

**Treball Final de Carrera**

*Estudi i guia docent per a modelatge i  
simulació de sistemes mitjançant  
l'entorn ARENA*

Montse Carbonell Crosas

**ÍNDEX:**

<b>Resum de Treball Final de Carrera</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary of Final Work of Career</b> .....	<b>6</b>
<b>1. OBJECTIUS</b> .....	<b>7</b>
<b>2. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>8</b>
<b>3. AVANTATGES I INCONVENIENTS DE LA SIMULACIÓ</b> .....	<b>10</b>
3.1. Avantatges.....	10
3.2. Inconvenients .....	10
<b>4. CAMPS D'APLICACIÓ DE LA SIMULACIÓ</b> .....	<b>11</b>
4.1. Sistemes de producció .....	11
4.2. Sistemes de transport.....	11
4.3. Gestió de recursos a empreses de serveis .....	11
<b>5. MODELS ESTADÍSTICS PER A LA SIMULACIÓ</b> .....	<b>12</b>
5.1. Funció de distribució Exponencial .....	13
5.2. Funció de distribució Normal .....	13
5.3. Funció de distribució Gamma .....	14
5.4. Funció de distribució Lognormal.....	14
5.5. Funció de distribució Triangular .....	15
5.6. Funció de distribució Uniforme .....	15
5.7. Funció de distribució Weibull.....	16
<b>6. ELEMENTS BÀSICS DE LA SIMULACIÓ</b> .....	<b>17</b>
6.1. Sistema.....	17
6.1.1. <i>Sistemes continus</i> .....	18
6.1.2. <i>Sistemes discrets</i> .....	18
6.1.3. <i>Sistemes orientats a events discrets</i> .....	18
6.2. Model.....	18
6.3. Esdeveniment.....	19
6.4. Entitat .....	19
6.5. Atribut .....	20
6.6. Recurs .....	20
6.7. Cua .....	20
6.8. Variable .....	20
6.9. Mòdul.....	21
6.10. Mòdul de dades .....	21

<b>7.</b>	<b>L'ENTORN ARENA A PARTIR DE L'ANÀLISI D'UN EXEMPLE .....</b>	<b>22</b>
7.1.	Vista inicial de l'entorn .....	22
7.1.1.	<i>Finestra del model</i> .....	22
7.1.2.	<i>Barra de projecte</i> .....	23
7.1.3.	<i>Barra d'eines</i> .....	23
7.1.4.	<i>Barra d'estat</i> .....	23
7.2.	Exemple 1: Procés simple de tornejat .....	24
7.2.1.	<i>Modelatge</i> .....	25
7.2.1.1.	<i>Mòdul d'arribades o Create</i> .....	25
7.2.1.2.	<i>Mòdul de Procés o Process</i> .....	27
7.2.1.3.	<i>Mòdul de sortida o Dispose</i> .....	29
7.2.1.4.	<i>Mòdul de dades d'entitat o Entity</i> .....	29
7.2.1.5.	<i>Mòdul de dades de recurs o Resource</i> .....	30
7.2.1.6.	<i>Mòdul de dades de cues o Queue</i> .....	31
7.2.2.	<i>Animació de recursos i cues</i> .....	31
7.2.3.	<i>Connectors dels mòduls</i> .....	32
7.2.4.	<i>Gràfics dinàmics</i> .....	33
7.2.5.	<i>Vestir l'entorn</i> .....	35
7.2.6.	<i>Ajust de les condicions de simulació</i> .....	36
7.2.7.	<i>Execució de la simulació</i> .....	37
7.2.8.	<i>Interpretació dels informes</i> .....	38
<b>8.</b>	<b>MODELATGE BÀSIC DE SISTEMES .....</b>	<b>41</b>
8.1.	Exemple 2: Caixa de supermercat .....	41
8.1.1.	<i>Modelatge</i> .....	41
8.1.1.1.	<i>Estructura del model</i> .....	41
8.1.1.2.	<i>Modelatge dels mòduls</i> .....	43
8.1.1.3.	<i>Ajust de les condicions de simulació</i> .....	44
8.1.1.4.	<i>Execució de la simulació</i> .....	45
8.1.2.	<i>Addició d'animació al model</i> .....	45
8.1.2.1.	<i>Animació del Recurs</i> .....	45
8.1.2.2.	<i>Animació de les entitats</i> .....	46
8.1.2.3.	<i>Addició de gràfiques</i> .....	46
8.1.3.	<i>Simulació i informes</i> .....	47
8.1.4.	<i>Conclusions</i> .....	47
8.2.	Exemple 3: Financera.....	48
8.2.1.	<i>Estructura del model</i> .....	48
8.2.2.	<i>Mòdul de decisió o Decide</i> .....	48
8.2.3.	<i>Addició de costos</i> .....	49
8.2.4.	<i>Animació i condicions de simulació</i> .....	49
8.2.5.	<i>Simulació i informes</i> .....	50
8.2.6.	<i>Conclusions</i> .....	51

8.3.	Estudi d'un procés de revisió de sol·licituds en sèrie i en paral·lel .....	52
8.3.1.	<i>Exemple 4: Procés de revisió de sol·licituds en sèrie</i> .....	52
8.3.1.1.	<i>Modelatge del procés</i> .....	52
8.3.1.2.	<i>Simulació i informes</i> .....	54
8.3.2.	<i>Exemple 5: Procés de revisió de sol·licituds en paral·lel</i> .....	56
8.3.2.1.	<i>Modelatge del procés</i> .....	56
8.3.2.2.	<i>Simulació i informes</i> .....	58
8.3.3.	<i>Conclusió de l'estudi</i> .....	60
<b>9.</b>	<b>MODELATGE INTERMEDI DE SISTEMES (I)</b> .....	<b>61</b>
9.1.	Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques- PAS 1.....	61
9.1.1.	<i>Descripció del sistema</i> .....	61
9.1.1.1.	<i>Arribada de peces</i> .....	62
9.1.1.2.	<i>Àrees de preparació</i> .....	62
9.1.1.3.	<i>Sellat i inspecció</i> .....	63
9.1.1.4.	<i>Expedició i recuperació</i> .....	63
9.1.2.	<i>Plantejament del model</i> .....	63
9.1.3.	<i>Estructura del model</i> .....	64
9.1.4.	<i>Modelatge dels mòduls</i> .....	65
9.1.4.1.	<i>Arribada de peces</i> .....	65
9.1.4.2.	<i>Mòdul d'assignació o Assign</i> .....	65
9.1.4.3.	<i>Àrees de preparació</i> .....	68
9.1.4.4.	<i>Sellat i inspecció</i> .....	69
9.1.4.5.	<i>Expedició i recuperació</i> .....	71
9.1.4.6.	<i>Mòdul d'enregistrament o Record</i> .....	72
9.1.5.	<i>Animació de les entitats</i> .....	73
9.1.6.	<i>Ajust de les condicions de simulació</i> .....	74
9.1.7.	<i>Simulació del model</i> .....	75
9.1.8.	<i>Visualització del Informes</i> .....	76
9.2.	Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques- PAS 2.....	79
9.2.1.	<i>Conceptes nous</i> .....	79
9.2.2.	<i>Mòdul de dades de Planificació o Schedule</i> .....	80
9.2.3.	<i>Mòdul de dades d'Avaries o Failure</i> .....	84
9.2.4.	<i>Mòdul d'estadístics o Statistic</i> .....	86
9.2.5.	<i>Anàlisi dels informes</i> .....	88
9.3.	Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 3.....	91
9.3.1.	<i>Modificació de l'animació de les cues</i> .....	91
9.3.2.	<i>Modificació de l'animació de les entitats</i> .....	93
9.3.3.	<i>Addició d'animació als recursos</i> .....	93
9.3.4.	<i>Addició de variables i gràfiques</i> .....	95
9.3.5.	<i>Animació addicional del sistema</i> .....	96
9.4.	Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 4.....	97
9.4.1.	<i>Conceptes nous: Estacions i eines de transferència d'entitats</i> .....	97

9.4.2.	<i>Construcció de rutes lògiques</i>	97
9.4.2.1.	<i>Mòdul d'Estació o Station</i>	98
9.4.2.2.	<i>Mòdul de Ruta o Route</i>	98
9.4.2.3.	<i>Addició de totes les rutes lògiques</i>	99
9.4.3.	<i>Modificació de l'animació</i>	100
9.4.3.1.	<i>Animació d'Estacions</i>	100
9.4.3.2.	<i>Animació de Rutes</i>	101
9.4.3.3.	<i>Addició de totes les Estacions i Rutes</i>	101
9.4.3.4.	<i>Modificació de l'animació de l'arribada de les Peces B</i>	102
9.5.	<i>Conclusions</i>	103
<b>10.</b>	<b>MODELATGE INTERMEDI DE SISTEMES (II)</b>	<b>104</b>
10.1.	<i>Exemple 7: Un petit sistema de fabricació</i>	104
10.1.1.	<i>Mòduls de dades</i>	106
10.1.1.1.	<i>El mòdul de dades de Seqüències o Sequence</i>	106
10.1.1.2.	<i>Mòdul de dades d'Expressions o Expression</i>	107
10.1.1.3.	<i>Mòdul de dades de Variables o Variable</i>	107
10.1.1.4.	<i>Mòdul de dades Set</i>	108
10.1.1.5.	<i>Mòdul de dades Advanced Set</i>	108
10.1.2.	<i>Ajust de les condicions de simulació i animació de les entitats</i>	108
10.1.3.	<i>Modelatge del model</i>	109
10.1.4.	<i>Animació</i>	114
10.1.5.	<i>Verificació</i>	116
10.1.6.	<i>Conclusions</i>	118
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>119</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>120</b>
<b>13.</b>	<b>ANNEX</b>	<b>121</b>

## Resum de Treball Final de Carrera

### Enginyeria en Organització Industrial

**Títol:** Estudi i guia docent per a modelatge i simulació de sistemes mitjançant l'entorn ARENA

**Paraules clau:** Modelatge, Simulació, Arena

**Autor:** Montse Carbonell Crosas

**Direcció:** Juli Ordeix Rigo i Moisès Serra Serra

**Data:** 4 de Juny de 2008

### Resum

Aquest projecte es basa en el modelatge i simulació de sistemes utilitzant un simulador digital, i pretén ser una guia docent com a eina d'ajuda per a una assignatura que, a priori, s'impartirà a la Universitat de Vic.

La simulació és una tècnica que permet representar el comportament de processos (físics, productius, de serveis, etc.) sense necessitat d'accedir al sistema real.

Per analitzar, estudiar i millorar el comportament d'un sistema mitjançant la tècnica de la simulació digital és necessari primer desenvolupar un model conceptual que descrigui les variables d'interès, i després implementar-lo en un simulador per poder analitzar els resultats.

ARENA és el *software* de simulació que s'estudia en aquest projecte i es presenta com una eina que permet la descripció completa de l'experiència que una entitat desenvolupa a l'interior del sistema mentre flueix a través d'aquest. En concret s'utilitza la versió ARENA 10.0.

Pel que fa a l'estructura del projecte, primerament s'introdueixen conceptes teòrics referents a la simulació, així com avantatges i inconvenients i els camps d'aplicació de la simulació. Seguidament i ja centrats en l'Arena, s'analitza un exemple senzill per començar-ne a veure el funcionament. Posteriorment, es van estudiant varis exemples amb complexitat progressiva. Aquests exemples es desenvolupen pas a pas de manera que es puguin anar provant amb el simulador. En el transcurs del projecte es van estudiant les eines de l'Arena i les seves possibilitats, així com els resultats obtinguts i les interpretacions d'aquests.

Aquest projecte pretén, doncs, donar conceptes introductoris en el camp de la simulació en general, i, en particular, descriure eines bàsiques sobre el funcionament de l'Arena.

## Summary of Final Work of Career

### Engineering in Industrial Organization

**Title:** Study and educational guide for moulding and simulation of systems through the ARENA environment

**Key words:** Moulding, Simulation, Arena

**Author:** Montse Carbonell Crosas

**Direction:** Juli Ordeix Rigo i Moisès Serra Serra

**Date:** on June 4, 2008

### Summary

This project is based in the moulding and simulation of systems using a digital simulator, and it intends to be an educational guide as a tool of help for a subject that, a priori, will be imparted to the Universitat of Vic.

The simulation is a technique that allows to represent the behaviour of processes (physical, productive, of services, etc) without the need for accessing to the real system.

To analyze, to study and to improve the behaviour of a system through the technique of the digital simulation it is necessary first to develop a conceptual model that describes the variables of interest, and to implement it afterwards in a simulator to be able to analyze the results.

ARENA is the software of simulation that will be studied in this project and it presented like a tool that it allows the description fulfilled of the experience that an entity develops in the inside of the system while it flows through this. In particular the version ARENA 10.0 is used.

Regarding the structure of the project, firstly to be introduce theoretical concepts referents to the simulation, as well as advantages and inconveniences and the fields of application of the simulation. Next and already centred on the Arena, a simple example is analyzed for starting to see the functioning. Later, varying examples keep on being studied with progressive complexity. These examples develop step by step so that they can keep on being tested with the simulator. In the course of the project the tools of the Arena and its possibilities, as well as the obtained results and the interpretations of these keep on being studied.

This project intends, then, to give introductory concepts in the field of the simulation in general, and, in particular, to describe basic tools about the functioning of the Arena.

## 1. OBJECTIUS

En aquest projecte es farà un estudi sobre un programa de simulació digital anomenat ARENA.

Aquest simulador permet representar el comportament de processos (físics, productius, de serveis, etc) sense necessitat d'accedir al sistema real. Aquesta representació es dur a terme utilitzant un modelatge de processos tipus "diagrama de flux", i permet assolir els següents objectius:

- conèixer característiques de processos
- preveure el comportament del sistema en diferents situacions
- poder introduir-hi modificacions sense alterar-ne físicament el sistema (així garantir-ne una inversió correcta, sobretot si el preu és elevat).
- conèixer-ne els seus punts dèbils
- optimitzar la producció d'un sistema
- Experimentar en situacions perilloses o d'elevat cost real

Aquest projecte pretén ser una eina d'ajuda per a una assignatura que, a priori, s'impartirà a la Universitat de Vic.

Primerament s'introduiran conceptes teòrics referents a la simulació, així com avantatges i inconvenients i els camps d'aplicació de la simulació. Seguidament i ja centrats en l'ARENA (en concret en la versió ARENA 10.0), s'analitzarà un exemple senzill per començar-ne a veure el funcionament. Posteriorment, s'aniran estudiant varis exemples amb complexitat progressiva. Aquests exemples es desenvoluparan pas a pas de manera que es puguin anar provant amb el simulador. S'aniran estudiant les seves eines i les seves possibilitats, així com els resultats obtinguts i les interpretacions d'aquests.

La metodologia que se seguirà a cada exercici serà aproximadament la següent:

- Plantejament general de l'exercici
- Dades de l'exercici
- Recursos que s'introduiran
- Resolució de l'exercici
- Conclusions

Finalment esmentar que és aconsellable seguir la lectura d'aquest projecte tot utilitzant el simulador ARENA. També cal dir que els conceptes explicats en un exercici ja no es repetiran en el desenvolupament d'exercicis posteriors.



## 2. INTRODUCCIÓ

La simulació és una tècnica que permet imitar el comportament d'un sistema físic en unes condicions de treball especificades pel context del sistema.

Hi ha diferents tècniques de simulació:

- Construcció d'un prototipus a escala dels sistemes reals (Ex: plantes pilot).
- Representació analògica mitjançant circuits elèctrics.
- Analogia amb altres sistemes físics (Ex: experimentar amb rates de laboratori).
- Descripció qualitativa de sistemes.
- Simulació digital.

Aquesta última tècnica, la simulació digital, permet imitar, a través d'un ordinador, el comportament d'un sistema físic en unes condicions de treball específiques.

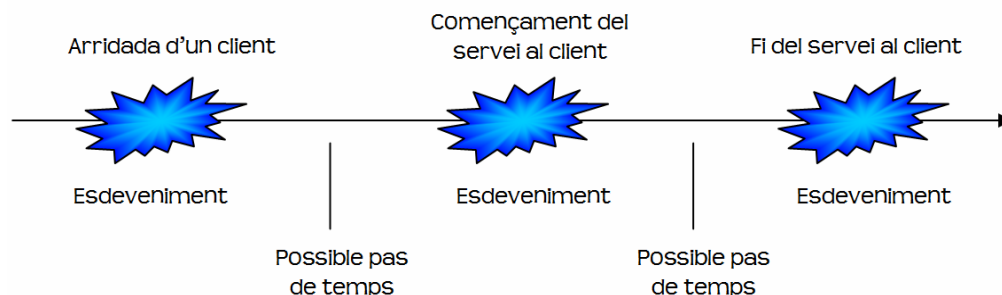
Per analitzar, estudiar i millorar el comportament d'un sistema mitjançant la tècnica de la simulació digital és necessari primer desenvolupar un model conceptual que descrigui les variables d'interès, i després implementar-lo en un simulador per poder analitzar els resultats.

Al mercat existeixen una ampla varietat de *software* per a la simulació de sistemes. N'hi ha que utilitzen eines matemàtiques complexes (matrius, funcions, etc.), i en els que el temps d'aprenentatge és important.

D'altra banda, hi ha altres *Software's* més "amigables", gràcies a l'augment de la capacitat de processament dels ordinadors i a les cada vegada majors possibilitats gràfiques dels mateixos. Aquests, faciliten a l'usuari el procés d'elaboració, validació i experimentació de models mitjançant l'ús d'eines gràfiques dins d'un entorn de finestres.

Dins d'aquest grup s'ubica ARENA desenvolupat per ROCKWELL SOFTWARE.

ARENA es presenta com una eina que permet la descripció completa de l'experiència que una entitat desenvolupa a l'interior del sistema mentre flueix a través d'aquest. A la figura següent (Figura 1) es pot veure una representació d'un sistema simple, en que les entitats són els clients, els quals flueixen per aquest sistema.



**Figura 1**

El desenvolupament de sistemes a l'ARENA s'estructura sobre una base gràfica associada a la construcció de diagrames de flux, que descriuran la sèrie de passos que ha de seguir una entitat a mida que avança en el sistema.

És a dir, que ARENA possibilita la construcció dels models sense la necessitat de codificar els programes, tot i que cal remarcar que utilitza el llenguatge de simulació SIMAN, el que constitueix la plataforma sobre la que està desenvolupat ARENA i tots els mòduls que el componen.

ARENA proveeix d'una sèrie de d'elements gràfics (mòduls, entitats, recursos, variables,...) que permetran desenvolupar les descripcions dels processos associats als sistemes a modelar (Figura 2).

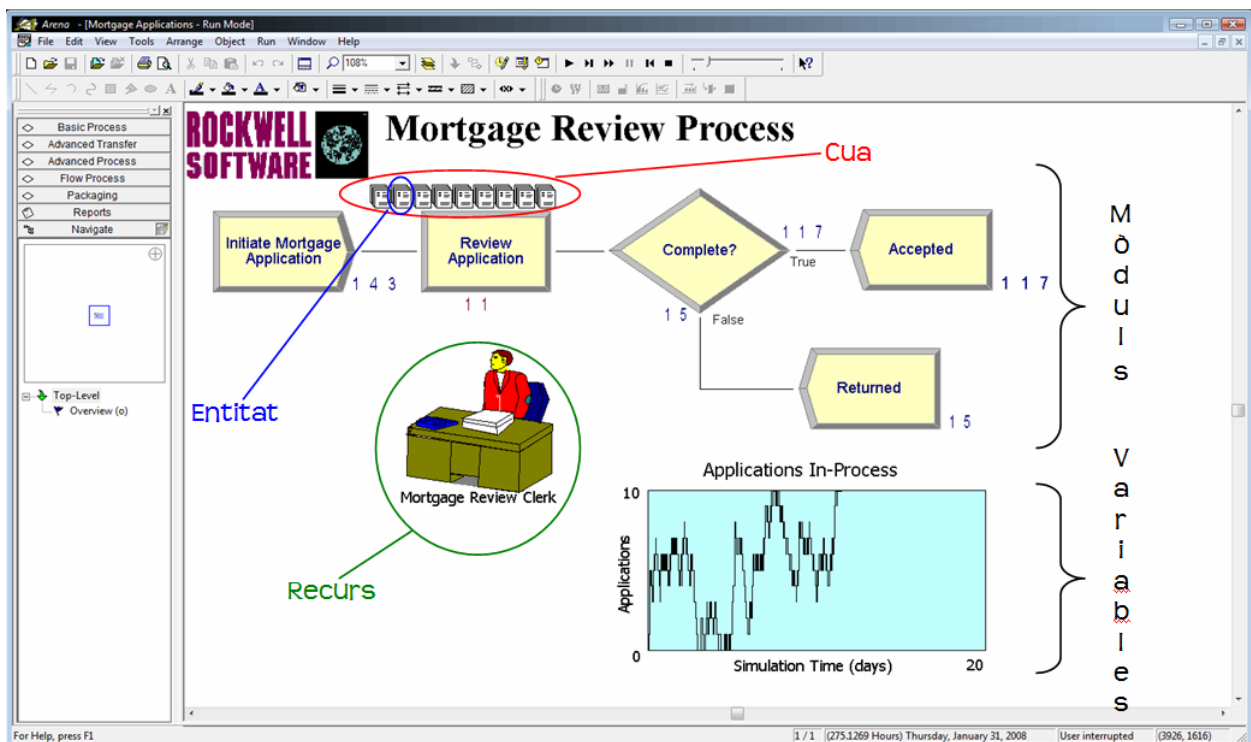


Figura 2

### 3. AVANTATGES I INCONVENIENTS DE LA SIMULACIÓ

A continuació es presenta un llistat dels avantatges i inconvenients que suposa la utilització de la simulació com a element d'estudi de processos.

#### 3.1. Avantatges

- És un procés relativament eficient i flexible.
- La simulació permet analitzar grans problemes complexes que no poden ser analitzats mitjançant altres tipus d'anàlisis.
- Permet obtenir diferents opcions de decisió amb molts arguments sense haver d'experimentar amb el sistema real.
- La simulació no interfereix en sistemes del món real.
- La simulació també permet comprimir temps. Pots veure la simulació d'un sistema durant un any amb pocs minuts.
- La simulació per ordinador no requereix grans coneixement matemàtics. Pot ser intuïtivament comprensible.
- En alguns casos la simulació és l'únic mètode disponible.

#### 3.2. Inconvenients

- Els resultats numèrics obtinguts es basen en el conjunt específic de números aleatoris, els quals corresponen a només un dels resultats possibles. Per tant els valors finals obtinguts en una simulació són només estimacions dels valors reals que s'estan buscant.
- Per obtenir estimacions més exactes i per minimitzar la probabilitat de prendre una decisió equivocada, seria convenient:
  - Fer un gran número d'assaigs en cada simulació i/o;
  - Repetir tota la simulació un gran número de vegades. Això pot comportar un augment significatiu de temps de computació.
- Tot i ser possible aprendre i utilitzar paquets de software especialitzats, l'esforç de desenvolupament en el disseny i programació de simulacions del món real és extremadament costós.

## **4. CAMPS D'APLICACIÓ DE LA SIMULACIÓ**

En aquest apartat es presenta una llista de camps d'aplicacions en què es pot utilitzar la simulació orientada a events discrets.

### **4.1. Sistemes de producció**

- Disseny del sistema logístic de transport de material a una siderúrgica.
- Planificació de càrregues de treball a una cèl·lula flexible.
- Dimensionament de magatzems locals d'una línia de producció.

### **4.2. Sistemes de transport**

- Dimensionament del sistema de transport del terminal de facturació d'un aeroport.
- Gestió de contenidors a un port marítim.
- Gestió i distribució de cotxes grua per a accidents de tràfic.

### **4.3. Gestió de recursos a empreses de serveis**

- Gestió de recursos compartits en un hospital.
- Dimensionament de la infraestructura necessària a un port marítim.
- Assignació de feines a cuiners i caixers en un *fast food* d'acord amb les comandes.
- Anàlisi i optimització d'estocs d'una empresa de càtering.

## 5. MODELS ESTADÍSTICS PER A LA SIMULACIÓ

Des del punt de vista estadístic, els models de simulació es poden classificar en dos grups:

- **Models deterministes:** són els models en què es pot descriure el resultat d'una activitat d'acord, únicament, amb les entrades.
- **Models estocàstics:** quan els efectes d'una activitat no es poden descriure completament a partir de les entrades, ja que l'activitat presenta variacions aleatòries, és a dir, no es poden preveure amb exactitud.

Els models de simulació es descriuen, generalment, com estocàstics, fins i tot quan l'activitat és pròpiament determinista.

En general, el temps que una unitat de producció necessita per a realitzar una operació repetitiva en el processament d'una primera matèria o bé en el transport d'un material entre dues estacions de treball és constant amb unes petites variacions. Per tant, es pot descriure com un model estadístic.

Per a la construcció d'un model estadístic la recollida de dades és una de les etapes més laborioses. Si la informació obtinguda no és suficient s'hauran d'efectuar hipòtesis raonables per poder seguir en l'estudi. Així doncs, observant (a partir de dades històriques) la freqüència de temps de la variable en estudi, és possible generar una seqüència de dades que presenten les mateixes propietats que les dades observades del sistema real.

Per arribar a modelar correctament un procés estocàstic és necessari comprendre molts conceptes de probabilitat i estadística. En aquest apartat s'introduiran breument algunes de les funcions de distribució més utilitzades.

### 5.1. Funció de distribució Exponencial

S'utilitza per modelar els temps entre arribades, com també per modelar temps de servei que són molt variables. Aquesta distribució està relacionada amb la de Poisson, ja que si una taxa d'arribades (arribades per unitat de temps =  $\lambda$ ) segueix una distribució de Poisson, el temps entre arribades segueix una distribució exponencial de paràmetre  $\beta = 1/\lambda$  (Figura 3).

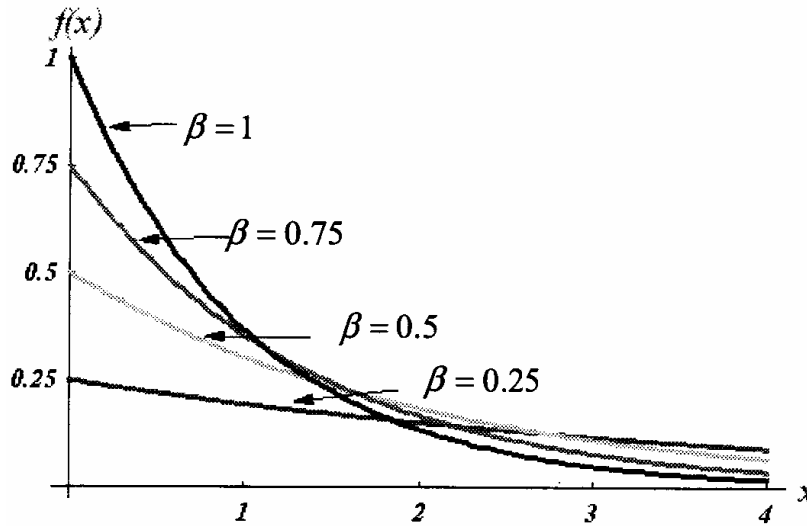


Figura 3

### 5.2. Funció de distribució Normal

S'utilitza per a modelar sistemes en què el 70% de les dades que es mostren són a una distància inferior a la desviació estàndard ( $\sigma$ ) del valor promig ( $\mu$ ) (Figura 4). A més, la distribució de dades s'ha d'efectuar simètricament d'acord amb el valor mitjà.

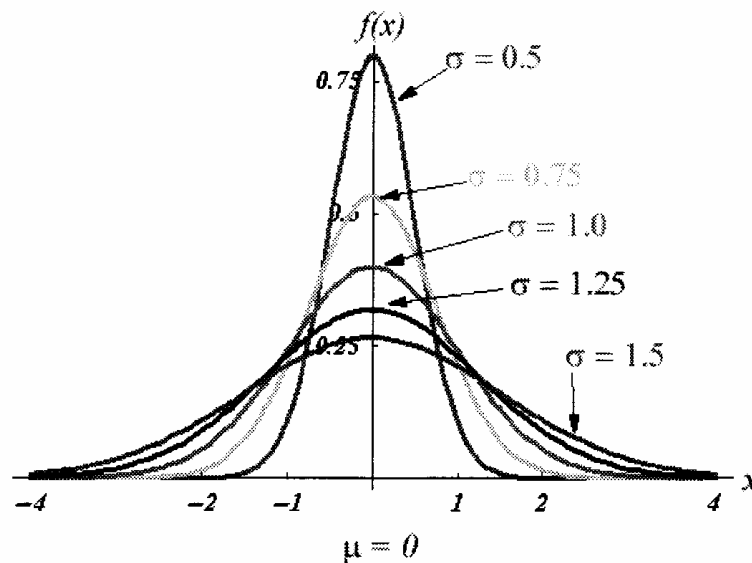


Figura 4

Aquesta funció es pot utilitzar per a modelar màquines sense probabilitat d'error.

### 5.3. Funció de distribució Gamma

És molt semblat a la funció de distribució normal però amb una asimetria que correspon a la meitat superior del valor mitjà on apareixen més dades. Per exemple, suposem una línia de producció, on els grups de màquines en paral·lel poden realitzar una mateixa feina. Si es produeix una avaria en una màquina, això repercuteix en un increment del temps que necessita una peça per a ser processada totalment. Aquestes variacions de temps es tradueixen en una asimetria, donat que apareixen valors més alts per sobre del valor mitjà. A la figura següent (Figura 5) es pot veure una funció de distribució Gamma on  $\beta = 1$ .

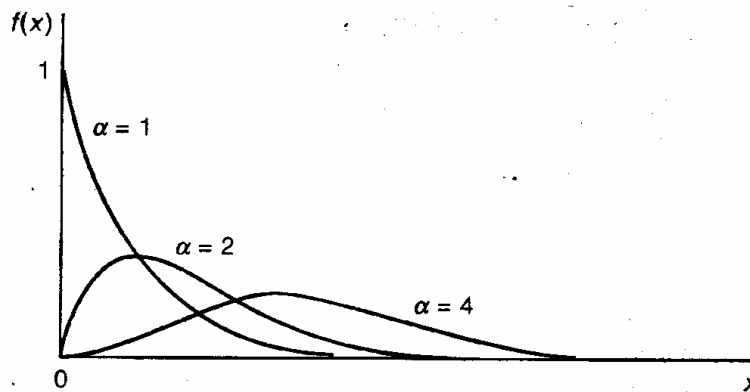


Figura 5

### 5.4. Funció de distribució Lognormal

Si es produeix una avaria n un procés amb una sola màquina que realitza totes les operacions, aleshores, repercutirà de forma més severa a la producció de la línia. Per tant, apareixeran valors molt superiors al valor mitjà (Figura 6).

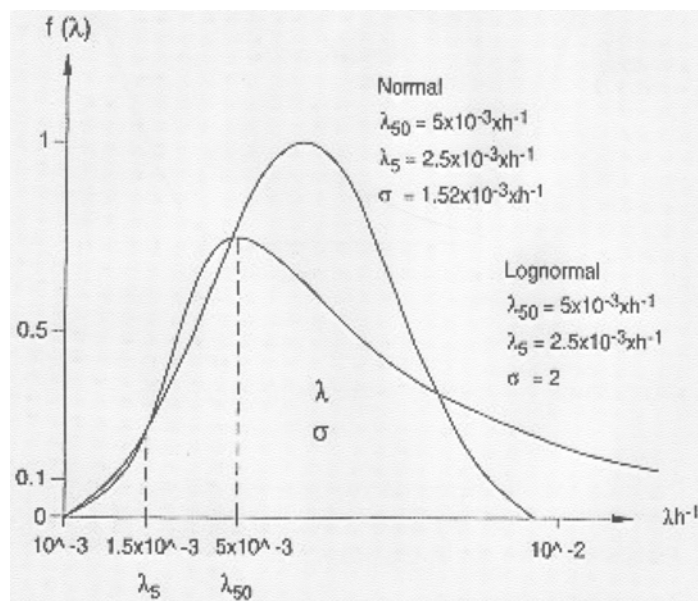


Figura 6

### 5.5. Funció de distribució Triangular

Aquesta funció proporciona una primera aproximació quan hi ha poca informació disponible. Aquesta distribució queda definida amb el valor mínim, el màxim i la moda. S'utilitza per especificar activitats que tenen un temps mínim, màxim i més probable (Figura 7).

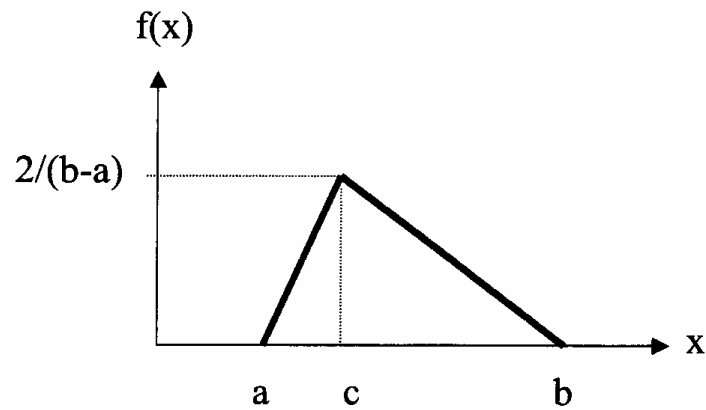


Figura 7

### 5.6. Funció de distribució Uniforme

La distribució uniforme és una distribució de probabilitat que s'utilitza per especificar una variable aleatòria que té la mateixa probabilitat de tenir el seu valor en qualsevol punt d'un rang de valors. Es defineix específicament un límit inferior "a" i un límit superior "b" del rang (Figura 8). Aquesta representació tan sols s'utilitza quan no es coneix la distribució i només es té informació dels valors extrems.

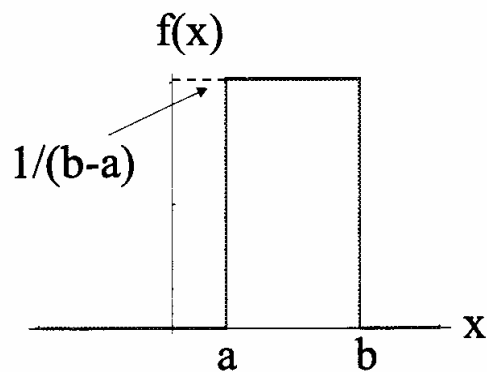


Figura 8



### 5.7. Funció de distribució Weibull

La funció de distribució de Weibull és semblant a la Gamma. S'utilitza per modelar el temps de procés, també s'utilitza per modelar la fiabilitat d'un equip al definir el temps que transcórrer fins que l'equip falla. A continuació es presenta una gràfica de la funció de distribució Weibull en que  $\alpha = 1$  (Figura 9).

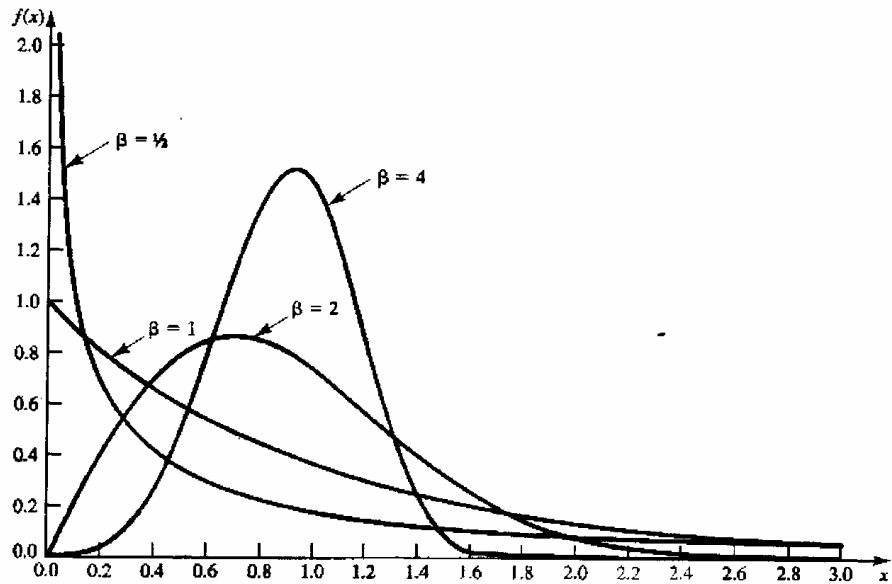


Figura 9

## 6. ELEMENTS BÀSICS DE LA SIMULACIÓ

En aquest apartat s'explicaran conceptes bàsics relacionats amb la simulació. Aquests conceptes s'utilitzaran al llarg del projecte ja que formen part del llenguatge de la simulació. Cal dir que al llarg de l'explicació apareixen algunes paraules en anglès destacades en cursiva. Aquestes paraules es troben a l'ARENA i ja es comencen a introduir per així poder relacionar-les posteriorment quan s'estigui treballant en aquest entorn de simulació.

### 6.1. Sistema

Per poder introduir el concepte de model d'un sistema és imprescindible definir prèviament què s'entén per sistema.

Un sistema és un conjunt d'elements que es troben en interacció i que busquen alguna fita o fites comunes; per això operen sobre dades o informació, sobre energia, matèria o organismes, amb l'objectiu de produir com a sortida informació, energia, matèria, o organismes. Un sistema és un conjunt de components interrelacionats que, d'una manera organitzada, rep entrades, les processa i emet sortides per obtenir una fita comuna.

Vegem la representació d'un sistema general a la figura següent (Figura 10):



**Figura 10**

Si es considera, per exemple, l'estudi sobre el número de caixers que ha de disposar un supermercat per oferir un bon servei als seus clients, els elements consistiran principalment en els clients en espera de ser atesos, i en els caixers que realitzen aquest servei. En canvi, si es desitja estudiar l'atenció a les necessitats dels clients, el sistema hauria de contemplar entitats tals com els productes i el seu consum.

L'estat d'un sistema pot ser definit com el conjunt mínim de variables necessàries per a caracteritzar o descriure tots aquells aspectes d'interès del sistema en un cert interval de temps. Aquestes variables es denominen variables d'estat.

Els sistemes es poden classificar en continus, discrets i orientats a events discrets; tenint en compte només la relació entre l'evolució de les propietats d'interès i la variable independent temps:

### 6.1.1. Sistemes continus

Les variables d'estat del sistema evolucionen de manera contínua en el transcurs del temps. Per exemple l'evolució de la temperatura o bé l'evolució del nivell de líquid en un tanc.

### 6.1.2. Sistemes discrets

Es caracteritzen perquè les propietats d'interès del sistema canvien únicament en un cert instant o seqüència d'instantos, i romanen constants la resta del temps. La seqüència d'instantos en els quals l'estat del sistema pot presentar un canvi, obeeix normalment a un patró periòdic.

### 6.1.3. Sistemes orientats a events discrets

De la mateixa manera que els sistemes discrets, es caracteritzen perquè les propietats d'interès del sistema canvien únicament en una seqüència d'instantos de temps, i es pot considerar que romanen constants la resta del temps. La seqüència d'instantos en els quals l'estat del sistema pot presentar un canvi obeeix a un patró aleatori. Un clar exemple és el peatge d'una autopista, en el qual hi arriben cotxes de manera aleatòria (Figura 11). A la figura es mostra l'estat d'una de les taquilles d'un peatge.

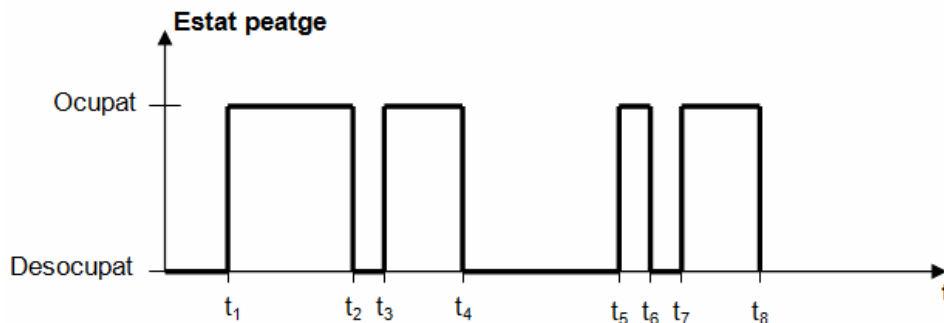


Figura 11

## 6.2. Model

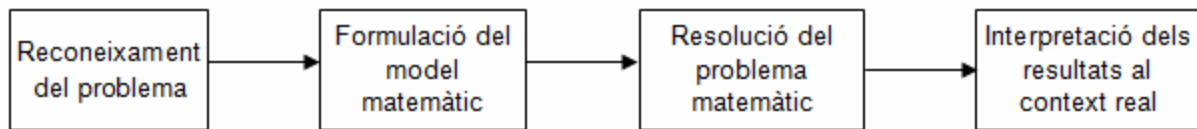
Un model és una representació de la realitat que es desenvolupa amb el propòsit d'estudiar-la. En la majoria dels anàlisis no és necessari considerar tots els detalls; d'aquesta manera, el model no és només un substitut de la realitat, sinó també una simplificació d'aquesta.

La descripció de les característiques d'interès d'un sistema es coneix com a model del sistema, i el procés d'abstracció per obtenir aquesta descripció es coneix com a modelatge.

Existeixen molts tipus de models (models físics, models mentals, models simbòlics) per representar els sistemes en estudi. El que en la simulació es necessita és un model concís,

sense ambigüitats i que pugui ser processat per un ordinador. Aquestes característiques determinen la utilització de models simbòlics matemàtics com a eina per a representar les dinàmiques d'interès de qualsevol sistema en un entorn de simulació digital.

A la figura següent (Figura 12) es mostren les etapes a seguir, en termes generals, en l'exploració de models matemàtics.



**Figura 12**

Els models han de tenir les següents característiques:

- Confiabilitat
- Senzillesa
- Baix cost de desenvolupament i operació
- Manejabilitat
- Fàcil comprensió
- La relació cost-benefici ha de ser positiva

### **6.3. Esdeveniment**

És la ocurrència que canvia l'estat del sistema. Hi ha esdeveniments interns i externs; aquests es coneixen també com a endògens i exògens, respectivament.

### **6.4. Entitat**

Les entitats (documents, clients, peces, etc) són aquelles que estan essent produïdes o ateses o que de qualsevol altra manera influeixen en el procés.

Per exemple: clients que estan entrant en un restaurant o parts que estan essent produïdes en una fàbrica.

Les entitats són objectes dinàmics en la simulació, usualment són creades, circulen per un temps i després se'n van, tot i que també és possible tenir entitats que mai se'n van i que es mantenen circulant en el sistema. Totes les entitats han de ser creades ja sigui per el modelador o automàticament per l'ARENA.

## 6.5. Atribut

Les entitats contenen propietats anomenades atributs que permeten crear diferències entre elles. Els atributs poden ser el temps d'arribada, la prioritat, la data de venciment, el color, etc.

Alguns atributs que ARENA assigna automàticament a les entitats:

- *Entity.Type*: És el nom del tipus d'entitat, el qual és assignat quan són creades.
- *Entity.Picture*: El dibuix que serà mostrat a la simulació.
- *Entity.Create Time*: El temps de la simulació en que l'entitat ha estat creada. Es fa servir per recollir el temps de cicle, per exemple.

## 6.6. Recurs

Les entitats sovint competeixen entre elles per els serveis que els ofereixen els recursos.

Els recursos són els mitjans gràcies als quals es poden dur a terme les activitats. Els recursos poden ser personal, equip o espai en una àrea d'emmagatzematge.

Els recursos tenen una capacitat finita i contenen amb una sèrie d'estats pels quals passen en el transcurs de la simulació: "ocupat" o *Busy*, "desocupat" o *Idle*, "inactiu" o *Inactive* i "espatllat" o *Failed*.

Una entitat pot ser agafada (*seize*) per un recurs en la mesura que aquest últim es trobi disponible, i serà alliberada (*release*) quan ja hagi estat processada o hagi rebut el servei.

Mentre el recurs s'està processant (*delay*) qualsevol altra entitat que vulgui utilitzar-lo haurà d'esperar a la cua (*queue*).

## 6.7. Cua

Una cua és una àrea on les entitats esperen mentre s'allibera el recurs que necessita. En l'ARENA les cues tenen noms i també poden tenir capacitats per representar, per exemple, espai limitat en una planta.

## 6.8. Variable

Les variables representen un conjunt de valors globals que poden ser alterats en qualsevol lloc dins del model.

ARENA té dos tipus de variables: les variables definides per l'usuari i les variables del sistema.

- Les variables definides per l'usuari poden ser canviades durant el temps de simulació, per exemple: taxa d'arribada, inventari actual, número de pacients registrats, etc.
- Les variables del sistema són característiques predefinides dels components del model que indiquen l'estat del component, per exemple: número d'entitats esperant en una fila (*NQ queue number*), actual valor d'un comptador (*NC counter number*), etc.

### 6.9. Mòdul

Els mòduls són els elements bàsics amb els que es construeixen els models. En l'ARENA, aquests es seleccionen d'alguns dels panells que existeixen a la barra de projectes (Figura 13).

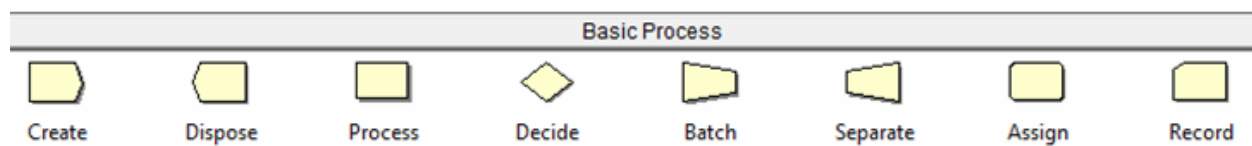


Figura 13

El diagrama de flux que es construirà amb aquests mòduls descriu la dinàmica associada als processos que es duen a terme en el sistema. Aquest mòduls connectats entre si formen una xarxa per on circulen les entitats (clients, productes, etc) des d'un punt inicial fins a un punt per on surten.

