdf* (*Memòria i Annexos.pdf*). La segona inclou els diferents arxius necessaris per a la realització del projecte. Es troben classificats en les següents carpetes:

Models de la cel·la

Aquesta carpeta conté els diferents models realitzats segons l'estratègia i el layout (*FM-I.doe*, *FIFO.doe*, *CFO.doe*). A més, també conté els tres arxius de lectura necessaris per al correcte funcionament dels models (*Variables_Sistema.xls*, *Palets_Inicials1.xls*, *Palets_Inicials2.xls*).

Software Rockwell Arena 7.0

En aquesta carpeta hi ha la versió acadèmica del programa utilitzat per a realitzar les simulacions. En el cas de voler realitzar alguna simulació, s'ha de tenir en compte que s'haurà d'especificar, en l'*Arena* (al *Data Module FILE*), en quina carpeta s'han gravat els arxius de lectura.

Resultats de les simulacions

Aquesta carpeta conté els resultats que s'han obtingut per a totes les estratègies i per als dos layouts (*Estratègia FM-I.pdf*, *Estratègia FIFO.pdf*, *Estratègia CFO.pdf*). També conté l'arxiu que compara els temps morts i la producció de les diferents estratègies per a un mateix layout (*Comparació (temps morts + producció).xls*).

Anàlisi discriminant

En aquesta última carpeta hi ha les tres funcions necessàries per a poder calcular les funcions discriminants amb el *Matlab* (*RiscTempsMort12*, *RiscTempsMort13*, *RiscTempsMort32*). També conté els arxius amb el nombre de mostres, el vector de característiques i el vector pes, necessaris per a poder executar les funcions abans mencionades (*M12.xls*, *M13.xls*, *M32.xls*, *Y12.xls*, *Y13.xls*, *Y32.xls*, *P12.xls*, *P13.xls*, *P32.xls*). El contingut d'aquests arxius també es troba en format *pdf* (*Vectors.pdf*).



