

Universitat de Girona  
**Escola Politècnica Superior**

## Treball final de Grau

Estudi: **Grau en Tecnologies industrials**

Títol: **SIMULACIÓ ESTOCÀSTICA D'UN  
SISTEMA PRODUCTIU**

Alumne: **Pablo Casabona Samaey**

**Director/tutor:** Josep Antoni Martín Fernández  
**Departament:** Informàtica, Matemàtica Aplicada i Estadística  
**Àrea:** de coneixement d'Estadística i Investigació Operativa

**Director/tutor:** Rodolfo de Castro Vila  
**Departament:** Organització, gestió empresarial i disseny del producte  
**Àrea:** Organització d'empreses

Convocatòria (mes/any): **(09/2015)**

## **AGRAÏMENTS**

A en Jordi Buch, Responsable de Producció de l'empresa FRANCESC OLLER S.A, per haver col·laborat en el projecte i mostrat molt bona actitud i als tutors pel suport i haver compartit els seus coneixements amb mi.

**ÍNDEX**

1.	INTRODUCCIÓ .....	6
1.1	Antecedents .....	6
1.2	Objecte .....	6
1.3	Especificacions i abast .....	6
2.	CONCEPTES BÀSICS DE LA INDÚSTRIA DEL SURO.....	7
2.1	Història del suro .....	7
2.2	Propietats del suro .....	7
2.3	Tipus d'indústria surera.....	8
2.4	Obtenció de la matèria primera (planxes de suro).....	8
2.5	El tap de suro i els seus diferents tipus.....	9
3.	PROCÉS DE FABRICACIÓ DE TAPS DE SURO .....	13
3.1	Compra directa matèria primera i selecció manual de les planxes.....	14
3.2	Fabricació de discos .....	15
3.3	Tria de discos .....	16
3.4	Sistema exclusiu "HSE" .....	16
3.5	Preparació granulat.....	17
3.6	Fabricació de mànecs individuals .....	17
3.7	Encolatge.....	17
3.8	Esmeril .....	18
3.9	Tria de taps electrònica/manual.....	18
3.10	Marca.....	20
3.11	Tractament.....	20
3.12	Expedició.....	21
3.13	Objectiu de la simulació del procés de fabricació de taps.....	22
4.	CONCEPTES BÀSICS DE LA SIMULACIÓ .....	24
4.1	Introducció i conceptes fonamentals .....	24
4.2	Avantatges i desavantatges de la simulació .....	25
4.3	Aplicacions de la simulació.....	26

4.4	Modelat de sistemes .....	26
4.5	Simulador Arena .....	29
4.5.1	Introducció i trets bàsics del software Arena .....	30
4.5.2	Panell de processos bàsics.....	33
4.5.3	Panell de processos avançats.....	37
4.5.4	Panell de trasllats avançats.....	40
4.6	Limitacions dels models Arena.....	43
5.	MODEL DE SIMULACIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ DE TAPS.....	44
5.1	Descripció del model <i>Sistema Productiu actual 1</i> .....	44
5.1.1	Consideracions i simplificacions.....	45
5.1.2	Arribades .....	46
5.1.3	Tipus de clients i recorregut .....	46
5.1.4	Recursos .....	47
5.1.5	Estacions.....	47
5.1.6	Distàncies, toros industrials i ascensor.....	49
5.1.7	Comptadors estadístics (variables claus).....	50
5.1.8	Recollida de dades i anàlisi estadístic .....	50
5.1.9	Model arena del <i>Sistema Productiu 1</i> .....	57
5.2	Descripció del model <i>Sistema Productiu actual 2</i> .....	59
5.2.1	Consideracions i simplificacions.....	61
5.2.2	Arribades, tipus de clients i recorregut.....	61
5.2.3	Recursos .....	62
5.2.4	Estacions.....	62
5.2.5	Distàncies, toros industrials, transpalet i ascensor .....	65
5.2.6	Comptadors estadístics (variables claus).....	67
5.2.7	Model arena del <i>Sistema Productiu 2</i> .....	67
5.3	Descripció del model <i>Sistema Productiu “Lean”</i> .....	70
5.3.1	Arribades, tipus de clients i recorregut.....	71