### 6.10. Mòdul de dades

Els mòduls de dades són un tipus especial de mòduls que no tenen representació en la vista del diagrama de flux del model, només apareixen en la vista de la fulla de càlcul.

Serveixen per definir les característiques de diferents processos i elements del model.

En l'ARENA, les icones d'aquests mòduls semblen petites fulles de càlcul. Les que apareixen en el panell de processos bàsics són (Figura 14):

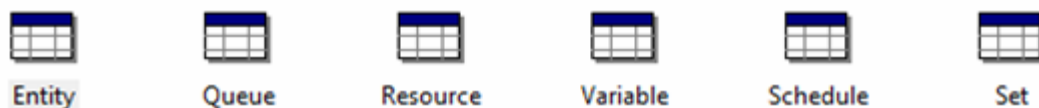


Figura 14

La introducció de dades es pot realitzar seleccionant, en el Basic Process Panel, el tipus de mòdul i omplint la línia corresponent que apareix a la vista de la fulla de càlcul.

## 7. L'ENTORN ARENA A PARTIR DE L'ANÀLISI D'UN EXEMPLE

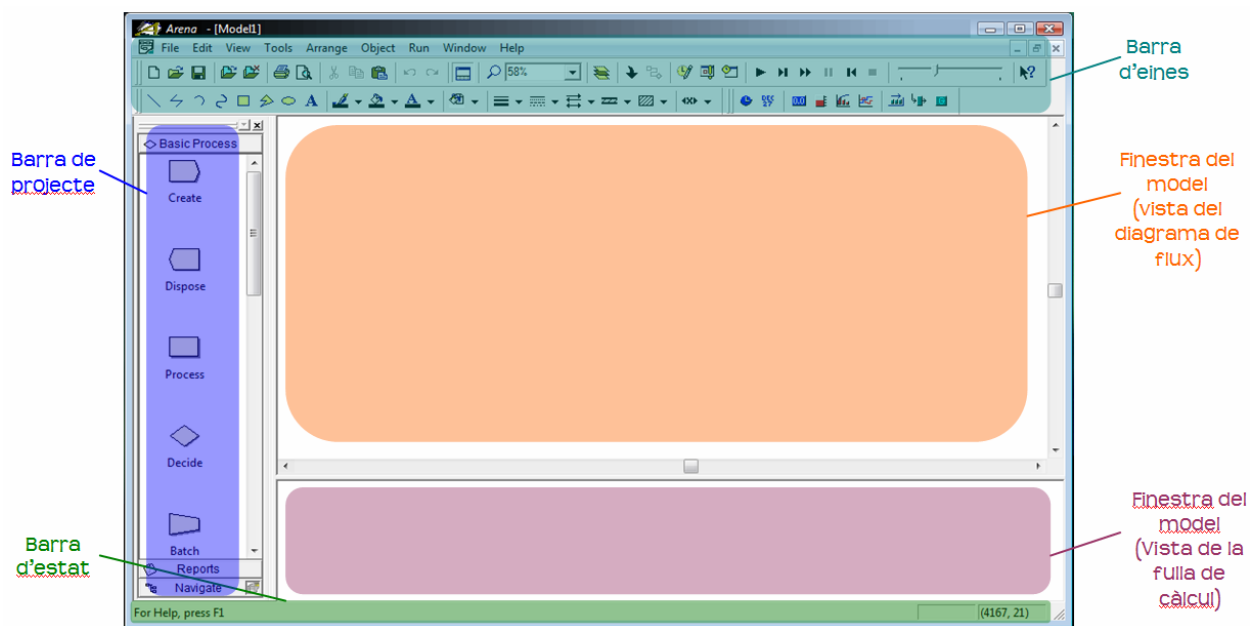
Aquest apartat serà el primer en que s'interactuarà amb l'ARENA en el transcurs de la lectura.

Primerament es farà una ullada a les parts que es mostren en la vista inicial de l'entorn.

Seguidament, s'entrarà en aspectes més concrets tot utilitzant un exemple el qual es pot trobar a l'annex del projecte (Exemple 1: Procés simple de tornejat). Mitjançant aquest exemple es veuran alguns dels mòduls bàsics de l'ARENA, com també els mòduls de dades d'entitats, recursos i cues. Es veuran, també, aspectes de l'animació dels recursos i les cues, dels connectors dels mòduls, de gràfics dinàmics de representació de variables, etc. Es parlarà de l'ajustament de les condicions de simulació, de l'execució d'aquesta i dels informes obtinguts una vegada realitzada la simulació.

### 7.1. Vista inicial de l'entorn

Les primeres finestres que es poden observar al obrir l'ARENA són les següents (Figura 15):



**Figura 15**

#### 7.1.1. Finestra del model

Conté els següents elements:

- Vista del diagrama de flux: conté el diagrama, animació i elements gràfics de la simulació.

- Vista de la fulla de càlcul: conté la informació del model, permet l'accés a tots els paràmetres i elements del model.

### 7.1.2. Barra de projecte

Conté una sèrie de panells els quals serveixen per dissenyar els models.

- *Basic Process Panel*: conté els elements bàsics de construcció de models, aquests elements es denominen mòduls.
- *Reports Panel*: conté una llista dels resultats de la simulació després de la seva execució.
- *Navigate Panel*: permet mostrar diferents vistes d'un model, incloent diferents submodels de manera jeràrquica.

Existeixen altres panells disponibles en l'ARENA:

- *Advanced process*: més mòduls per feines addicionals.
- *Advanced Transfer*: opcions per moure entitats.
- *Block and elements*: proporciona un accés complet al llenguatge de simulació SIMAN.

Per incloure o treure panells a la barra de projecte: *File/Template Panel/Attach* o *Detach*, o

clicant als botons  

Mitjançant *Tools/Options/Settings* es poden definir els panells que apareixen per defecte al crear un model nou.

### 7.1.3. Barra d'eines

Situada a la part superior de la pantalla proporciona accés ràpid a diferents eines del programa. Es poden mostrar o amagar mitjançant *View/Toolbars...*

### 7.1.4. Barra d'estat

Situada a la part inferior de la pantalla. Desplega la informació depenent del que està passant en el model. Quant el model està en construcció entrega les coordenades d'ubicació i quan el model està en funcionament indica el temps de simulació, el número de rèpliques i la quantitat de rèpliques programades. La barra d'estats pot ser amagada mitjançant *View/Status Bar*.



## 7.2. Exemple 1: Procés simple de tornejat

En aquesta secció s'utilitzarà un exemple per donar una ullada a l'entorn arena, de tal manera que un es pugui familiaritzar amb la terminologia bàsica de l'arena.

El primer que s'ha de fer és obrir el model. El model es troba al CD que s'adjunta a l'Annex d'aquest projecte. En concret l'exemple es troba a la carpeta "1-Procés simple de tornejat". Dins d'aquesta es mostren varis arxius, dels quals el que s'utilitzarà serà l'arxiu "Torn.doe". D'altra banda, a l'ARENA 10.0 hi ha el mateix exemple en versió anglesa. Aquest es pot obrir seguint la ruta següent:

*File > Open > Archivos de programas > Rockwell Software > Arena 10.0 > Book examples > Model 03-01.doe*

Al obrir el model (Figura 16) podem veure, a la finestra del model, el diagrama de flux del sistema. Es pot veure també, a la part inferior del diagrama, dos gràfics els quals representaran dues de les variables del sistema: el nombre de peces que hi ha a la cua en cada instant de temps, i el nombre de peces que el centre de tornejat processa en cada instant de temps.

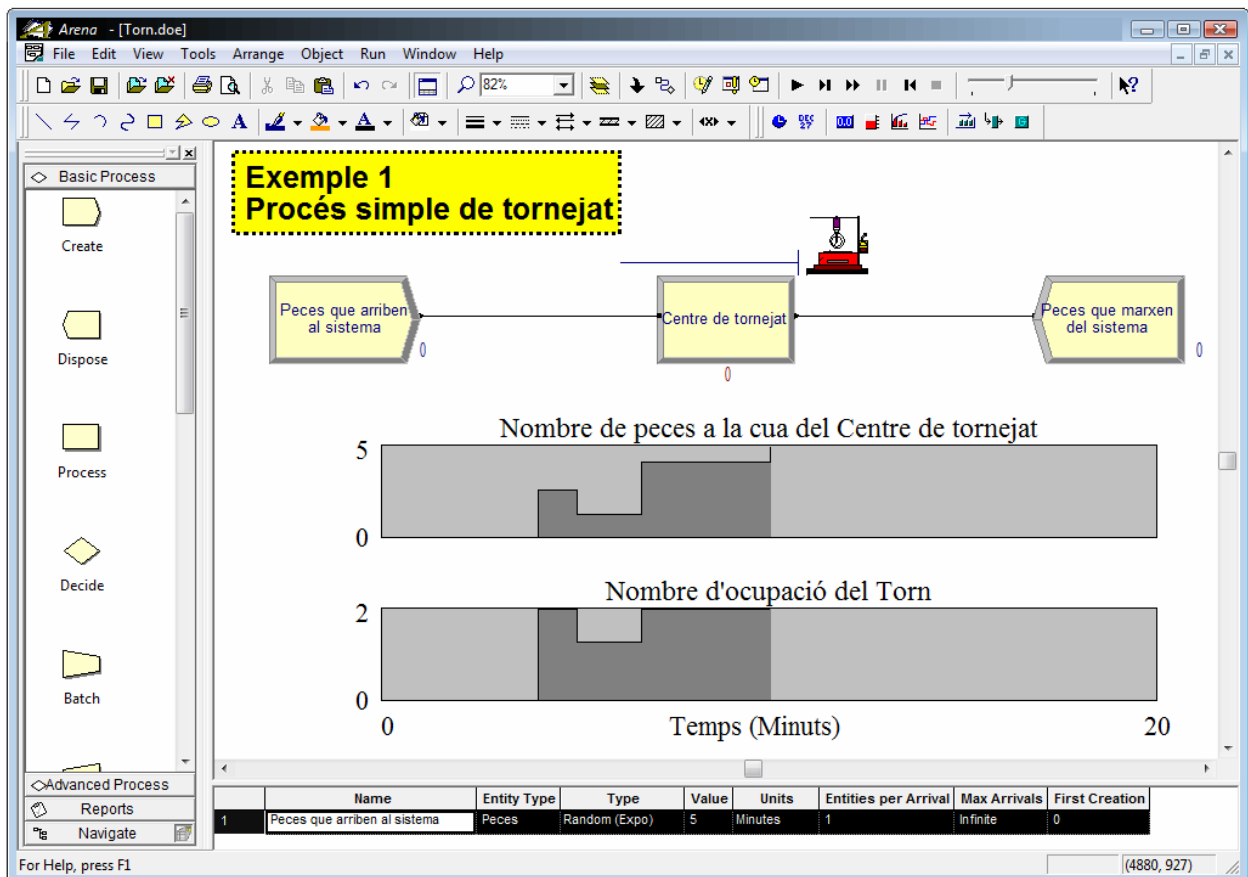


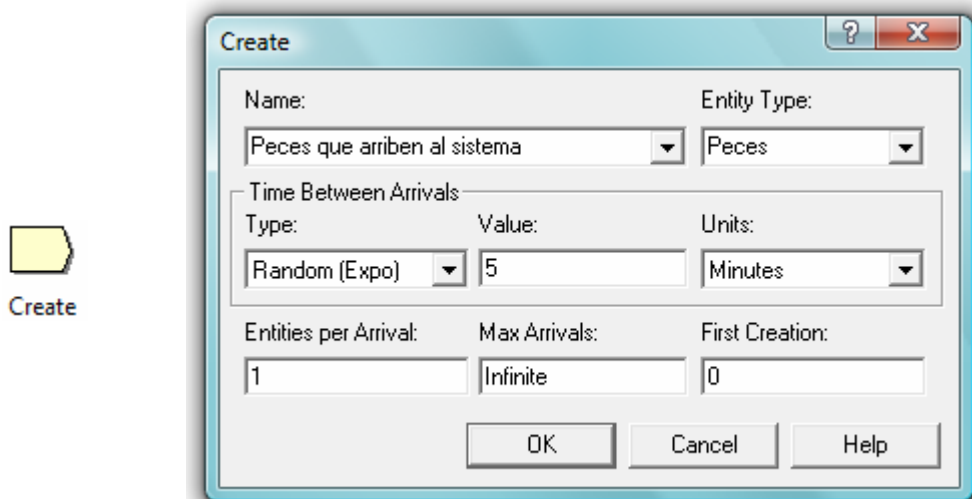
Figura 16

### 7.2.1. Modelatge

En aquest apartat s'aniran obrint els diferents mòduls que conformen aquest sistema per tal de veure'n les seves característiques.

#### 7.2.1.1. Mòdul d'arribades o Create

Fent un doble clic al mòdul "Peces que arriben al sistema", apareix el següent quadre de diàleg (Figura 17):



**Figura 17**

S'observa que es tracte d'un mòdul *Create*. Aquest mòdul és el punt d'inici per les entitats al model de simulació. Les entitats són creades utilitzant una programació o basades en un temps entre arribades. Les entitats deixen aquest mòdul per començar a ser processades a través del sistema.

El mòdul *Create* disposa dels paràmetres següents:

- *Name*: Nom del mòdul.
- *Entity Type*: S'ha de posar el nom del tipus d'entitat que ha de generar.
- *Time Between Arrivals*: Temps entre les arribades de les entitats al sistema.
- *Type*: En l' exemple és aleatori exponencial. Altres opcions són:
  - Basades en una programació
  - Arribades constants
  - Basades en una altra tipus d'expressió, les quals es mostren en un desplegable.

- *Value*: Valor de la mitjana de la distribució exponencial de les arribades.
- *Units*: Unitats de temps del paràmetre “Temps entre arribades”
- *Entities per Arribal*: Nombre d’entitats en cada arribada.
- *Max Arribals*: Nombre màxim d’arribades d’entitats al sistema. Si no es té un màxim es posa *Infinite*.
- *First Creation*: Temps en el qual es pot dur a terme la primera arribada/creació d’entitats.

Cal dir que els paràmetres dels diferents mòduls es poden obtenir i visualitzar de dues maneres diferents. Una és fent un clic a damunt d’elles i a la vista de la fulla de càlcul de la finestra de modelar hi apareix la seva base de dades. Això permet veure la totalitat de l’esquema del procés en el moment que es modula. L’altra manera és fent un doble clic a damunt del mòdul i apareix el seu quadre de diàleg (Figura 18). Els paràmetres que hi apareixen en cadascun dels casos són els mateixos i les opcions a poder realitzar també.

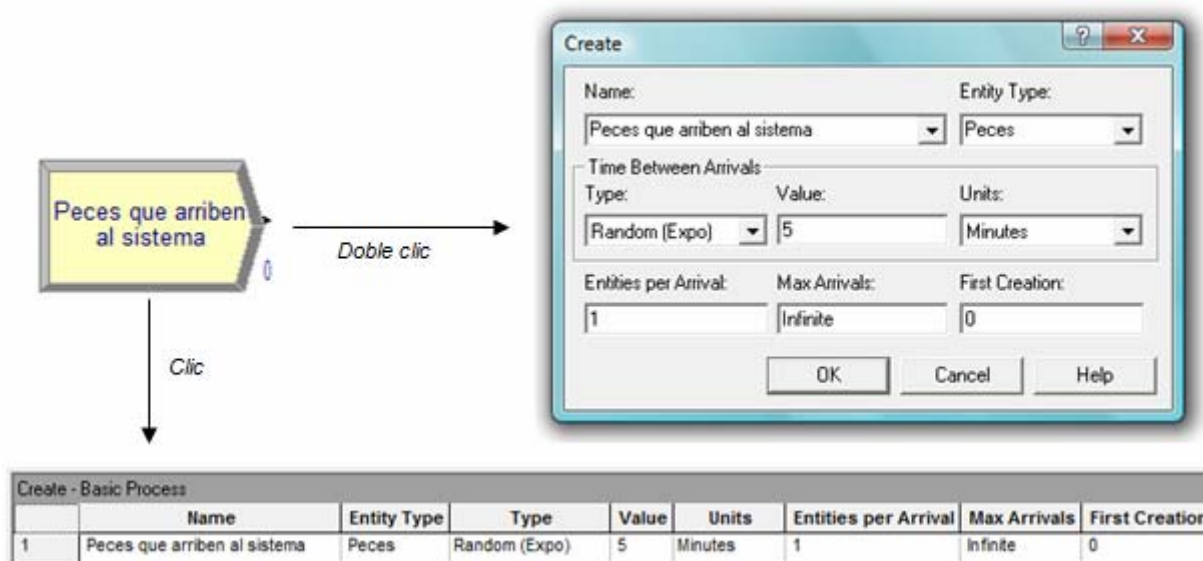


Figura 18

7.2.1.2. Mòdul de Procés o *Process*

Aquest mòdul és l'instrument de simulació principal d'un sistema; com per exemple: un procés de mecanització de peces, un procés de servei al client, etc.



**Figura 19**

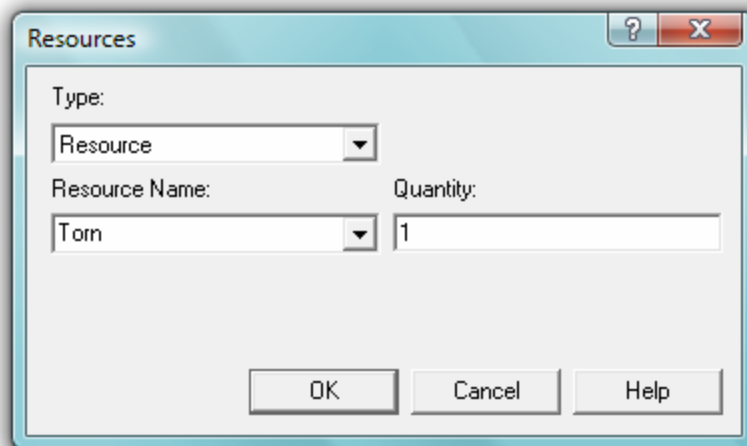
En aquest cas es tracta d'un sistema de tornejat amb una arribada i una sortida de peces. Per tant, el que s'haurà de descriure mitjançant el mòdul *Process* serà el centre de tornejat.

Al quadre de diàleg referent a aquest mòdul (Figura 19) hi consten els paràmetres següents:

- *Name*: Nom del procés
- *Type*: Tipus de procés. En aquest cas es apareix *Standard*. Aquesta opció significa que la lògica de la operació serà definida aquí en el mòdul de procés i no com un submodel jeràrquic.
- *Action*: Acció que farà el recurs. En el nostre cas:
  - *Seize Delay Release*: Això significa que el mòdul es cuidarà d'agafar un cert nombre d'entitats (després d'una possible espera a la cua), retardarà el procés per un temps (que representa el temps de servei o processat) i finalment el recurs serà "alliberat" de les entitats, de manera que les altres entitats puguin ser agafades.

Altres possibles opcions:

- *Delay*: Simplement indica que el recurs processa les entitats durant un cert temps.
  - *Seize Delay*: Agafar les entitats col·locant-les al recurs i aquest les processa. Una vegada processades, el recurs no és alliberat de les entitats fins que no les agafi un altre component del sistema.
  - *Delay Release*: el recurs processa les entitats que prèviament li han estat portades per un altre component del sistema. Una vegada processades les entitats, el recurs és alliberat d'aquestes.
- *Priority*: escollir diferents prioritats a l'hora d'agafar un recurs. Els números més baixos signifiquen prioritats més alta.
  - *Resource*: Aquí es defineixen el/s recurs/sos que utilitzarem en aquest procés per processar les entitats. Prémer *Add* per afegir un recurs a la llista. Es pot editar un recurs seleccionant-lo i prement *Edit*. Aquí es pot definir el nom del recurs i la quantitat d'aquest (Figura 20).



**Figura 20**

- *Delay Type*: Tipus de distribució o mètode específic dels paràmetres de processat. El desplegable ofereix tres tipus de distribucions (Normal, Triangular i Uniforme), una Constant o la opció Expressió.
- *Units*: Es determinen les unitats de temps a utilitzar en la duració del processat.
- *Allocation*: Es determina com seran assignats els temps de procés a les entitats. En el cas de l'exemple incrementant el valor.
- *Mínim*: Valor mínim de la distribució.

- *Value*: Valor de la mode de la distribució.
- *Maximum*: Valor màxim de la distribució.
- *Report Statistics*: Es pot escollir si es volen les estadístiques d'aquest procés una vegada executada la simulació.

Si quan es fa el modelatge d'un procés s'utilitza la fulla de càlcul de la part inferior, a l'apartat de *resource* s'ha de prémer al botó *rows* per poder afegir el/s recurs/os.

### 7.2.1.3. Mòdul de sortida o Dispose

Aquest mòdul és el punt final per les entitats en el model de simulació. Els estadístics seran enregistrats abans que les entitats surtin del sistema.

En aquest mòdul s'hi ha de posar un nom i escollir si es vol que ens mostri els estadístics en els informes de final de simulació (Figura 21).

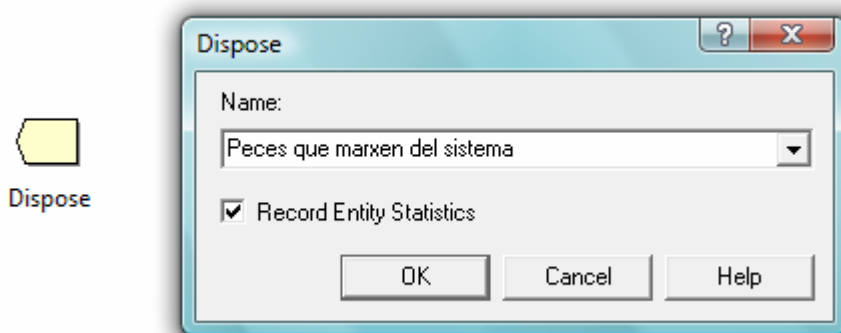


Figura 21

### 7.2.1.4. Mòdul de dades d'entitat o Entity

El mòdul de dades d'entitats es troba al panell *Basic Process* de la barra de projectes. L'ha fulla de càlcul que ha d'aparèixer és la següent (Figura 22):



Entity

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	Peces	Picture.Blue Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Figura 22

En aquest mòdul de dades es defineixen els diferents tipus d'entitats i les seves imatges inicials en la simulació. També es poden afegir informacions sobre costos.

- *Entity Type*: El nom del tipus d'entitats que prèviament, al mòdul *Create*, s'ha introduït.
- *Initial Picture*: S'escull la imatge que representarà a l'entitat al iniciar la simulació. Aquesta imatge pot ser canviada durant la simulació utilitzant el mòdul *Assign*.
- *Report Statistics*: Es pot escollir si es volen les estadístiques de les entitats una vegada executada la simulació.

En l'exemple tan sols hi ha un tipus d'entitat en el model. Si n'hi haguessin més, cadascuna tindria la seva pròpia fila a la fulla de càlcul d'entitats.

#### 7.2.1.5. Mòdul de dades de recurs o *Resource*

Aquest mòdul de dades es troba, de la mateixa manera que l'anterior, al panell *Basic Process* de la barra de projectes (Figura 23).



#### Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Torn	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

**Figura 23**


Aquesta fulla de càlcul permet determinar les característiques de cadascun dels recursos del model, incloent informació de costos i disponibilitat dels recursos. Els paràmetres a destacar són:

- *Name*: El nom del recurs que prèviament s'ha definit al mòdul *Process*.
- *Type*: Mètode per a determinar la capacitat del recurs. Hi ha dues opcions:
  - *Fixed Capacity*: la capacitat no varia en tota la simulació.
  - *Based on Schedule*: vol dir que la capacitat del recurs anirà en funció d'una programació. Aquesta programació s'haurà hagut de crear mitjançant el mòdul de dades *Schedule* (es veurà en posteriors capítols).
- *Capacity*: Número d'unitats de recursos disponibles per a processar.
- *Busy/Hour*: Cost per hora del recurs quan processa.
- *Idle/Hour*: Cost per hora del recurs quan està desocupat.

- *Per Use*: Cost base per cada entitat que el recurs processa, sense tenir en compte el temps de processat. Cada vegada que una entitat li és assignada, tindrà aquest cost.
- *Report Statistics*: Es pot escollir si es volen les estadístiques dels recursos una vegada executada la simulació.

#### 7.2.1.6. Mòdul de dades de cues o *Queue*

Si el torn està ocupat i hi arriba una entitat, aquesta haurà de fer cua per a ser processada. La fulla de dades de cues apareix al clicar a la icona de *Queue* de la barra de projecte, en l'apartat de processos bàsics (Figura 24).



Queue - Basic Process				
	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Centre de tornejat.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Figura 24**

Aquí es poden controlar aspectes de les cues del model. En el cas de l'exemple només hi ha un procés amb una cua. Paràmetres del mòdul:

- *Name*: El nom de la cua apareix per defecte
- *Type*: el tipus de disciplina que seguirà la cua. Per defecte apareix *First In, First Out*, que és la que s'utilitza en l'exemple.
- *Report Statistics*: Es pot escollir si es volen les estadístiques de les cues una vegada executada la simulació.

Si a l'apartat *Type* s'escull algun tipus d'*Attribute Value*, significa que la cua es classificarà en ordre creixent o decreixent segons un atribut, el qual s'haurà d'assignar a la casella que apareixerà a la part dret de la casella *Type*.


### 7.2.2. Animació de recursos i cues


A continuació es veuran les opcions de les imatges dels recursos i de les cues.




Fent doble clic a la imatge s'obrirà el quadre de diàleg de col·locació d'imatges als recursos. A la part dreta apareixen diferents icones que estan classificades en llibreria



(aquestes llibreries es poden trobar prement a *Open*, a la carpeta de Arena 10.0, amb l'extensió *.plib*). Es poden animar el recurs segons la temàtica del procés a simular. Per canviar, per exemple, la icona del procés en estat desocupat (*Idle*), s'ha de fer un clic damunt d'aquesta, clicar la icona de la llibreria que es vulgui col·locar, i finalment clicar al botó .

Pel que fa a les cues, a la part superior del mòdul de procés es pot observar un dibuix (). En el transcurs de la simulació, les entitats que hagin de fer cua per a ser processades es col·locaran seguint el sentit d'aquest dibuix. En propers apartats s'aprofundirà pel que fa a la forma i capacitats de les cues.


### 7.2.3. Connectors dels mòduls

Els connectors estableixen la seqüència que les entitats seguiran en el transcurs del seu processat. Es poden fer connexions clicant a *Connect*  o seleccionant *Object > Connect*. Al dibuixar-lo es poden fer clics intermedis per dibuixar la trajectòria de les entitats. Arena marca amb un requadre de color verd els punts que són de sortida d'un mòdul i amb un requadre de color vermell els punts que són d'entrada. Si s'han de fer moltes connexions, al fer-ne una llavors es pot fer un clic dret i seleccionar *Repeat Last Action*. Una altra opció és fer un doble-clic a la icona *Connect*. Per parar aquesta opció prémer la tecla *Esc*.

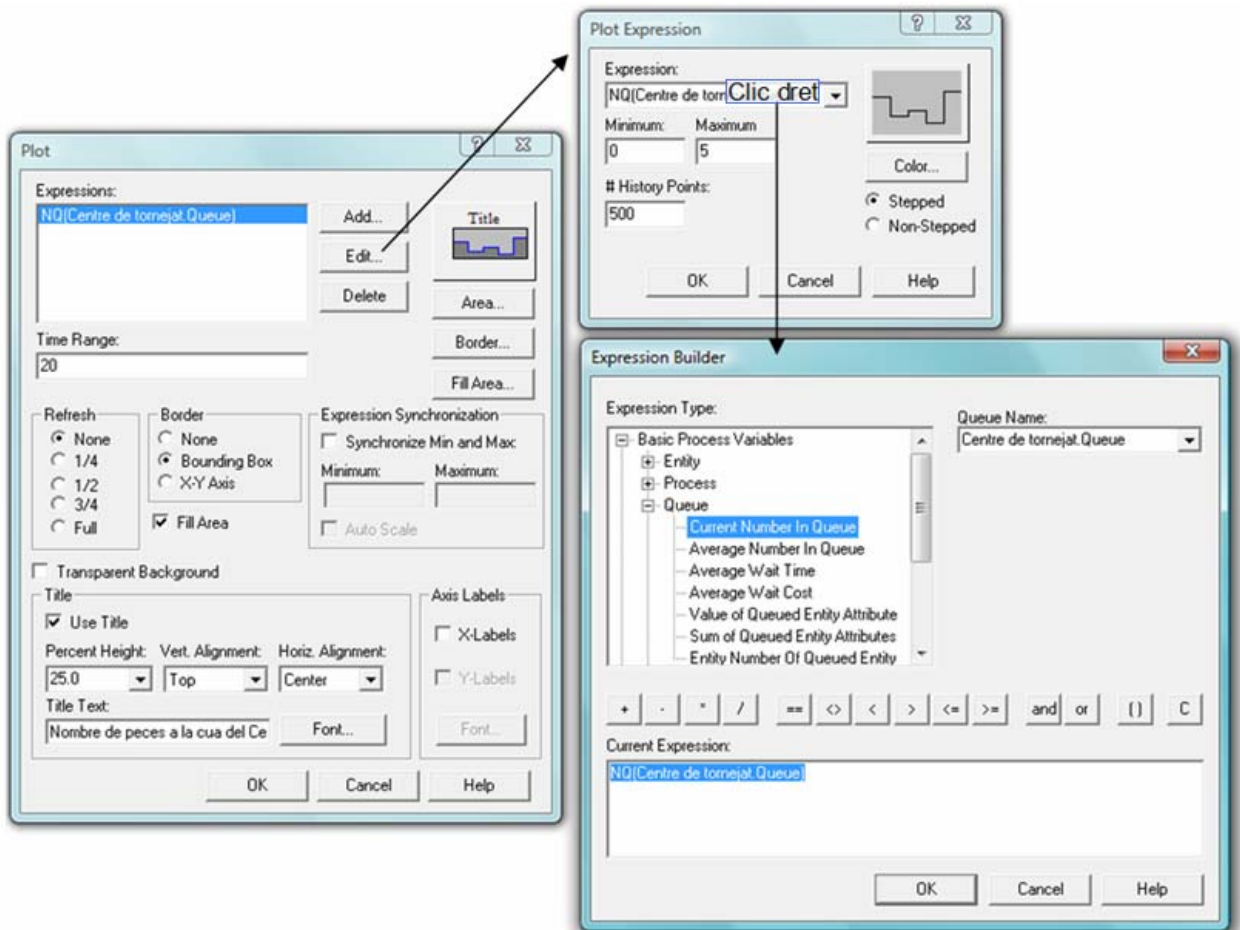
Altres opcions respecte els connectors:

- Si la opció *Object > Auto-Connect* està activada, Arena automàticament connectarà l'entrada del mòdul que es col·loqui en el diagrama de flux, amb la sortida del mòdul que es vulgui, sempre i quan estigui seleccionat al posar aquest nou mòdul.
- Si la opció *Object > Smart Connect* està activada, al dibuixar els connector s'autoajustarà la línia d'aquests amb línies horitzontals i verticals. Aquesta opció és purament per estètica del diagrama.
- Si la opció *Object > Animate Connectors* està activada, ARENA mostrarà les icones de les entitats (en el cas de l'exemple boles blaves) quan flueixen a través dels connectors en la simulació.

### 7.2.4. Gràfics dinàmics

Els dos gràfics que s'observen a l'exemple són creats amb el botó (  ) de la barra d'eines. La representació de l'evolució de les variables s'anirà dibuixant al mateix temps que es dur a terme la simulació.



Si es fa un doble clic a damunt del primer dels gràfics s'obre el quadre de diàleg que es mostra a la part esquerra de la figura següent (Figura 25):



**Figura 25**

A continuació es detallen algunes de les opcions a poder executar amb aquesta eina:

- Quadre de diàleg *Plot Expression* i *Expression Builder*.
  - Per afegir un nou gràfic dinàmic: prémer *Add* i s'obre el quadre de diàleg de la part superior de la figura. Al desplegable de l'apartat *Expression* hi ha tot un seguit de variables a poder escollir per graficar. Si la variable que es vol visualitzar en el gràfic no és cap d'aquestes, fent un clic dret a l'apartat *Expression* i clicant a *Build Expression*, es pot escollir entre un munt de variables. En el cas de l'exemple s'ha escollit *NQ*: número d'entitats que hi ha en cada instant de temps a la cua.

- Si es prem *Edit* s'obre el quadre de diàleg de l'expressió seleccionada. Es pot veure que com a valor mínim de l'eix de les "y" hi ha el 0 i com a valor màxim el 5. Es posa que el mínim és zero ja que se sap que, com a mínim a l'inici del processat, la cua serà zero ja que el sistema comença buit. Pel que fa al valor màxim, a priori s'ha de suposar i posteriorment a haver fet una simulació pot ser ajustat.
  - L'apartat *# History Points* és el número màxim de canvis de sentit que voldrem tenir en l'evolució de la variable durant la simulació. Normalment es deixarà el número 500 que apareix per defecte.
  - Podem veure, també, el botó *Color*, amb el qual es pot canviar el color de la línia que representa la variable. En especial serà útil quan es vulguin veure representades diferents variables en la mateixa gràfica.
- Quadre de diàleg *Plot*.
    - A la casella *Time Range* hi ha el valor de 20. Això significa que es simularà el temps equivalent a 20 minuts reals (les unitats de temps, en el cas de l'exemple minuts, es veurà com es selecciona més endavant a l'apartat 7.2.6. Ajust de les condicions de simulació).
    - A l'apartat de *Refresh* es poden escollir opcions les quals van relacionades amb el grau d'emmotllament dels límits de la gràfica durant la simulació. En el cas de l'exemple hi ha escollida la opció *None* amb la qual cosa encara que durant la simulació la variable excedeixi d'algun dels límits del requadre de la gràfica aquest no canviarà (els valors mínim i màxim dels eixos no variaran).
    - A l'apartat de *Border* es pot escollir que no apareguin vores al requadre del gràfic (*None*), que apareguin les vores a tot el requadre (*Bounding Box*) o que només es mostrin les vores dels eixos (*X-Y Axis*). Just a sota es pot escollir *Fill Area*, amb la qual cosa al dibuixar-se la gràfica la part de sota sortirà plena (); i si no sortirà buida (.
    - Si a la gràfica es vol simular més d'una variable, a l'apartat de *Expression synchronization* hi ha la opció de sincronitzar els mínims i els màxims de les diferents variables, fent que els mínims i els màxims siguin els mateixos per totes. També hi ha la opció *Auto scale*, amb la que l'ajust dels eixos es fa automàticament en fer una simulació.
    - Seguint avall en el quadre de diàleg hi ha la opció *Transparent Background*, amb la qual el fons de la gràfica (la part superior de la representació de la variable) pot ser transparent o de color.
    - A les gràfiques s'hi pot posar títol seleccionant la opció *Use Title*. S'ha d'escollir l'alçada de la lletra (es dona en percentatge d'alçada respecte a l'alçada total del requadre de la

gràfica). Es pot escollir la ubicació (a dalt o a baix) i l'alineació (esquerra, centre o dreta). Seguidament s'ha d'escriure el títol a donar a la gràfica i clicar al Botó *Font* per escollir les característiques de la lletra.

- Finalment hi ha la opció de posar etiquetes als eixos (el valor mínim i el màxim). Hi ha una altra manera d'etiquetar els eixos que es veurà a l'apartat següent (7.2.5. Vestir l'entorn).
- Els botons *Area*, *Border* i *Fill Area*, són per escollir el color de l'àrea del gràfic, les vores i de l'àrea inferior de la representació de la variable.

L'àrea de la gràfica serà determinada al dibuixar-la amb el cursor a la finestra del model. Pot ser retocada posteriorment per els extrems.

### 7.2.5. Vestir l'entorn

A la finestra del model de l'exemple es poden observar varies etiquetes. Aquestes es creen clicant a la icona *Text* de la barra d'eines de dibuix (Figura 26).



Figura 26

Prement aquesta icona s'obre un quadre de diàleg (Figura 27) en que es pot escriure el text desitjat i amb el botó *Font* escollir-ne les propietats d'aquest.

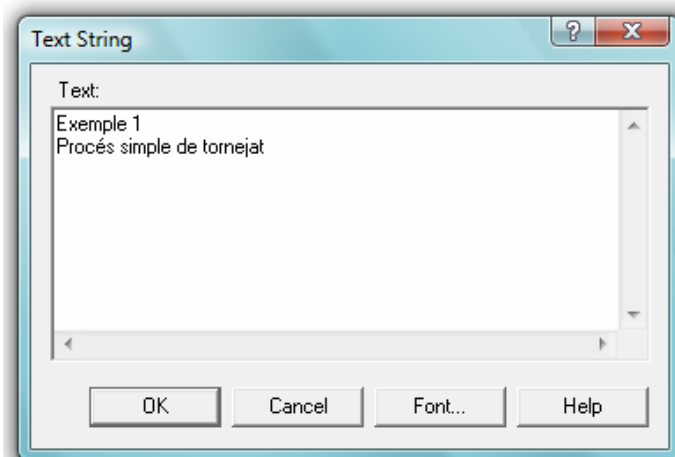





Figura 27

Nota: Prémer *Ctrl+Enter* si es vol fer una nova línia en el text.

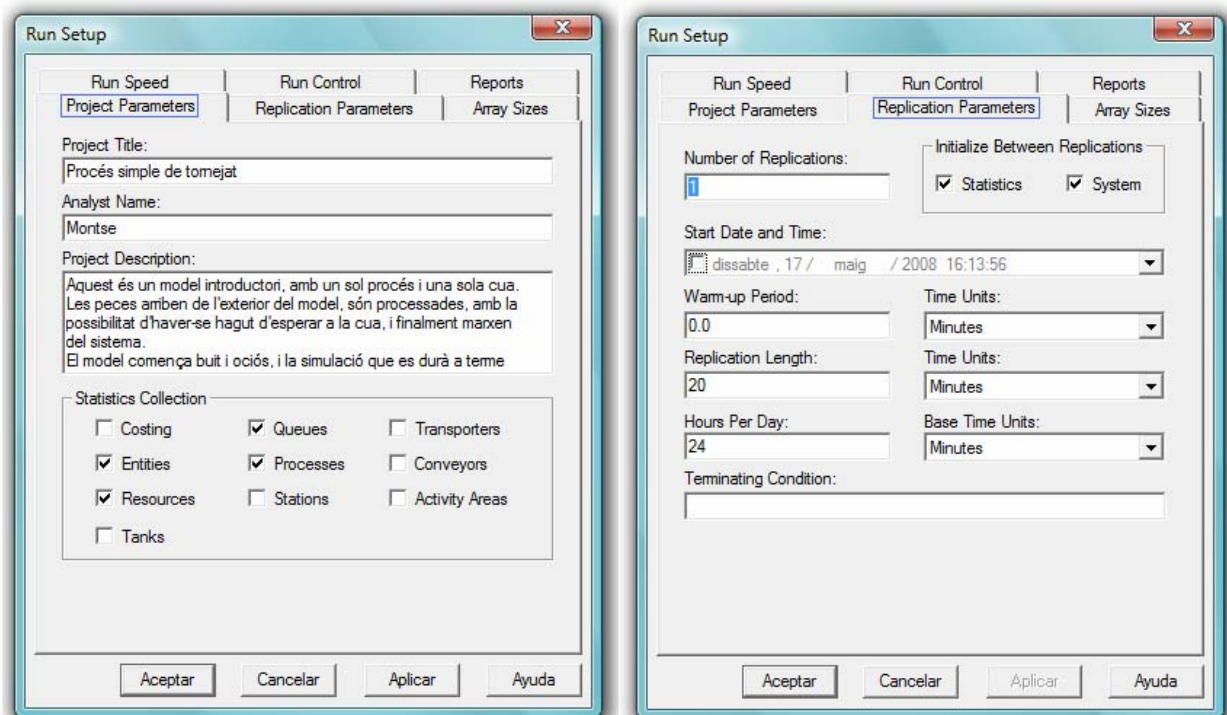
Es pot canviar el color de la lletra clicant al damunt i utilitzant el botó (  ). Es pot canviar la mida del text i fer inclinar-lo mitjançant la línia que apareix a sota del text al seleccionar-lo.

En aquesta mateixa barra d'eines de dibuix hi ha opcions com dibuixar línies, el·lipses, polígons i capsos (  ), dels quals en pots controlar, també, els seus colors i estils (  ).

En aquesta barra d'eines hi ha més opcions que seran vistes amb més detall en apartats posteriors.

### 7.2.6. Ajust de les condicions de simulació

Les condicions de simulació s'ajusten amb la opció *Run > Setup* (Figura 28).



**Figura 28**

- La pestanya *Project Parameters* permet les opcions:
  - *Project Title*: Posar el títol del projecte
  - *Analyst Name*: Posar el nom de l'analista
  - *Project Description*: Escriure una descripció del projecte a construir.
  - *Statistics Collection*: es poden escollir els grups d'estadístiques a mostrar en els informes que apareixen després de fer una simulació.

- A la pestanya de *Replication Parameters* hi ha varies opcions:
  - *Number of Replication*: Número de rèpliques o vegades que s'executa la simulació. En l'exemple 1.
  - *Start Date and Time*: fa referència al dia i hora que es voldrà que s'iniciï la simulació. Si no s'utilitza, la simulació començarà en la data i hora en que s'executi.
  - *Warm-up*: s'utilitza per si és necessari incloure un cert temps previ al iniciar-se la simulació (per exemple per escalfament de motors, per estabilització d'aparells, etc.). En el cas de l'exemple no i per tant es deixa a zero.
  - *Replication Length* i *Time Units*: es selecciona la llargada de les simulacions en forma de quantitat de temps i d'unitats de temps.
  - *Hours Per Day*: s'hi posen les hores al dia en que es dur a terme la simulació (per defecte apareix 24).
  - *Base Time Units*: s'escullen les unitats de temps en que es basarà el projecte, les quals s'utilitzaran en tots els paràmetres que es fixin que no hi surtin les unitats.

### 7.2.7. Execució de la simulació

Per a dur a terme la simulació s'ha de clicar a (▶) de la barra d'eines (o anar a *Run > Go* o prémer la tecla *F5*). Al activar la simulació si hi ha algun error ARENA avisa dient el tipus d'error que s'ha fet. A la pantalla de l'error es dona l'explicació d'aquest i a la part inferior es pot prémer a *Find* i es mostrarà a quina part del model hi ha l'error.

En el transcurs de la simulació es poden veure les entitats fluir a través del sistema: a la cua, processant, passant d'un mòdul a un altre,... es pot veure també si el procés està ocupat o desocupat amb la seva diferent animació.

Al mòdul *Create* es poden veure la quantitat d'entitats que han estat creades amb el número que hi ha a la part inferior dreta d'aquest. En el mòdul *Process* es poden veure la quantitat d'entitats (les que s'estan processant més les que estan a la cua) que hi ha en cada instant de temps. I en el mòdul *Dispose* es mostren el número d'entitats que han marxat del sistema, és a dir, les que han seguit tot el procés de simulació fins al final.

Una vegada feta la simulació (Figura 29) es pot veure que:

- 7 entitats han estat creades
- 5 d'aquestes entitats han fet el procés sencer i han sortit del sistema
- 1 d'aquestes entitats s'està processant al centre de tornejat

- 1 altra entitat està fent cua per a ser processada en aquest mateix centre.

Quan ha finalitzat la simulació apareix un quadre de diàleg amb la opció de veure els informes de resultats de la simulació. Tant si es miren com si no, al tornar al diagrama de flux s'ha de prémer (■) a la barra d'eines per finalitzar el procés de simulació.

### Exemple 1 Procés simple de tornejat

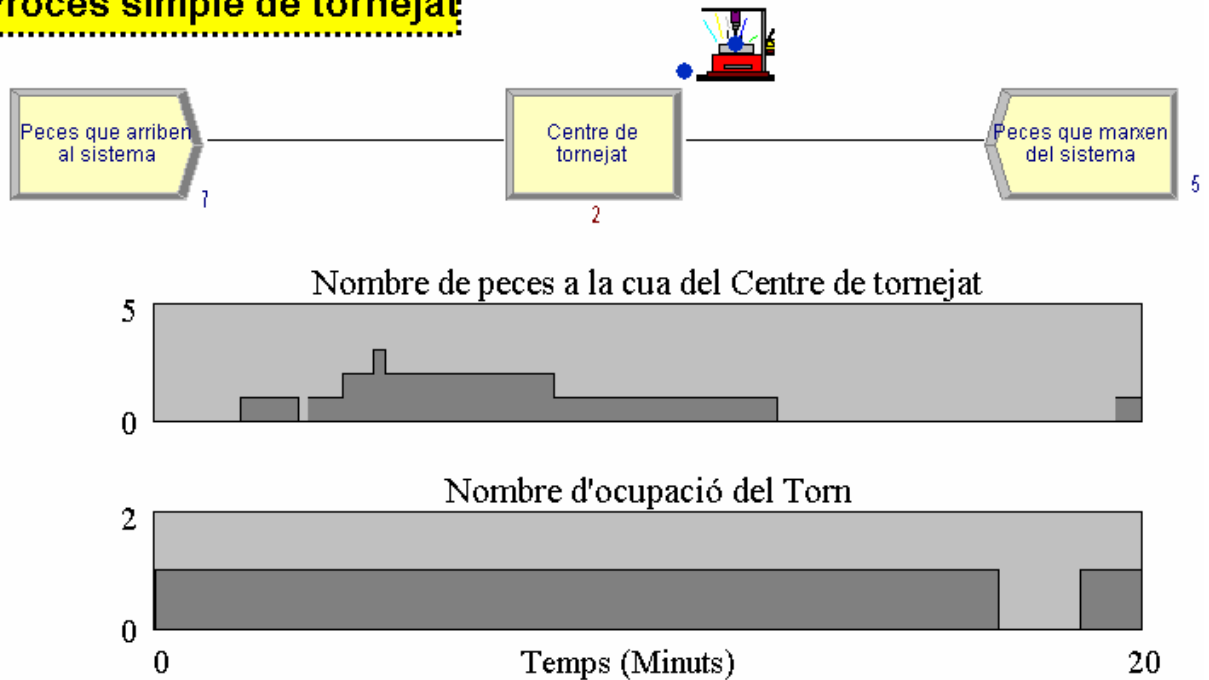


Figura 29

#### 7.2.8. Interpretació dels informes

Per a visualitzar els informes s'ha de prémer a Yes en el quadre de diàleg que apareix en acabar una simulació (Figura 30).

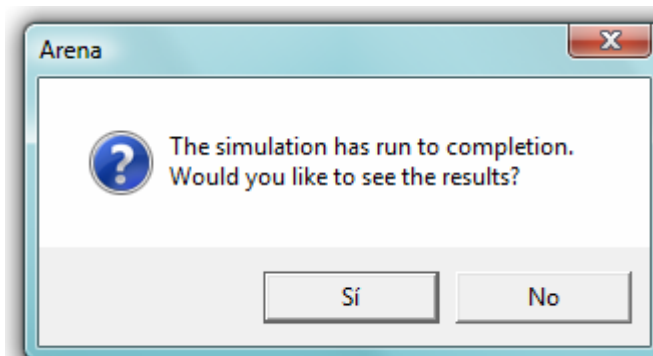


Figura 30

S'obren els informes de la simulació que s'ha dut a terme.

A la barra de projectes es mostra el panell de *Reports* (Figura 31), en el qual s'hi llisten els diferents informes que pots veure com *Category Overview*, *Category by Replications* i *Resource*. ARENA per defecte obre l'informe *Category Overview*.

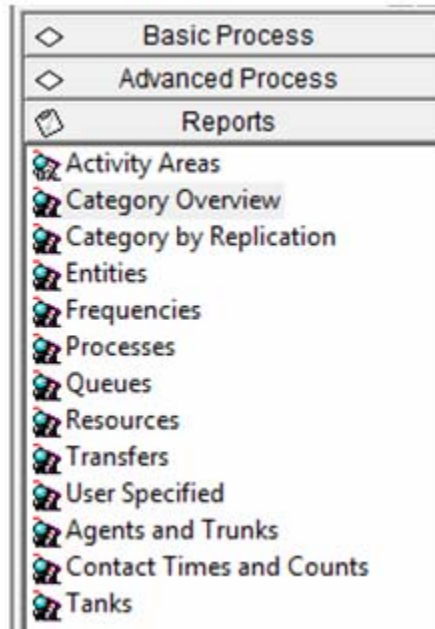


Figura 31

Al costat dret del panell d'informes hi ha una finestra (vista prèvia) on hi ha un arbre de navegació del contingut de l'informe. Aquest arbre és un seguit de hipervincles que serveixen per anar directament a la línia de l'informe on hi ha la informació que es desitja consultar. Per exemple; si es vol saber el que ha passat amb la cua s'ha de clicar als signes + de: *Simple Processing > Queue > Time > Waiting Time >* i clicar a *Centre de tornejat.Queue* (Figura 32).

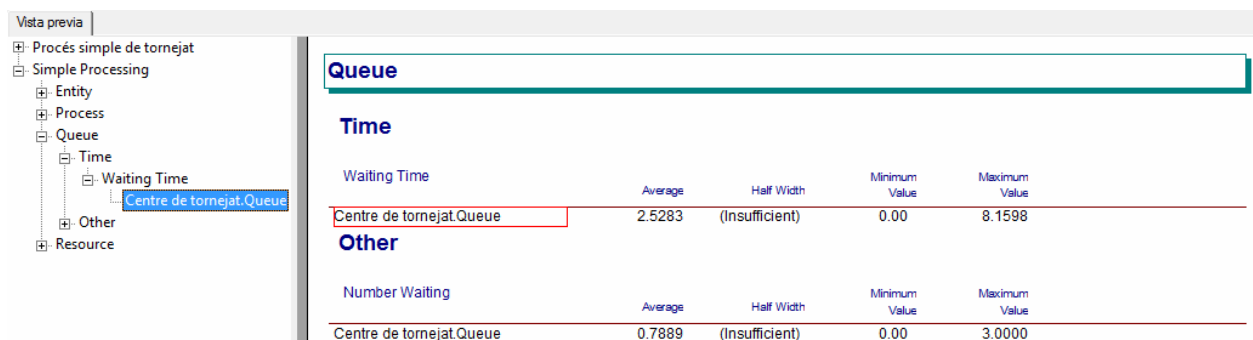




Figura 32


Es pot veure que la mitjana de temps d'espera a la cua és de 2.5283 (les unitats no les posa però ja s'havia predeterminat que el temps base serien minuts) i que el màxim temps d'espera



ha estat de 8.1598 minuts. A continuació es pot veure l'apartat *Other* en que es mostra que la quantitat mitjana d'entitats a la cua ha estat de 0.7889, i el valor màxim ha estat de 3.

Els informes estan organitzats en diferents pàgines les quals es poden passar prement els botons (.

Hi ha la opció d'imprimir l'informe prement a (.

Si vols exportar l'informe en un altre format s'ha de prémer () i dir el tipus de format desitjat i la ubicació en que es vol exportar.

A continuació es presenten unes quantes dades que es donen als informes, indicant les rutes a seguir a través de l'arbre:

- *Simple processing > Entity > Time > Total time > Peces*: la mitjana de temps que una entitat ha estat dins al sistema ha estat de 6,4397 minuts i el màxim de 12,6185 minuts.
- *Simple processing > Resource > Usage > Instantaneous Utilization > Torn*: la utilització del torn ha estat de 0,9171 (ha estat ocupat el 91,71% del temps que ha durat la simulació).
- *Simple Processing > Process > Other > Number In > Centre de tornejat*: durant la simulació, 7 entitats han entrat en el mòdul de procés del centre de tornejat.
- *Simple Processing > Process > Other > Number Out > Centre de tornejat*: durant la simulació, 5 entitats han sortit del mòdul de procés del centre de tornejat.
- *Simple Processing > Entity > Time > Wait Time > Peces*: de les cinc entitats que han sortit del sistema, la mitjana de temps que han estat fent cua ha estat de 3,034 minuts, i el màxim de 8,1598. La raó de perquè aquesta mitjana de temps a la cua és diferent de la que s'havia vist anteriorment (de 2,5283) és perquè aquesta té en compte tan sols les 5 entitats que han estat processades totalment i han sortit del sistema. D'altra banda, l'altra ha tingut en compte les 6 entitats que han fet la cua i l'han abandonat. El temps màxim, en l'exemple, és el mateix en els dos casos.
- *Simple Processing > Entity > Other > WIP > Peces*: en mostra que la quantitat mitjana d'entitats que han estat dins del sistema ha estat de 1,7060, i com a valor màxim, quatre entitats han estat a la vegada dins al sistema en el transcurs de la simulació.

## 8. MODELATGE BÀSIC DE SISTEMES

En aquest apartat s'iniciarà en la construcció de models senzills. En concret s'explicaran quatre exemples:

- Un primer exemple en que es veurà el modelatge d'una caixa de supermercat. En aquest exemple s'utilitzaran eines semblants a les vistes a l'apartat 7 del projecte, amb la diferència que ara es construiran des de 0.
- En el segon exemple es simularà una financera i es podran veure mòduls de decisió i la opció d'addició de costos de recursos.
- El tercer i quart exemple fan referència a un procés de revisió de sol·licituds el qual es modelarà, primer en sèrie, i en l'exemple posterior en paral·lel. Es farà un anàlisi detallat dels resultats obtinguts en els diferents informes i se n'extrauran conclusions.

### 8.1. Exemple 2: Caixa de supermercat

Com a iniciació al modelatge amb l'ARENA es construirà un sistema d'una caixa d'un supermercat. En el sistema es suposarà que hi ha una única caixa i les dades de que es disposen són les següents:

- Temps entre arribades dels clients: Exponencial amb mitjana de 5 minuts.
- Temps d'atenció als clients: Triangular (1, 3, 6).
- Temps de simulació: 8 hores.

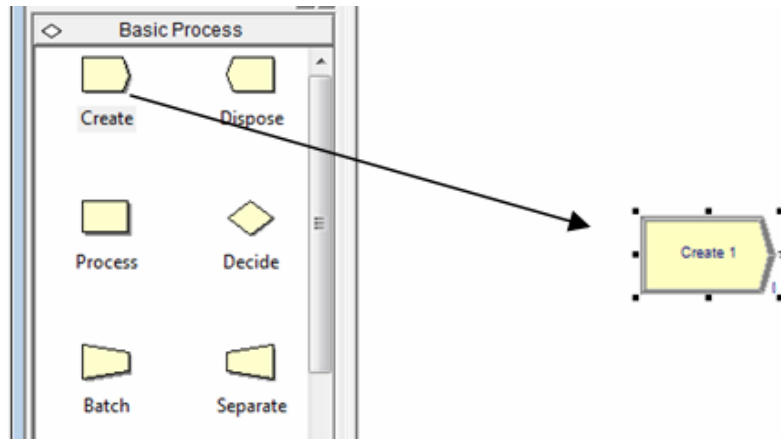
#### 8.1.1. Modelatge

A continuació es crearan els mòduls pas a pas:

##### 8.1.1.1. Estructura del model

Es comença el diagrama de flux utilitzant el mòdul *Create*. Aquest és el punt de partida per el flux d'entitats (en aquest cas, clients) al llarg del model.

Per incorporar el mòdul s'ha d'arrossegar des del Panell de processos bàsics fins a la finestra de modelar (Figura 33).



**Figura 33**

Una vegada creada una entitat passarà al següent mòdul que hi hagi al seu camí.

En aquest cas, el següent pas haurà de ser l'atenció proporcionada per la caixa del supermercat, el qual és modelat per un mòdul *Process* (Figura 34).

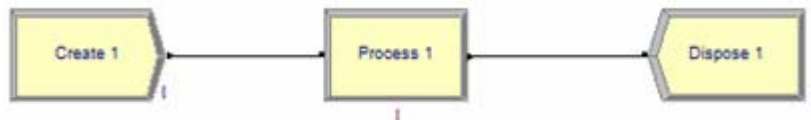
Això implicarà arrossegar un mòdul d'aquest tipus cap a la vista del diagrama de flux.

Comentari: si hi ha seleccionat prèviament el mòdul amb el que es vol connectar, ARENA els connectarà automàticament (*Object/Auto-Connect*). Si no es selecciona prèviament, l'enllaç haurà de ser fet manualment.



**Figura 34**

Els clients, una vegada han estat atesos a la caixa del supermercat, han de marxar (eliminarlos del sistema). Això s'aconsegueix utilitzant el Mòdul *Dispose* (Figura 35).



**Figura 35**

### 8.1.1.2. Modelatge dels mòduls

Una vegada s'ha estructurat el flux bàsic que seguiran els clients en el supermercat, s'han d'establir les dades específiques per a cada mòdul.

- Mòdul *Create* (Figura 36)

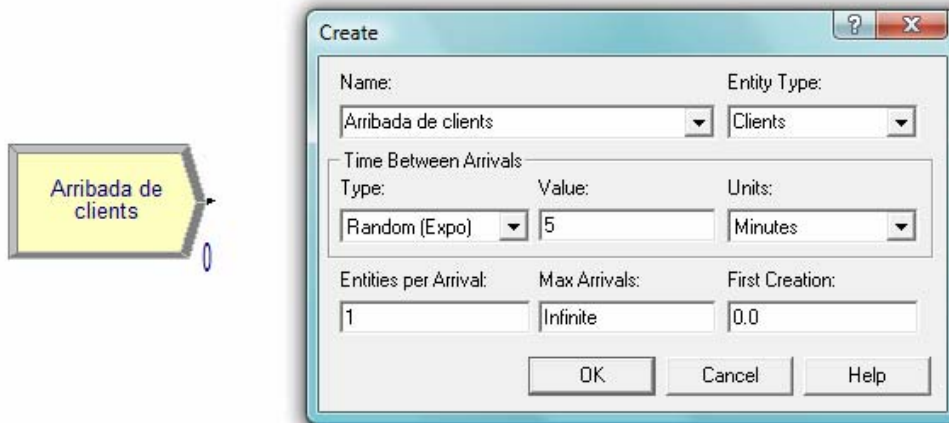


Figura 36

- Mòdul *Process* (Figura 37)

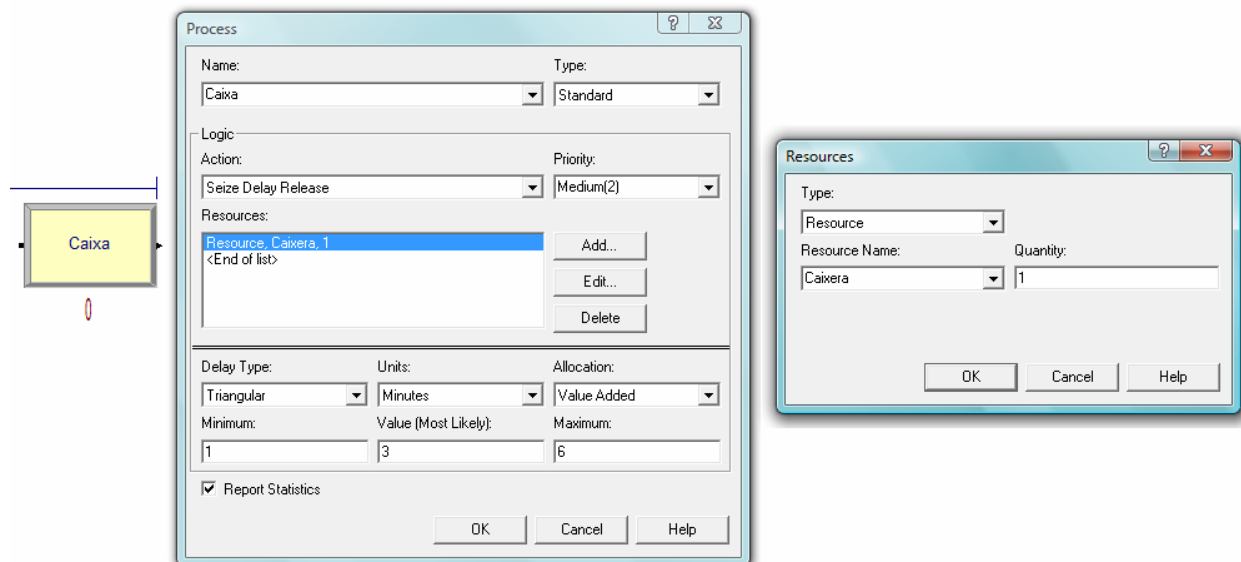


Figura 37

- Mòdul *Dispose* (Figura 38)



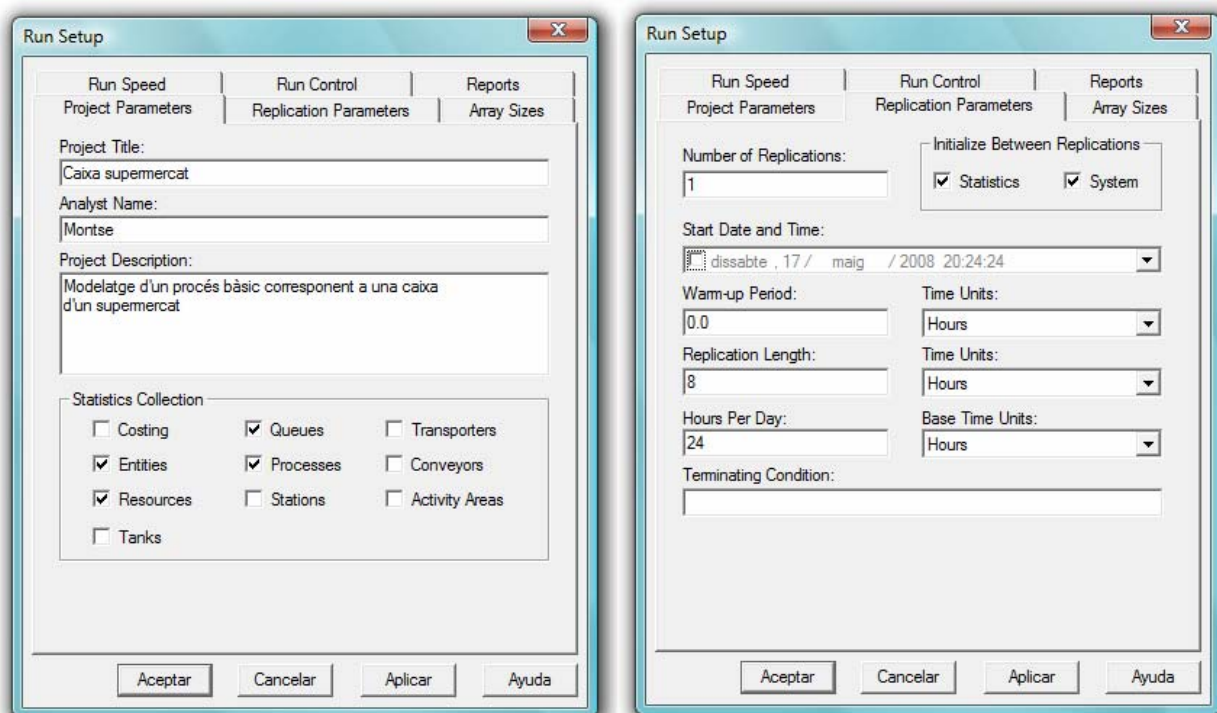
**Figura 38**

### 8.1.1.3. Ajust de les condicions de simulació

Per deixar el model llest per ser sotmès a simulació s'ha d'especificar la informació general del projecte i en particular s'indicarà el temps de simulació que es desitja.

Per això, s'haurà d'obrir el quadre de diàleg dels paràmetres del projecte a través de l'opció *Run Setup* i seleccionar l'etiqueta *Project Parameters* (Figura 39).

Posteriorment anar a l'etiqueta *Replications Parameters* per indicar que el transcurs de la simulació serà de 8 hores (Figura 39).



**Figura 39**

#### 8.1.1.4. Execució de la simulació

Ara s'està en condicions de simular el model. Per això s'haurà de pressionar el botó (▶) , o anar a *Run>Go* o prémer *F5*.

Mentre la simulació s'està desenvolupant es poden observar petites icones en forma de fulls associats a les entitats que flueixen pel sistema (Figura 40). Així mateix es visualitzen comptadors d'entitats a sota els mòduls.

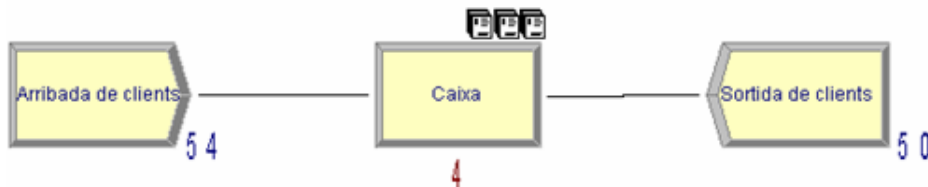


Figura 40

### 8.1.2. Addició d'animació al model

Aquest apartat es parlarà d'animació de recursos, animació d'entitats i addició de gràfiques.

#### 8.1.2.1. Animació del Recurs

Fins i tot quan no és imprescindible, és recomanable incorporar animació als models, i en particular al recurs CAIXER, de tal manera que es podrà observar quan el caixer es troba ocupat i quan es troba desocupat.

Per això s'haurà de prémer el botó associat als recursos a la barra d'eines d'animació (▶).

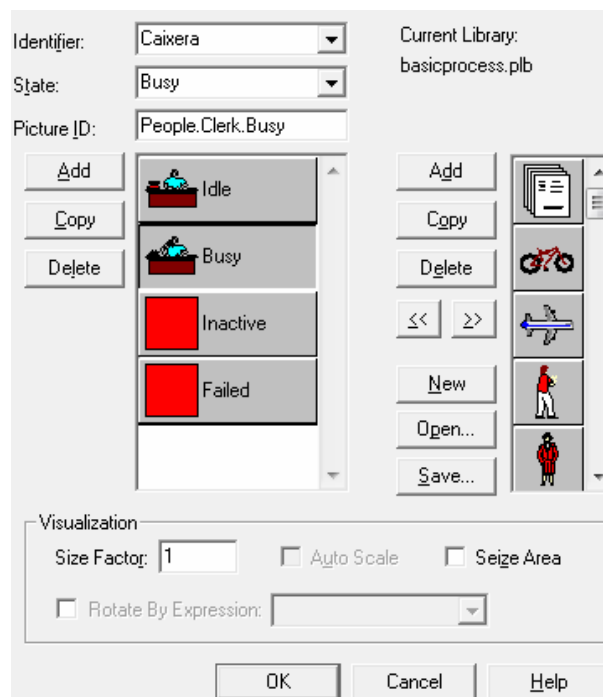


Figura 41

S'haurà d'escollir una imatge per l'estat desocupat (*Idle*) i una altra de diferent per l'estat ocupat (*Busy*) (Figura 41).

### 8.1.2.2. Animació de les entitats

En el cas de l'exemple les entitats són clients i fins en aquest punt de l'exercici els representàvem amb la imatge que ARENA dóna per defecte, que són uns folis (📄). El que podem fer és canviar la imatge per alguna de més real, com per exemple de persona (👤).

Per fer això tan sols s'ha d'anar al mòdul de dades *Entities*, i a l'apartat *Initial Picture* escollir, per exemple, *Picture.Woman*. Al fer una simulació es podrà observar que la mida d'aquesta imatge és bastant grossa. Si es desitja fer-la més petita s'ha d'anar a *Edit > Entity Picture*, i a *Seize Factor* posar un valor per tal que la imatge s'adeqüi al format desitjat.

### 8.1.2.3. Addició de gràfiques

Es considera ara la possibilitat de definir i graficar alguna variable d'interès del model. Per exemple es desitja graficar el número de clients a la cua (*NQ*).

Per graficar variables s'haurà de prémer el botó Gràfic (*Plot* 📊).

De la mateixa manera es farà una altra gràfica que mostrarà la utilització del recurs. Indicarà el valor de 1 quan el recurs està ocupat i 0 quan està desocupat. La funció és *NR*.

Una vegada afegits aquests canvis, el model hauria de tenir l'aspecte següent (Figura 42):

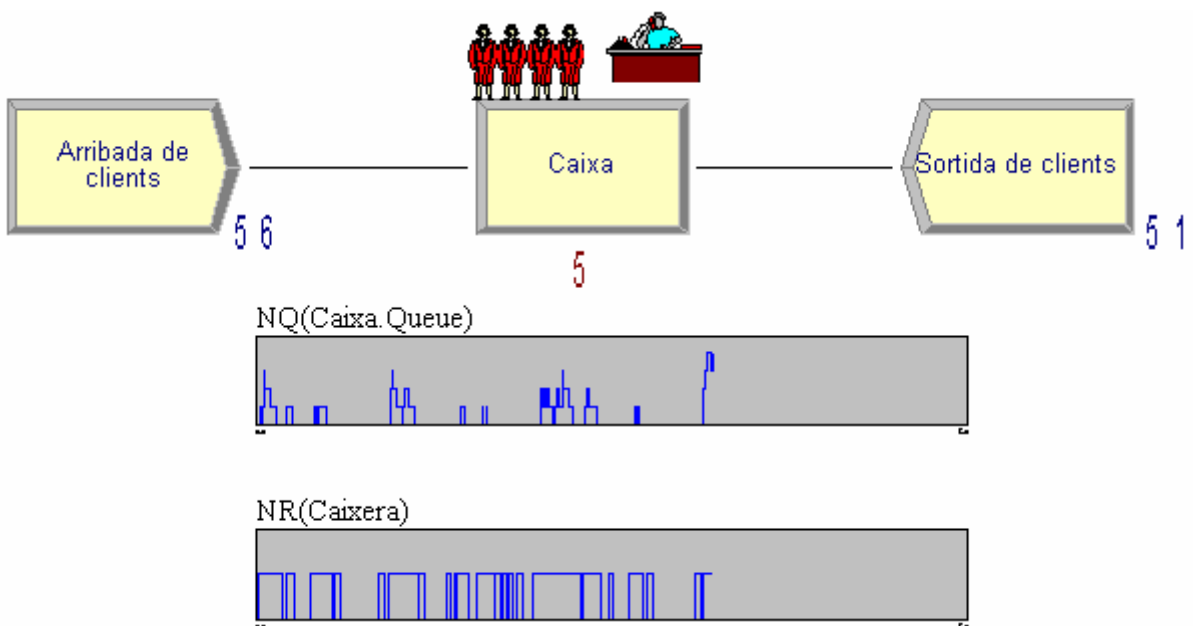


Figura 42

### 8.1.3. Simulació i informes

Si es vol rebre un informe de la simulació desenvolupada s'haurà de respondre afirmativament el quadre de diàleg que es presenta una vegada finalitzada la simulació.

Recordem que l'estructura dels informes és la següent (Figura 43):

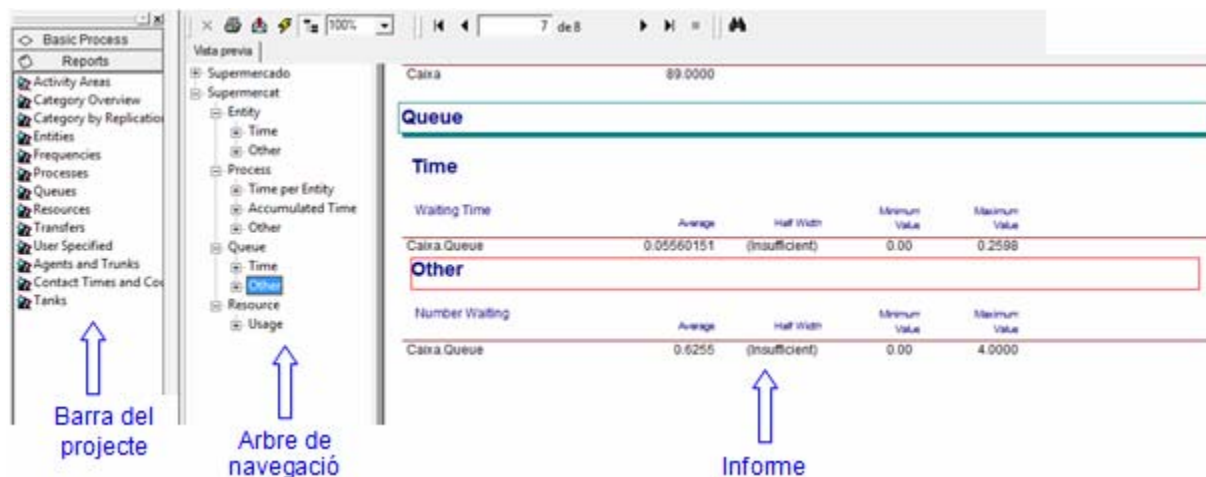


Figura 43

Exemple de dades que s'obtenen a l'informe (Taula 1):

Variable	Valor
Quantitat d'entitats que han acabat el processat del sistema ( <i>Number Out</i> )	89
Temps d'espera promig dels clients a la cua ( <i>Waiting Time</i> )	0,056 hores (equival a 3,36 minuts)
Nombre promig de clients a la cua ( <i>Number Waiting</i> )	0,63 clients
Quantitat mitjana de clients dins el sistema ( <i>WIP</i> )	1,28 clients

Taula 1

### 8.1.4. Conclusions

Aquest exercici ha servit per començar a utilitzar l'Arena tot construint un sistema molt senzill. S'ha pogut veure el modelatge dels mòduls *Create*, *Process* i *Dispose*, com també l'addició d'animació en forma de gràfiques i figures.



## 8.2. Exemple 3: Financera

Una financera ofereix crèdit de consum als seus clients, el procediment d'aprovació d'un crèdit implica, bàsicament, una revisió dels antecedents comercials del sol·licitant. Aquesta revisió es dur a terme per un executiu de comptes.

Dades de l'exercici:

- Temps de processat de l'executiu: Triangular (1, 1,75, 3).
- Temps entre l'arribada d'una sol·licitud i la següent: Exponencial amb una mitja de dues hores.
- Probabilitat que una sol·licitud sigui aprovada: 88%.
- Temps de simulació: 20 dies.

### 8.2.1. Estructura del model

L'estructura del model plantejat ha de tenir la forma següent (Figura 44):

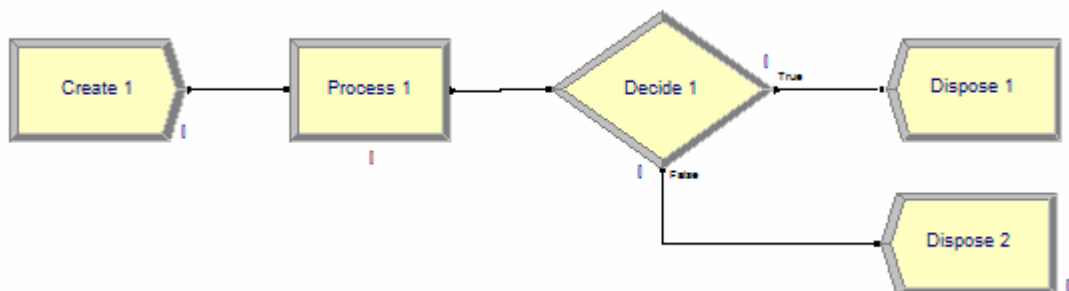


Figura 44

Els models *Create*, *Process* i *Dispose* s'han de modelar entrant les dades que es plantegen a l'enunciat de l'exercici, de la mateixa manera que s'ha fet en exemples anteriors.

### 8.2.2. Mòdul de decisió o Decide

Per a un correcte modelatge del que s'ha plantejat caldrà un nou mòdul: *Decide* (Figura 45).



Figura 45

Aquest mòdul permet prendre decisions en el model. Inclou opcions per prendre decisions basades en una o més condicions, amb les corresponents probabilitats. Les decisions poden basar-se en valors d'atributs, valors de variables, tipus d'entitats, etc.

Si es selecciona un *2-way chance* o un *2-way condition*, hi ha dos punts de sortida del mòdul: el que correspon a que es compleix la condició (*true*) i el que no es compleix (*false*). Quan es selecciona un *N-way chance/condition*, existeixen varis punts de sortida, un per a cada condició o valor de probabilitat. En el cas de l'exemple (Figura 46):

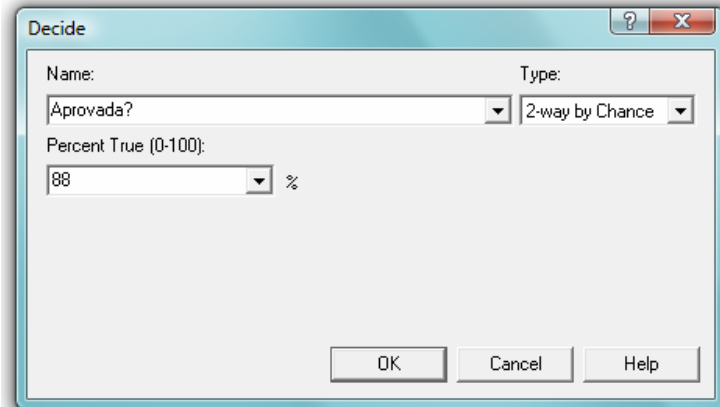


Figura 46

### 8.2.3. Addició de costos

Una nova variable a definir és el cost de la feina que fa l'executiu. En aquest cas l'executiu val, per hora treballada, 12€. Aquest cost s'ha de definir anant al mòdul de dades de recursos (*Resource*), i a l'apartat de *Busy/Hour* i *Idle/Hour* posar el valor de 12, entenent que l'executiu costa igual tant si treballa com si està desocupat (Figura 47).

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	executiu	Fixed Capacity	1	12	12	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 47

### 8.2.4. Animació i condicions de simulació

S'incorporarà ara animació per al recurs "Executiu" i gràfics per a les variables "Sortida de sol·licituds", "Entrada de sol·licituds", "Sol·licituds en procés", "Sol·licituds a la cua". Es donen diferents formats als gràfics de les variables (Figura 48).

Quan es vagin a definir els paràmetres de simulació (títol, nom de l'analista, descripció del projecte i recull de dades) a la pestanya de *Project Parameters* de *Run Setup*, s'ha d'activar la opció *Costing* a l'apartat d'estadístiques, a més dels tipus d'estadístiques que ja es mostren

marcades per defecte. A la pestanya de *Replication Paràmetres*, posar com a llargada de la simulació 20 dies.

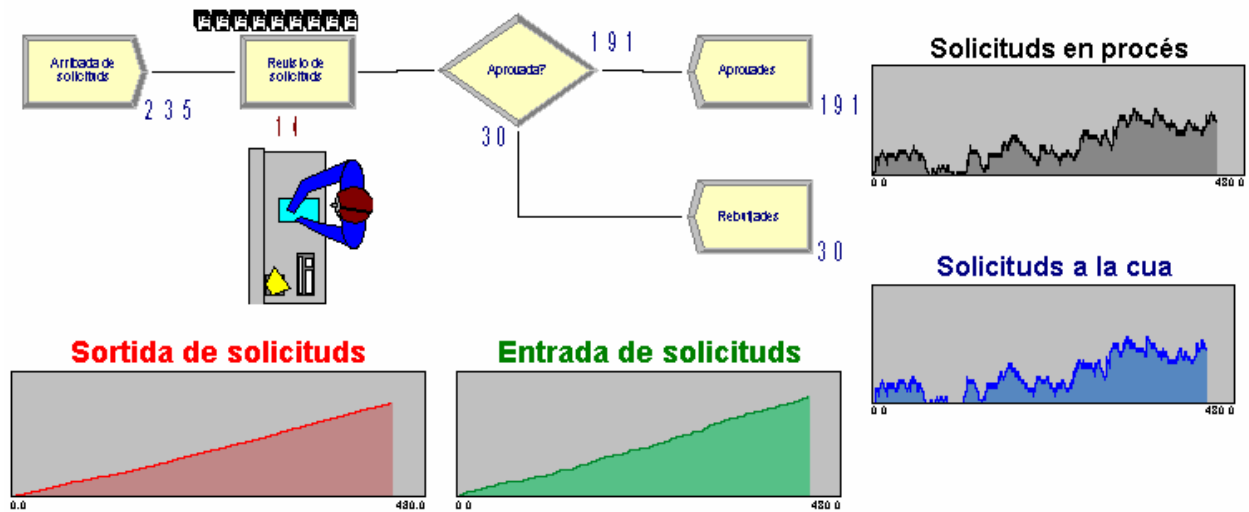


Figura 48

### 8.2.5. Simulació i informes

Una vegada feta la simulació s'observen els informes (Figura 49):

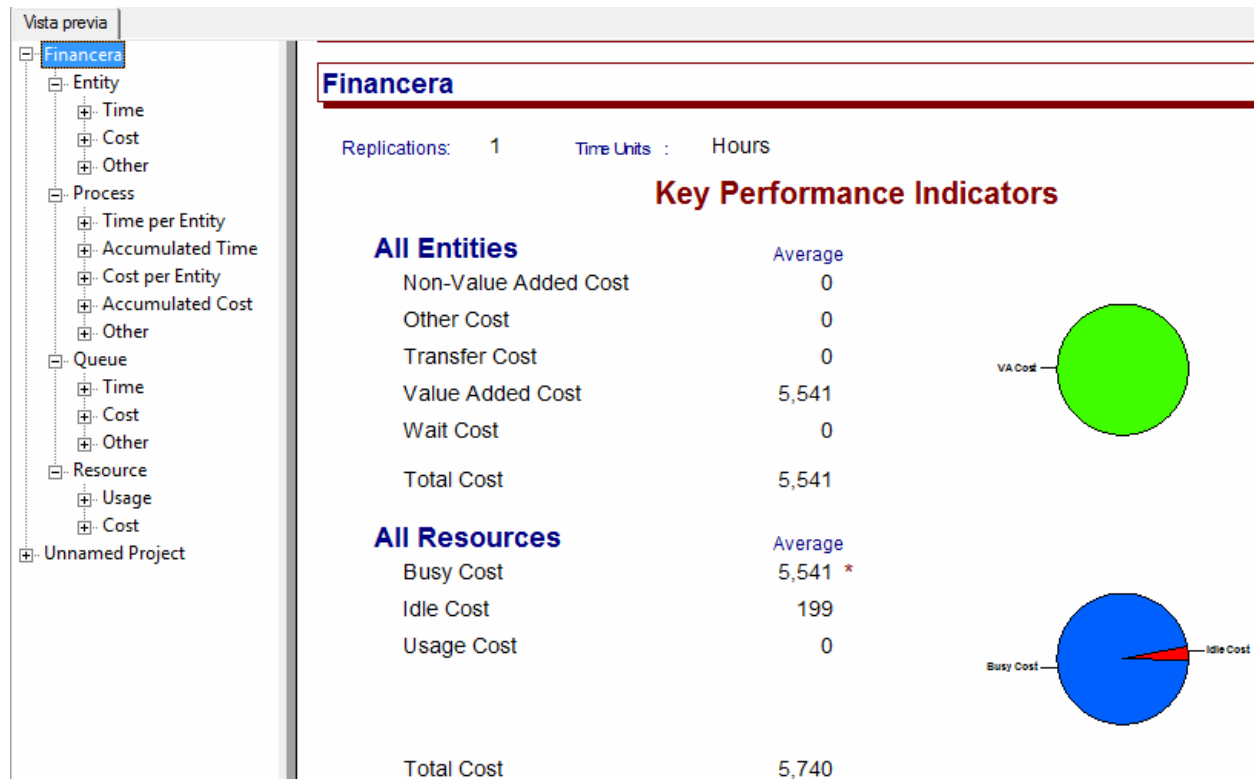


Figura 49

Amb els informes es poden respondre possibles preguntes a plantejar en un sistema com aquest (Taula 2):

Pregunta	Secció de l'informe	Resposta
De mitjana, una sol·licitud quant temps està dins el procés? (cua + processat)	<i>Total time (Entity)</i> , columna <i>Average</i>	16,51 hores (1,916H + 14,5984H)
Quin ha estat el cost mitjà del recurs en la revisió de sol·licituds?	<i>Total Cost (Entity)</i> , columna <i>Average</i>	22,99 € (1,916 H x 12€)
Quin a estat el número total de sol·licituds revisades?	<i>Number Out (Entity)</i>	241 sol·licituds
Quin ha estat el cost del recurs mentre ha estat processant?	<i>Busy Cost (Resource)</i>	5541,14€ (22,99€ x 241 sol·licituds)
Quin ha estat el temps més llarg en que una sol·licitud s'ha estat revisant?	<i>VA Time Per Entity (Process)</i> , columna <i>Maximum</i>	2,87 hores
Quin ha estat el màxim nombre de sol·licituds esperant-se per a ser revisades?	<i>Number Waiting (Queue)</i> , columna <i>Maximum</i>	21 sol·licituds
Quin ha estat el temps total en que el recurs ha estat ocupat?	<i>Accum VA Time (Process)</i>	461,76 hores (241 sol·licituds x 1,916H)
Quina proporció de temps l'executiu ha estat ocupat?	<i>Instantaneous Utilization (Resource)</i> , columna <i>Average</i>	96 % (461.76H / 480H totals)

**Taula 2**

### 8.2.6. Conclusions

En aquest exemple s'ha pogut introduir el nou mòdul de decisió o bifurcació *Decide*. A més, s'ha mostrat la manera d'addicionar costos als recursos, fet el qual és important a tenir en compte en la presa de decisions.

D'altra banda s'ha fet un anàlisi detallat de certs resultats obtinguts en els informes, intentant relacionar els conceptes i valors entre si per a una major comprensió de l'exercici.

### **8.3. Estudi d'un procés de revisió de sol·licituds en sèrie i en paral·lel**

Una de les qüestions bàsiques en el disseny i/o optimització de processos és la distribució d'aquests. La simulació és una gran eina per a ajudar a prendre aquestes decisions.

Es considera l'exemple d'una oficina de sol·licituds de préstecs.

El procés de cada sol·licitud requereix 4 passos:

- 1r: Revisió de crèdits
- 2n: Preparació del conveni del préstec
- 3r: Valoració del préstec
- 4rt: desembors de diners.

Per a dur a terme aquests quatre processos en aquest ordre s'utilitzen quatre treballadors els quals seran anomenats: treballador 1, treballador 2, treballador 3 i treballador 4.

Les dades a tenir en compte són les següents:

- Temps d'arribada de sol·licituds: Exponencial amb una mitjana de 1,25 hores.
- Temps de processat de cadascun dels passos: Exponencial amb una mitjana de 1 hora.
- Tipus de cues: FIFO.
- Temps de simulació: 160 hores (el treball d'un mes treballant 8 hores al dia).

#### **8.3.1. Exemple 4: Procés de revisió de sol·licituds en sèrie**

En el procés en sèrie el treballador 1 farà les revisions dels crèdits per a totes les sol·licituds, el treballador 2 prepararà tots els convenis, el 3 en farà la valoració, i finalment el 4 farà el desembors dels diners.

##### **8.3.1.1. Modelatge del procés**

El modelatge del procés és molt semblant als exemples vistos anteriorment (Figura 50).

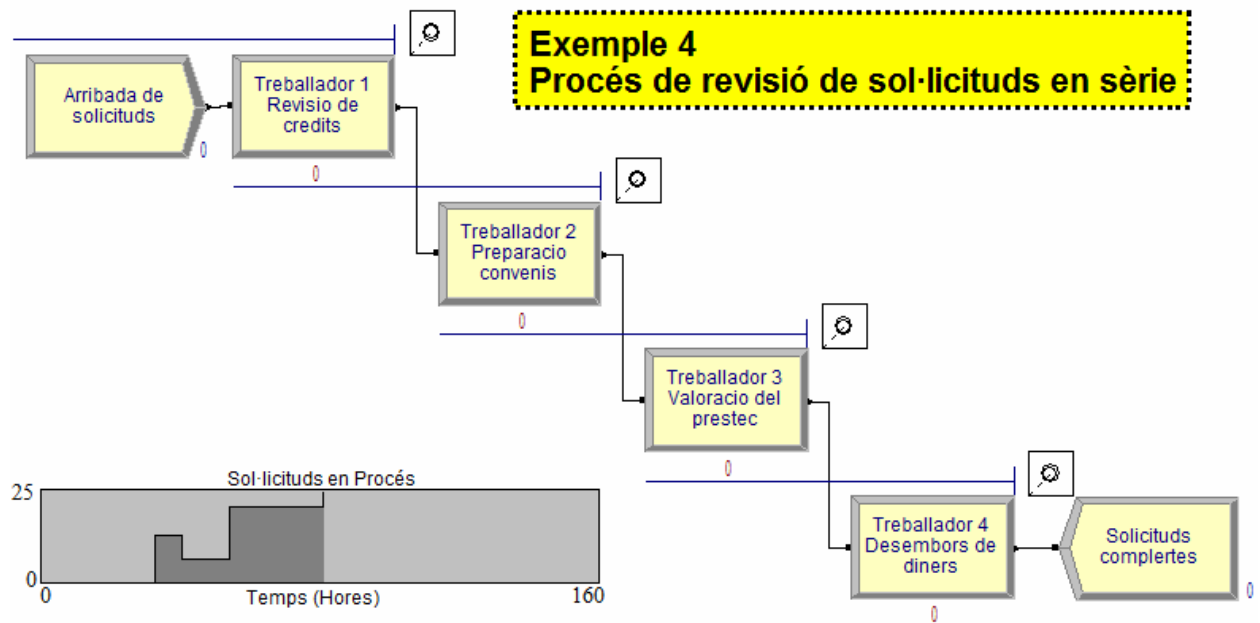


Figura 50

Els quatre mòduls de procés es modelen de la mateixa manera. A continuació es mostra l'exemple del modelatge del primer procés (Figura 51). Cal dir que la distribució EXPO(1) es troba a *Build Expression, Random Distributions*.

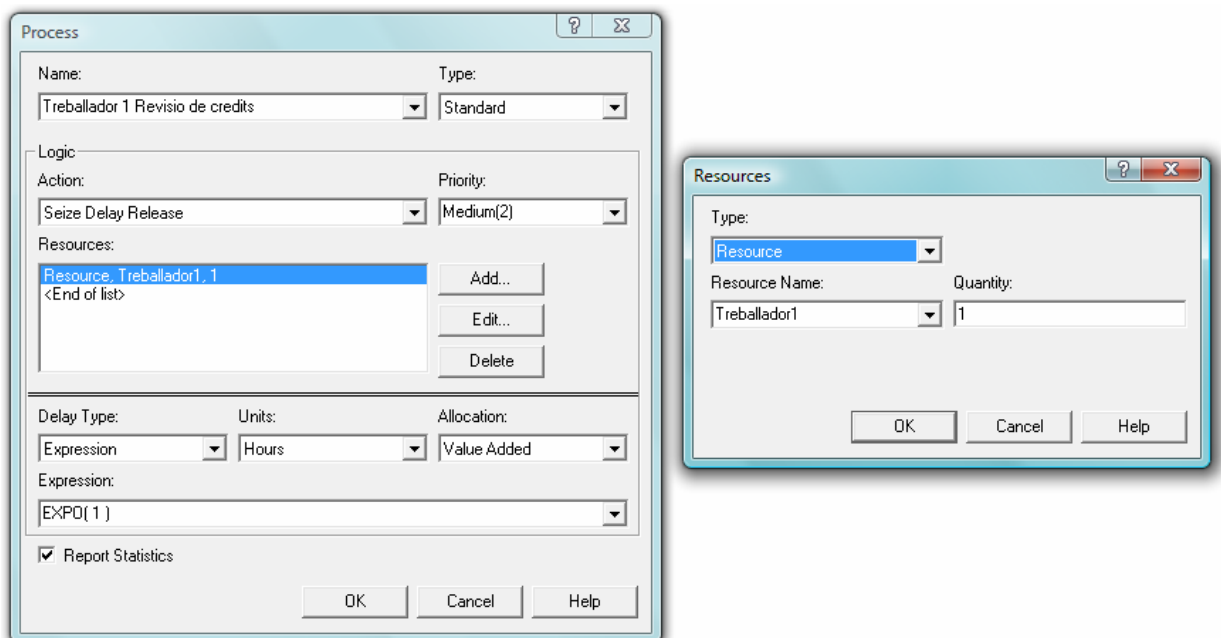


Figura 51

Com a animació dels recursos s'utilitzaran uns requadres de color blanc, els quals es poden escollir anant a *Resource* (barra d'eines d'animació). En aquest quadre de diàleg de creació de

l'animació dels recursos es marcarà la opció *Seize Area*, amb la qual cosa es mostraran uns cercles dins dels requadres. Això farà que les entitats es mostrin en el moment que s'estiguin processant, i en el lloc que es col·loquen els cercles (☐).