---

5.3.2	Recursos .....	72
5.3.3	Estacions.....	72
5.3.4	Distàncies i toro industrial.....	73
5.3.5	Comptadors estadístics (variables claus).....	74
5.3.6	Model arena del model <i>Sistema Productiu "Lean"</i> .....	74
6.	ESTUDIS, RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS .....	77
6.1	Estudi del model <i>Sistema Productiu actual 1</i> .....	78
6.2	Estudi del model <i>Sistema Productiu actual 2</i> .....	80
6.3	Estudi del model <i>Sistema Productiu "Lean"</i> .....	81
6.4	Verificació i validació .....	82
6.4.1	Verificació del model Arena .....	83
6.4.2	Validació del model Arena.....	84
6.5	Comparació dels estudis i resultats obtinguts.....	88
6.6	Conclusions .....	89
7.	RESUM DEL PRESSUPOST .....	90
8.	CONCLUSIONS.....	91
9.	BIBLIOGRAFIA.....	92
A.	REGISTRE DE CONTENIDORS ENCOLATS.....	93
B.	ASSUMPCIÓ TEMPS DE SERVEI CONSTANTS.....	96
C.	PRESSUPOST.....	98

## 1. INTRODUCCIÓ

### 1.1 Antecedents

Les tècniques de modelització i simulació dinàmica estocàstica discreta permeten emular un sistema real amb la finalitat d'estudiar el seu comportament. Un valor afegit d'aquestes tècniques és la possibilitat d'analitzar possibles modificacions del sistema real a fi i a efecte de millorar-ne el rendiment en alguns aspectes com ara els costos o els temps de producció. Mitjançant el software apropiat, podem imitar operacions i característiques dels sistemes reals per obtenir estimacions del seu rendiment. Un dels impediments als que s'enfronta la simulació és el temps necessari per a desenvolupar un model virtual ajustat al sistema real i els coneixements i habilitats que són requerits per a obtenir una simulació que reflecteixi el comportament real.

### 1.2 Objecte

El treball final de grau a desenvolupar contindrà com a objectiu la modelització i simulació de processos de producció. Es pretén construir un model conceptual amb el software *ARENA*, aplicant un procés de verificació i validació per a comprovar una correspondència adequada entre el sistema real i el model. Una vegada construït el model del sistema de producció actual, es modelarà un sistema de producció alternatiu amb l'objectiu de millorar-ne el rendiment. S'efectuaran anàlisis estadístiques dels resultats obtinguts amb la finalitat de contrastar els dos sistemes de producció.

### 1.3 Especificacions i abast

En aquest projecte es descriurà i es realitzarà la simulació d'una part del sistema productiu de l'empresa FRANCISCO OLLER S.A. A partir de la recollida de dades *in situ*, s'implementaran en el software de simulació *ARENA*, es verificarà i validarà el model virtual per tal de que s'ajusti al sistema real, s'analitzarà i s'estudiaran alternatives i estratègies de sistemes productius (canvis en el diagrama de flux de la producció o aplicant filosofies tipus *Lean manufacturing*) i es contrastarà si les noves alternatives són significativament més eficients en paràmetres de temps, qualitat, quantitat de producció i rendiment.

## 2. CONCEPTES BÀSICS DE LA INDÚSTRIA DEL SURO

### 2.1 Història del suro

La indústria del suro a Catalunya té una forta presència en la producció mundial de taps de suro.

Remuntant al segle XV i XVI, el suro era utilitzat pels pescadors (capcers), pagesos (ruscs d'abelles) i els tapiners (sandàlies amb sola de suro). A finals del segle XVIII, amb l'arribada de maquinària pesada i l'ús creixent d'envasos individuals de vidre, Catalunya i més concretament les zones geogràfiques de l'alta Selva i el Baix Empordà, esdevé una referència mundial en el processament i obtenció del suro. Aquests fets són fruit de l'existència d'una matèria primera autòctona (regió situada dins la zona òptima d'alzines sureres) i l'excel·lent tradició menestral.