Es construeix també una gràfic per tal que es mostrin les sol·licituds que estan en procés en cada instant de temps, que correspon a l'expressió *EntitiesWIP(Sollicituds)* (WIP és un acrònim de *Work In Process*).

Tan sols resta entrar els paràmetres de simulació (títol, nom analista, descripció i llargada de la simulació = 160 hores) i ja es pot iniciar la simulació.

### 8.3.1.2. Simulació i informes

Una vegada feta la primera simulació s'haurà pogut observar que la llargada de les cues no ha estat suficient, ja que no es mostraven totes les entitats que hi havia a la cua. El que senzillament s'ha de fer en aquests casos és allargar les cues estirant amb el ratolí, per exemple, cap a l'esquerra.

El procés, una vegada feta la simulació, ofereix l'aspecte següent (Figura 52):

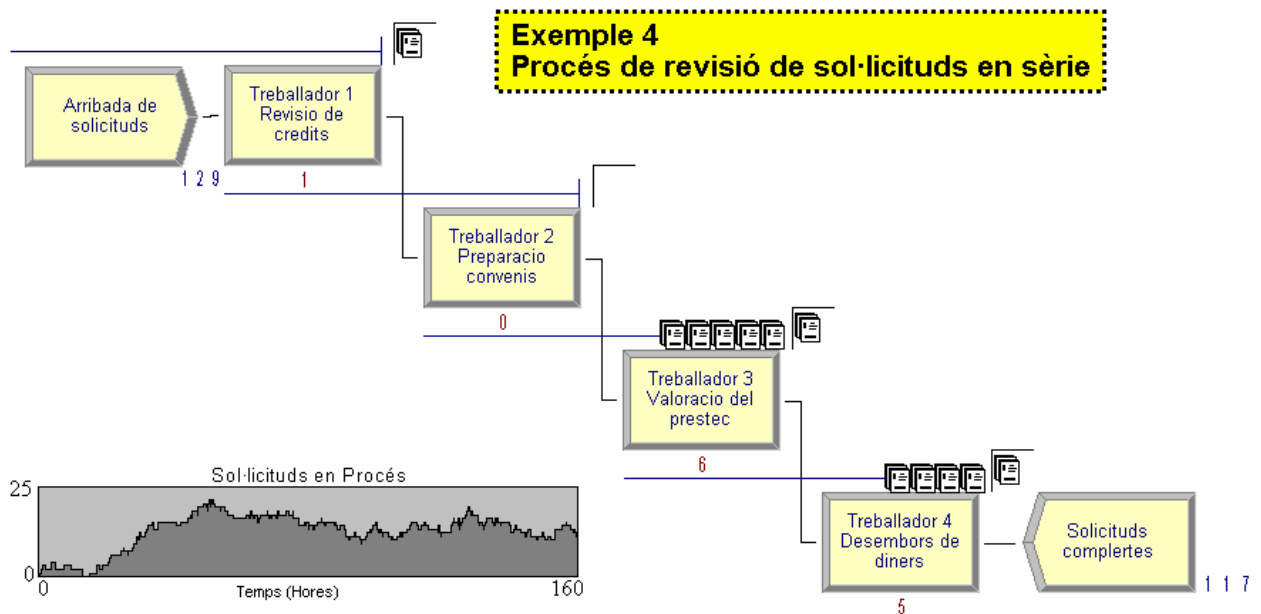


Figura 52

A continuació s'examinen els resultats que es mostren als informes; en concret a l'apartat de *Category Overview* . Alguns dels resultats són els següents (Taula 3):

Descripció	Secció de l'informe	Resultat
Mitjana i màxim nombre total d'informes dins al procés	<i>Entity &gt; Other &gt; WIP</i>	Mitjana: 12,39 informes Màxim: 21 informes
Mitjana i nombre màxim de temps que un informe ha estat en el sistema (només es tenen en comte els que al final de la simulació ha completat tot el procés)	<i>Entity &gt; Time &gt; Total Time</i>	Mitjana: 16,08 hores Màxim: 27,21 hores
Mitjana i màxim temps total en que els informes han estat fent cua (només te en compte els informes que han acabat els quatre processos)	<i>Entity &gt; Time &gt; Wait Time</i>	Mitjana: 11,98 hores Màxim: 22,27 hores
Mitjana de temps que les entitats han estat a cada tipus de cua (en els 4 processos)	<i>Queue &gt; Time &gt; Wait Time</i>	Procés 1: 2,37 hores Procés 2: 1,26 hores Procés 3: 3,11 hores Procés 4: 5,17 hores
Durant les 160 hores, els informes que han completat tots els processos (és una mesura de productivitat)	<i>Entity &gt; Other &gt; Number Out</i>	117 informes
Percentatge d'ocupació dels recursos	<i>Resource &gt; Usage &gt; Number busy</i>	Treballador1: 82,33% Treballador2: 70,34% Treballador3: 80,44% Treballador4: 80,80%
Nombre d'informes revisats per a cada recurs	<i>Process &gt; Other &gt; Number Out</i>	Treballador1: 128 inf. Treballador2: 128 inf. Treballador3: 122 inf. Treballador4: 117 inf.

**Taula 3**

A primer com d'ull, es pot veure que la principal ineficiència d'aquest sistema és el temps d'espera en les cues. En certs processos es generen cues amb moltes entitats, mentre que hi ha processos que estan desocupats. Això és un desaprofitament de recursos.



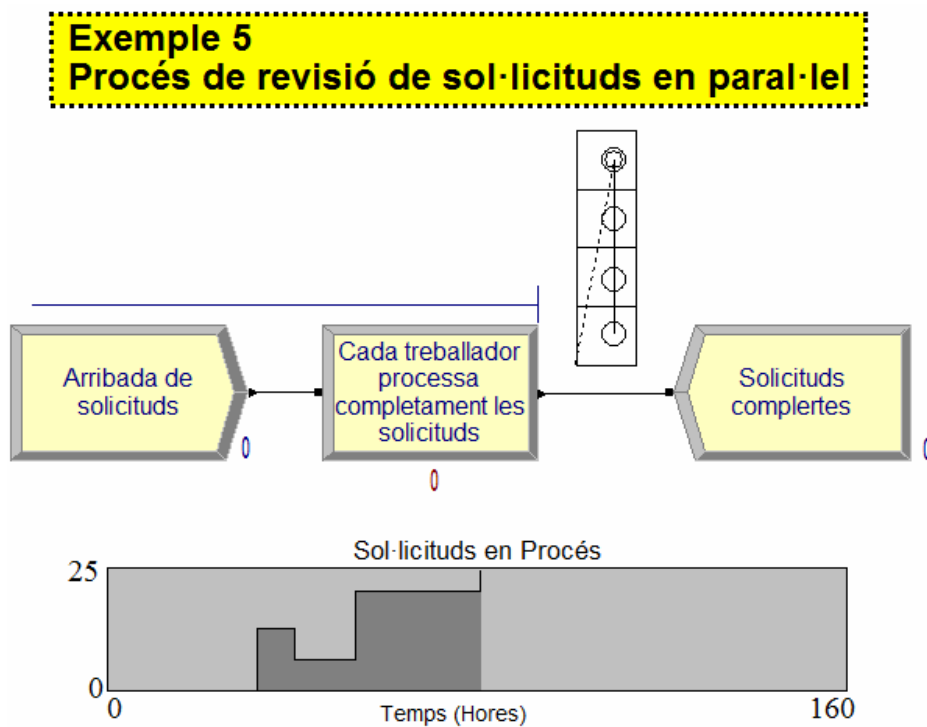
### 8.3.2. Exemple 5: Procés de revisió de sol·licituds en paral·lel

Veiem l'exemple analitzat anteriorment, amb el cas que els processos es dugessin a terme en paral·lel.

El processat en paral·lel és una altra manera de fer la feina, que en aquest cas consistirà en que cada treballador faci els quatre passos d'anàlisi de les sol·licituds per a concedir crèdits. Aquesta nova distribució de les tasques faria que tan sols hi hagués una sola cua, però que podria ser més llarga.

#### 8.3.2.1. Modelatge del procés

En el modelatge del sistema es modelarà amb un sol mòdul *Process* el procés de revisió de sol·licituds (Figura 53).

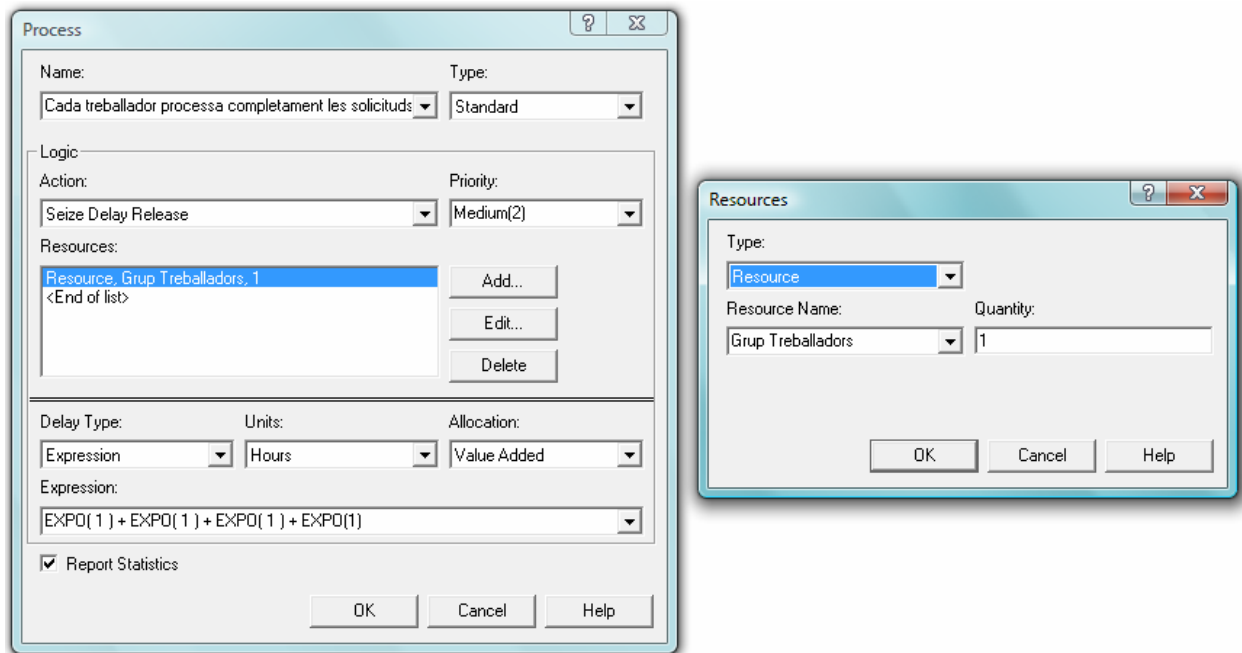


**Figura 53**

A la figura següent (Figura 54) es poden veure els paràmetres referents al mòdul de procés del model.

Es pot observar que com a recurs hi ha “Grup treballadors”, que representa el grup dels 4 treballadors. Veiem que apareix un 1 a quantitat, ja que es refereix al grup sencer. Per fer constar que s'utilitzen quatre treballadors s'ha d'anar al mòdul de dades de *Resource* i posar un 4 a la cel·la de *Capacity*.

D'altra banda, cada treballador requereix de EXP(1) hores per a completar cada procés. A l'apartat de *Expression* veiem que s'indica posant quatre vegades aquesta expressió en forma de suma.



**Figura 54**

Es pot observar que l'animació del recurs també ha canviat.

En aquest cas es tracta de quatre requadres en el que es mostraran la quantitat de sol·licituds que s'estan processant (fins a un total de quatre al mateix temps). Per canviar l'animació del recurs respecte a l'exemple anterior, s'ha d'anar a la icona *Resource* de la barra d'animació i seguir els passos següents:

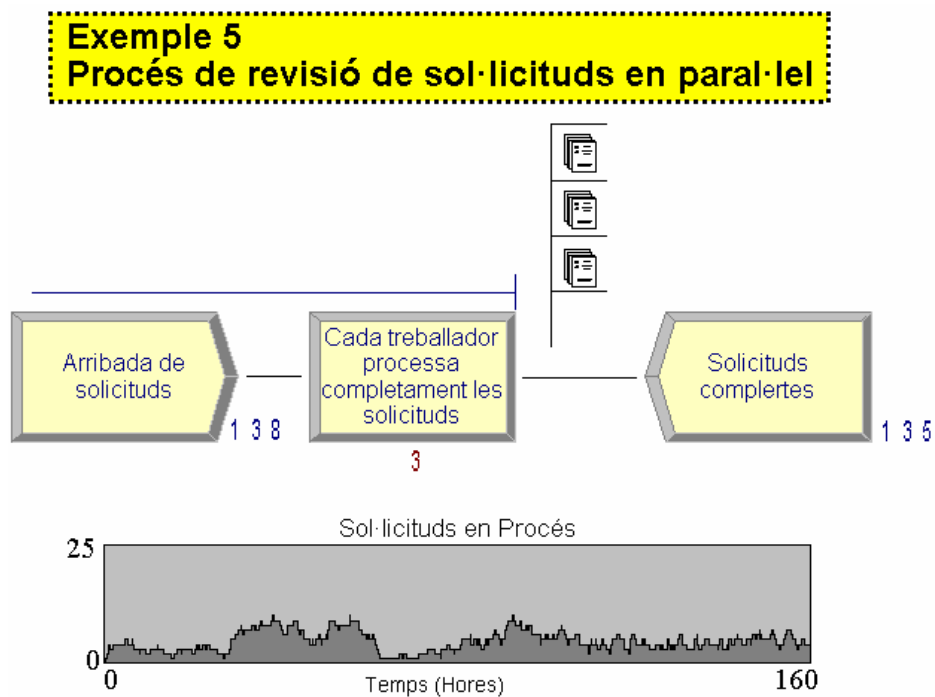
- Al dibuix *Idle* s'ha de fer un doble clic i s'obra un editor de dibuixos.
- S'ha de copiar el requadre tres vegades més tot col·locant-los verticalment.
- Copiar aquest dibuix a la llibreria
- Adjudicar aquest mateix dibuix a la imatge *Busy*.

Tornant a la finestra de modelar i seguint amb l'animació del recurs, manca afegir tres *Seize Area*. Per això s'ha de fer el següent:

- Clic dret al damunt dels cercles
- Doble clic en aquest mateix lloc
- S'obrirà un quadre de diàleg en el que s'ha d'anar a la opció *Points*.
- Dins d'aquesta opció s'ha de prémer *Add* tres vegades
- Al tornar al sistema, tan sols falta col·locar correctament aquestes tres noves àrees d'ubicació de les entitats; acció que es fa arrossegant-les amb el ratolí.

### 8.3.2.2. Simulació i informes

Una vegada feta la simulació d'aquest model en paral·lel, el sistema presenta l'aspecte següent (Figura 55):



**Figura 55**

Els resultats numèrics que s'obtenen al fer la simulació es mostren als informes.

A la taula següent (Taula 4) se'n destaquen alguns:

Descripció	Secció de l'informe	Resultat
Mitjana i màxim nombre total d'informes dins al procés	<i>Entity &gt; Other &gt; WIP</i>	Mitjana: 4,61 informes Màxim: 10 informes
Mitjana i nombre màxim de temps que un informe ha estat en el sistema (només es tenen en comte els que al final de la simulació ha completat tot el procés)	<i>Entity &gt; Time &gt; Total Time</i>	Mitjana: 5,38 hores Màxim: 13,72 hores
Mitjana i màxim temps total en que els informes han estat fent cua (només te en compte els informes que han acabat tot el procés)	<i>Entity &gt; Time &gt; Wait Time</i>	Mitjana: 1,33 hores Màxim: 6,82 hores
Durant les 160 hores, els informes que han completat tots els processos (és una mesura de productivitat)	<i>Entity &gt; Other &gt; Number Out</i>	135 informes
Percentatge d'ocupació dels recursos	<i>Resource &gt; Usage &gt; Number busy</i>	3,48 dividit per 4 treballadors = 87%

**Taula 4**

### 8.3.3. Conclusió de l'estudi

A continuació es presenta una taula comparativa entre alguns dels resultats obtinguts en el procés en sèrie i en el procés en paral·lel (Taula 5):

Descripció	Resultat model en Sèrie	Resultat model en Paral·lel
Mitjana i màxim nombre total d'informes dins al procés	Mitjana: 12,39 informes Màxim: 21 informes	Mitjana: 4,61 informes Màxim: 10 informes
Mitjana i nombre màxim de temps que un informe ha estat en el sistema (només es tenen en comte els que al final de la simulació ha completat tot el procés)	Mitjana: 16,08 hores Màxim: 27,21 hores	Mitjana: 5,38 hores Màxim: 13,72 hores
Mitjana i màxim temps total en que els informes han estat fent cua (només te en compte els informes que han acabat els quatre processos)	Mitjana: 11,98 hores Màxim: 22,27 hores	Mitjana: 1,33 hores Màxim: 6,82 hores
Durant les 160 hores, els informes que han completat tots els processos (és una mesura de productivitat)	117 informes	135 informes
Percentatge d'ocupació dels recursos	Treballador1: 82,33% Treballador2: 70,34% Treballador3: 80,44% Treballador4: 80,80%	3,48 dividit per 4 treballadors = 87%

**Taula 5**

Amb la comparativa de resultats es veu clarament que en aquest cas, amb el procés en paral·lel s'obtenen millors resultats que amb el procés en sèrie.

Observem que amb la col·locació dels recursos en paral·lel s'escurça molt el temps total del procés de revisió de sol·licituds, així com el temps que s'han d'esperar a la cua per a ser processades. Veiem que en paral·lel es poden revisar fins a 135 informes, enfront dels 117 del procés en sèrie. Finalment s'observa, també, com la utilització o percentatge d'ocupació dels recursos és major en el procés en paral·lel. Observem que en el procés en sèrie hi ha el treballador 2 que està poc aprofitat, ja que té un percentatge d'ocupació bastant més inferior que els altres treballadors.

Per tant, una vegada fet aquest anàlisis d'un mateix sistema enfocat de dues maneres diferents; comparant els resultats de les variables que s'han mostrat en els requadres anteriors, es pot concloure que la millor manera de dur a terme aquest sistema és distribuint els recursos (en aquest cas treballadors) en paral·lel.

## 9. MODELATGE INTERMEDI DE SISTEMES (I)

En aquest apartat s'analitzarà el desenvolupament d'un model de simulació per un sistema d'ensamblatge i prova de peces electròniques. L'exemple es presenta separat en quatre apartats, en els que progressivament s'aniran afegint conceptes nous de manera que es puguin anar assimilant cadascun d'ells.

### 9.1. Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques- PAS 1

En aquest primer Pas es farà la construcció bàsica de l'estructura del model a partir de la descripció d'aquest. Com a conceptes nous es veurà un nou mòdul d'assignació de variables i atributs a les entitats, com també un mòdul per enregistrar dades concretes que es desitgin obtenir del model.

#### 9.1.1. Descripció del sistema

El sistema en estudi representa les operacions finals de dues peces electròniques diferents (A i B). Aquestes peces arriben per separat al sistema. Separadament, també, són sotmeses a un procés de preparació i posteriorment processades per un procés de sellat. Aquest procés de sellat consta de l'ensamblatge d'uns components electrònics a les peces. Seguidament es fa una inspecció d'aquest sellat. Les peces mal sellades van a un procés de recuperació el qual aconseguirà recuperar part de les peces. La resta de les peces surten del sistema com a peces rebutjades.

A continuació s'observa l'esquema del sistema amb les dades de les estadístiques de l'arribada de les peces i del temps de processat de cada procés, com també els percentatges de peces que segueixen els diferents camins (Figura 56).

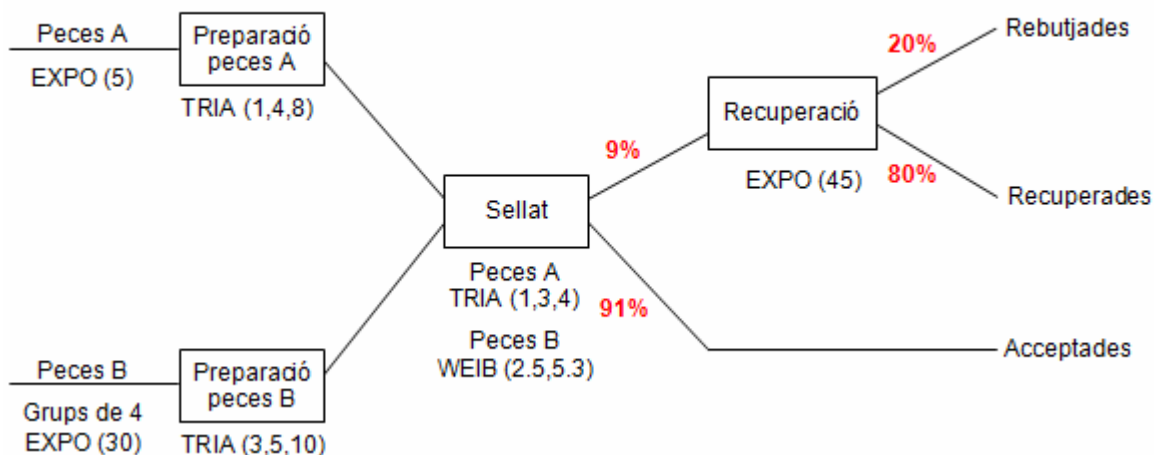


Figura 56

Es simularà el desenvolupament de 4 tornos de treball consecutius de 8 hores cadascun (32 hores = 1920 minuts).

El que es buscarà serà recollir estadístics associats a cada procés en termes d'utilització de recursos, número de peces a la cua, temps a la cua, etc., com també temps total en el sistema per les peces acceptades, per les recuperades i per les rebutjades.

A continuació s'expliquen els detalls de les quatre parts que es poden diferenciar del model:

#### 9.1.1.1. Arribada de peces

Les peces (A i B) que arriben al sistema són caixes de fundició metàl·liques.

Les peces anomenades del tipus A són produïdes en un departament adjacent al sistema. El temps entre arribades d'aquestes peces tipus A està distribuït exponencialment amb una mitjana de 5 minuts.

Per la seva part, les peces tipus B arriben al sistema en lots de 4. El temps d'arribada entre un lot i el següent respon a una distribució exponencial amb mitjana de 30 minuts.

#### 9.1.1.2. Àrees de preparació

Una vegada han arribat les peces A, instantàniament són sotmeses a un procés de preparació dut a terme a l'àrea de preparació de peces A, el temps de durada de la qual, en minuts, respon a una distribució  $TRIA\sim(1, 4, 8)$ . En la preparació de les peces tipus A es fa un mecanitzat, desbarbat i neteja de les parts de la peça en les quals es realitzarà el sellat. Una vegada finalitzada la preparació les peces són enviades, també instantàniament, al procés de sellat.

Pel que fa a les B, al entrar al procés de preparació, el lot de quatre peces es separa, essent processades cada peça individualment per l'àrea de preparació de peces B, d'acord a un temps, en minuts, triangular(3, 5, 10). Una vegada preparada cada peça és enviada al procés de sellat (la preparació de les peces B és la mateixa que la de les peces A).

#### 9.1.1.3. Sellat i inspecció

El procés de sellat, que es dur a terme a la màquina de sellat, consta de la introducció d'uns components electrònics a cada caixa, d'un posterior sellat d'aquests elements i d'una inspecció. Els temps de servei difereix segons el tipus de peça que es processa:

- Temps de sellat per les peces A: Triangular amb paràmetres (1, 3, 4).
- Temps de sellat per les peces B: Weibull (2.5, 5.3) (2,5 és l'escala del paràmetre  $\beta$  i 5,3 és la forma del paràmetre  $\alpha$ ).

#### 9.1.1.4. Expedició i recuperació

Una vegada sellades, el 91% de les peces passen les inspeccions satisfactòriament i són enviades directament al departament d'expedició com a peces acceptades. El 9% restant passa a un procés de recuperació (desensamblatge, reparació, neteja, sellat i inspecció) del qual són reparades exitosament el 80% de les peces entrants i són enviades instantàniament al departament d'expedició com a peces recuperades. Per la seva part, les peces que no són recuperades són rebutjades.

Aquest procés de recuperació demora, en processar una peça, un temps exponencialment distribuït amb una mitjana de 45 minuts.

### 9.1.2. Plantejament del model

Per a la construcció del model que representarà el sistema plantejat, considerarem que les entitats que flueixen per aquest seran les peces (ja sigui del tipus A o del tipus B), les quals seran creades separatament a través de dos mòduls *CREATE*.

En el procés de sellat hi ha diferents temps de processat segons el tipus de peça. És per això que es necessiten dos mòduls *ASSIGN* en els quals s'hi definirà un atribut anomenat temps de sellat per cada tipus de peça.

Els processos de preparació, sellat i recuperació seran representats a través de mòduls *PROCESS*.

Les decisions en les inspeccions (bona o dolenta), i conseqüentment els camins a seguir per les entitats seran modelats a través de mòduls *DECIDE*.

La sortida de les entitats serà representada a través de mòduls *DISPOSE*, cadascun d'acord a les diferents categories de les peces que surten (acceptades, recuperades i rebutjades).



### 9.1.3. Estructura del model

Per a la construcció del model són necessaris els mòduls següents (Taula 6):

MÒDUL	UNITATS
Mòdul <i>Create</i>	2
Mòdul <i>Assign</i>	2
Mòdul <i>Process</i>	4
Mòdul <i>Decide</i>	2
Mòdul <i>Record</i>	3
Mòdul <i>Dispose</i>	3

Taula 6

Tots aquests mòduls s'han de col·locar a la finestra de modelar, per exemple com es mostra a la figura següent (Figura 57). En aquesta figura en marquen les parts corresponents a les àrees que s'han descrit anteriorment.

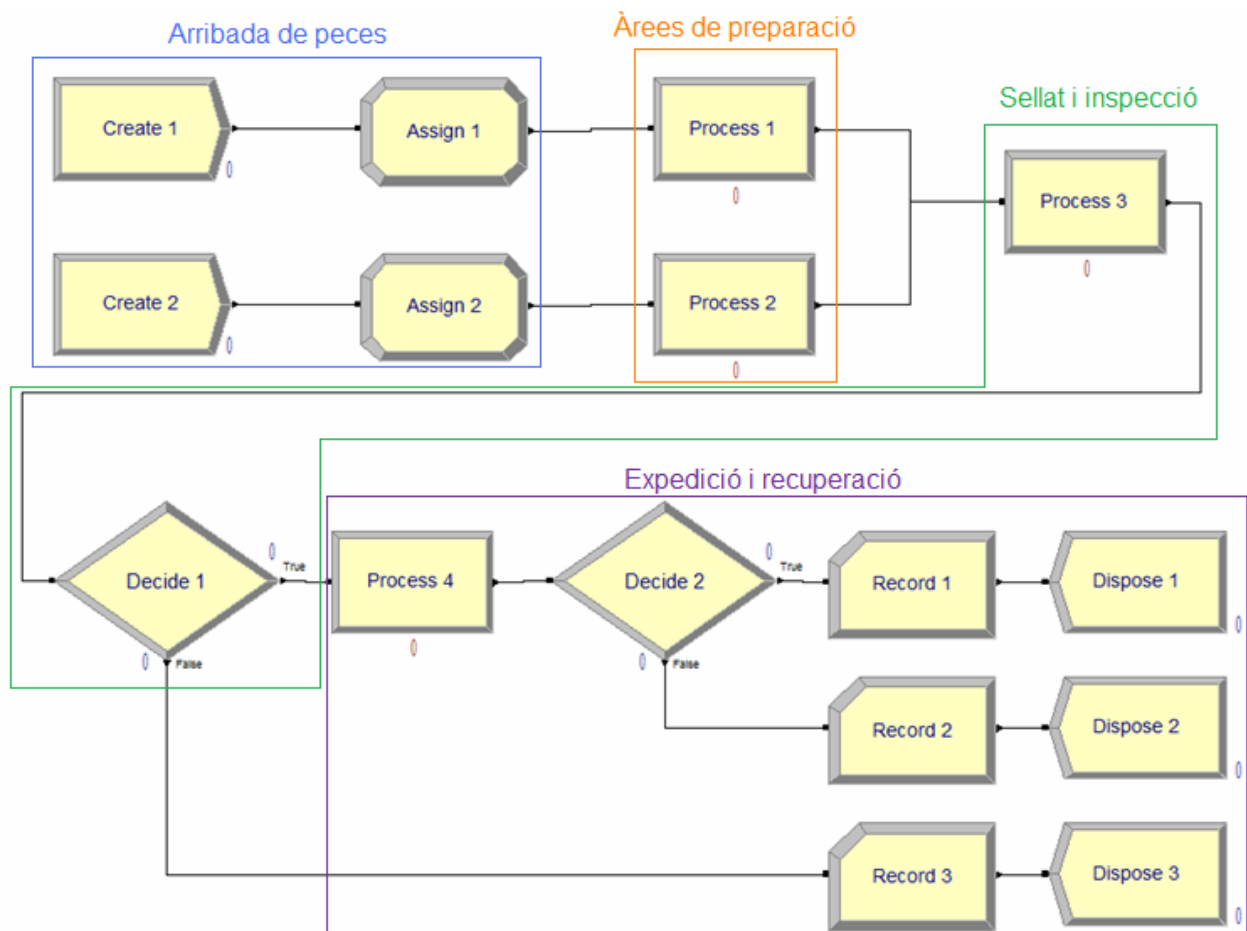


Figura 57

### 9.1.4. Modelatge dels mòduls

A continuació s'ha d'introduir la informació requerida a cada mòdul per a completar el model.

#### 9.1.4.1. Arribada de peces

Es comença per l'arribada de les peces separades segons el seu tipus (Figura 58).



Figura 58

#### 9.1.4.2. Mòdul d'assignació o *Assign*

Seguidament, podem observar a l'esquema de la Figura 57 que es mostren dos mòduls anomenats *Assign*. Aquests mòduls són utilitzats per assignar nous valors a variables, atributs d'entitats, tipus d'entitats, imatges d'entitats, o altres variables del sistema. Amb un sol mòdul *Assign* es poden fer varies assignacions.

En el cas de l'exemple, s'utilitzarà aquest tipus de mòdul per assignar dos atributs a les entitats:

- Temps de sellat: El primer atribut que s'assignarà serà el temps de processat de cada tipus d'entitat (peces A i B) en el procés de sellat. Un procés no diferencia si un peça és diferent a una altra, i per tant, no pot aplicar diferent temps de procés segons la peça. El que es farà serà crear un nou atribut anomenat "temps de sellat", el qual serà diferent segons el tipus de peça. El temps de sellat serà assignat a una peça en el moment que passi pel mòdul *Assign*, de manera que al arribar al procés de sellat, aquest procés treballi utilitzant el temps de sellat que durà assignat cada peça. Així, cada nova peça tipus A creada li serà assignada un temps de sellat

seguint una distribució TRIA  $\sim(1, 3, 4)$  i cada peça tipus B amb una distribució WEIB $\sim(2.5, 5.3)$ .

- Temps d'arribada: En aquest mateix mòdul també es definirà l'atribut "temps d'arribada", el qual servirà per enregistrar els temps d'arribada de cada tipus d'entitat. La variable de l'ARENA *TNOW* proporciona el temps de simulació actual, i en aquest cas serà el temps d'arribada o de creació de les entitats.

El quadre de diàleg referent a aquest tipus de mòdul conté els paràmetres següents:

- *Name*: Nom del mòdul
- *Assignments*: on s'especifica una o més assignacions que li seran assignades a una entitat quan executi el mòdul.
- *Type*: Tipus d'assignació a construir.
- *Variable Name, Attribute Name, Entity Type, Entity Picture or Other*: Segons el tipus assignat, a la part dreta apareix un d'aquests noms, en els que definir la variable.
- *New value*: apareix en el cas d'escollir *Attribute, Variable* o *Other*.

En el cas de l'exemple, per a la definició i mecanisme d'assignació dels atributs a través del mòdul *Assign*, s'han de seguir els passos següents:

- Per l'atribut "temps de sellat" (Figura 59):

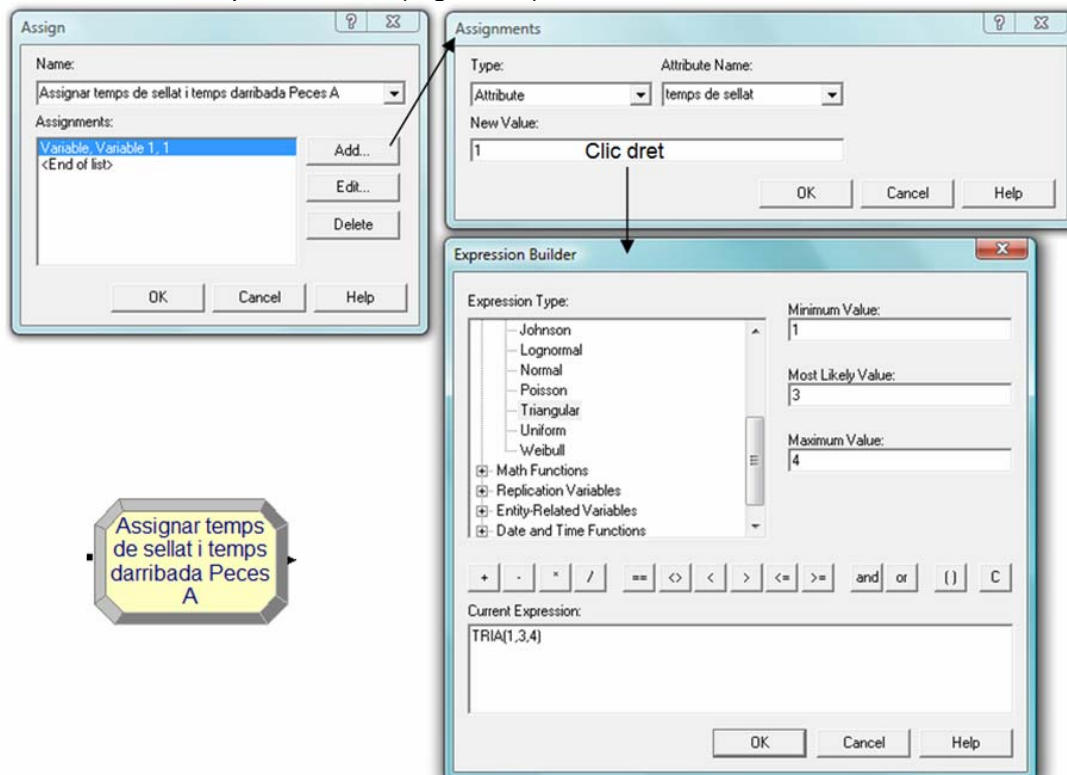


Figura 59

- Per l'atribut "temps d'arribada" (es posa "temps darribada" sense apòstrof ja que ARENA no accepta certs símbols en els noms que s'introdueixen) (Figura 60):

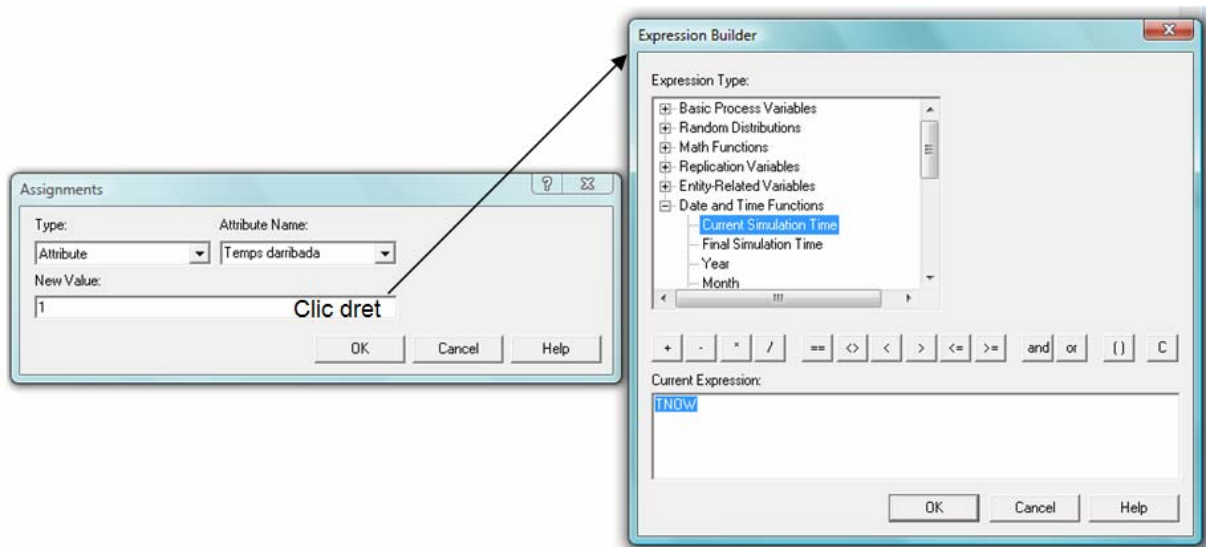


Figura 60

Per tant el quadre de diàleg del mòdul *Assign* per les peces A quedaria de la manera següent (Figura 61):

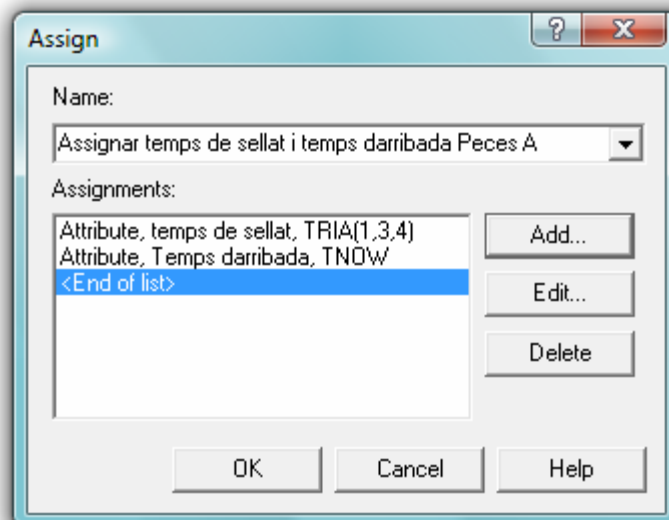


Figura 61

Pel que fa a l'assignació d'atributs de les peces B es segueix la mateixa metodologia i el quadre de diàleg queda de la manera següent (Figura 62):

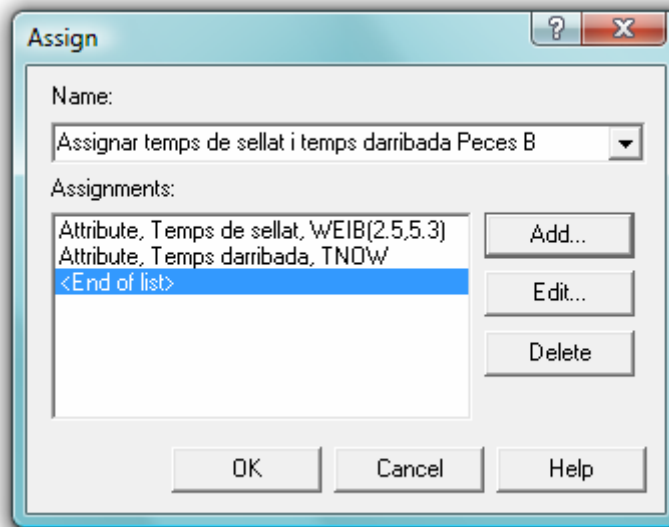


Figura 62

#### 9.1.4.3. Àrees de preparació

Feta l'assignació d'atributs per a les entitats, s'han de modelar els dos mòduls de preparació de les peces, que corresponen a dos mòduls *Process* (Figura 63).

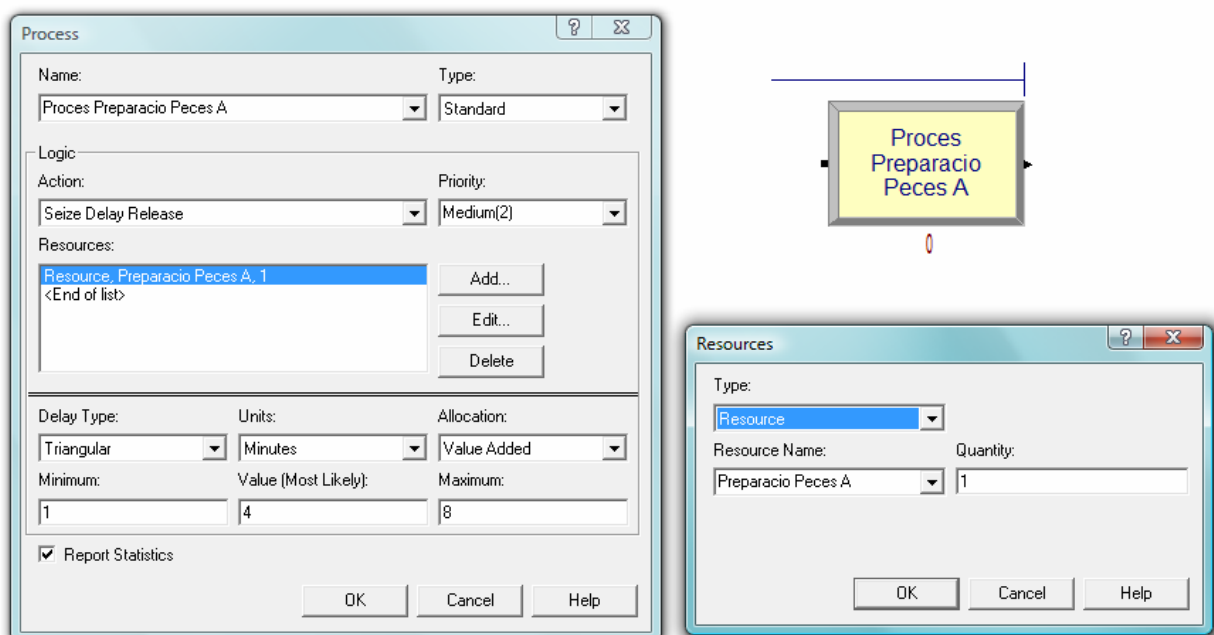
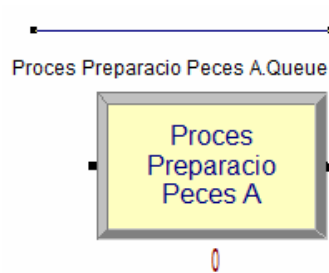


Figura 63

Es pot observar que, automàticament, es crea una animació de la cua a la part superior del mòdul (Figura 64). Si es prem al damunt d'aquesta es visualitza el nom que es genera per defecte:

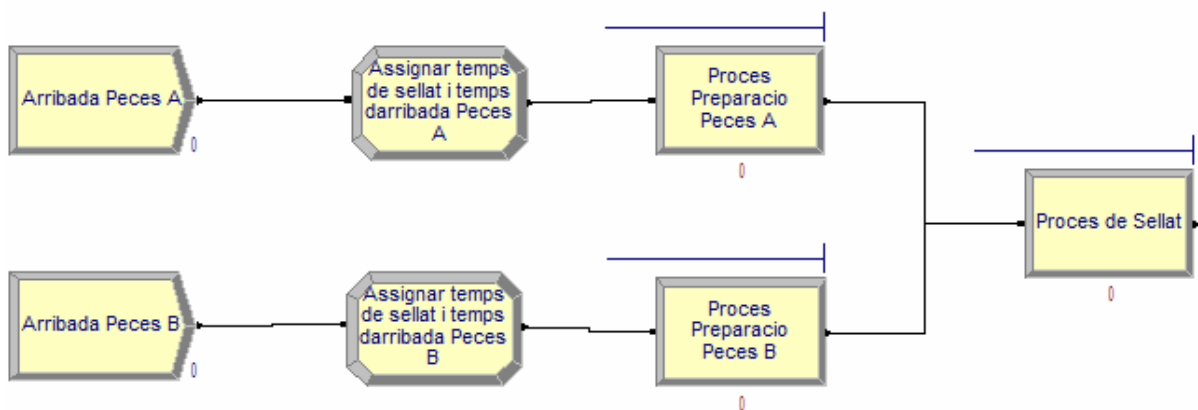


**Figura 64**

El procés de preparació de les peces del tipus B es fa de la mateixa manera que el de les peces tipus A introduint els seus paràmetres específics.

#### 9.1.4.4. Sellat i inspecció

El proper pas és entrar les dades per el mòdul de procés de sellat, que és el següent mòdul una vegada les peces han abandonat els processos de preparació (Figura 65).



**Figura 65**

Observant la Figura 66, podem veure que a l'apartat de *Delay Type*, és a dir, temps de processat, s'escull *Expression*; i a l'apartat d'escollir l'expressió (que s'executa novament fent un clic dret) es va a *User Defined Attribute Value*. Si s'obre el desplegable de la part superior dreta, es pot observar que s'hi mostren els dos atributs que anteriorment s'havien definit i assignat a cadascuna de les peces. S'escull, doncs, l'atribut temps de sellat, de tal manera que

el temps de procés del sellat seguirà les expressions assignades anteriorment en els mòduls *Assign* segons el tipus de peça.

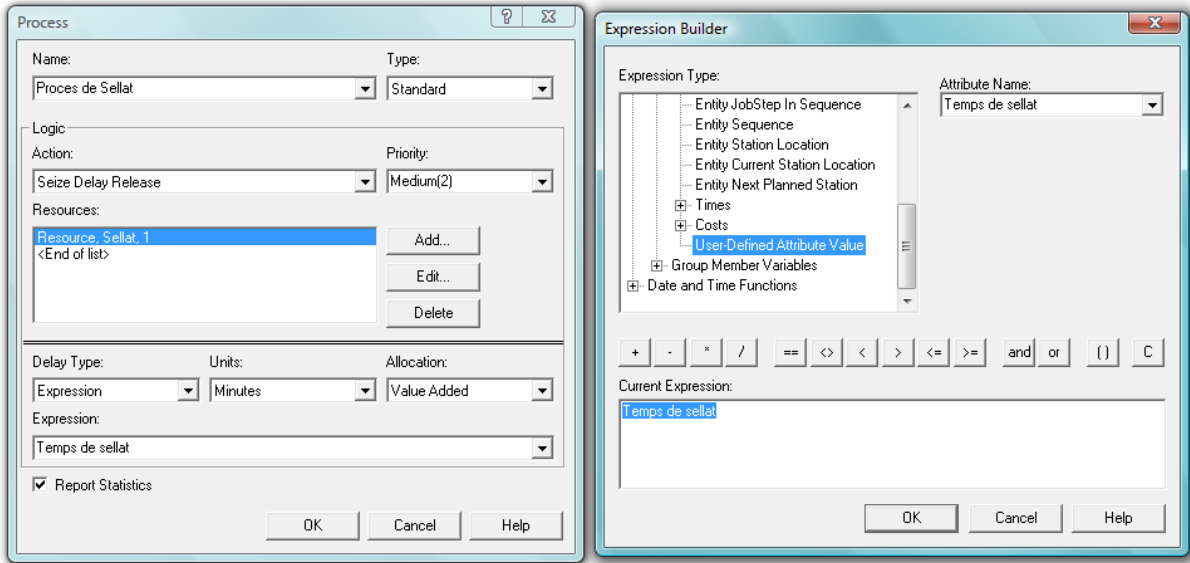


Figura 66

Posteriorment, les peces són sotmeses a un procés d'inspecció el qual és modelat utilitzant un mòdul *Decide*. Es deixarà el tipus (*Type*) que apareix per defecte, *2-way by Chance* (dos camins possibles), ja que es necessiten efectivament dos camins: un per les peces en que el sellat és defectuós (*True*) i l'altre per les peces en que el sellat s'ha realitzat correctament (*False*).

El quadre de diàleg (Figura 67) requereix que s'hi entri un percentatge de resultat vertader, que en el cas de l'exemple és d'un 9% de peces que prendrien el camí amb resultat vertader, és a dir, que en fer la inspecció sí que el sellat resultaria defectuós.

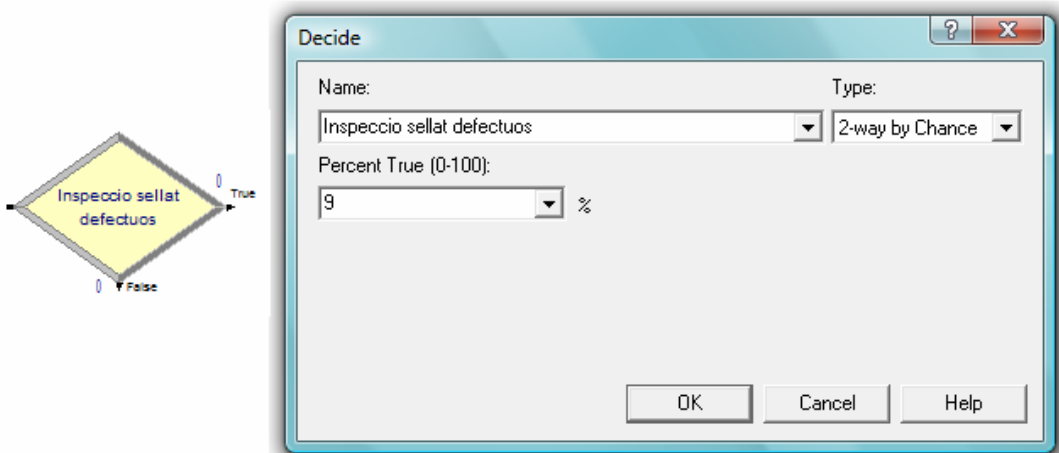
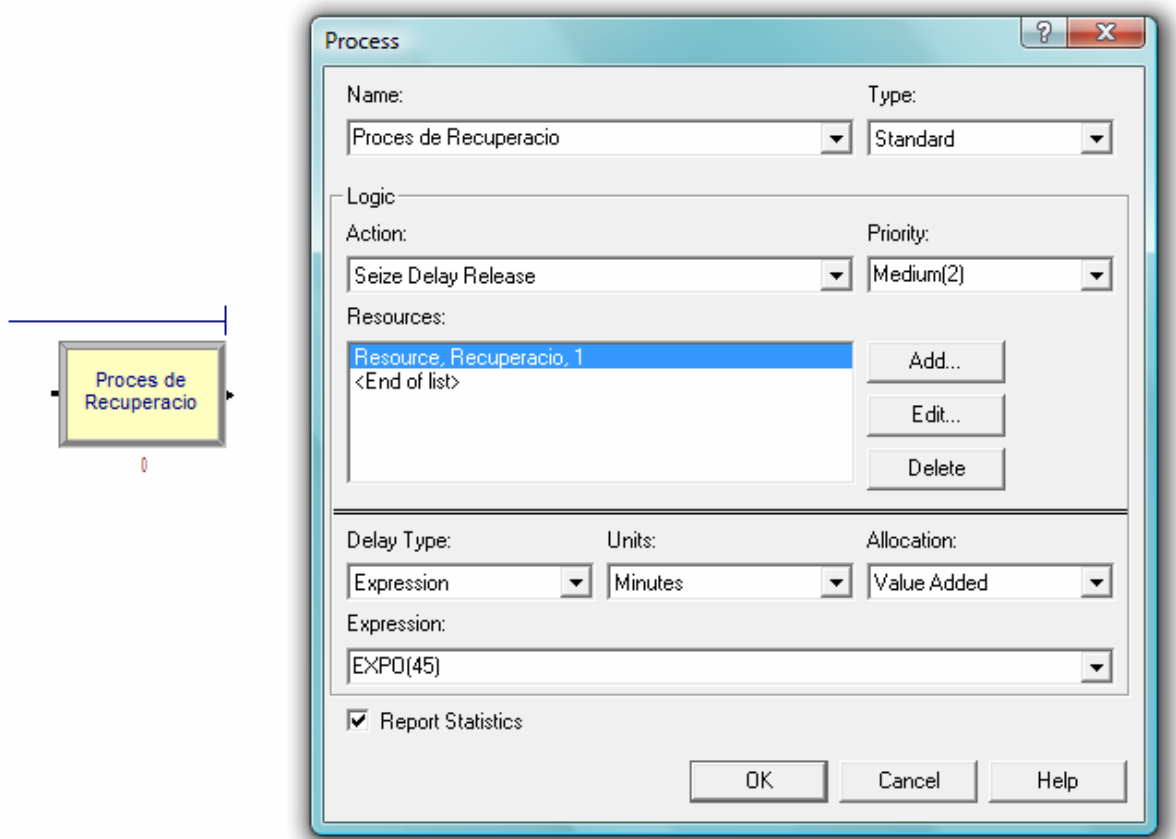


Figura 67

Les peces que resulten defectuoses van al procés de recuperació, i en cas contrari es dirigeixen a expedicions com a peces acceptades.

#### 9.1.4.5. Expedició i recuperació

Les peces amb el sellat defectuós se'ls ha d'aplicar un procés de recuperació, pel qual s'utilitza un mòdul *Process* en que s'hi introdueixen les dades corresponents (Figura 68).



**Figura 68**

Una vegada les peces han passat pel procés de recuperació seran classificades com a “recuperades” o “rebutjades” mitjançant un segon mòdul *Decide*.(s'introdueixen les dades de la mateixa manera que l'altre mòdul *Decide* utilitzat).

Definides, ja, totes les operacions tan sols resta completar els mòduls *Record* i *Dispose*. El mòdul *Record* es tractarà separatament a l'apartat 9.1.4.6.

Pel que fa als mòduls *Dispose*, cal completar-los posant el nom a cadascun. Cal dir que es podria haver posat tan sols un mòdul *Dispose* i el funcionament hagués estat també correcte. El motiu pel qual es posen tres mòduls *Dispose* és per aprofitar la informació que ofereixen durant la simulació, ja que es mostra el valor de les entitats que van sortint a través d'aquests mòduls.

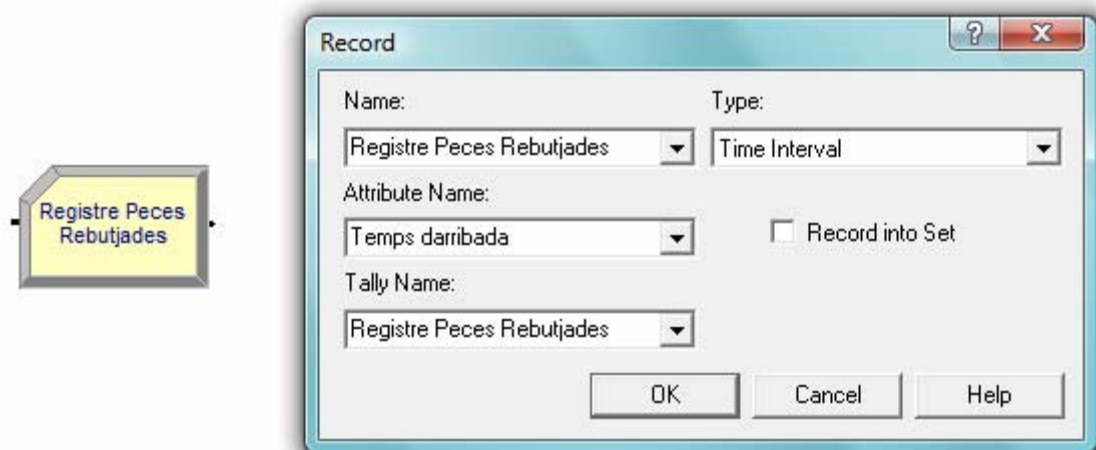


#### 9.1.4.6. Mòdul d'enregistrament o *Record*

Els mòduls *Record* serveixen per enregistrar estadístics en el model simulat, com per exemple enregistrar els temps de cycle segons particularitats de les entitats. En concret permeten recol·lectar tres tipus d'estadístics:

- Estadístiques de temps discrets o *Tally statistics*: basades únicament en la observació d'algun atribut de les entitats (temps de permanència mitjà d'una entitat).
- Estadístiques de temps continu o *Time-persistent statistics*: estadístics en que el seu valor depèn del temps (número mitjà de clients en el sistema).
- Comptadors.

Es mostra a continuació el quadre de diàleg del mòdul *Record* per a les peces rebutjades (Figura 69):



**Figura 69**

Els elements que es defineixen en el quadre de diàleg del mòdul *Record* són els següents:


- *Name*: nom del mòdul.
- *Type*: tipus d'estadístic que es generarà.
  - *Count*: incrementa o disminueix el valor d'un estadístic en una certa quantitat especificada.
  - *Entity statistics*: Genera estadístiques generals de les entitats.

- *Time interval*: Calcula i emmagatzema la diferència entre el temps actual de simulació i el valor emmagatzemat en algun atribut. En el cas de l'exemple l'atribut serà el "Temps d'arribada". S'obtindrà, doncs, el temps de permanència de les peces al sistema (temps de sortida menys temps d'arribada) per a cada tipus de peça (acceptada, recuperada i rebutjada).
- *Time between*: Emmagatzema els temps entre entrades d'entitats en el mòdul.
- *Expression*: Emmagatzema un valor en funció d'una expressió específica.
- *Attribute Name*: Nom de l'atribut, el valor del qual serà utilitzat per calcular l'estadístic de l'interval. (només amb *Time interval*).
- *Tally/Counter name*: Aquest camp, en que el nom apareix per defecte, defineix el nom de la variable en la qual s'emmagatzema l'estadístic (només amb *Time interval*, *Time between* o *Expression*).

#### 9.1.5. Animació de les entitats

Abans d'iniciar la simulació seria convenient distingir les peces tipus A respecte de les peces de tipus B en l'animació. Per això, s'han de canviar els dibuixos associats a cada entitat en el mòdul Entity.

En aquest mòdul de dades (Figura 70) es pot observar que ambdues entitats estan representades per el mateix dibuix. Per diferenciar-les es designarà a les peces tipus A una bola blava, i a les tipus B una bola vermella.



Entity - Basic Process		
	Entity Type	Initial Picture
1	Peces A	Picture.Report
2	Peces B	Picture.Report

Double-click here to add a new row.

Entity - Basic Process		
	Entity Type	Initial Picture
1	Peces A	Picture.Blue Ball
2	Peces B	Picture.Red Ball

Double-click here to add a new row.

**Figura 70**

### 9.1.6. Ajust de les condicions de simulació

Arribats a aquest punt el model ha de tenir un aspecte semblant al següent (Figura 71):

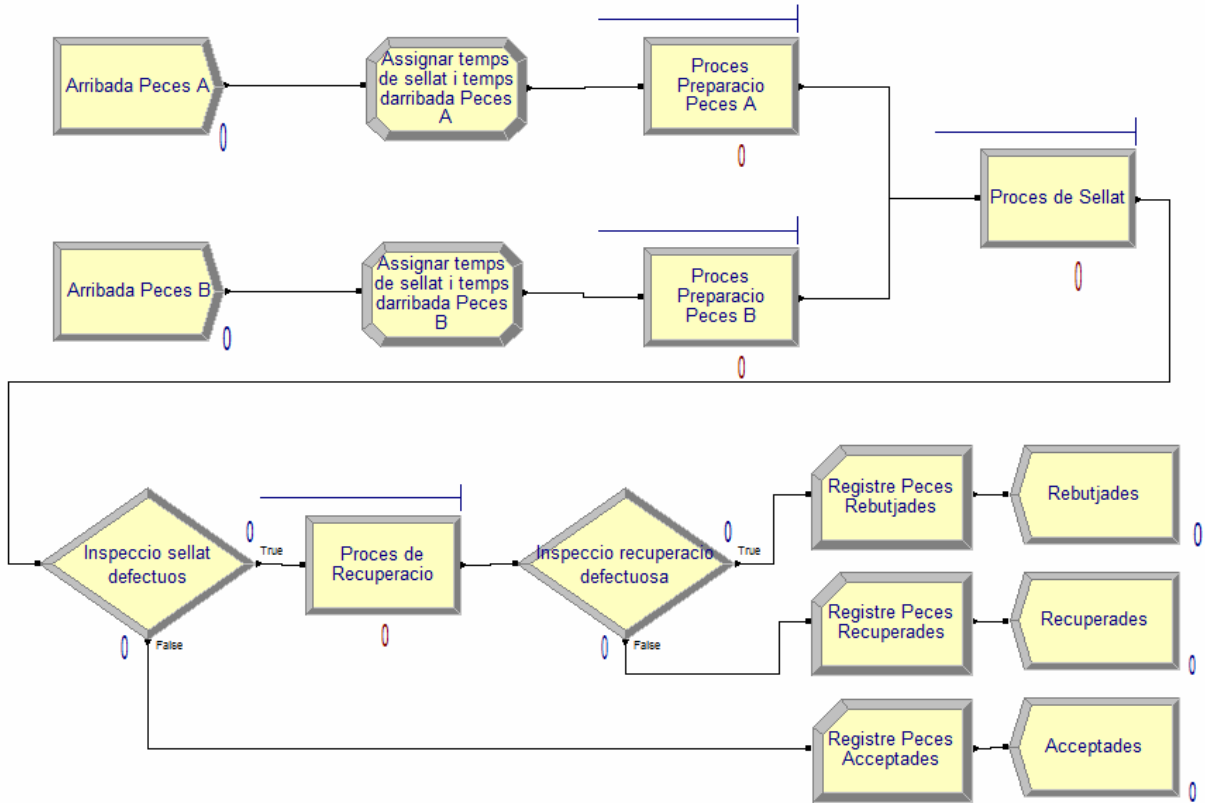


Figura 71

El model, doncs, està llest per a ser simulat. Només es requereix establir adequadament els paràmetres associats a l'execució de la simulació.

Cal recordar que abans que les peces surtin del sistema es vol obtenir informació sobre utilització de recursos, número de peces a la cua, temps a la cua en cadascuna de les operacions, etc. Aquests estadístics són automàticament recopilats sempre que a tots els mòduls hi hagi activada la opció *Report Statistics*, com també a *Run>Setup>Project Parameters*, hi hagin marcades les caselles *Resources*, *Queues* i *Processes* (Figura 72).

En aquest mateix quadre de diàleg cal definir el títol del projecte, el nom de l'analista i fer una breu descripció del projecte. A la pestanya de *Replication Parameters* s'ha d'establir la llargada de la simulació que, com s'ha citat a l'enunciat de l'exercici, és de 32 hores (quatre torns seguits de vuit hores). En aquest punt també s'han d'establir les unitats de temps en que es basarà el model i els respectius estadístics, que seran minuts.

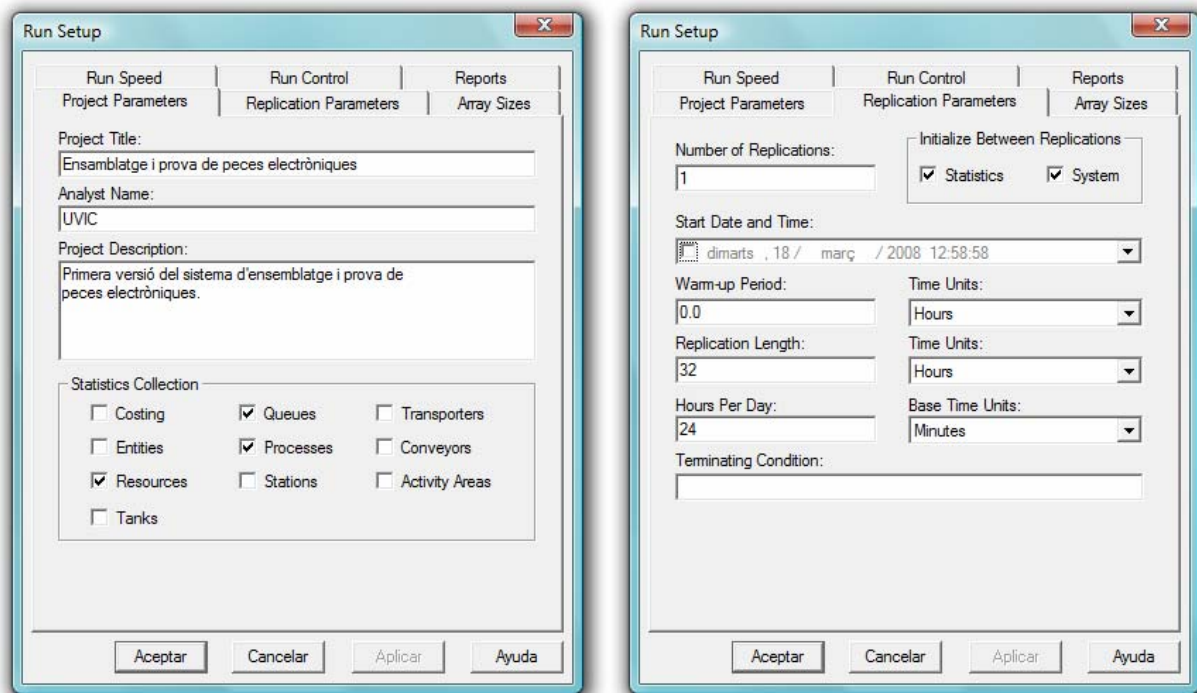


Figura 72

### 9.1.7. Simulació del model

Al iniciar la simulació si hi ha algun tipus d'error en el modelat apareix un avís en que s'explica on hi ha l'error i en què consisteix. Hi ha la opció de Prémer a *Find* i situa, al sistema, on hi ha l'error.

Durant la simulació es pot visualitzar, a la part dreta de la barra d'estat, el número de rèpliques, el temps transcorregut de simulació i l'estat de la simulació (Figura 73).

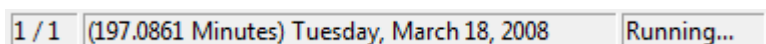







Figura 73

Cal recordar que durant la simulació es pot accelerar i alentir , fer una pausa () i reactivar-la () , fer la simulació pas a pas manualment () o fer-la tota en un moment sense visualitzar-ne el desenvolupament ().

Mentre la simulació s'està duent a terme, també es poden fer aproximacions al sistema mitjançant les opcions Zoom In (+) i Zoom Out (-).

Hi ha la opció, a més, de fer la simulació sense visualitzar l'animació: *Run>Run Control>Batch Run (No animation)*.

**9.1.8. Visualització del Informes**

Quan s'activa la simulació es poden observar les entitats com flueixen a través del sistema (boles blaves i boles vermelles).

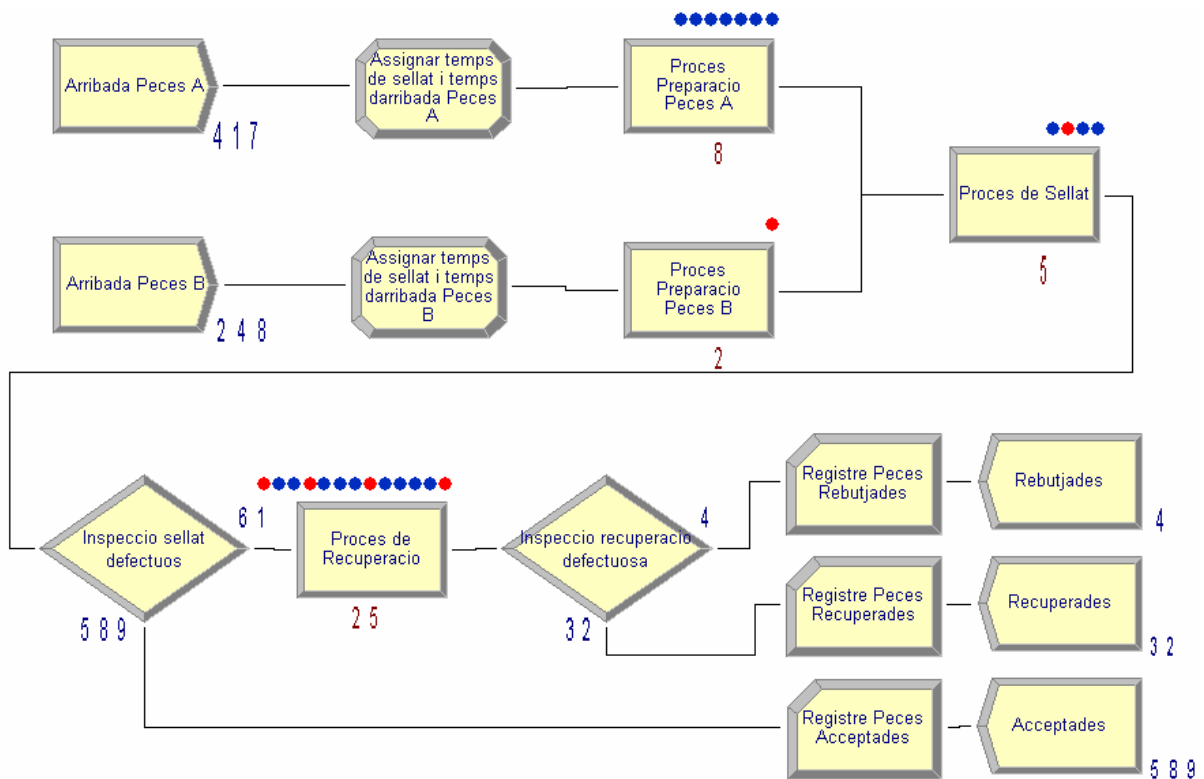
S'observen diferents comptadors que es van incrementant durant la simulació:

- 1 comptador en els mòduls *Create*, *Process* i *Dispose*
- 2 comptadors en els mòduls *Decide*.

Cal recordar que:

- Els comptadors dels mòduls *Create*, *Dispose* i *Decide* s'incrementen cada vegada que una entitat surt del mòdul.
- En el cas dels mòduls *Process*, el comptador mostra el número d'entitats que hi ha en cada moment en el mòdul, tenint en compta les entitats que s'estan esperant a la cua per utilitzar el recurs i les entitats que estan essent processades.

Els valors finals de les variables, una vegada executada tota la simulació, es mostren a continuació (Figura 74):



**Figura 74**

Seguidament cal observar els resultats de la simulació que mostren als informes.

Els informes que es mostren per defecte són els de l'apartat de *Category Overview Report*. S'observa el missatge "No Summary Statistics Are Available" (estadístics no disponibles). Això és degut a que al escollir els *Statistics collection*" a l'apartat de *Run>Setup*, no s'han escollit els estadístics d'entitats ni de costos.

Com a recordatori cal dir que es poden visualitzar els informes utilitzant el llistat de la part esquerra de la pantalla (tan sols els informes escollits a *Run>Setup* els quals en volíem obtenir estadístics). En el cas de l'exemple hi ha disponibles els informes dels apartats *Process*, *Queue*, *Resource* i *User Specified* (veure Figura 77). Aquest últim correspon a les dades obtingudes en els mòduls *Record* que s'han addicionat al model.

Pel que fa a l'anàlisi dels resultats, es poden comparar els resultats de la utilització de cada procés en termes d'entitats processades (Figura 75) i els valors dels comptadors mostrats a la Figura 74. Es poden fer les relacions següents:

- Com a valor d'utilització del procés de Preparació de les peces A hi consten 410 entitats, que corresponen a les 417 peces A que han arribat al sistema menys les 7 que s'estan esperant a la cua per a ser processades en aquest mòdul (la que està processant la comptabilitza com a processada). D'aquesta manera es poden anar relacionant els valors que es mostren per els altres processos.
- Procés de Preparació peces B:  $247 = 248 \text{ entrades} - 1 \text{ que s'està esperant a la cua per a ser processada}$
- Procés de Sellat:  $651 = 589+61 \text{ (Processades)} + 1 \text{ (que s'està processant)}$
- Procés de Recuperació:  $37 = \{32+4 \text{ (processades)} + 1 \text{ (que s'està processant)}\}$  o  $\{61 \text{ (que han passat pel mòdul Decide anterior)} - 24 \text{ (que hi ha a la cua)}\}$

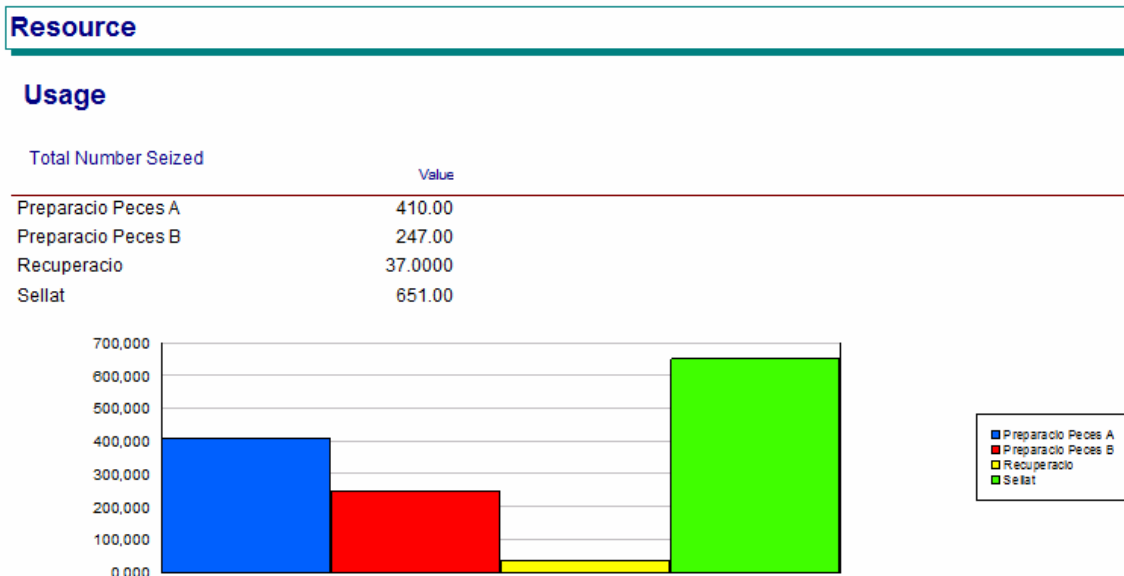


Figura 75

Altres resultats que es poden observar són, per exemple, les llargades de les cues i els temps d'espera de les entitats en aquestes (Figura 76).

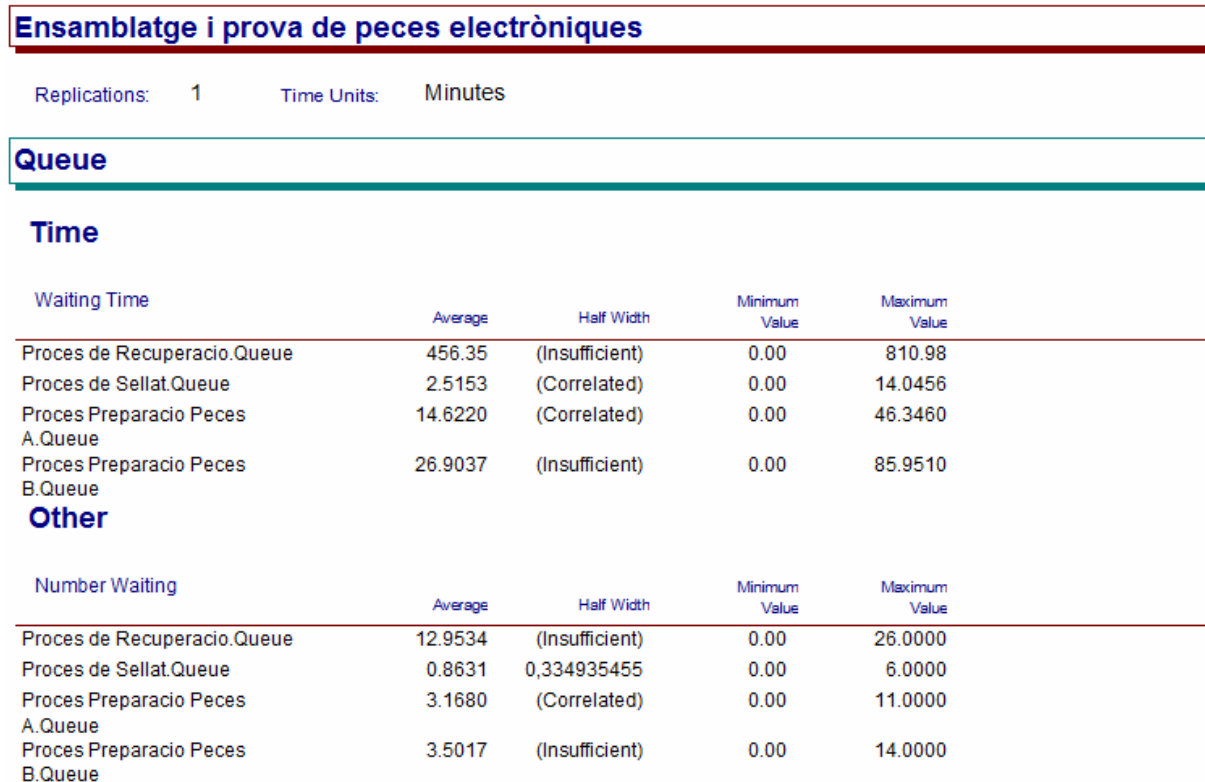


Figura 76

S'observa que els temps d'espera i nombre d'entitats a la cua del procés de recuperació són bastant més llargs que el dels altres processos. Aquest seria un possible punt on plantejar-hi millores.

Un altre dels paràmetres a observar pot ser els temps de permanència en el sistema dels diferents tipus de peces segons el resultat del seu processat (acceptades, recuperades o rebutjades) (Figura 77). Aquest és el registre que s'obté al haver addicionat els mòduls *Record*.

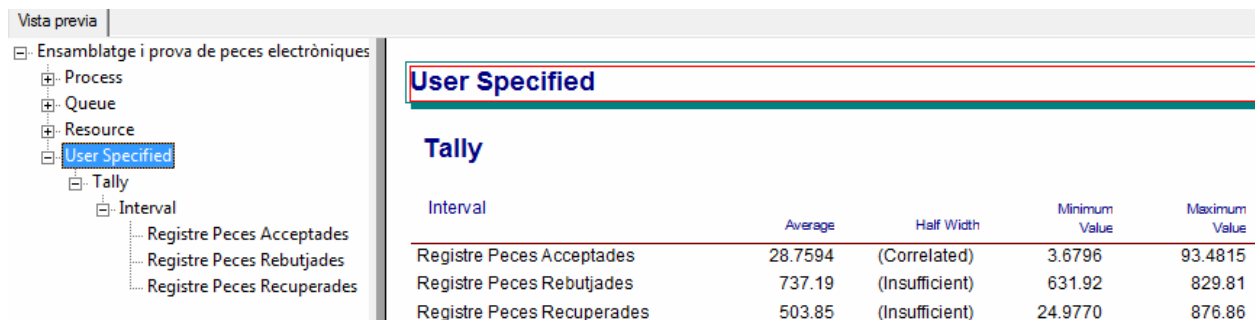


Figura 77

## 9.2. Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques- PAS 2

Una vegada construït i simulat el sistema, el següent pas és verificar que el model conceptual representi el sistema que s'està estudiant el més semblant possible a la realitat.

Fins ara no s'ha fet una definició de tot exacte del model. A continuació s'introdueixen tres aspectes nous per tal que el sistema s'apropi més a la realitat:

- Addició d'un recurs més en el segon torn del procés de recuperació: El sistema que s'intenta simular opera amb dos torns al dia, i en el sistema real, en el segon torn hi ha dos operaris assignats per a treballar a la operació de recuperació de peces. Aquesta seria una possible explicació del perquè, en el model simulat anteriorment en el Pas 1, els resultats en el procés de recuperació són que no té prou capacitat, ja que es generava molta cua.
- Addició d'averies al procés de sellat: D'altra banda, s'ha de tenir en compte que al sistema real hi ha un problema en la operació de sellat; problema que en el pas anterior de l'exercici no s'ha tingut en compte. Periòdicament la màquina de sellat s'espatlla. Utilitzant un històric de dades s'estima que el promig de temps de funcionament (des de que s'arregla una avaria a la màquina fins que es torna a espatllar) és de 120 minuts i que la distribució del funcionament és exponencial. El temps de reparació de la màquina també segueix una distribució exponencial amb una mitjana de 4 minuts.
- Estudi del nombre de lleixes necessàries per emmagatzemar les peces del procés de recuperació: Aquest és un altre aspecte que es considerarà en aquest Pas 2 de l'exercici. Es considerarà que la capacitat de cada lleixa és de 10 peces.

El proper pas, doncs, serà modificar el model per incloure aquests tres nous aspectes. Cal dir, també, que es modificarà el temps de simulació.

### 9.2.1. Conceptes nous

Els aspectes que s'introduiran al model i els respectius conceptes nous necessaris es mostren a la taula següent (Taula 7):

Aspectes nous a introduir	Conceptes nous requerits
Addició d'un recurs més en el segon torn del procés de recuperació	Mòdul de dades <i>Schedule</i>
Addició d'averies al procés de sellat i recopilació d'informació	Mòdul de dades <i>Failure</i> i mòdul de dades <i>Statistic</i>
Estudi del nombre de lleixes necessàries per l'emmagatzematge de les peces de la cua del procés de recuperació	Mòdul de dades <i>Statistic</i>

**Taula 7**



Fins ara s'assumia que els torns es feien seguits i no es tenien en compte el temps intermedis. Ara s'han de simular dos torns separats ja que en un torn hi ha només una persona a la màquina de recuperació de peces i en el segon torn n'hi ha dues. Per a fer això s'afegeix un Mòdul de dades *Schedule* (planificació de recursos) al procés de recuperació, el qual permet variar la capacitat del recurs en funció d'uns paràmetres fixats.

Per a modelar les averies del sellat s'utilitzarà el Mòdul de dades *Failure*, amb el qual es canvià la disponibilitat del recurs (semblant al Mòdul *Schedule* però amb més característiques específiques per representar avaries d'equipaments).

Finalment, s'utilitzarà el Mòdul de dades *Statistic* per obtenir la informació necessària per a determinar el número de lleixes requerides. Aquest mateix mòdul s'utilitzarà per obtenir informació de la freqüència o porcions de temps en que el recurs de sellat ha estat en un cert estat. Cal recordar que els recursos de l'ARENA poden tenir quatre estats diferents: *Idle*, *Busy*, *Inactive* i *Failed*:

- L'estat és *Idle* quan està desocupat, quan no ha agafat cap entitat per processar-la.
- Passarà a ser *Busy* quan agafa una entitat i la processa.
- L'estat canviarà a *Inactive* si ARENA ha assignat el recurs com a no disponible; això es dur a terme convertint a 0 la capacitat a la programació.
- Finalment, l'estat canviarà a *Failed* si s'ha posat el recurs en l'estat avaria, el que implica que el recurs no està disponible.

Quan hi ha una avaria, ARENA fa que tot el recurs esdevingui no disponible. Si la capacitat és de 2, per exemple, les dues unitats del recurs es posaran en estat d'avaría durant el temps de reparació.

### 9.2.2. Mòdul de dades de Planificació o *Schedule*

Abans de fer la planificació de recursos per la operació de recuperació, s'ha de definir el nou horari de treball:

- Hores al dia: 16 hores al dia (2 torns de 8 hores). Això es fa a l'apartat *Replication Parameters* de la opció *Run>Setup*, on es canvien les hores per dia, de 24 a 16 (ignorant l'advertència que apareix al prémer Acceptar).
- Quantitat de dies: 10. En aquest mateix quadre de diàleg es canvien les unitats de temps (*Time Units*) a Dies i el valor de *Replication Length* a 10.

A continuació s'ha de començar a definir la planificació de recursos per el mòdul de recuperació. S'han de seguir els passos següents:

- Prémer a damunt del mòdul de recurs (Resource) del tauler Basic Process de la barra de projectes. La informació dels recursos es mostra a la fulla de càlcul (part inferior de la finestra de modelar).
- Prémer a la columna *Type* del recurs "Recuperació" i seleccionem *Based on Schedule* (Figura 79).
- Apareixen dues noves columnes. En la primera s'hi ha de posar el nom "Pla recuperació", per exemple. Seguidament, a la cel·la *Schedule Rule* (regla de la programació), es poden escollir tres opcions: *Preempt*, *Wait* i *Ignore* (veure Figura 78).
  - o Opció *Preempt*: fa decreixer immediatament la capacitat del recurs, ignorant el fet que el recurs estigui en aquell moment processant una entitat. ARENA reté l'entitat en procés. Una vegada transcorregut el temps programat en que s'ha fet decreixer el recurs, el processat de l'entitat que s'havia deixat a mitges, es continua.

Això proporciona una manera més real de modelar les programacions i les avaries ja que, en molts casos, el processat d'una peça es suspèn al final d'un torn o quan hi ha una avaria a un recurs.

  - o Opció *Wait*: aquesta opció fa que la reducció de la capacitat del recurs esperi fins que les entitats de dins el recurs acabin de ser processades. El temps de la reducció de la capacitat serà sempre de la durada especificada, per tant si la reducció comença més tard de lo planificat, el posterior increment de capacitat també esdevindrà més tard.
  - o Opció *Ignore*: és un cas semblant a la opció *Wait*, amb la diferència que el temps de més en que es processi una entitat si aquesta no està acabada en el moment de la reducció de capacitat, no es té en compte en el temps programat d'aquesta reducció de capacitat. Amb aquesta opció, doncs, hi ha la possibilitat que el temps de reducció de capacitat sigui menor al programat.

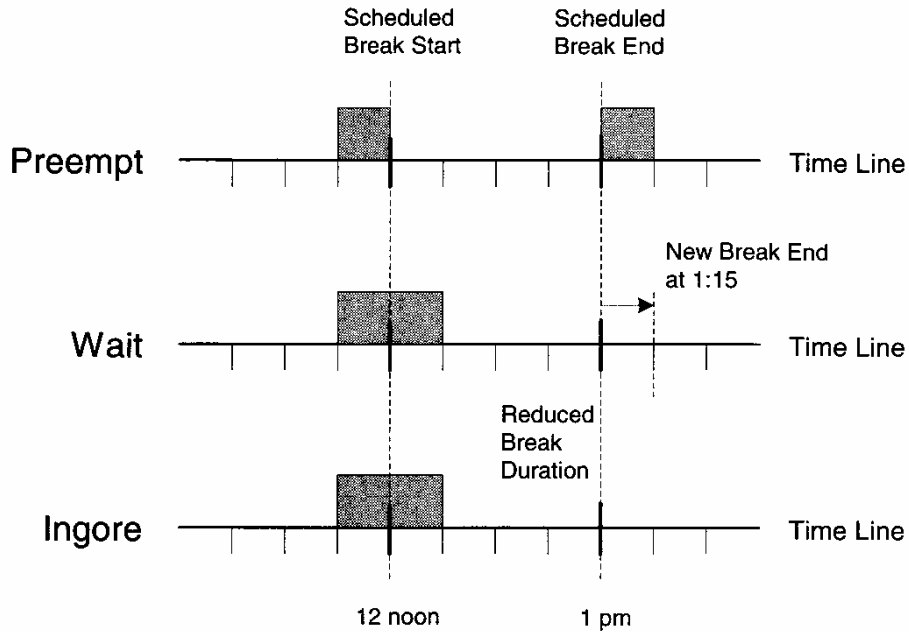


Figura 78

Per saber quina opció utilitzar s'ha d'examinar bé el procés que s'està modelant. Si el recurs en estudi és un coll d'ampolla per el sistema, s'hi haurà de prestar especial atenció ja que afectarà en els resultats finals.

Pautes que poden ser d'ajuda per a escollir la opció idònia:

- Si la durada programada en que la capacitat varia és molt llarga comparada amb la durada del temps de processat d'una entitat, la opció *Ignore* pot ser adequada.
- Si el temps de processat és molt més llarg que el temps de variació del recurs, la opció *Wait* podria ser considerada. Com també si es vol que s'acabi el processat de l'entitat i el temps de decreixement dels recursos ha de durar un temps especificat.

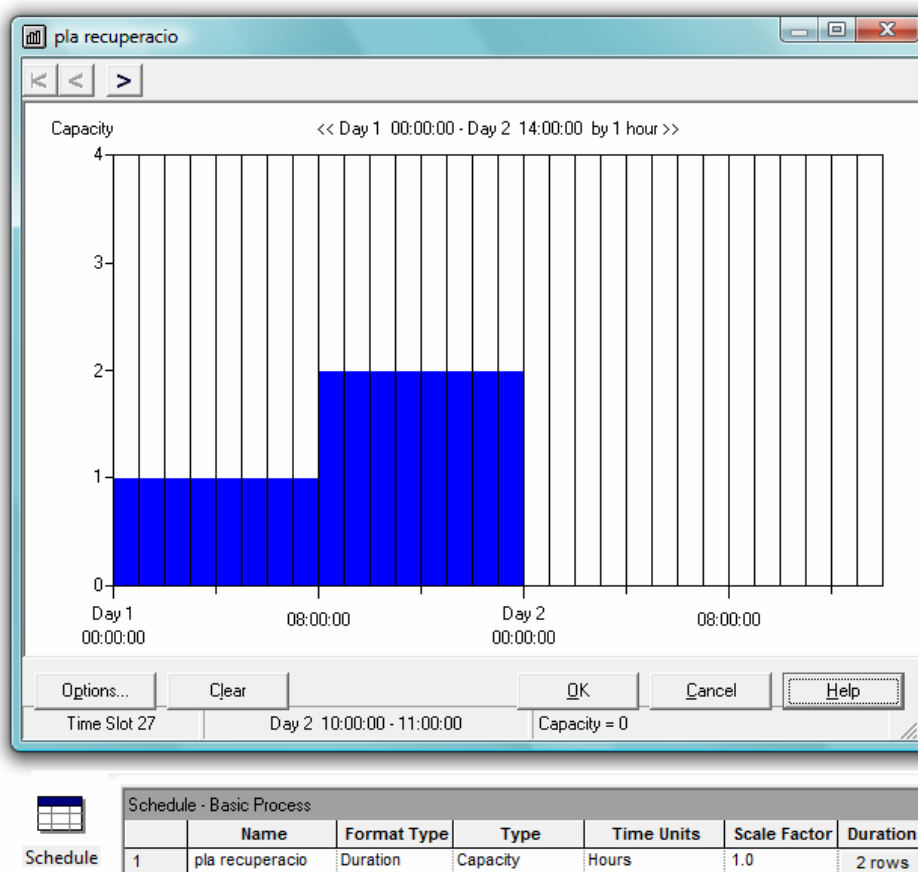
Per el model de l'exemple en estudi es seleccionarà la opció *Ignore* (Figura 79) ja que, en la majoria dels casos, un operari finalitzarà la seva feina abans de plegar i rarament es tindrà en compte un temps de treball adicional.