### 2.2 Propietats del suro

Actualment el suro és utilitzat majoritàriament per al tancament d'ampolles de begudes alcohòliques com vins, licors i caves (blancs, rosats, tranquils, espumosos, etc.), ja que presenta unes propietats fisicoquímiques molt valuoses:

- **Lleugeresa:** Degut a que aproximadament el 80% del seu volum és aire (predominant nitrogen). La seva densitat varia entre 0,12 i 0,25 g/cm<sup>3</sup>. Quant més baixa és la densitat major és la qualitat del suro.
- **Compressibilitat i elasticitat:** Disposa de la capacitat de ser comprimit sense dilatació lateral. Es capaç de recuperar fins el 85% del seu volum inicial després de haver estat sotmès a una compressió, fet pel qual augmenta la resistència al desgast. Ambdues propietats varien en funció de la hidratació i la temperatura.
- **Coefficient de fregament elevat:** La superfície del suro tallat presenta una gran quantitat de ventoses constituïdes per les cavitats de les cèl·lules (lenticel·les) presents que permeten una gran adherència i dificulten el lliscament.
- **Impermeabilitat:** La suberina, present en la composició del suro, és la causant d'una alta impermeabilitat. La difusió de líquids i gasos és molt difícil i extremadament lenta.

### 2.3 Tipus d'indústria surera

La indústria del suro es divideix en dos tipus de clústers:

1. Obtenció del suro
2. Fabricació i comercialització de taps de suro

L'activitat surera catalana es concentra en un 98% (facturació) en la producció de taps de suro per a l'embotellament d'ampolles de vi tranquil i escumós. Aquest sector industrial està molt acotat amb algunes excepcions, però sobretot es concentra als termes municipals de Caldes de Malavella, Cassà de la Selva, Palafrugell, Palamós i Sant Feliu de Guíxols.

El projecte és fruit de la col·laboració entre l'empresa Francisc Oller i el grup de Recerca Grep. L'empresa, fundada l'any 1892 per Francisco Oller Martinell, correspon al segon clúster, ja que no intervé en el procés d'extracció del suro, és a dir, la matèria primera és comprada i llavors és processada per a la obtenció de taps de suro.

A continuació s'explica el procés d'obtenció del suro de les alzines sureres (*Quercus súber*) ja que correspon a la matèria primera que s'utilitza en el procés de fabricació de taps de suro.

### 2.4 Obtenció de la matèria primera (planxes de suro)

El suro més freqüentment usat és el de la alzina surera, ja que un cop ha estat pelada, la nova capa de suro és molt fina i homogènia. Durant la primavera i l'estiu s'extreu el suro, ja que és l'època en la qual és més fàcil realitzar l'extracció sense provocar danys a l'arbre.

Un cop obtingudes les planxes de suro, s'han de tractar per tal de que el material sigui flexible i pugui realitzar la funció de tancament i aïllant en les ampolles. El procediment a seguir, es realitza sota estrictes normes de qualitat per a evitar que el suro pateixi qualsevol tipus de contaminació durant la transformació:

- El suro s'emmagatzema en piles a l'aire lliure, depositades en patis amb sòl de ciment. Allà roman durant aproximadament uns sis mesos, temps durant el qual perd la seva sabia i part de la seva humitat.
- Per a que adquireixi flexibilitat, ha de ser cuit. La operació dura un mínim d'una hora i es realitza en grans calderes d'aigua neta que és canviada regularment.



- Un cop cuit, es dimensiona (retallant i dividint) ja que gràcies a la cocció és més flexible. També s'efectua un premsat a les planxes de suro per a que quedin completament planes, i llavors, es classifiquen per classes segons la qualitat i s'apilen formant fardells, els quals es guarden en recintes coberts durant varis mesos.

Realitzades les anteriors operacions esmentades, les planxes de suro estan preparades per a la fabricació de productes. El seu ús depèn sobretot de les dimensions i de la quantitat d'imperficcions que continguin. Principalment, es processaran per a ser taps de suro naturals, discos de suro natural o aglomerats.

## 2.5 El tap de suro i els seus diferents tipus

Les possibilitats d'aïllament i tancament per a l'embotellament de vins i caves s'han incrementat intensament durant els últims anys. Materials sintètics derivats del petroli, metalls i vidre, apareixen com a noves alternatives respecte el suro. No obstant, els taps de suro tenen unes característiques òptimes per a l'embotellament de vins:

- Permeten una bona conservació i envelliment del vi en l'ampolla.
- Hi ha el mite del "gust a suro" en el vi, però la indústria surera assegura que si el tap no està contaminat no transfereix ni color ni sabor al vi.
- Presenta un nivell molt baix d'oxidació ja que limita la pèrdua de sulfurs lliures, i per tant, allarguen la vida del vi en ampolla.