Resource - Basic Process					
	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule
1	Preparacio Peces A	Fixed Capacity	1	1	Wait
2	Preparacio Peces B	Fixed Capacity	1	1	Wait
3	Sellat	Fixed Capacity	1	1	Wait
4	Recuperacio	Based on Schedule	pla recuperacio	pla recuperacio	Ignore

Figura 79

Seguidament s'han de concretar els paràmetres de la programació. S'han de seguir els passos següents:

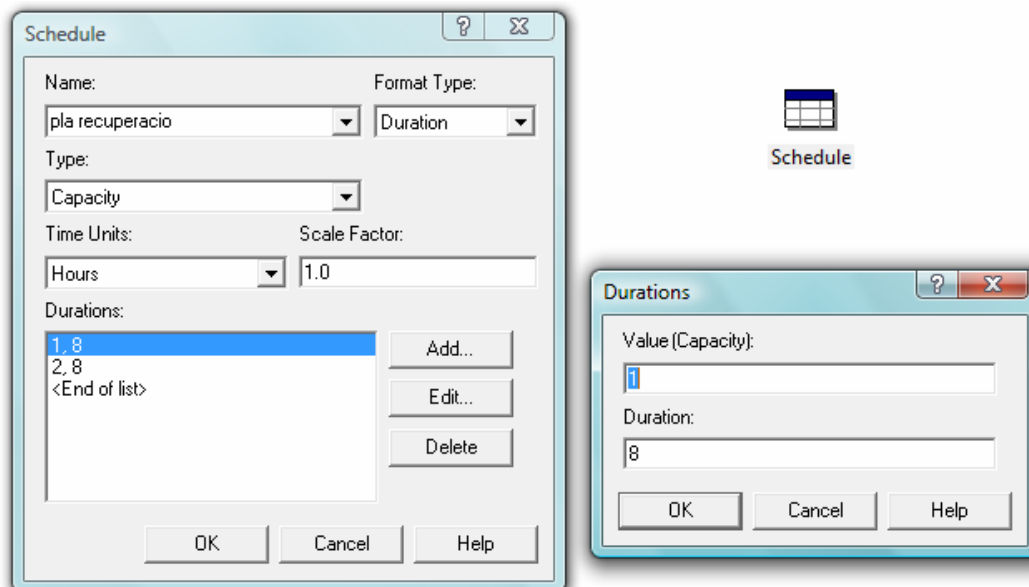
- Prémer la icona del mòdul de dades *Schedule* del tauler de processos bàsics de la barra de projectes. A la part de la fulla de càlcul s'hi mostren les dades del "pla recuperació" que s'ha creat anteriorment.
- Prémer la columna *Duration* i s'obrirà un editor gràfic en el que s'hi entraran les dades de programació del procés de Recuperació (Figura 80). A l'eix horitzontal hi ha representat el calendari o temps de simulació. Es pot observar que per a cada dia hi ha representades 16 hores com anteriorment s'havia definit. A l'eix vertical hi ha la capacitat del recurs.
- Prémer al lloc de la gràfica on representa el dia 1, la hora 1 i el nombre de recursos 1; apareix representat en blau.
- Repetir aquesta acció fins a les 8 hores. A partir d'aquí ja correspon al segon torn en que la capacitat serà de 2 (de les 9 hores fins a les 16).



**Figura 80**

No és necessari que s'entrin les dades per el dia 2 ni pels següents; la programació del dia 1 s'anirà repetint automàticament.

Aquest procés de definició de la programació es pot fer, també, clicant al damunt de *Duration* amb el botó dret, prement *Edit via Dialog*, i entrant les dades com es mostra a la figura següent (Figura 81):



**Figura 81**

Nota: no es pot utilitzar el mètode de la programació mitjançant el gràfic si els temps de durada no són nombres enters, o si alguna dada a entrar requereix d'alguna expressió estadística.

### 9.2.3. Mòdul de dades d'Avaries o *Failure*

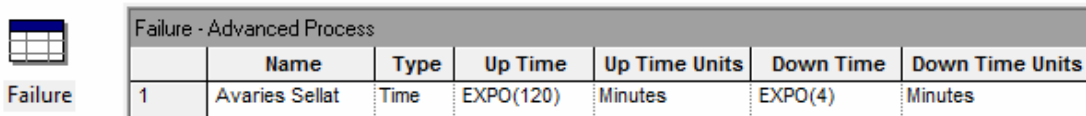
Les planificacions s'utilitzen per a modelar la variació planificada de la disponibilitat de recursos ja sigui per canvis de torns, temps de descans, períodes de vacances, reunions, etc.

Les avaries intencionades o previstes fan que els recursos esdevinguin no disponibles. Les avaries dels diferents recursos es defineixen mitjançant el mòdul de dades *Failure* que es pot trobar al tauler *Advanced Process* (Figura 82).

En aquest apartat es modelaran les avaries de la operació de sellat, tot seguint els passos següents:

- Prémer al damunt del mòdul de dades *Failure*. S'observa que el mòdul està buit.
- Fer un doble-clic com s'indica.
- Posa-hi un nom, com per exemple "Avaries Sellat".

- A la casella *Type*, s'ha de seleccionar si les avaries aniran en funció d'un nombre d'entitats processades (*Count*) o d'un cert temps establert (*Time*). El model d'avaries basat en el nombre d'entitats processades és més comú en els models industrials. D'altra banda, en l'exemple que s'està construint, el model d'avaries es basarà en el temps ja que és la manera en que s'ha recol·lectat l'històric de les dades de les avaries. Al seleccionar la opció *Time* apareixen noves columnes a la fulla de càlcul.
- En aquestes noves columnes s'entraran les dades tal i com es mostra a la Figura 82. S'indica el temps en que el procés funciona correctament de manera continuada (*Up Time*) i el temps que duren les avaries (*Down Time*).



Failure - Advanced Process						
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units
1	Avaries Sellat	Time	EXPO(120)	Minutes	EXPO(4)	Minutes

**Figura 82**

Seguidament s'ha de relacionar aquest model d'avaries amb el recurs de sellat. Per això, s'han de seguir els passos següents:

- Obrir el mòdul de dades de recursos (al taulell *Basic Process*)
- Prémer a la columna de *Failures* de la fila del recurs de Sellat.
- Al quadre de diàleg que apareix (Figura 83), s'hi ha d'afegir una nova fila escollint el nom "Avaries Sellat" de la llista.
- A la columna següent s'ha d'escollir la "norma" a seguir de les avaries, tenint en compte el que s'ha explicat anteriorment a les regles de programació. Les opcions que es mostren són les mateixes que les que s'han utilitzat per a les programacions dels recursos: *Ignore*, *Wait* i *Preempt*. Recordar que el temps de funcionament és de 120 minuts de mitjana, la qual cosa és bastant més llarg que el temps d'avaria que s'espera que sigui de 4 minuts. El temps d'avaria fixat és el temps necessari per arreglar-la, per tant aquest no podrà ser reduït ja que no seria factible operacionalment. Per aquestes raons, doncs, s'utilitzarà la opció *Wait*.



**Figura 83**

#### 9.2.4. Mòdul d'estadístics o *Statistic*

S'utilitzarà el mòdul de dades *Statistic* per obtenir freqüències d'un esdeveniment al llarg del temps d'alguna variable de l'Arena, d'alguna expressió o estat d'un recurs. S'utilitzarà una estadístics de freqüències per obtenir la informació necessària per a determinar el nombre de lleixes a col·locar a l'àrea de recuperació. Per això s'ha d'estudiar la cua en aquest procés de recuperació. S'ha de saber la quantitat de temps en que la cua és 0, quan temps és major de 0 i menor de 10 (només necessària una lleixa), quan temps és major de 10 i menor de 20 (necessitat de dues lleixes), etc.

Per a fer això s'ha d'utilitzar el mòdul *Statistic* (del tauler *Advanced Process*) (Figura 85), i seguir els passos següents:

- Posar el nom "Estadística cua recuperacio", per exemple.
- Seleccionar *Frequency* a la casella *Type*.
- Buscar una expressió que representi el nombre d'entitats a la cua en el procés de recuperació. Per això es necessita buscar la variable que representa el nombre d'entitats a la cua, NQ (*Number in Queue*). S'ha de fer un clic dret a la cel·la *Expression*, i anar a buscar la variable NQ (Figura 84).

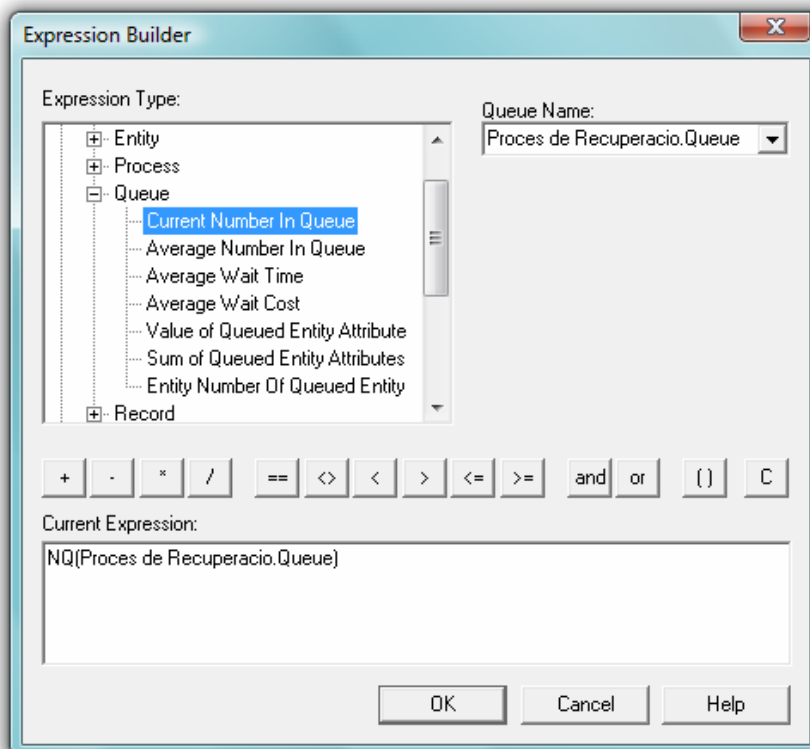
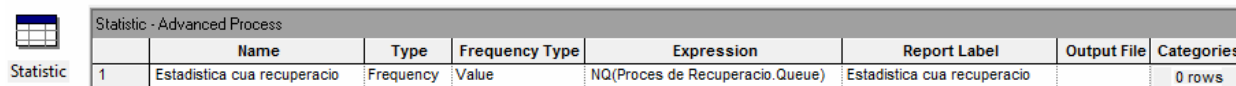


Figura 84

Arribats a aquest punt la fulla de càlcul del mòdul de dades *Statistic* és la següent (Figura 85):



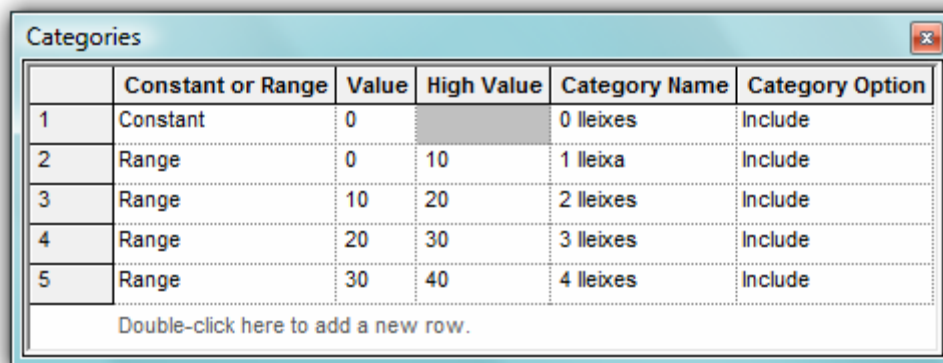
	Name	Type	Frequency Type	Expression	Report Label	Output File	Categories
1	Estadística cua recuperació	Frequency	Value	NQ(Proces de Recuperacio.Queue)	Estadística cua recuperació		0 rows

**Figura 85**

El proper pas és establir les categories que es necessitaran per a definir la quantitat de lleixes:

- Prémer a *0 Rows*.
- S'obre un quadre de diàleg el qual s'han d'introduir les dades (Figura 86).
- La primera categoria es tracte d'una constant de 0 entitats a la cua, amb la qual cosa no seria necessària la col·locació de cap lleixa.
- La segona categoria i posteriors són intervals de valors d'entitats a la cua amb les respectives lleixes necessàries per a la col·locació d'aquestes. Cal dir que els intervals de les categories s'interpreten de la manera següent: per exemple la categoria 2 lleixes; (10,20]: valors majors que 10 i més petits o igual a 20.

Si el valor de la cua supera les 40 entitats, ARENA crearà automàticament una nova categoria (A priori no s'espera que el valor de la cua accedeixi de 40 entitats).



	Constant or Range	Value	High Value	Category Name	Category Option
1	Constant	0		0 lleixes	Include
2	Range	0	10	1 lleixa	Include
3	Range	10	20	2 lleixes	Include
4	Range	20	30	3 lleixes	Include
5	Range	30	40	4 lleixes	Include

Double-click here to add a new row.

**Figura 86**

D'altra banda, en aquest mateix mòdul de dades *Statistic*, s'ha de tenir en compte que també es vol informació addicional del recurs de Sellat. Es vol informació sobre la quantitat de temps que el recurs de sellat ha estat en avaria, ja que en els informes finals no ho indicarà. Per tant, s'ha d'inserir una nova fila a la fulla de càlcul del mòdul *Statistic*.

En aquesta nova fila s'hi ha d'introduir (Figura 87):

- El nom d'aquest nou estadístic
- Com a tipus es selecciona *Frequency*



- Com a Tipus de freqüència s'escull *State*
- I a la casella de *Resource Name* es selecciona, mitjançant el desplegable, el recurs de sellat.

Amb això s'obtindran estadístiques basades en la quantitat de temps en que el procés de sellat ha estat ocupat, desocupat i avariats.

Statistic - Advanced Process								
	Name	Type	Frequency Type	Expression	Resource Name	Report Label	Output File	Categories
1	Estadística cua recuperació	Frequency	Value	NQ(Proces de Recuperacio.Queue)		Estadística cua recuperació		5 rows
2	Estadística sellat	Frequency	State	Expression 1	Sellat	Estadística sellat		0 rows

Figura 87

### 9.2.5. Anàlisi dels informes

A la taula següent (Taula 8) es pot observar una selecció de resultats del model actual (Pas 2) fent una comparació amb els resultats obtinguts en el Pas 1.

RESULTATS	PAS 1	PAS 2
<b><i>Temps d'espera mitjà a la cua</i></b>		
Procés Preparació peces A	14.62	19.2
Procés Preparació peces B	26.9	51.42
Procés de Sellat	2.52	7.83
Procés de recuperació	456.35	116.25
<b><i>Nombre de peces mitjà que s'esperen a la cua</i></b>		
Procés Preparació peces A	3.17	3.89
Procés Preparació peces B	3.5	6.89
Procés de Sellat	0.86	2.63
Procés de recuperació	12.95	3.63
<b><i>Temps mitjà en el sistema</i></b>		
Peces acceptades	28.76	47.36
Peces Recuperades	503.85	203.83
Peces Rebutjades	737.19	211.96
<b><i>Utilització "instantània" dels recursos</i></b>		
Procés Preparació peces A	0.9038	0.8869
Procés Preparació peces B	0.7575	0.8011
Procés de Sellat	0.8595	0.8425
Procés de recuperació	0.9495	0.8641

Taula 8

Els resultats d'aquests dos models són diferents per varies raons.

En el model actual (Pas 2) es simulen deu dies treballant 16 hores cada dia (160 hores). Aquest temps de simulació és bastant més llarg que en el Pas 1, que eren 32 hores. D'altra banda s'han afegit varis matisos als recursos de sellat i de recuperació.

A continuació s'analitzen les àrees separadament:

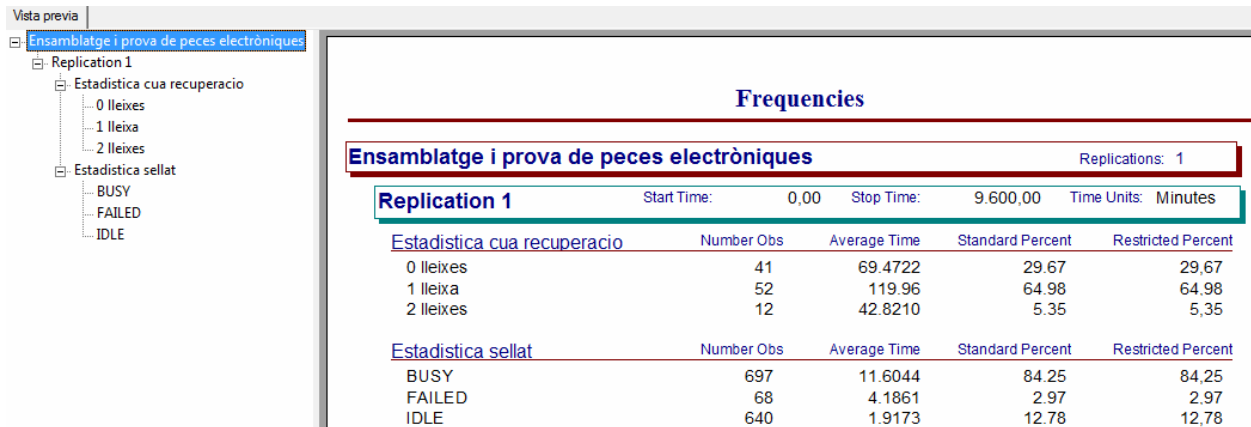
- Pel que fa als dos mòduls de preparació de peces, es poden observar canvis en els resultats, a pesar de no haver variat cap paràmetre d'aquests mòduls. Això és degut a la diferència de llargades de simulació i a l'arbitrarietat dels paràmetres estadístics. S'aprecia molta diferència en la cua del procés de preparació de les peces B, la qual es va congestionant a mesura que avança la simulació, ja que com més llarg és el temps de simulació més augmenta la incertesa (hi intervenen molts factors estadístics que no s'estudiaran en aquest projecte).
- Pel sellat, l'estadístic de la cua (temps mitjà d'espera i llargada mitjana) es mostra considerablement més congestionat en el Pas 2. S'han afegit les avaries d'aquest recurs la qual cosa fa que la cua creixi al parar-se el procés. Les estadístiques d'utilització del sellat no són gaire diferents en els dos models ja que l'estat d'avaria no es té en compte en aquest estadístic.
- Els resultats en la operació de Recuperació són millors en el Pas 2. Al afegir un operari en el segon torn fa que la capacitat al dia sigui de 1.5, enfront d'una capacitat igual a 1 en el Pas 1. Conseqüentment l'estadística d'utilització baixa una mica.
- Pel que fa a les mitjanes de temps dels tres tipus de peces es pot veure que els canvis els han afectat fortament. Tots tres tipus de peces han de suportar un major temps de sellat; d'aquí l'increment de temps en les peces acceptades. Les recuperades i les rebutjades pateixen una disminució de temps, gràcies a l'augment de recursos en la operació de recuperació.

Les noves estadístiques de freqüències no són a l'apartat dels informes *Category Overview*, sinó a l'apartat del panell d'informes de la barra de projectes anomenat *Frequencies* (Figura 88).

La primera secció mostra les estadístiques sobre el nombre de lleixes necessàries al procés de recuperació. S'observa que no hi ha mai més de 20 entitats a la cua, i que un 5,35% del temps hi ha més de 10 entitats. Per tant la decisió està entre utilitzar tan sols una lleixa (en que es cobriria la necessitat del 94,65% del temps) o utilitzar-ne dues per cobrir totalment les necessitats d'emmagatzematge.

Seguidament es donen les estadístiques dels estats del recurs de sellat on es mostra que:

- als voltants d'un 3% del temps està en estat d'avaria
- Aproximadament un 84% del temps està processant peces
- I als voltants d'un 13% es troba desocupat.



**Figura 88**

### **9.3. Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 3**

Arribats a aquest punt, el que cal és fer una animació del sistema més aproximada a la realitat.

Per això, es duran a terme les accions següents:

- Canvi d'ubicació de les cues i modificació de l'animació d'aquestes
- Modificació de l'animació de les entitats
- Addició d'animació als recursos
- Animació addicional del sistema

El que es vol és fer l'animació del sistema a part del model construït fins ara, no en el mateix model, per així veure's amb més claredat.

#### **9.3.1. Modificació de l'animació de les cues**

Primerament, el que cal fer és moure les cues (arrossegant-les amb el ratolí) tot col·locant-les al lloc de la finestra de modelar on es vulgui construir el model animat. Tot seguit es modificarà l'animació d'aquestes.

S'ha de tenir en compte que a les cues no es veuen sempre la totalitat d'entitats que hi ha, ja que en l'Arena es defineix un nombre màxim d'entitats que es visualitzen; és a dir, per defecte es defineix una mida de la cua. A la simulació, per exemple, pot ser que hi hagi 30 entitats a la cua però que només se'n visualitzi l'animació de 14. Aquest és un petit problema que hi ha tres maneres de resoldre'l:

- 1- Fixar-se en el número que apareix i no en l'animació de la cua
- 2- Fer la mida de la cua més llarga
- 3- Fer més petites la mida de les figures de les entitats.

Si es vol augmentar la mida de la cua tan sols s'ha de seleccionar la cua, col·locar-se a l'extrem dret de la cua i estira-la (amb el cursor en forma de creu).

A continuació es pot canviar el format de la cua fent un doble clic a damunt d'aquesta (Figura 89).

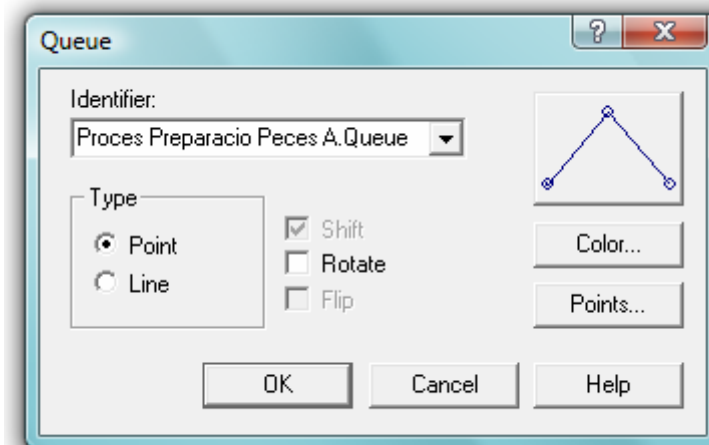


Figura 89

Per exemple, escollir la opció *Point* i prémer el botó *Points...* Dins aquesta opció prémer *Add* en successives ocasions per afegir la quantitat de punts desitjats on es col·locaran les entitats a la cua. L'aspecte de la cua serà semblant a la figura següent (Figura 90):



Figura 90

Es pot donar forma a la cua (Figura 91) movent cada punt independentment:

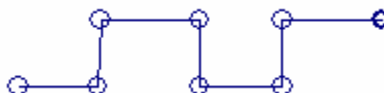


Figura 91

En l'animació de les cues del model, la que es voldrà modificar serà la cua del procés de recuperació. S'han d'afegir un total de 40 punts. Seguidament s'ha de redissenyar la cua de manera que representin les quatre lleixes (Figura 92). És aconsellable activar la opció *Arrange > Snap Object to Grip* quan es vol donar forma a les cues.

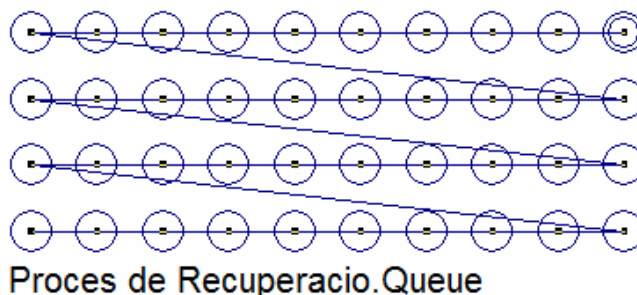


Figura 92

### 9.3.2. Modificació de l'animació de les entitats

El que es voldrà fer serà personalitzar el dibuix que representen les entitats, amb la finalitat que el sistema sigui més entenedor.

Per a la modificació de l'animació de les entitats s'han de seguir els passos següents:

- Anar a la opció *Edit>Entity Pictures*.
- A la part esquerra del quadre de diàleg s'ha de buscar primer el dibuix de la bola blava. Seleccionar-lo i prémer *Copy*. Apareix un altre dibuix igual.
- Tenint un d'aquests dibuixos seleccionats se li ha de canviar el nom a la cel·la *value*. S'hi pot posar "Picture.Peces A", per exemple
- Seguidament fer un doble clic a la icona i s'obra un editor d'imatges amb el qual es pot modificar el dibuix. Per exemple es posarà una lletra A al centre de la rodona i es canviaran els colors.
- Es farà el mateix per l'animació de les peces B (Figura 93).



**Figura 93**

- A la part inferior d'aquest quadre de diàleg d'animació de les entitats, hi ha la opció de variar proporcionalment la mida de les entitats. En el cas de l'exemple es posarà un factor de mida de 1,3.

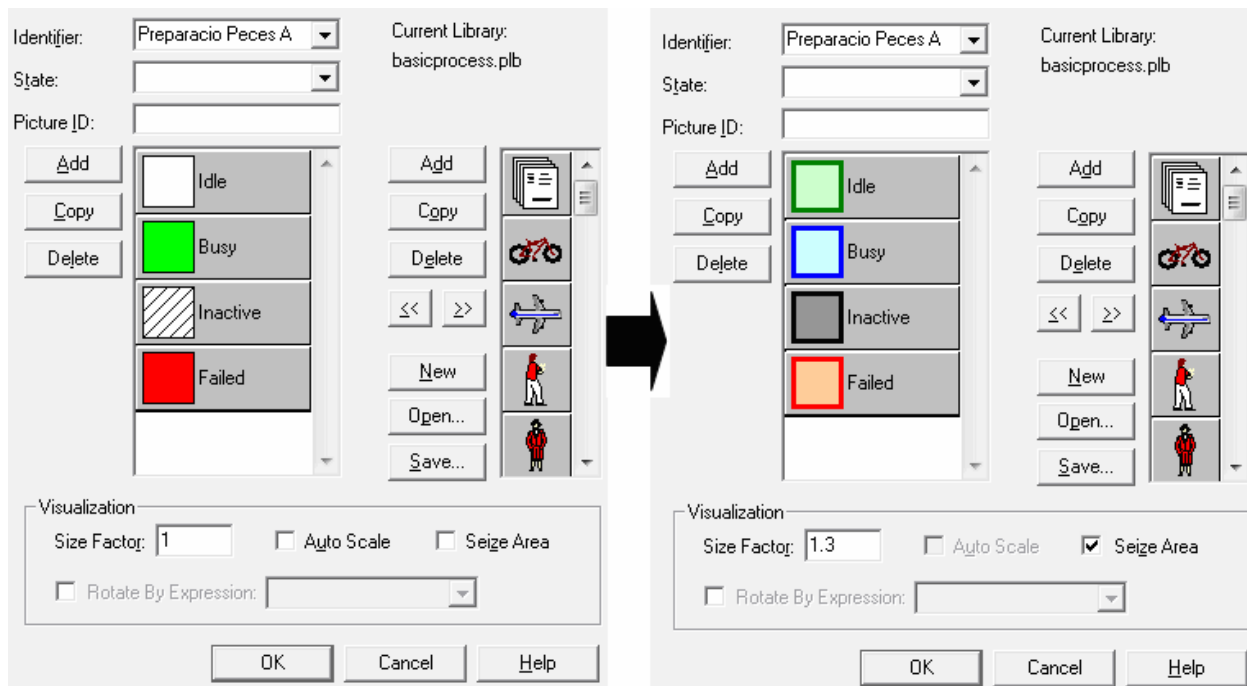
Una vegada creades les noves figures, l'últim pas és assignar aquestes figures a les entitats del model. S'ha d'anar al mòdul de dades *Entity*, i a la cel·la *Initial Picture* apuntar el nom dels nous dibuixos creats a l'entitat que li corresponen.

### 9.3.3. Addició d'animació als recursos

Per a afegir animació als recursos s'han de seguir els següents passos (Figura 94):

- Prémer el botó *Resource* que es troba a la barra d'eines.
- Escollir un dels recursos de la llista a la cel·la *Identifier*, per exemple "Preparació Peces A".

- Primerament activar la opció *Seize Area*, la qual cosa farà que en l'animació dels recursos s'hi mostri el lloc on les entitats seran processades dins el recurs.
- A l'apartat de les animacions es mostra el dibuix de cada estat, el qual es pot modificar fent un doble clic al damunt d'aquests.
- Es posarà, per exemple, un color diferent per a cada estat com també es modificaran les línies dels requadres fent-les més gruixudes.



**Figura 94**

Una vegada creades les figures, es poden guardar en una llibreria personalitzada:

- Prémer l'icona *New* i *Add* de la part dreta del quadre de diàleg
- Llavors usar la icona de les fletxes per copiar el dibuix de l'esquerra cap a la nova llibreria.
- Repetir aquest procés per als quatre dibuixos.
- A més, s'ha de crear una variant d'aquests dibuixos, consistent en dos requadres verticals per a cada estat de recurs. Aquests nous dibuixos són els que s'utilitzaran com a animació dels estats del procés de recuperació de peces, ja que representaran els dos operaris en el cas del segon torn.
- Finalment s'ha de prémer la tecla *Save* i posar el nom desitjat a la nova llibreria personalitzada (per exemple, *uvic.plb*).

- Al prémer l'OK i retornar a la pantalla del model, s'ha de col·locar la nova animació del recurs "Preparació Peces A" al lloc del model que es vulgui.

Amb la llibreria creada, doncs, es poden anar posant a cada recurs els dibuixos que li pertocin per a cada estat.

S'observa la representació per dues rodones de la *Seize Area*. Aquesta àrea es pot moure al lloc desitjat on es vulgui que les entitats es col·loquin per a ser processades.

A la operació de Recuperació, una vegada addicionat el dibuix del recurs, es pot veure que només hi ha una *Seize Area*, i en són necessàries dues. S'ha de fer un doble clic a la zona *Seize Area*, i afegir un punt a la secció *Points*. Apareixerà una altra rodona la qual s'haurà de col·locar al requadre inferior de l'animació del recurs de Recuperació.

#### 9.3.4. Addició de variables i gràfiques

Serà una variable d'interès saber a cada procés el número d'entitats que hi ha (en procés i a la cua), com també el número de peces ja processades que surten del sistema, ja sigui com a peces acceptades, recuperades o rebutjades. Aquestes variables, que es mostren a l'esquema dels mòduls, es voldria que es mostressin en el nou esquema animat. Per a fer això, senzillament el que s'ha de fer és copiar i enganxar al lloc que els correspon els números que es mostren a les parts inferior dreta dels mòduls de l'esquema del model. Aquestes variables, una vegada enganxades, fent un doble clic al damunt se'n poden variar les seves propietats (Figura 95).

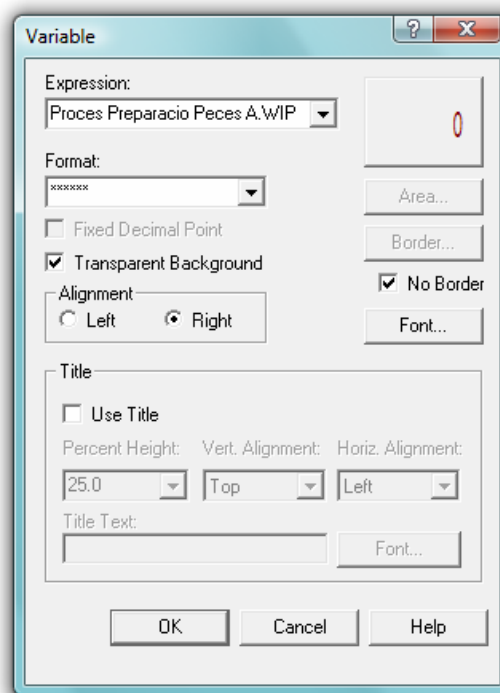


Figura 95



Una vegada posades les variables, s'han de posar, també, els títols de cada procés amb l'editor de textos de la barra d'eines.

Finalment, es posarà una gràfica que mostri la quantitat de peces que hi ha en cada moment al procés de recuperació. Utilitzant las icona *Plot* de la barra d'eines, s'obre un quadre de diàleg el qual s'ha de complimentar de la manera següent (Figura 96):

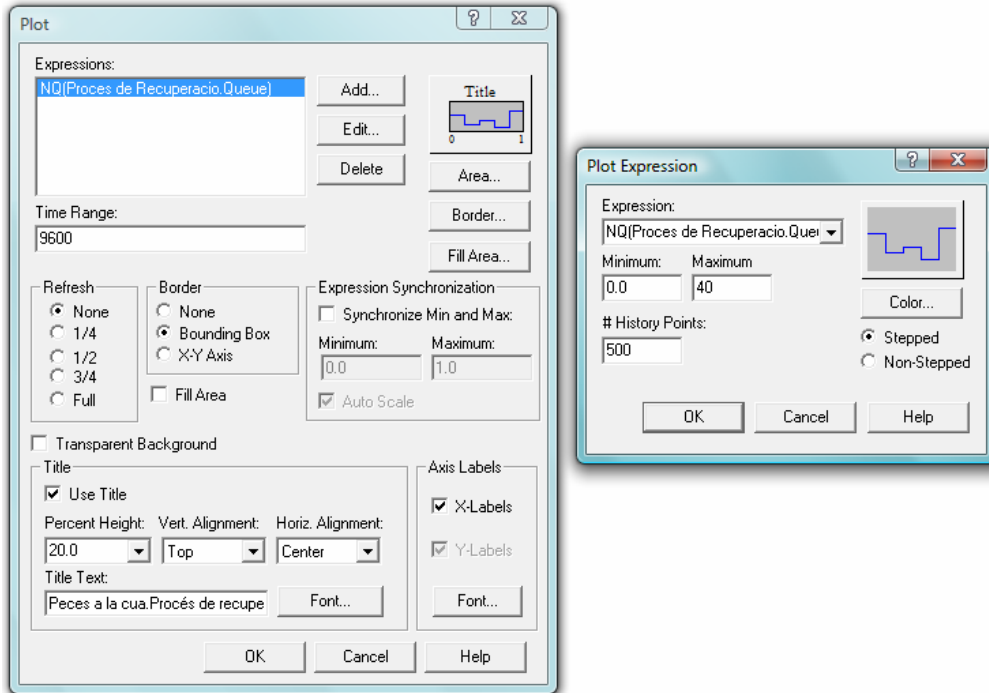


Figura 96

### 9.3.5. Animació adicional del sistema

Ja per acabar i opcionalment, es poden adicionar complements i figures, tot utilitzant la barra de dibuix de l'Arena i la opció *Edit>Insert New Object*.

Amb tots aquests canvis s'haurà aconseguit una animació del model més semblant a la realitat, com per exemple el que es mostra a la figura següent (Figura 97):

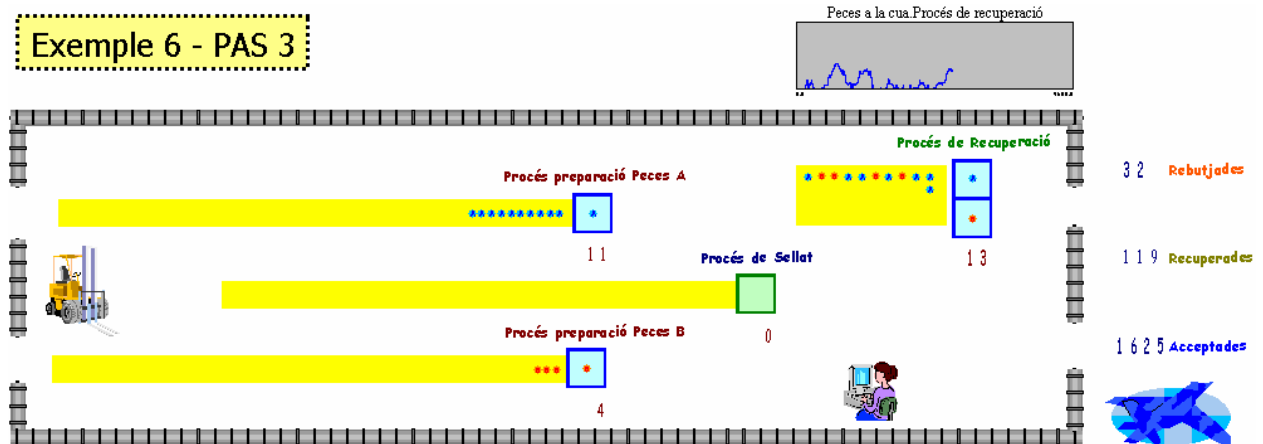


Figura 97

#### 9.4. Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 4

Fins ara la transferència de les peces entre mòduls es feia instantàniament (no consumia temps).

En aquest apartat s'inclourà un temps de transferència de dos minuts en:

- L'arribada de les peces a les àrees de preparació
- La transferència de peces cap al procés de sellat i de recuperació
- Les sortides de les peces ja siguin peces rebutjades, recuperades o acceptades

##### 9.4.1. Conceptes nous: Estacions i eines de transferència d'entitats

S'enten estacions com a llocs físiques on s'hi desenvolupen certes activitats. En l'exemple, estacions serien el lloc on arriben les peces, les quatre àrees de processat de peces, i els departaments d'expedició o sortida de peces. Entre aquestes estacions s'han d'utilitzar elements de trasllat.

Arena té diferents tipus d'elements de trasllat entre estacions. El que s'utilitzarà en aquest exemple s'anomena *Route*, el qual permet el moviment de les entitats d'una estació a una altra. Aquest element de trasllat permet introduir el temps de durada d'aquest trasllat, el qual pot ser constant o pot seguir una distribució estadística.

Així, doncs, quan una entitat deixa una estació, hi ha un mecanisme de trasllat amb una ruta específica amb un temps de durada determinat que la condueix cap al següent pas.

##### 9.4.2. Construcció de rutes lògiques

Utilitzant el model anterior (Pas 3), primerament s'han d'esborrar les connexions entre els dos mòduls *Assign* i els mòduls "Preparació Peces A" i "Preparació Peces B". Seguidament moure els dos parells de mòduls *Create* i *Assign* cap a l'esquerra, ja que s'hauran d'inserir mòduls a continuació dels mòduls *Assign*, com es mostra a la figura següent (Figura 98):

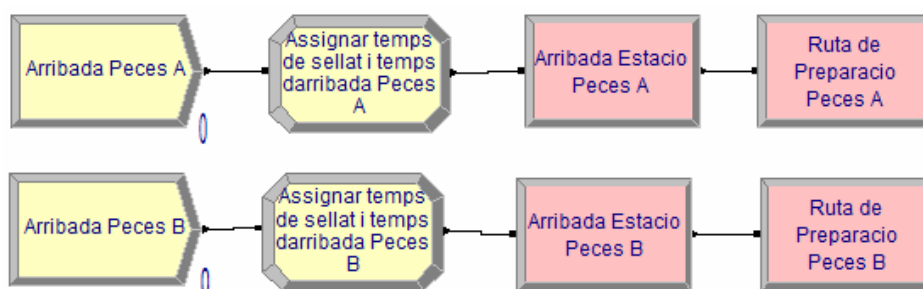
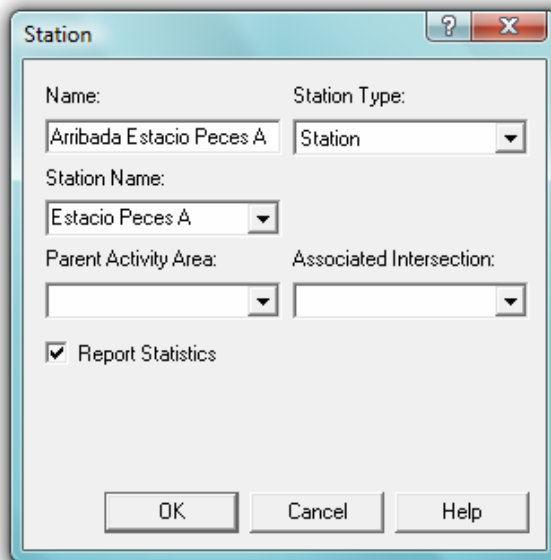


Figura 98

#### 9.4.2.1. Mòdul d'Estació o Station

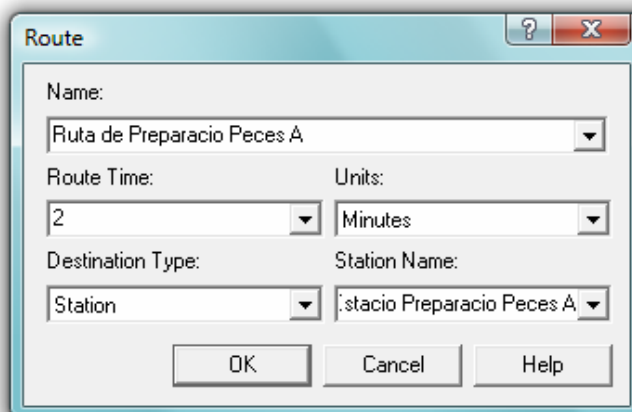
Com es mostra a la figura anterior i centrant-nos en la branca de les peces A, primer s'ha de posar un mòdul *Station*, el qual es troba al panell *Advanced Transfer*, en el que s'hi definirà la ubicació de les peces A, mitjançant el quadre de diàleg següent (Figura 99):



**Figura 99**

#### 9.4.2.2. Mòdul de Ruta o Route

Seguidament s'ha d'afegir una mòdul de ruta (*Route*), (també del panell *Advanced Transfer*), en el qual s'hi ha de fer constar a quina estació es vol que les peces siguin transferides. En aquest cas, les peces hauran de ser enviades cap a l'àrea o estació de preparació de peces A, amb un temps de trasllat de 2 minuts (cal recordar que fins ara aquest trasllat era instantani, no es consumia temps). En el quadre de diàleg d'aquest mòdul de *Route* (Figura 100) s'haurà d'assignar un nom a la ruta, la quantitat de temps i unitats del trasllat, que el destí és una estació i el nom de l'estació en concret a la qual van destinades les peces.



**Figura 100**

9.4.2.3. Addició de totes les rutes lògiques

De la mateixa manera també s'ha d'afegir un mòdul *Station* i un mòdul *Route* en el flux de les peces B.

Seguidament s'han de modificar les àrees de preparació de les peces, tal i com es mostra a la figura següent (Figura 101):

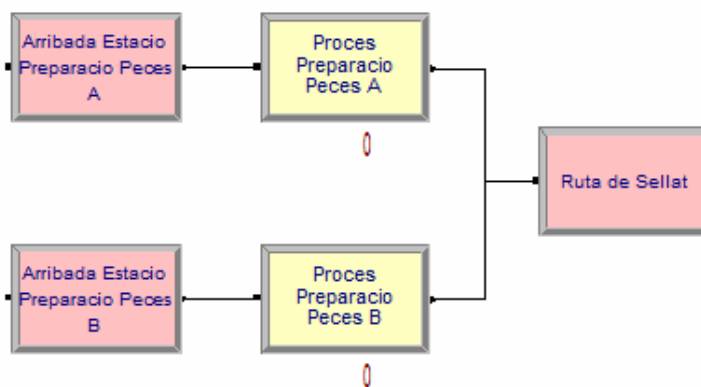


Figura 101

Es poden observar dos mòduls que precedeixen els mòduls de procés, els quals són mòduls d'estacions que defineixen les noves ubicacions. En aquests mòduls s'hi ha de posar, com els realitzats anteriorment, un nom del mòdul i un nom de l'estació. A continuació dels mòduls de procés s'afegirà un mòdul de ruta, en el qual s'hi connectaran els dos mòduls de preparació. El nom de la ruta serà "Ruta de sellat", i l'estació de destí serà l'"Estació de sellat".

De la mateixa manera s'anirà modificant la resta del model, afegint mòduls d'estació i de ruta a cada àrea. Es crearan les estacions de Sellat, de Recuperació, de peces Acceptades, Recuperades i Rebutjades; amb les seves corresponents rutes (Figura 102 i Figura 103).

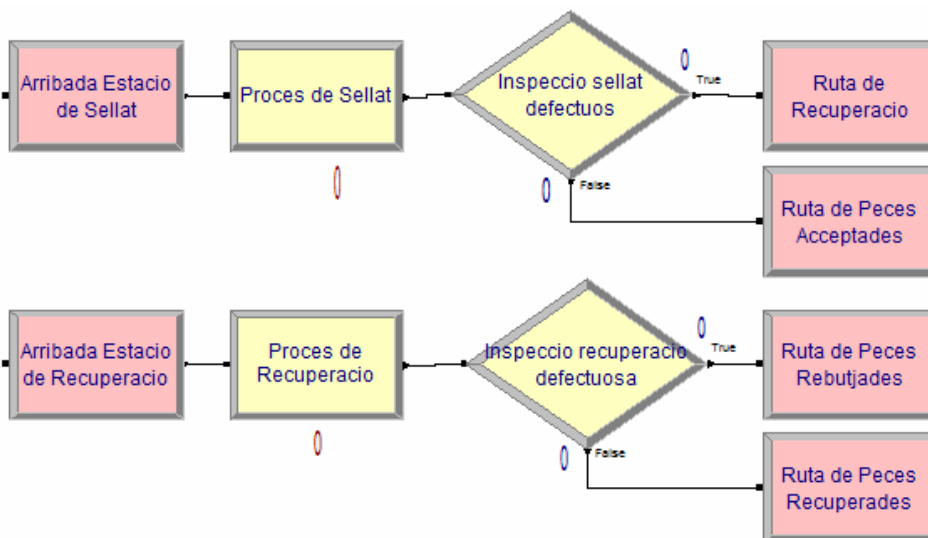


Figura 102

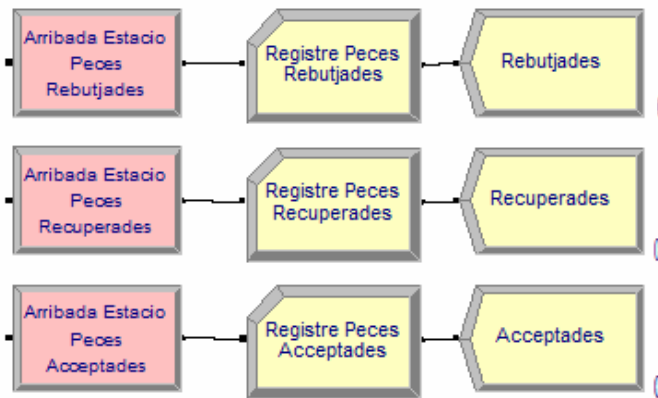


Figura 103

Arribats en aquest punt, el model es pot simular correctament, tot i que no s'observaran diferències en l'animació respecte els models anteriors; excepte que alguna cua es pugui fer més llarga degut a que s'han afegit els temps de transferència entre estacions.

### 9.4.3. Modificació de l'animació

Seguidament es modificarà l'animació creada fins al moment, tot introduint l'animació de les estacions i de les rutes de transferència d'entitats. D'altra banda, també es farà un matís en l'animació de l'arribada de les peces B.

#### 9.4.3.1. Animació d'Estacions

Primerament s'han d'afegir les "marques d'estacions". Això es fa prement el botó *Station* que es troba a la barra d'eines *Animate Transfer* (Figura 104).



Figura 104

S'obrirà un quadre de diàleg el qual s'ha d'omplir posant el nom de l'estació (Figura 105):

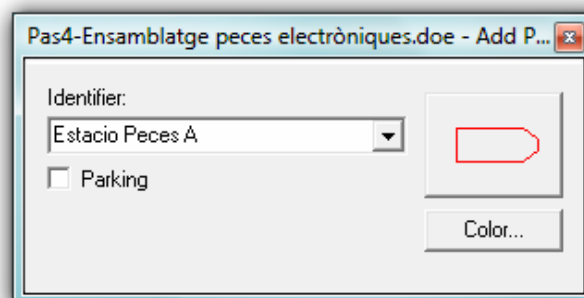


Figura 105

A continuació s'ha de tancar el quadre de diàleg i llavors posicionar aquesta animació al model. De la mateixa manera es col·loca una altra estació (l'“Estació Preparació Peces A”). D'aquesta manera ja es tenen les dues primeres estacions ubicades, en les quals s'hi ha d'afegir el camí de la ruta.

#### 9.4.3.2. Animació de Rutes


Per l'addició de rutes s'ha de prémer el botó *Route* (  ) de la barra d'eines. S'obrirà un quadre de diàleg el qual es tancarà ignorant els noms de les estacions que apareixen. Es dibuixarà, al model, el camí entre les dues estacions (Figura 106).



Figura 106

#### 9.4.3.3. Addició de totes les Estacions i Rutes

De la mateixa manera que s'ha descrit en els apartats anteriors, s'han d'anar col·locant estacions i unir-les utilitzant les rutes. S'ha de tenir en compte que a les àrees de preparació, de sellat i de recuperació, s'hi han de posar dues “marques d'estació” amb el mateix nom. Una d'aquestes a la part esquerra de l'àrea que significa l'entrada de les peces, i una a la dreta, que significa la sortida. El model ha de quedar semblant al que es mostra a la figura següent (Figura 107):

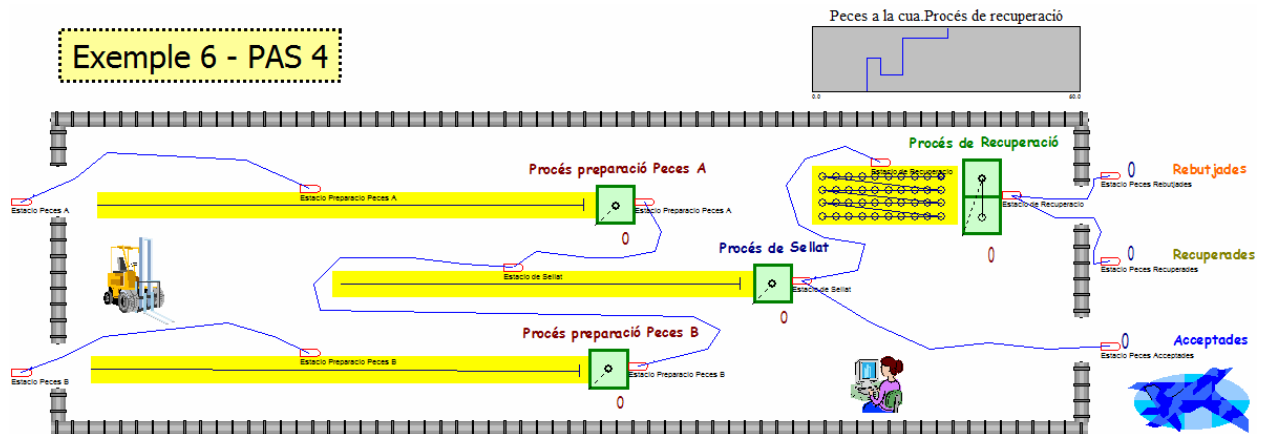


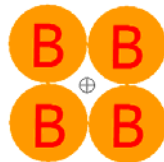
Figura 107

#### 9.4.3.4. Modificació de l'animació de l'arribada de les Peces B

Finalment hi ha un petit detall a afegir. Cal recordar que les peces del tipus B arriben al sistema en grups de 4. Si es dur a terme una simulació, es pot veure que les peces B arriben d'una en una a la cua i al arribar a la cua es converteixen en quatre entitats. Per a fer més real aquestes arribades cal que en l'animació de la simulació es vegi que arriben quatre entitats.

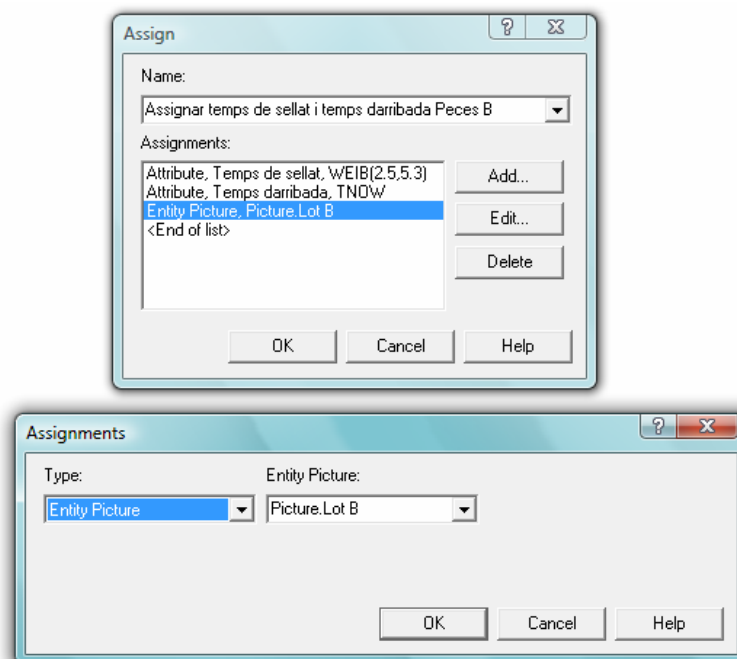
Per a aconseguir això s'han de seguir els passos següents:

- Anar a *Edit > Entity Pictures*.
- Fer una còpia del dibuix de la peça B i anomenar-la, per exemple, "Picture.Lot B".
- Fer un doble clic al dibuix i editar-lo de manera que quedi un dibuix com el que es mostra a continuació (Figura 108):



**Figura 108**

Una vegada creat el dibuix, s'ha de fer que aquest dibuix es mostri entre l'arribada de les peces B i l'arribada a l'estació de preparació de les peces B. Això es farà afegint una nova assignació al mòdul *Assign* "Assignar temps de sellat i temps d'arribada Peces B". Aquesta nova assignació serà del tipus *Entity Picture* i a la casella de la dreta s'haurà d'apuntar el nom de la nova imatge creada (Figura 109).



**Figura 109**

Per tal que aquesta imatge no es mostri durant tota la simulació, s'haurà d'afegir un nou mòdul *Assign*, anomenat, per exemple, "Assignar Imatge". Aquest mòdul es col·locarà després del mòdul d'estació "Arribada Estació Preparació Peces B" i abans del mòdul de procés "procés preparació Peces B". En aquest mòdul *Assign* s'hi crearà una assignació del tipus *Entity Picture* en la que s'escollirà com a dibuix l'anomenat "Picutre.Peces B".

Ara al fer la simulació es pot veure que les peces B arriben al sistema en grups de quatre, i quan arriben a la cua es separen en peces individuals.

## 9.5. Conclusions

Arribats a aquest punt, es pot donar per acabada la construcció d'aquest model, el qual s'ha anat construint pas a pas fins a obtenir un model molt semblant a la realitat, tant de funcionament com d'aspecte (Figura 110).

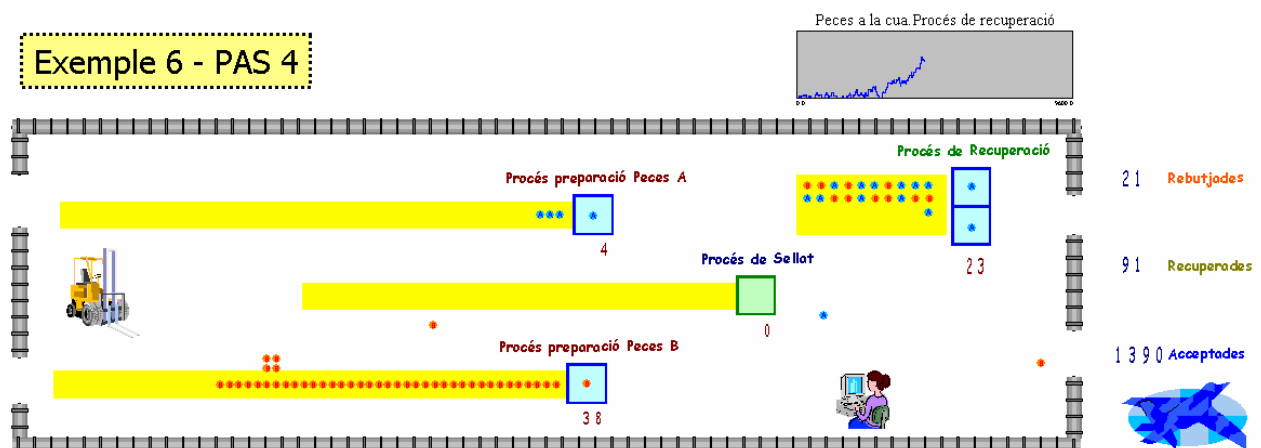


Figura 110

Aquest exemple ha permès l'estudi a fons d'un sistema bastant més complex que els vistos fins a aquest punt. En el desenvolupament d'aquest exemple s'han anat introduint nombrosos conceptes nous tals com:

- Mòduls nous: *Assign*, *Record*, *Schedule*, *Failure*, *Statistic*, *Station* i *Route*
- Personalització de l'animació de les entitats, de les cues i dels recursos
- Creació de rutes
- Anàlisi acurat dels informes



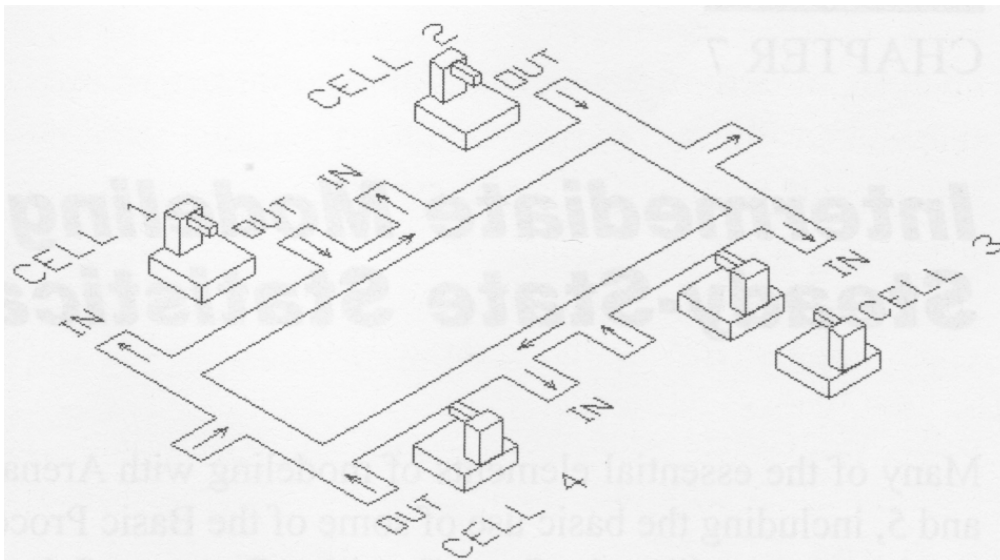
## 10. MODELATGE INTERMEDI DE SISTEMES (II)

En aquest apartat es veuran:

- Seqüències d'entitats
- Més detalls sobre el modelat dels processos
- I s'avançarà en l'animació dels models

### 10.1. Exemple 7: Un petit sistema de fabricació

El disseny del petit sistema de fabricació a modelar es mostra a la figura següent (Figura 111):



**Figura 111**

Característiques del sistema:

- El sistema consisteix en una arribada de peces, quatre cèl·lules de fabricació i una sortida de peces.
- Les cèl·lules 1, 2 i 4 tenen una sola màquina, a diferència de la cèl·lula 3, que en té dues.
- Les dues màquines de la cèl·lula 3 no són iguals; una és un nou model la qual pot processar peces en el 80% del temps que utilitzen les màquines més antigues.
- El sistema produeix tres tipus de peces diferents, les quals segueixen una seqüència diferent a través de les estacions.

- Els passos que segueixen les peces i els temps de procés es donen a la Taula 9. Tots els temps de procés segueixen una distribució triangular. Remarcar que a la Taula 9, els temps de la cèl·lula 3 fan referència a la màquina més vella (la més lenta).

Tipus de Peces	Cèl·lula/Temps	Cèl·lula/Temps	Cèl·lula/Temps	Cèl·lula/Temps	Cèl·lula/Temps
1	1	2	3	4	
	6, 8, 10	5, 8, 10	15, 20, 25	8, 12, 16	
2	1	2	4	2	3
	11, 13, 15	4, 6, 8	15, 18, 21	6, 9, 12	27, 33, 39
3	2	1	3		
	7, 9, 11	7, 10, 13	18, 23, 28		

**Taula 9**

- El temps entre arribades de les successives peces és exponencial amb una mitjana de 13 minuts; la primera peça arriba en l'instant 0.
- La distribució per tipus de les arribades de les peces és: 26% peces 1; 48% peces 2; i 26% peces 3.
- Les peces entren per l'esquerra i surten per la dreta, i es mouen a través del sistema només en sentit horari.
- El temps de trasllat entre dues cèl·lules serà de 2 minuts (sense tenir en compte la distància).
- Pel que fa als resultats, es voldran recollir estadístics de la utilització dels recursos, temps i nombre de peces a la cua, com també el temps de cicles per cada peça.
- Es farà una simulació de 32 hores.

### 10.1.1. Mòduls de dades

Primerament, s'hauran de definir i crear variables utilitzant un seguit de mòduls de dades, molts d'ells no vistos fins ara.

#### 10.1.1.1. El mòdul de dades de Seqüències o *Sequence*

El mòdul de dades *Sequence* es troba al panell *Advanced Transfer*. La primera seqüència a crear s'anomenarà "Planificacio Proces Peces 1". En aquesta, s'han d'afegir els passos que hauran de seguir les peces del tipus 1. Les estacions que hauran de recórrer són: "Celula 1", "Celula 2", "Celula 3", "Celula 4" i "Sortida del Sistema". En cadascun d'aquest passos s'hi ha de posar un nom, com per exemple: "Pas 1 Peces 1" fins a "Pas 5 Peces 1" (Figura 112). A més, a cada pas se li ha d'assignar el temps corresponent tal i com s'ha indicat anteriorment a la Taula 9; excepte els passos de la cèl·lula 1 i els de sortida del sistema.

Els passos de la cèl·lula 1 no s'assignaran en aquest mòdul per així poder veure una altra manera d'assignar els temps de processat utilitzant un altre tipus de mòdul (apartat 10.1.1.2).

The screenshot displays the 'Sequence - Advanced Transfer' interface with three overlapping windows:

- Sequence - Advanced Transfer (Top):** A table with 3 rows and 3 columns.
 

	Name	Steps
1	Planificacio Proces Peces 1	5 rows
2	Planificacio Proces Peces 2	6 rows
3	Planificacio Proces Peces 3	4 rows
- Steps (Middle):** A table with 5 rows and 5 columns.
 

	Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1	Celula 1	Pas 1 Peces 1		0 rows
2	Celula 2	Pas 2 Peces 1		1 rows
3	Celula 3	Pas 3 Peces 1		1 rows
4	Celula 4	Pas 4 Peces 1		1 rows
5	Sortida del Sistema	Pas 5 Peces 1		0 rows
- Assignments (Bottom):** A table with 1 row and 4 columns.
 

	Assignment Type	Attribute Name	Value
1	Attribute	Temps de Proces	TRIA(5,8,10)

Double-click here to add a new row.

Figura 112

10.1.1.2. Mòdul de dades d'Expressions o *Expression*

Aquest mòdul serà el que s'utilitzarà per assignar els temps de la cèl·lula 1.

Per fer això s'utilitzarà el mòdul de dades *Expression* del panell *Advanced Process*. L'expressió s'anomenarà "Temps celula 1", i s'hi definirà el temps de procés d'aquesta cèl·lula per a cada tipus de peça (Figura 113).

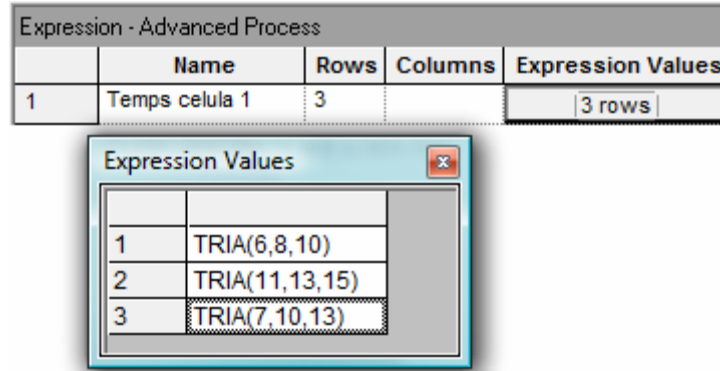


Figura 113

10.1.1.3. Mòdul de dades de Variables o *Variable*

A continuació s'utilitzarà el mòdul de dades *Variable* del panell *Basic Process*, en el que s'hi definiran els factors de les dues velocitats de la màquina de la cèl·lula 3, com també el temps de transferència de les peces. Cal recordar que els temps entrats al mòdul de dades de Seqüències de la cèl·lula 3 corresponen a la màquina més vella.

En aquest mòdul es farà referència a la nova màquina com a 1 i a la màquina vella com a 2. Així doncs, el valor del primer factor serà de 0,8 (per la màquina nova) i el segon factor de 1,0 (per la màquina vella). A continuació s'inclou la variable "Temps de Trasllet", el valor de la qual serà de 2. L'avantatge de crear el temps de trasllat en aquest mòdul és que si varia el temps, per exemple passa de 2 a 3 minuts, no serà necessari que es canviï el valor a cada ruta; tan sols s'haurà de canviar aquí (Figura 114).

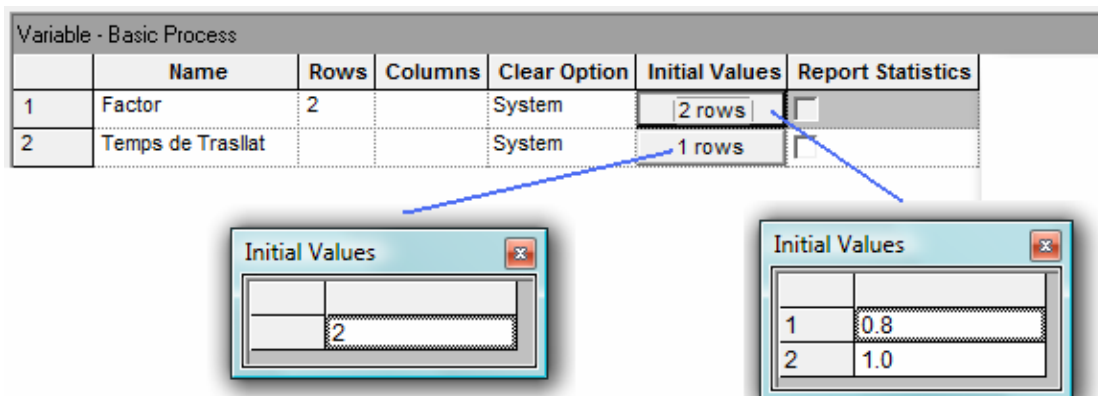


Figura 114

#### 10.1.1.4. Mòdul de dades Set

D'altra banda s'haurà d'utilitzar un nou mòdul de dades anomenat *Set*, del panell *Basic Process*, el qual servirà per a definir conjunts com: les dues màquines de la cèl·lula 3, les imatges de les peces, i els tres tipus d'entitats.

- El primer conjunt a crear, doncs, és un conjunt de recursos anomenats "Maquines celula 3", el qual conté dos membres: "M Nova celula 3" i "M Vells celula 3" (Figura 115).
- El conjunt d'imatges de les entitats serà anomenat "Imatges Peces" i contindrà tres membres: "Picture.Peces 1", "Picture.Peces 2" i "Picture.Peces 3".
- Finalment el conjunt de tipus d'entitats serà anomenat "Tipus Entitats" en el que hi constaran tres membres: "Peces 1", "Peces 2" i "Peces 3".

Set - Basic Process			
	Name	Type	Members
1	Maquines celula 3	Resource	2 rows
2	Imatges Peces	Entity Picture	3 rows
3	Tipus Entitats	Entity Type	3 rows

**Figura 115**

En aquest punt faltaria entrar un altre tipus de conjunt, el de les planificacions o seqüències de les peces. Amb el mòdul de dades de *Set* aquesta opció no és possible, ja que en el desplegable de la columna *Type* no n'apareix cap d'adequat. És per això que s'ha d'anar al panell *Advanced Process* on s'hi troba el mòdul de dades *Advanced Set*.

#### 10.1.1.5. Mòdul de dades Advanced Set

Aquest mòdul dona altres opcions com a *Set Type's*. S'escollirà la opció *Other* la qual permet crear conjunts diferents als altres tipus que s'ofereixen. S'utilitzarà aquesta opció per entrar el conjunt anomenat "Seqüències de les Peces", el qual tindrà tres membres: "Planificacio Proces Peces 1", "Planificacio Proces Peces 2" i "Planificacio Proces Peces 3".

### 10.1.2. Ajust de les condicions de simulació i animació de les entitats

Abans de crear la distribució dels mòduls, cal anar al quadre de diàleg *Run>Setup* i introduir la llargada de les simulacions (32 hores) i les unitats de temps base (minuts). S'anirà també a *Edit>Entity Picture* en el que es crearan les tres imatges pels tres tipus de peces que hi ha. En concret, per a les peces 1 la imatge serà una bola blava amb el número 1 a l'interior, per a les peces 2 el mateix però amb la bola de color vermell, i per últim les peces 3 de color verd.

### 10.1.3. Modelatge del model

Bàsicament el modelatge consisteix en modelar l'arribada de les peces, les cèl·lules i les sortides de les peces. Per a les arribades de les peces el modelat haurà de ser com es mostra a la figura següent (Figura 116):

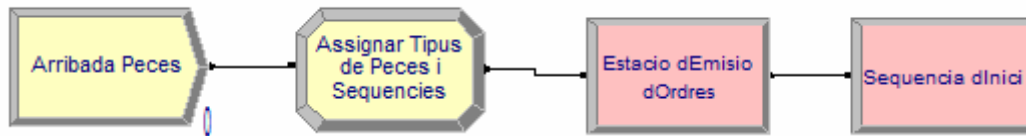


Figura 116

> En el mòdul Create s'ha d'utilitzar una distribució *Random (Expo)* amb mitjana de 13 minuts.

> En aquest punt s'han d'associar varis atributs a cada entitat que arriba sistema. Això es farà amb el mòdul Assign com es mostra la figura següent (Figura 117).

Aquest mòdul servirà per a determinar varies coses:

- Determinar quin tipus de peça és la que arriba, segons una proporció definida, "Proporcio Peces".
- En funció del tipus de peça que se li hagi assignat, se li associarà:
  - o Una seqüència
  - o El nom del tipus d'entitat
  - o I una imatge

Primer, doncs, es definirà la proporció de peces, o tipus de peces, utilitzant una distribució discreta (s'utilitza aquesta distribució ja que totes les entitats quan entren tenen la mateixa probabilitat de ser peça 1, peça 2 o peça 3). La distribució permetrà indicar certs valors amb una probabilitat. En aquest cas seran valors enters de 1, 2 i 3, amb unes probabilitats de 26%, 48% i 26%, respectivament. S'han d'entrar aquests valors en parelles i fent l'acumulat amb els percentatges.

Seguidament, s'assignarà la seqüència apropiada segons el tipus de peça amb l'atribut *Entity.Sequence*. S'utilitzarà "Proporcio Peces" com a un índex de "Seqüències Peces".

Es necessita també, associar el tipus d'entitat i la imatge per a cada peça que arriba, utilitzant l'atribut "Proporcio Peces".

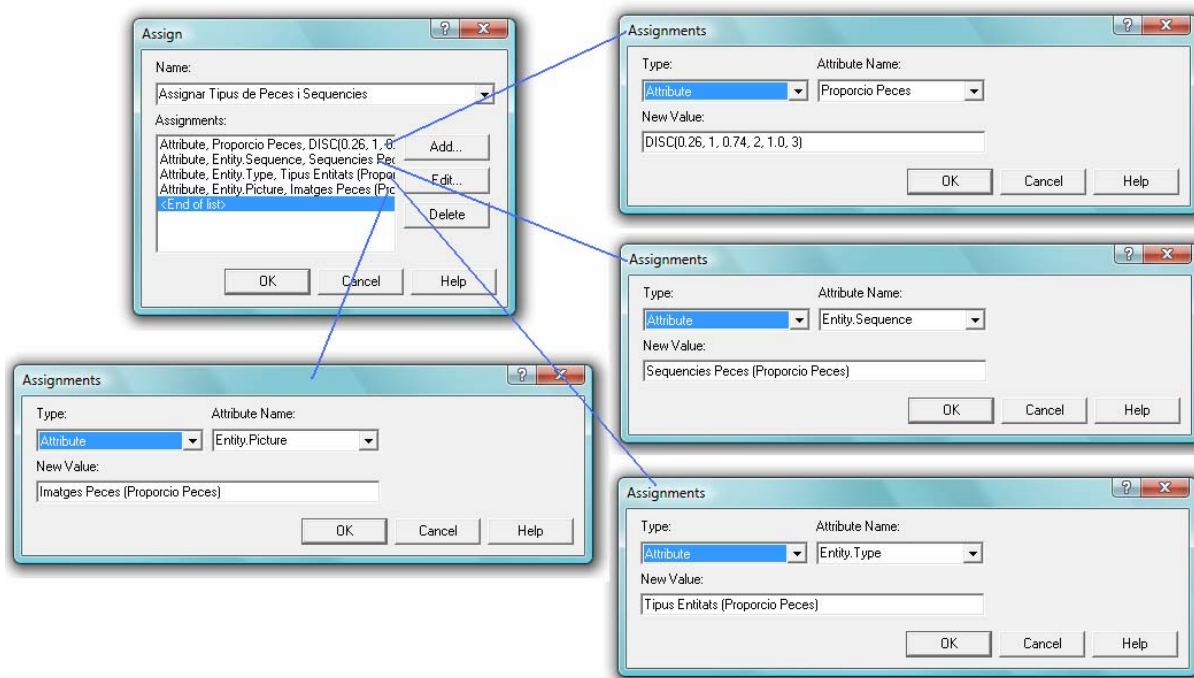


Figura 117

> Seguidament cal col·locar un mòdul Station (Figura 118).

Station - Advanced Transfer			
	Name	Station Type	Station Name
1	Estacio dEmisio dOrdres	Station	Emisio dOrdres

Figura 118

> I finalment s'hauran de marcar les rutes que han de seguir les peces. Per això es posarà un mòdul Route, el que conduirà les entitats cap a les estacions que, segons les seqüències assignades, han d'anar a continuació. S'ha de marcar el temps de trasllat entre estacions, cosa que s'ha definit anteriorment mitjançant la variable "Temps de Trasllet". El tipus de destinació no serà una estació com en els exemples anteriors; s'ha d'escollir *By Sequence*, ja que el destí de cada peça dependrà del tipus de peça que sigui, la qual se l'hi ha assignat una seqüència de moviments específica (Figura 119).

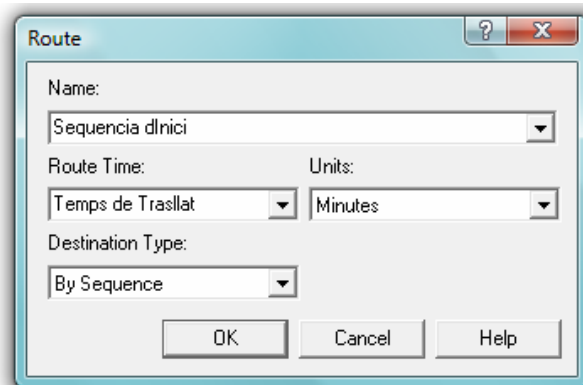


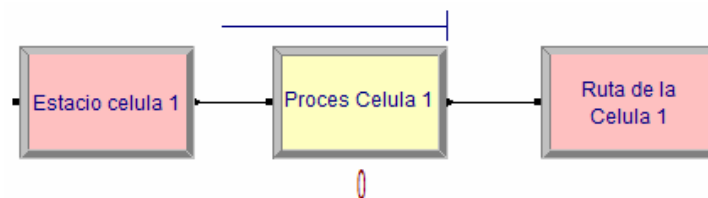
Figura 119

Una vegada les peces han arribat al sistema van a les cèl·lules de fabricació. Per tant, ara s'hauran de modelar aquestes cèl·lules.

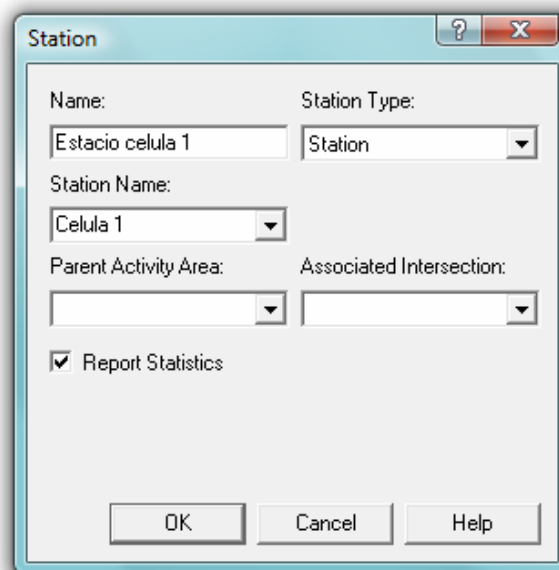
En concret hi ha quatre cèl·lules les quals es modelaran d'una manera molt semblant:

- Arribada de les peces a la cèl·lula (modelat per un mòdul *Station*)
- Mòdul *Process* on són processades
- I enviament de les peces al següent pas de la seva seqüència (amb un mòdul *Route*)

Per això s'utilitzaran els mòduls: *Station* – *Process* – *Route*, com es mostra a les figures següents (Figura 120, Figura 121 i Figura 122):



**Figura 120**



**Figura 121**



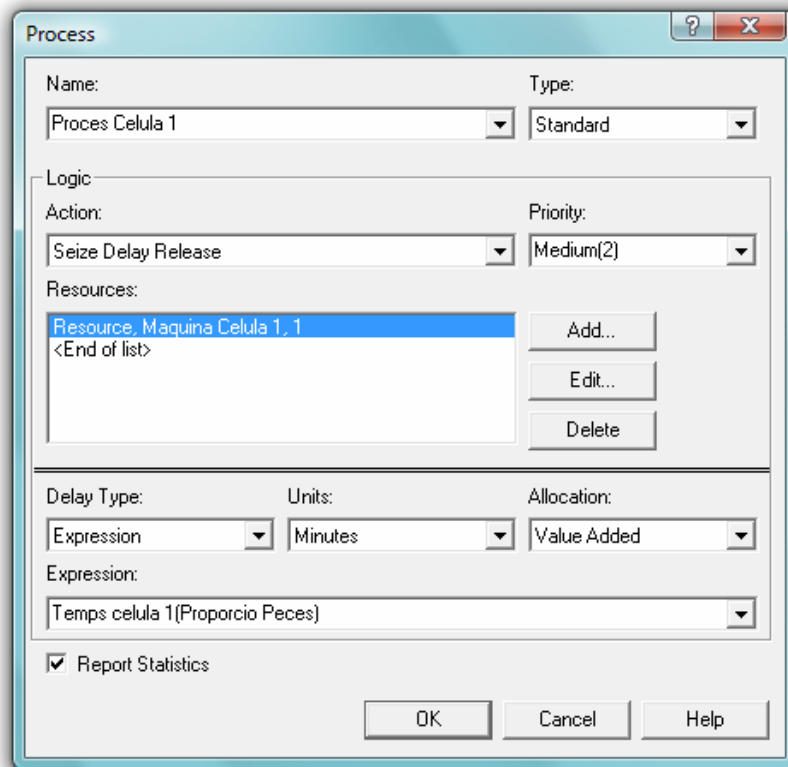


Figura 122

Aquesta manera diferent d'assignar els temps de procés ha permès poder modelar correctament la cèl·lula 2, ja que les peces del tipus 2 visiten la cèl·lula 2 dues vegades, i segons si és la primera vegada o la segona que es processen en aquest mòdul, el temps de procés és diferent. Amb la relació que s'ha establert amb les seqüències, el sistema "sap" si és la primera vegada que la peça ha passat per la cèl·lula 2, o, si pel contrari, és la segona.

Pel que fa a la cèl·lula 3, hi ha dues màquines diferents. Si les màquines fossin idèntiques, s'hauria d'utilitzar un sol recurs amb una capacitat de 2. En l'exemple s'han agrupat aquestes dues màquines en el mòdul Set anomenat "Maquines Celula 3".

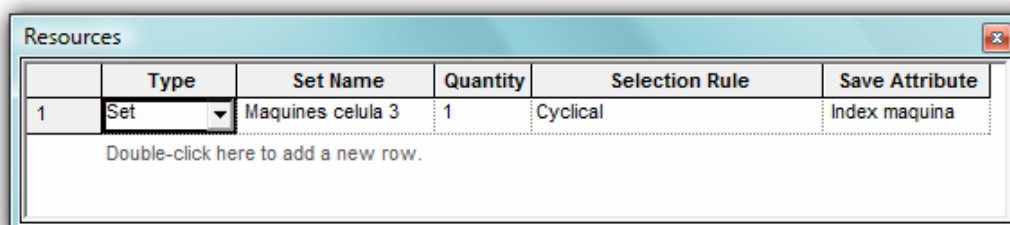


Figura 123

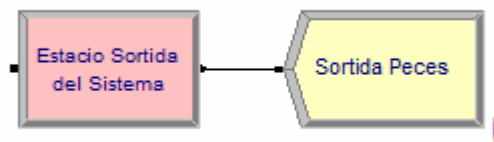
A la secció de *Resource* (Figura 123) es selecciona:

- *Set* com a tipus de recurs
- Com a *Set Name* "Maquines Celula 3".
- Com a *Selection Rule* s'acceptarà el que apareix per defecte *Cyclical*, amb el que els dos recursos seran seleccionats alternativament; tot i que si només un està disponible, aquest és el que serà seleccionat.
- En la opció de *Save Attribute* es posarà el nom de "Index Maquina"; de tal manera que si es selecciona la màquina nova, en aquest atribut li serà assignat el valor de 1; i si és seleccionada la màquina vella, el valor de l'atribut serà de 2. Això és així ja que es basen en l'ordre amb el qual s'han introduït els recursos quan s'ha definit el conjunt de màquines. L'expressió del temps d'utilització per el nostra atribut "Temps de Proces", assignat per les seqüències, ha de ser multiplicat per la variable "Factor (Index Maquina)" (Figura 124).

Process - Basic Process									
	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Expression
1	Proces Celula 1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Temps celula 1(Proporcio Peces)
2	Proces Celula 2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Temps de Proces
3	Proces Celula 3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Temps de Proces * Factor(Index maquina)
4	Proces Celula 4	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Temps de Proces

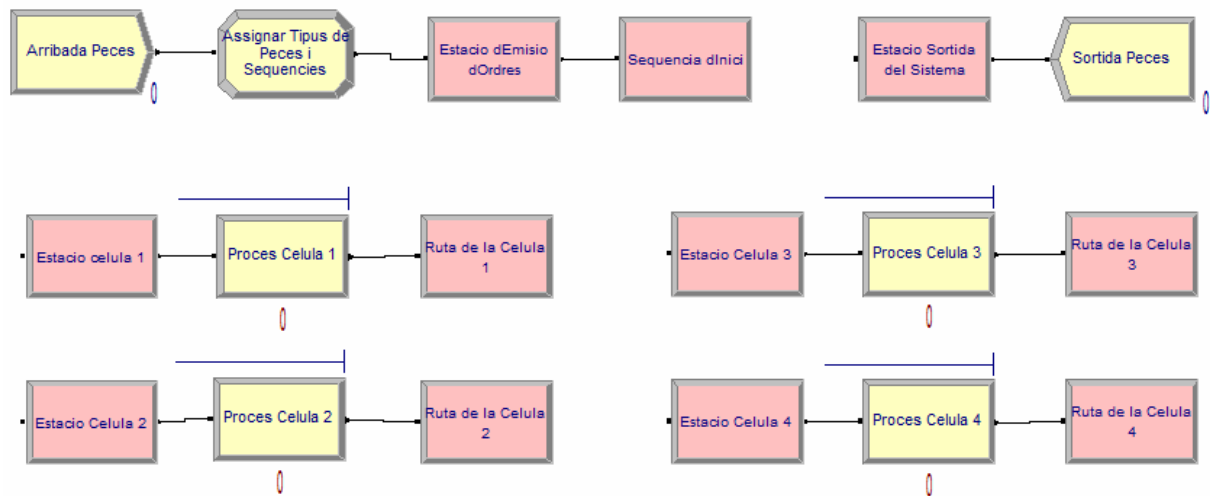
**Figura 124**

Arribats a aquest punt, resta definir el sistema de sortida de les peces en el model. S'utilitzaran els mòduls següents (Figura 125):



**Figura 125**

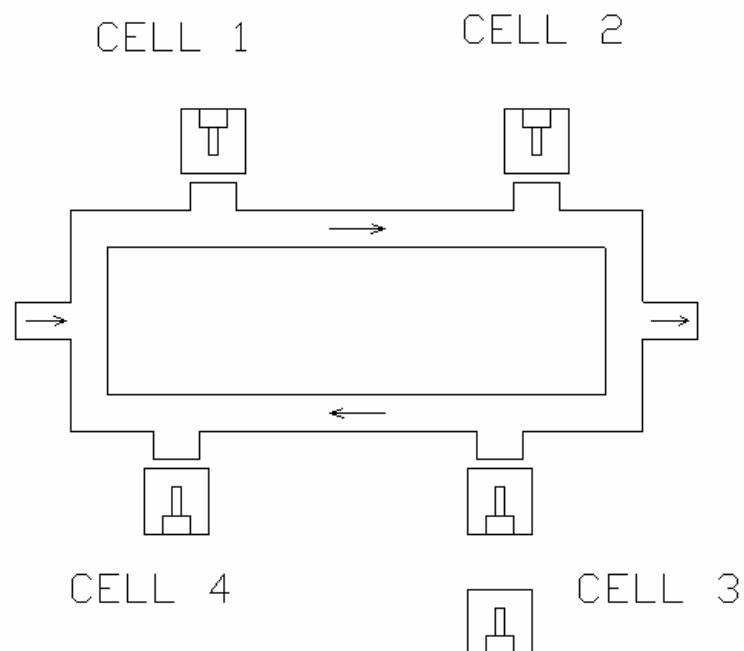
El modelatge complet del sistema es mostra a la figura següent (Figura 126):



**Figura 126**

#### 10.1.4. Animació

L'Arena permet, com a element d'animació, importar un dibuix d'AUTOCAD guardat amb format DXF. En aquest cas n'hi ha un de creat que s'anomena "Model 07-01.dxf". Per importar el dibuix s'ha d'anar a *File > DXF Import*. Al importar el dibuix aquest no es veu ja que les línies són blanques. S'ha de seleccionar i canviar-ne el color de les línies. Amb aquest dibuix es pot començar a crear l'animació d'aquest petit sistema de fabricació (Figura 127).



**Figura 127**

El dibuix s'enganxa com un conjunt. Per a la creació de l'animació cal eliminar les fletxes i les lletres. És per això que s'ha de convertir el dibuix en tot un conjunt d'elements. S'ha de fer un clic dret al damunt del dibuix i escollir la opció *Ungroup*.

Seguidament s'han de seguir els passos següents:

- Agafar la cua de la cèl·lula 1 i arrossega-la fins a col·locar-la al costat del dibuix de la cèl·lula 1.
- Transformar els dibuixos de les cèl·lules en dibuixos dels recursos.
  - o Seleccionar el dibuix, per exemple, de la cèl·lula 1
  - o Fer un "copiar".
  - o Anar al botó *Resource*
  - o Copiar la icona del dibuix de *Idle*
  - o Fer doble-clic en un d'ells i enganxar el que s'havia copiat.
  - o Amb l'editor de dibuix, donar el format desitjat a aquest dibuix.
  - o Una vegada creat el dibuix es copia a la llibreria
  - o Llavors s'ha de copiar també com a símbol de la icona *Busy*.
- S'han d'anar esborrant els dibuixos de les cèl·lules de l'esquema i col·locant les animacions dels recursos que s'han creat, tenint en compte que s'ha d'anar canviant el nom segons la màquina que es tracti. Tenir en compte, també, que les màquines de les cèl·lules 3 i 4 tenen el dibuix al revés de les altres.
- A continuació s'han de col·locar les diferents estacions; un total de 6.
- I finalment s'han de posar les rutes.

Amb tot això, s'ha d'obtenir una animació del model semblant a la següent (Figura 128):

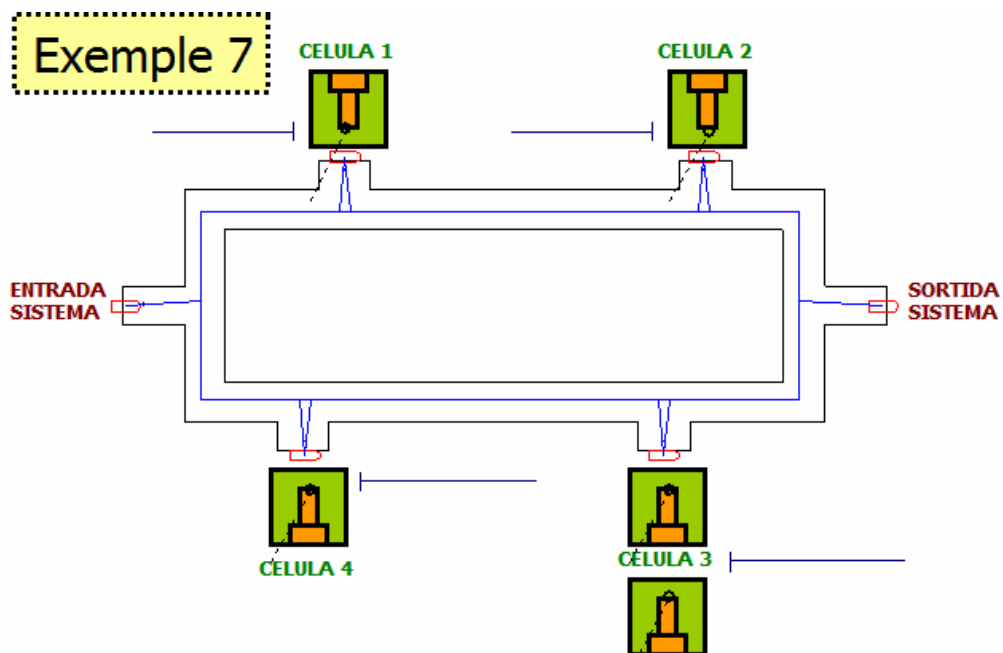


Figura 128

Al dibuixar les rutes s'han de tenir en compte totes les rutes possibles que han de seguir les peces, i que sempre han d'anar en sentit horari. Per exemple, hi ha d'haver una ruta de la cèl·lula 1 cap a la cèl·lula 2, i una altra de la cèl·lula 2 cap a la cèl·lula 1. En total s'hauran de crear 11 rutes. Cal recordar que cada trasllat tarda 2 minuts, sense tenir en compte la distància del recorregut.

En la simulació d'aquest model s'ha d'obtenir una animació semblant al de la figura següent (Figura 129):

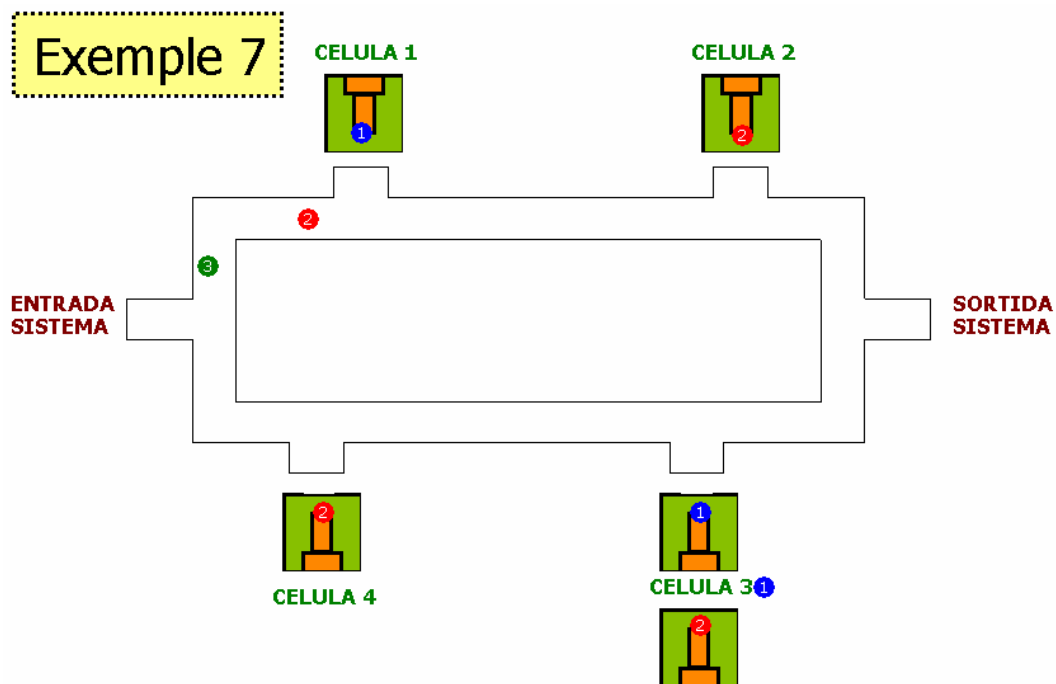


Figura 129

### 10.1.5. Verificació

Aquest procés és per assegurar que el model creat funciona de manera correcta.

En els models plantejats al projecte pot ser que no hi hagin sorgit moltes dificultats. Quan apareixen dificultats és al haver de modelar casos reals. En aquests casos és difícil d'estar segur que el model és correcta al 100%.

Maneres per verificar els models:

- Una manera fàcil de fer una verificació és simular una sola entitat i utilitzar el botó de simulació *Step* per anar veient els diferents passos de l'entitat a través del sistema. Pel model de l'exemple, al camp de *Max Arrivals* del mòdul *Create* es pot posar el valor de 1. Llavors es pot canviar la distribució que determina el tipus de peça del mòdul *Assign*

per obtenir un tipus de peça específic i controlar-ne la seva seqüència. Fer aquest procés per a cada tipus de peça.

- Si el sistema modelat amb l'Arena es vol utilitzar per a prendre decisions en un sistema real, és aconsellable fer canvis en el model per veure com treballaria en condicions extremes. Per exemple, incrementar o augmentar el temps entre arribades o els temps de servei. També és aconsellable fer una simulació molt llarga i observar-ne els resultats.

Una altra manera de verificar el model és veure el codi SIMAN. Per veure'l s'ha d'anar a *Run>SIMAN>View*. Amb això obtenir dues finestres, una amb el codi *Model File* (Figura 130) i l'altra amb el codi *Experimental File* (Figura 131).

```

;      Model statements for module: Process 3
;
10$      ASSIGN:      Proces Celula 3.NumberIn=Proces Celula 3.NumberIn + 1:
                          Proces Celula 3.WIP=Proces Celula 3.WIP+1;
138$      QUEUE,      Proces Celula 3.Queue;
137$      SEIZE,      2,VA:
                          SELECT (Maquines celula 3,CYC, Index maquina),1:NEXT(136$);

136$      DELAY:      Temps de Proces * Factor(Index maquina),,VA;
135$      RELEASE:    Maquines celula 3(Index maquina),1;
183$      ASSIGN:      Proces Celula 3.NumberOut=Proces Celula 3.NumberOut + 1:
                          Proces Celula 3.WIP=Proces Celula 3.WIP-1:NEXT(11$);

```

**Figura 130**

En la figura anterior es pot veure una part del llenguatge SIMAN d'un procés de l'exemple 7. En concret s'observa el codi pel mòdul de Procés de la cèl·lula 3. El llenguatge SIMAN fa com una descripció, amb la qual es pot anar seguint per a trobar possibles errors. En l'exemple, una entitat que arriba en aquest mòdul:

- Incrementa el comptador intern del mòdul
- Entra a la cua "Proces Celula 3.Queue"
- Espera a ser agafat (seize) per un recurs del grup "Maquines celula 3"
- Consumeix (delay) el temps de procés (adjudicat segons un factor)
- És alliberada (release) pel recurs
- Fa decreixer el comptador intern del mòdul
- Surt del mòdul.

A la figura següent es pot veure un porció del model SIMAN *Experimental File* en el que es defineixen els tres atributs, les variables i les cues que formen part del sistema de l'exemple 7.

```

ATTRIBUTES:  Index maquina:
              Proporcio Peces:
              Temps de Proces;

VARIABLES:   Proces Celula 1.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Proces Celula 4.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Temps de Trasllat,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"),2:
              Proces Celula 1.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Proces Celula 3.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Proces Celula 2.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
              Proces Celula 3.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Factor(2),CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"),0.8,1.0:
              Proces Celula 4.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
              Proces Celula 1.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
              Arribada Peces.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Proces Celula 2.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Proces Celula 4.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Proces Celula 2.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Sortida Peces.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
              Proces Celula 3.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude");

QUEUES:      Proces Celula 1.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
              Proces Celula 2.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
              Proces Celula 3.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
              Proces Celula 4.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,);

```

**Figura 131**

### 10.1.6. Conclusions

En aquest exemple s'han pogut introduir mòduls de dades no vistos en capítols anteriors (*Sequence, Expression, Variable, Set, Advanced Set*)

S'han introduït les dades de maneres diferents per veure altres eines que pot oferir l'Arena.

Un dels aspectes nous i importants que s'ha tractat, és la seqüència de les entitats.

S'ha introduït, també, el tema de la verificació de models; molt important en el cas de modelatges de sistemes reals.

## 11. CONCLUSIONS

La realització d'aquest projecte, així com els exercicis complementaris a l'Arena, m'han servit per descobrir una eina totalment nova per mi.

Des del meu punt de vista, l'Arena és una eina molt completa la qual pot ser de gran utilitat en el món empresarial, tant per l'estudi de projectes nous, com per la optimització en sistemes ja existents.

El desenvolupament d'aquest projecte m'ha aportat, entre d'altres coses:

- El coneixement d'una eina molt interessant de cara al món professional
- L'aprenentatge de l'elaboració d'una guia pràctica enfocada a la docència
- I, inconscientment fins bastant avançat en el projecte, la capacitat de sintetitzar mentalment processos reals i complexes, és a dir, la capacitat d'estructuració de processos.

Malgrat això, cal destacar que l'aprenentatge del programa ha estat bastant laboriós degut a la quantitat de paràmetres a tenir en compte a l'hora de modelar i simular un sistema. A més, el llibre d'explicació d'aquest programa té un caire narratiu i feixuc, poc esquemàtic i concís com seria més adient i desitjable. El fet que el llibre estigués escrit en llengua anglesa ha afegit més dificultat en la comprensió dels conceptes. És per tot això que en l'elaboració d'aquest projecte s'ha intentat que els conceptes quedessin clars i concisos, amb l'ajuda de figures, taules i esquemes.

Havent, doncs, finalitzat el projecte, resta dir que, en el meu criteri, aquest estudi hauria de tenir un caire continuista, per tal de seguir en la investigació d'aquesta potent eina i aconseguir fer una guia més completa amb l'addició de més conceptes nous. Amb això es podria ensenyar, a futurs alumnes, unes eines més avançades i més coneixements com perquè puguin utilitzar, en les respectives tasques professionals, aquest software de simulació.

I ja sense cap més preàmbul, dir que malgrat l'esforç que ha suposat l'elaboració del projecte, amb l'afegit d'haver-ho de conciliar amb la vida professional, ha segut molt gratificant i enriquidor l'estudi i endinsament en el camp de la simulació i en el *software* Arena.



## 12. BIBLIOGRAFIA

KELTON David W., SADOWSKI Randall P., STURROCK David T. *Simulation with Arena*. Nova York: McGraw-Hill, 2007.

GUASH Antoni, PIERA Miquel Àngel, CASANOVAS Josep, FIGUERAS Jaume. *Modelado y Simulación*. Barcelona: Edicions UPC, 2002.

MARTÍN, Ana C. *Tutorial Arena 6.0*, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga

[http://www.lalibreriadelau.com/catalog/product\\_info.php/products\\_id/623](http://www.lalibreriadelau.com/catalog/product_info.php/products_id/623)

[www.descartes.cnice.mecd.es/bach\\_HCS\\_2/distribuciones\\_probailidad/dis\\_continuas.htm](http://www.descartes.cnice.mecd.es/bach_HCS_2/distribuciones_probailidad/dis_continuas.htm)

[http://nutriserver.com/cursos/Bioestadística/distribuciones\\_continuas.html](http://nutriserver.com/cursos/Bioestadística/distribuciones_continuas.html)

Apunts de l'assignatura *Tecnologies d'Automatització Industrial*, Universitat de Vic. Mòdul 7

### 13. ANNEX

Com a Annex d'aquest projecte es presenta un CD el qual conté els exemples de l'Arena que es van treballant durant el projecte. A les figures següents es mostra una vista general del model de cadascun dels exemples:

- Exemple 1: Procés simple de tornejat (Figura 132)
- Exemple 2: Caixa de supermercat (Figura 133)
- Exemple 3: Financera (Figura 134)
- Exemple 4: Procés de revisió de sol·licituds en sèrie (Figura 135)
- Exemple 5: Procés de revisió de sol·licituds en paral·lel (Figura 136)
- Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 1 (Figura 137)
- Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 2 (Figura 138)
- Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 3 (Figura 139)
- Exemple 6: Ensamblatge i prova de peces electròniques - PAS 4 (Figura 140)
- Exemple 7: Un petit sistema de fabricació (Figura 141)

**Exemple 1**  
**Procés simple de tornejat**

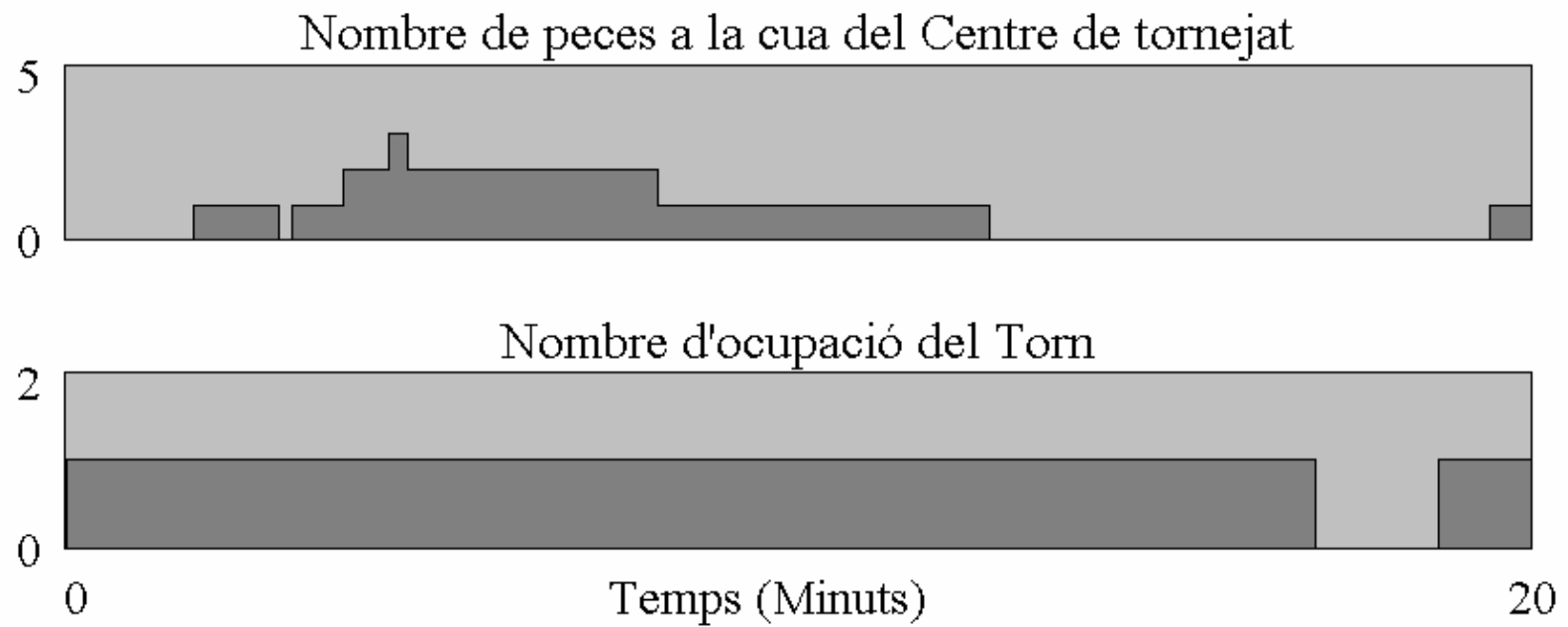
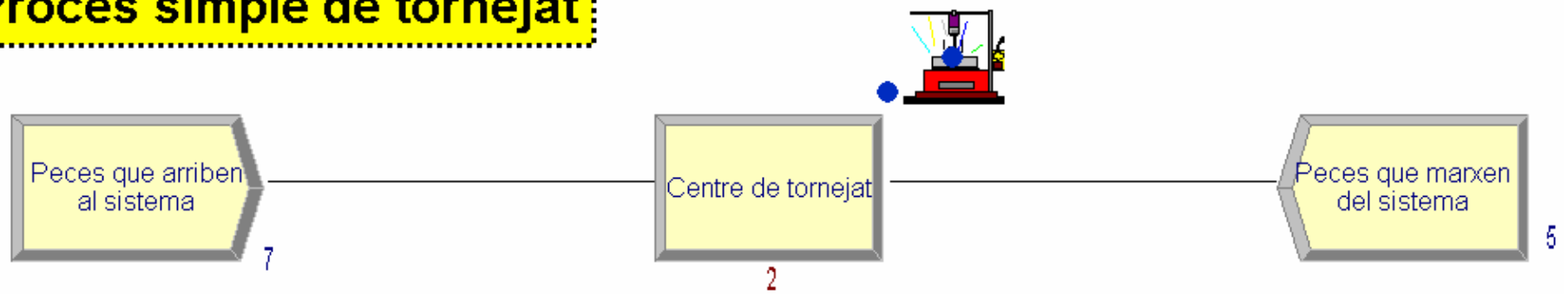
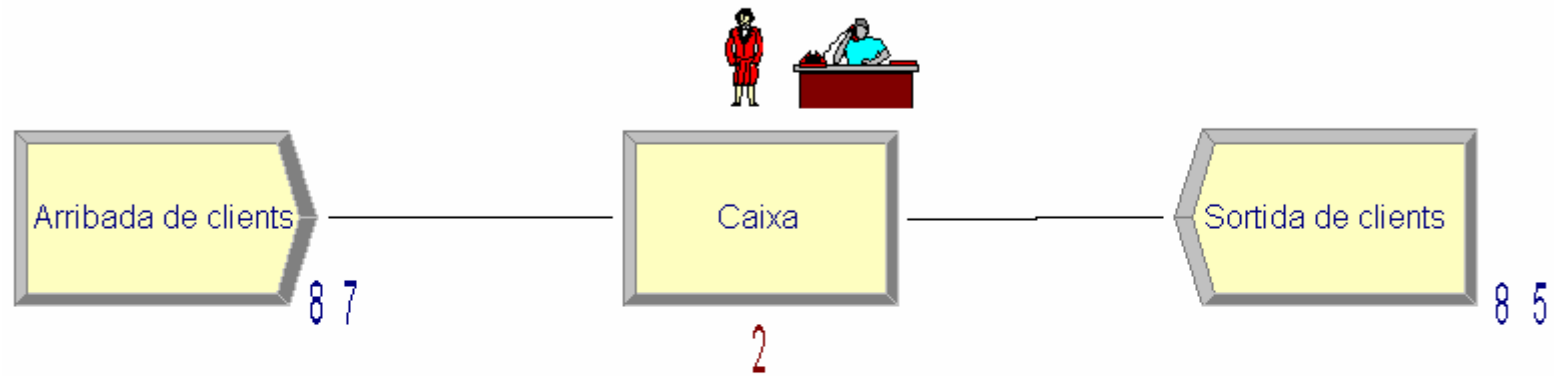
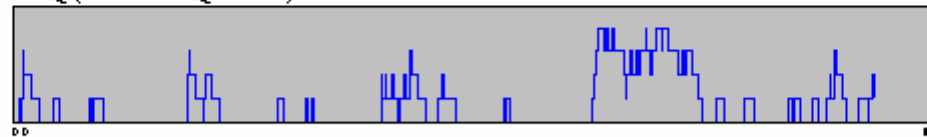


Figura 132

**Exemple 2**  
**Caixa de supermercat**



NQ(Caixa.Queue)



NR(Caixera)

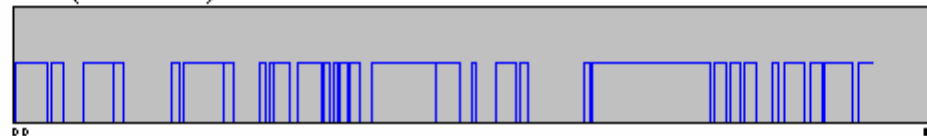


Figura 133

**Exemple 3  
Financera**

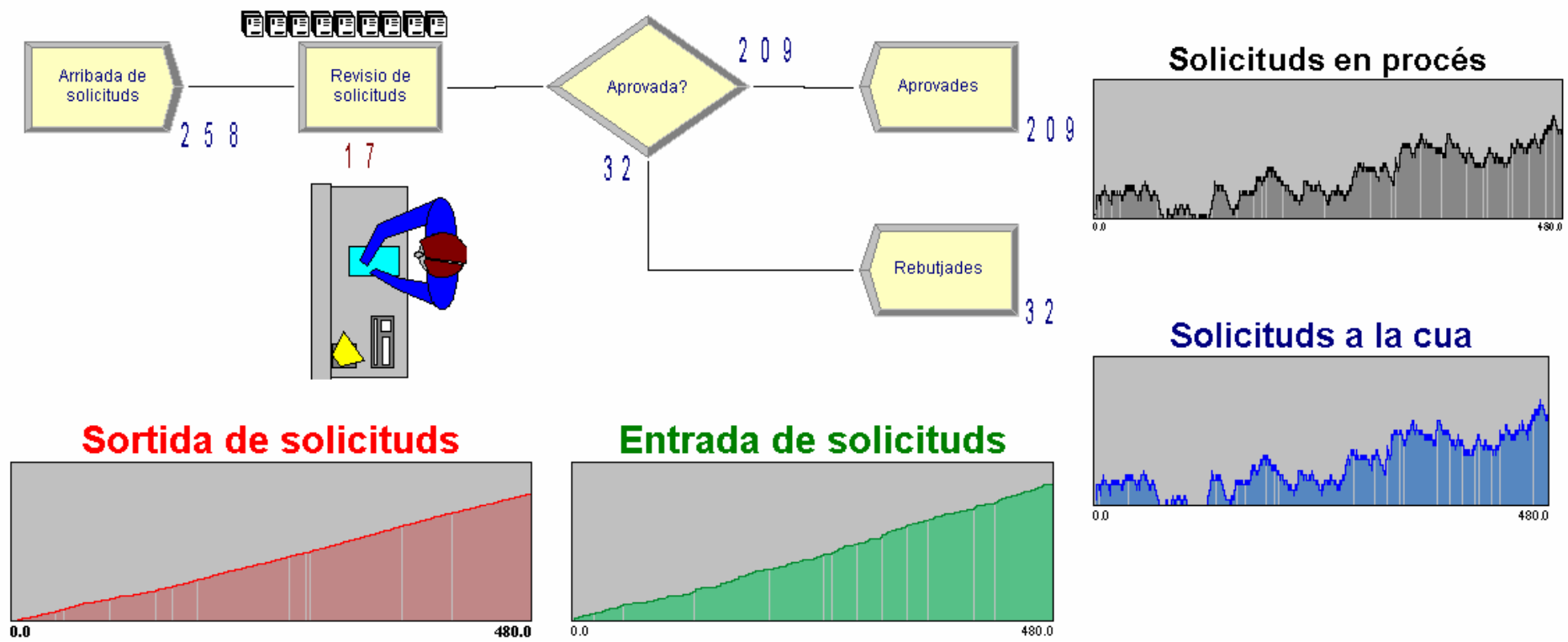


Figura 134

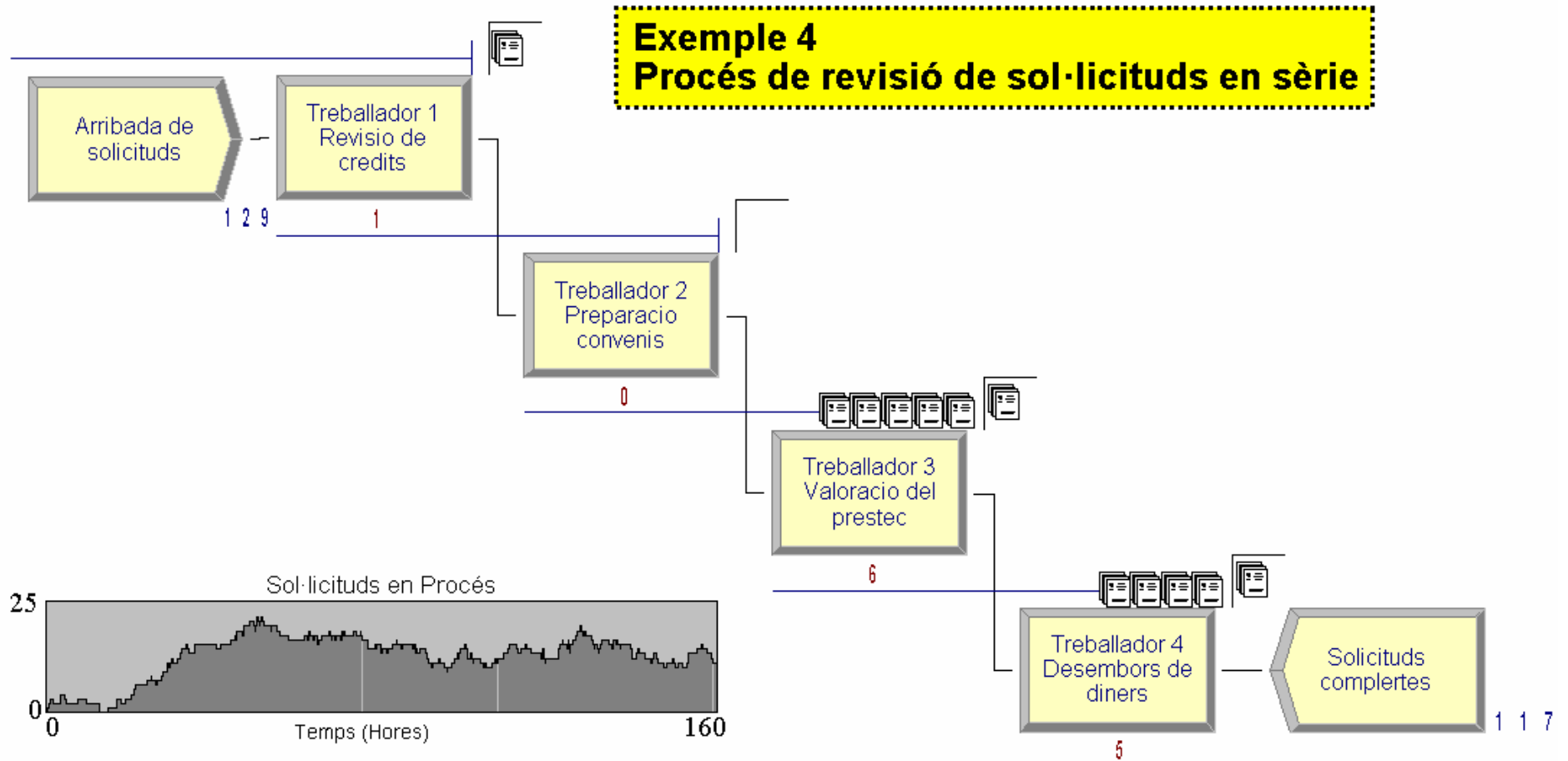


Figura 135

## Exemple 5 Procés de revisió de sol·licituds en paral·lel

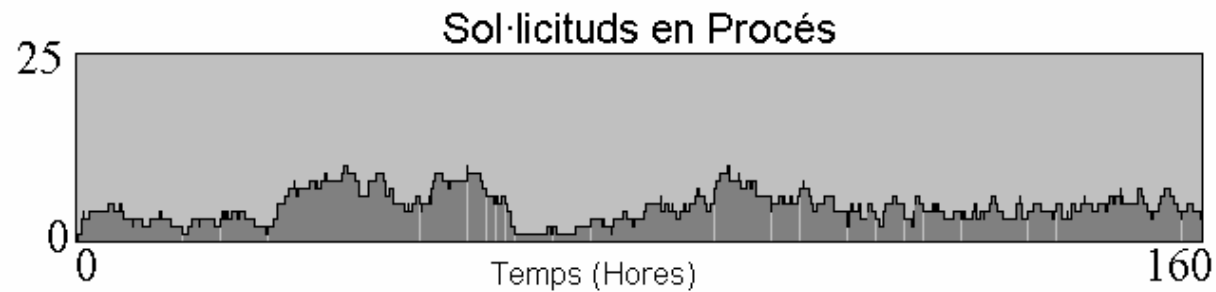
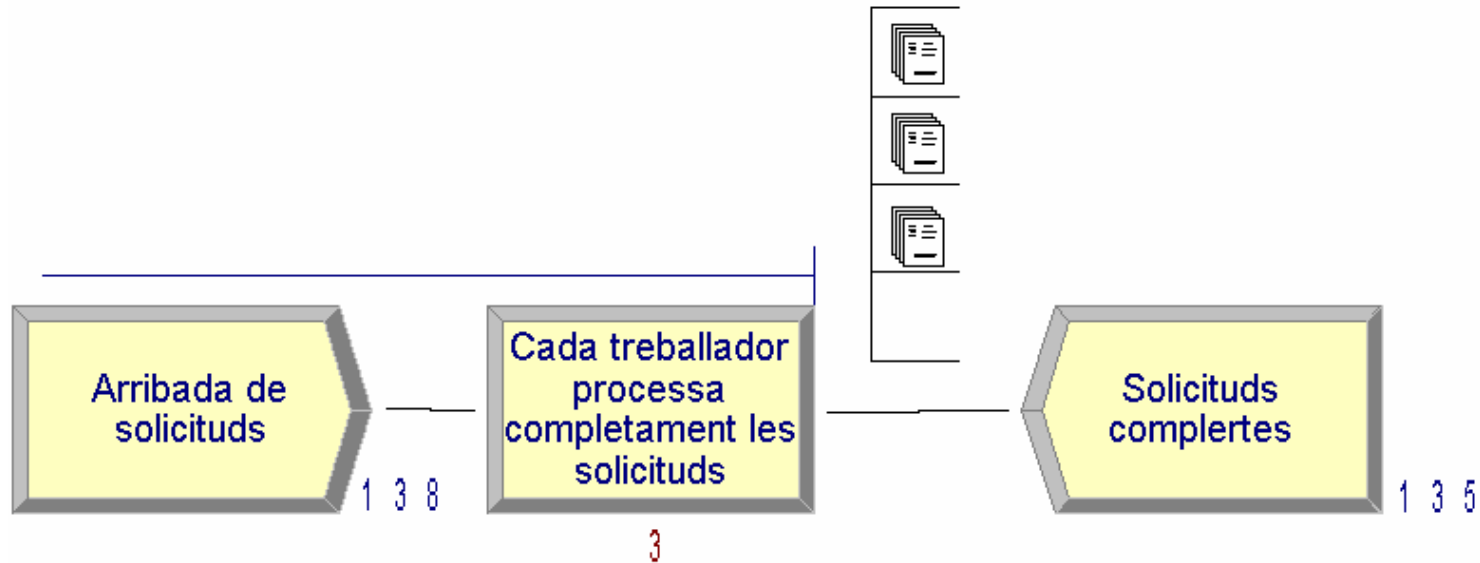


Figura 136

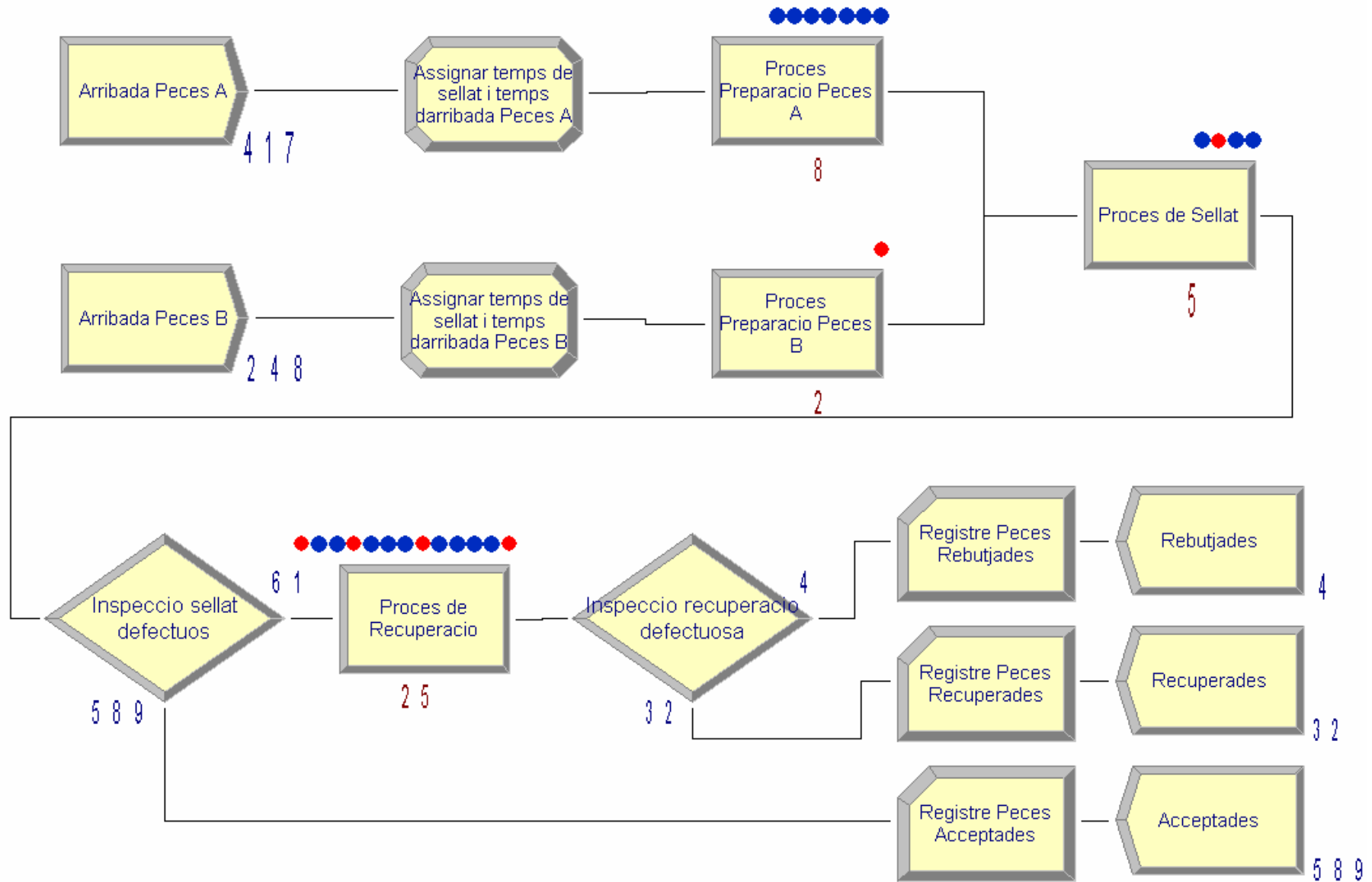


Figura 137



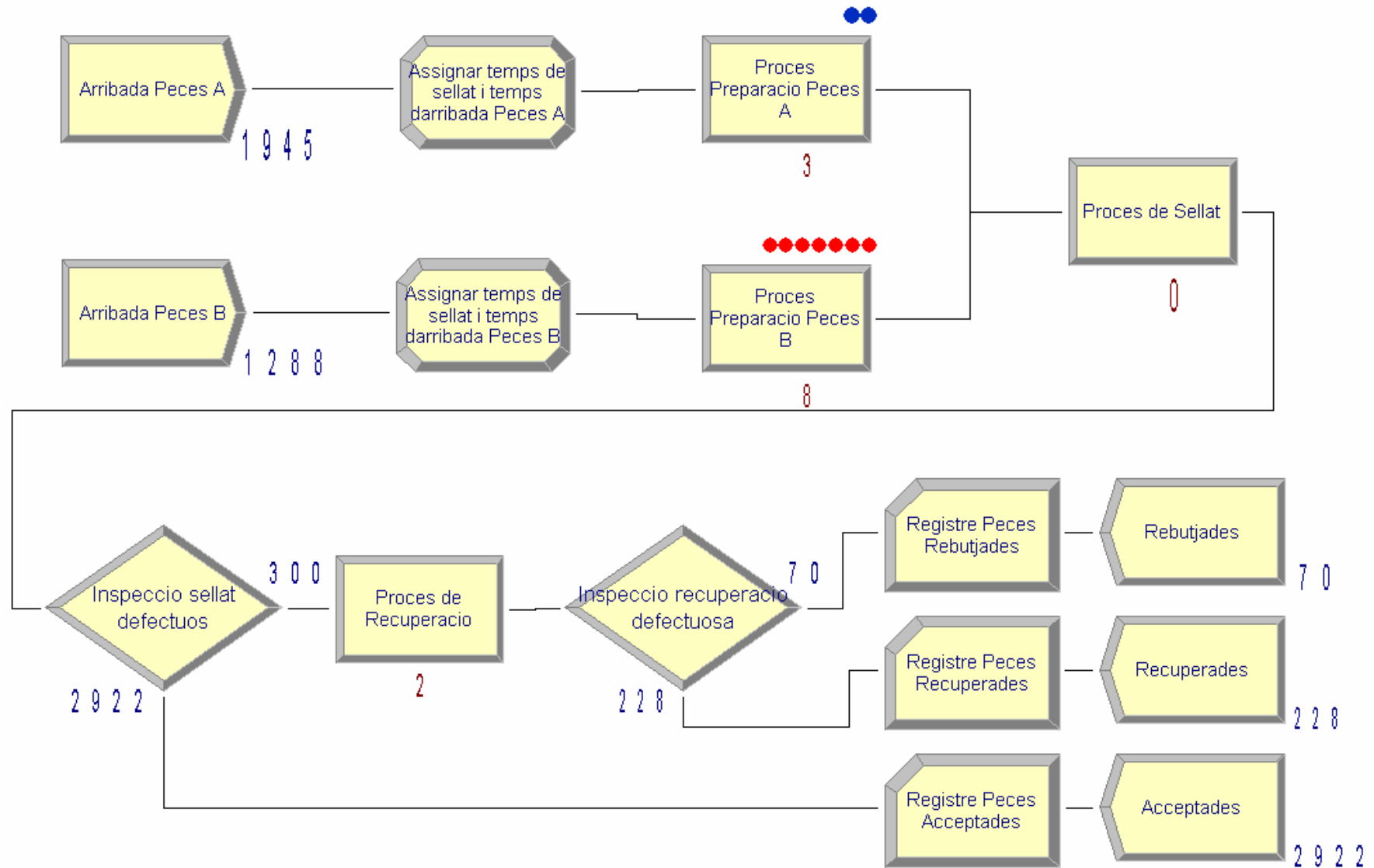


Figura 138

**Exemple 6 - PAS 3**

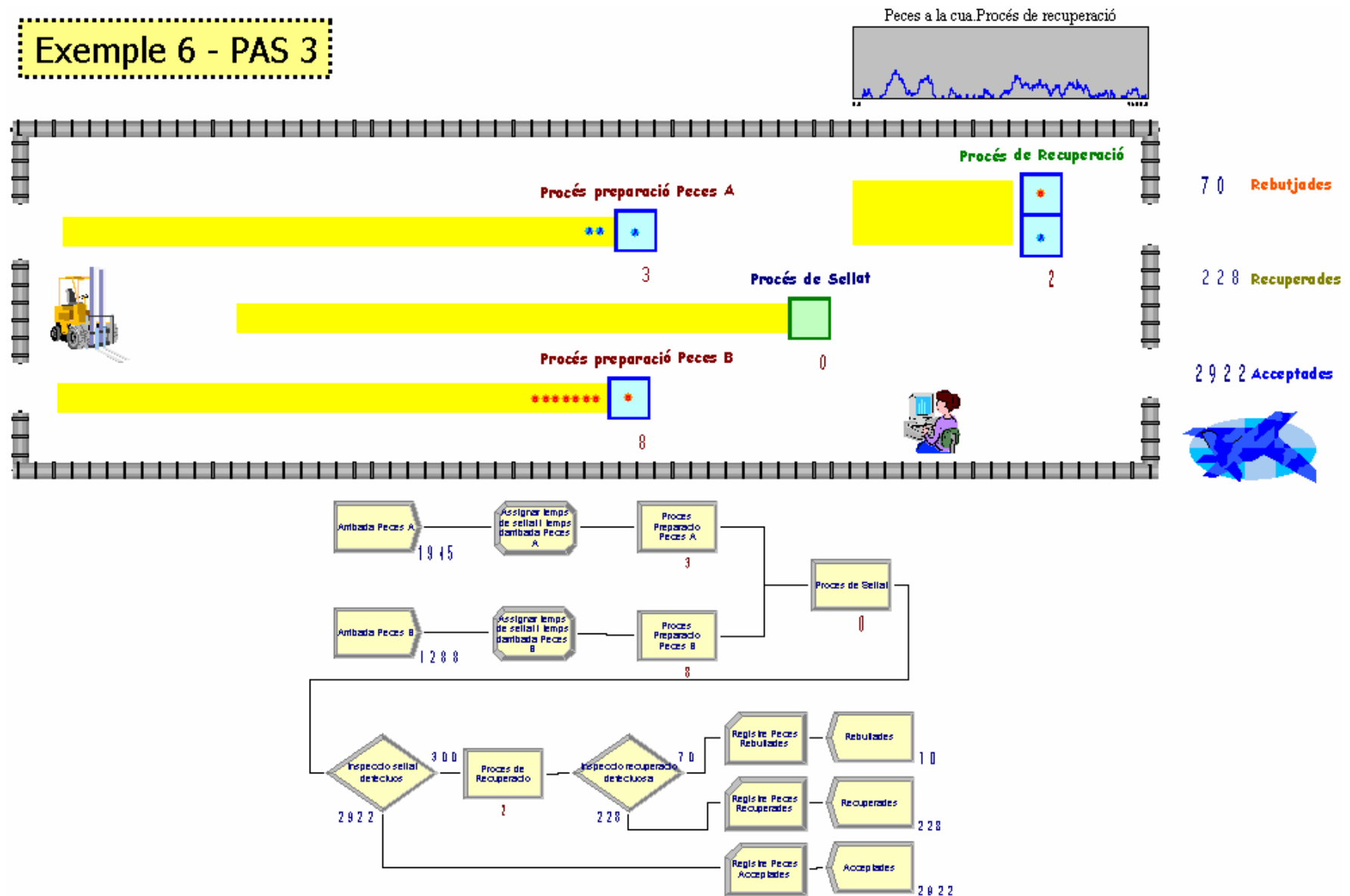


Figura 139

**Exemple 6 - PAS 4**

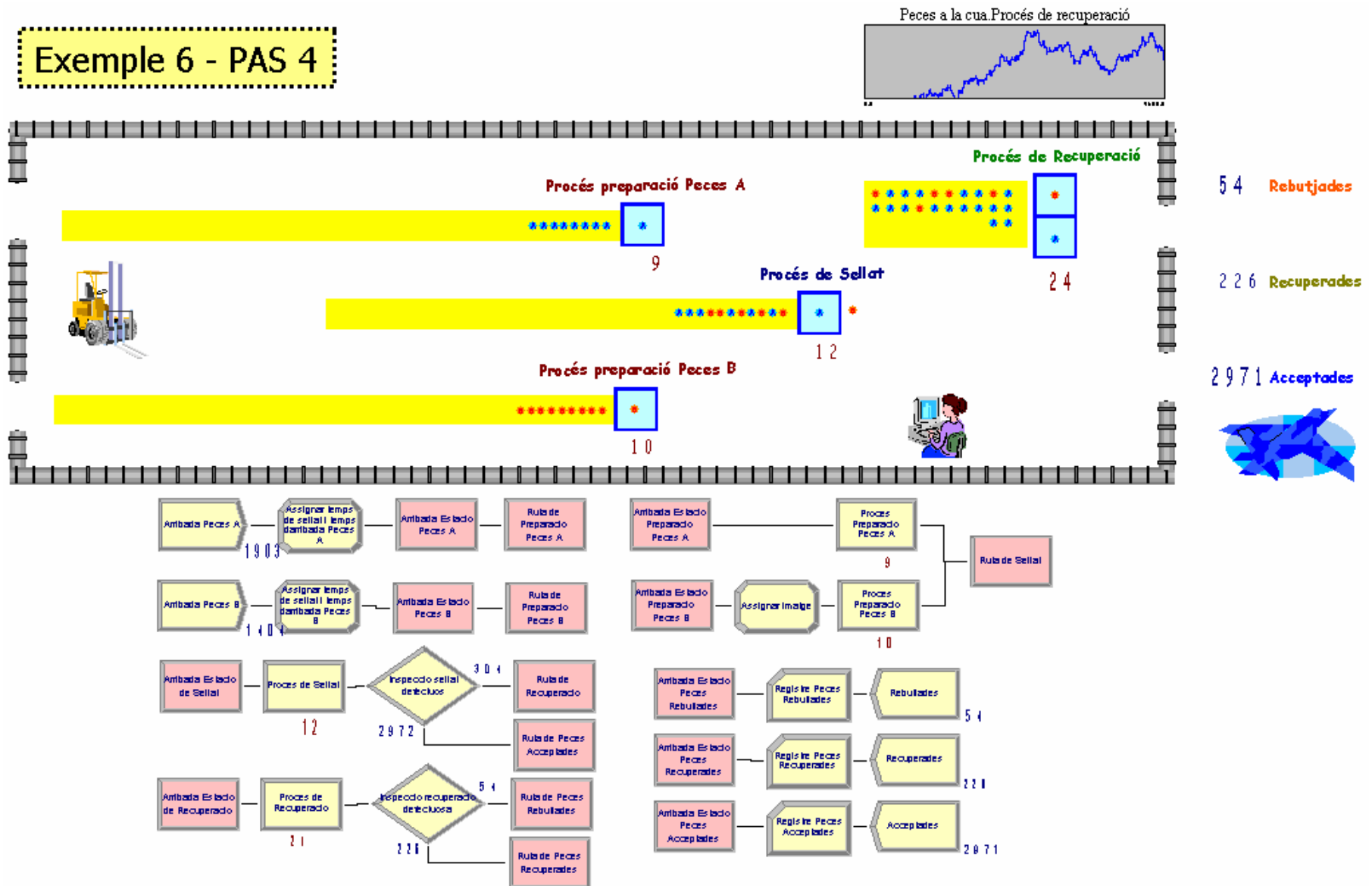


Figura 140

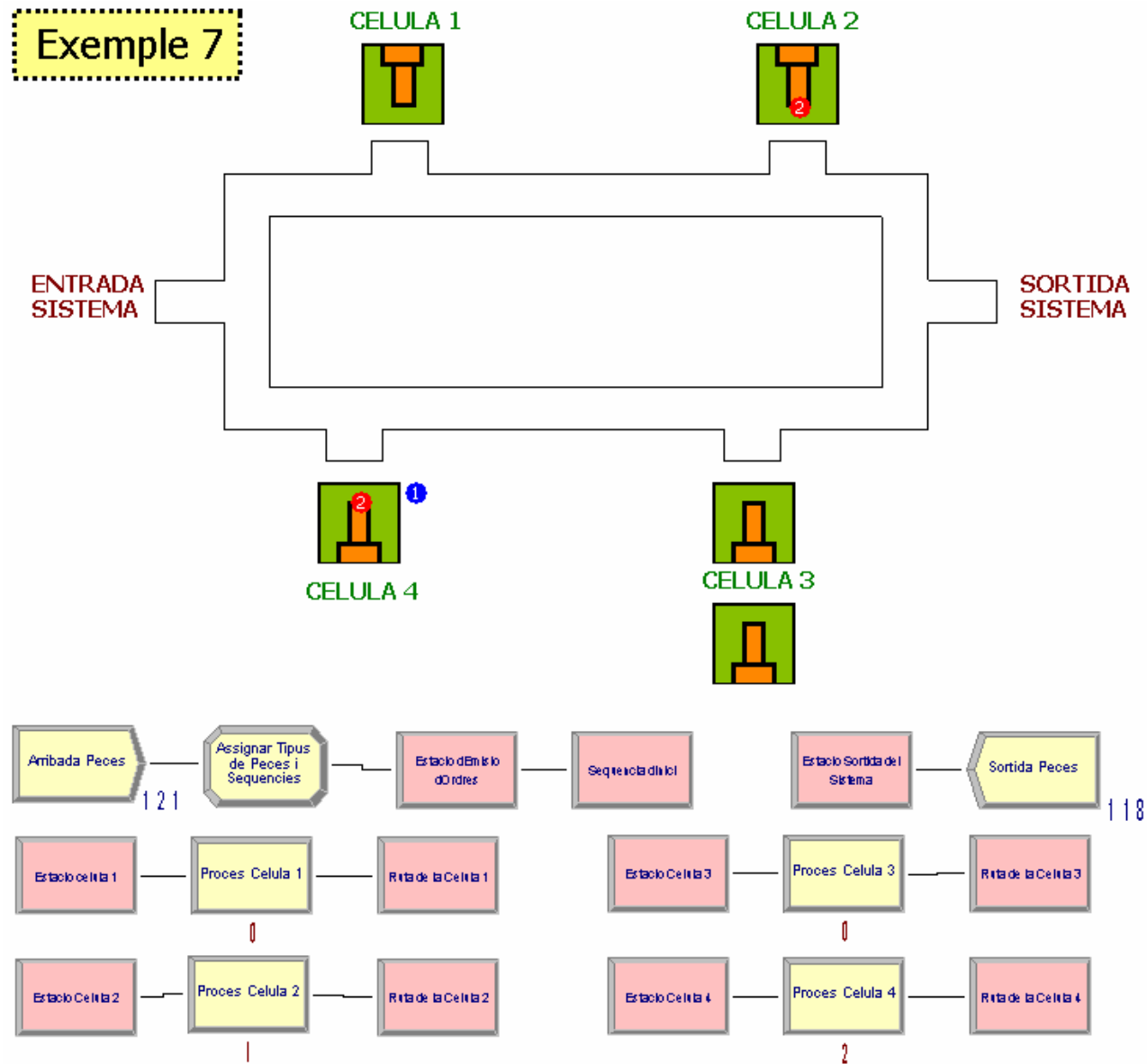


Figura 141