A continuació es mostraran els diferents tipus de taps de suro que es fabriquen avui en dia per a l'embotellament de vins i caves.

Tap de suro natural: està format per una sola peça de suro. És sobretot usat en vins tranquils d'envelliment, ja que permet passar la quantitat justa d'oxigen que ha d'estar en contacte amb el vi, adaptant-se a les irregularitats internes del coll de l'ampolla. Figura 1.



**Figura 1.** Tap de suro natural.

Tap de suro colmatat: està format per una sola peça de suro natural i els porus s'han omplert amb pols de suro. El suro utilitzat en aquest tipus de taps és més porós que el suro utilitzat en taps de suro natural, i per tant, és de menys qualitat. La funció de cobrir els porus és millorar l'aspecte visual del tap i el seu rendiment. Figura 2.



*Figura 2. Tap de suro natural colmatat.*

Granulat de suro: les planxes de suro que no tenen prou qualitat per a la fabricació de taps de suro i les restes obtingudes després de foradar les llesques alhora de fabricar taps, són processades i triturades per a obtenir el granulat. El granulat més fi i de més qualitat és destinat a la producció de taps, ja que a través d'uns processos, passarà a ser aglomerat de suro, que constituirà el cos del tap, també anomenat mànec. Els taps formats per aglomerat de suro són dos: taps tècnics i taps per a vins escumosos. Figura 3.



*Figura 3. Granulat de suro.*

Taps de suro aglomerat: són taps formats a partir del granulat de suro, i per tant, no són per a vins de reserva, sinó més aviat per a vins joves ja que l'aglomerat assegura un bon tancament durant els 12 primers mesos. Representa una alternativa més econòmica per vins de baix preu. Figura 4.



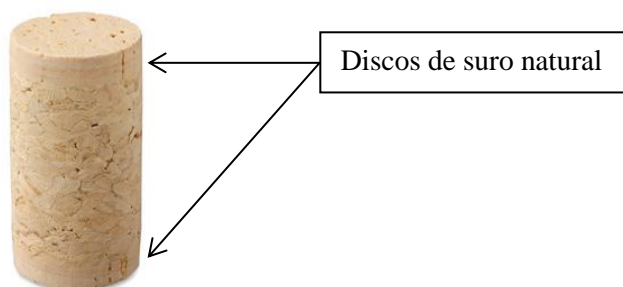
*Figura 4. Tap de suro aglomerat.*

Discos de suro natural: els discos són fabricats de la mateixa manera que els taps de suro natural. Per a obtenir discos en comptes de taps només s'ha rebaixat l'amplada de les llesques alhora de perforar. La seva funció és combinar-se amb un mànec d'aglomerat de suro per a formar taps tècnics i taps de vins escumosos. Figura 5.



*Figura 5. Discos de suro natural.*

Taps tècnics: són taps amb el mànec format per aglomerat de suro i a les extremitats s'hi ha enganxat els discos de suro. Aquest tipus de tap presenta la qualitat del suro natural (discs en contacte amb el vi) i l'avantatge de ser més econòmics. Normalment s'usen en vins destinats a ser consumits de 2 a 3 anys. Hi ha varis tipus de taps tècnics, però el més comú és el 1+1. Figura 6.



*Figura 6. Tap de suro 1+1.*

Taps de vins escumosos (cava): són taps tècnics per a ser usats en vins escumosos formats per un mànec d'aglomerat de suro i usualment per 1 o 2 discs en una extremitat del mànec (la que estarà en contacte amb el líquid), també tenen un major diàmetre respecte els taps de suro per a vins ja que ha de suportar elevades pressions degudes al gas. Figures 7 i 8.



**Figura 7.** Tap de vins escumosos 2D.



**Figura 8.** Tap de vins escumosos 1D.

La imatge que es té dels taps de cava és de forma cònica a diferència de les figures 7 i 8. Aquest fet té una explicació: degut a la pressió de l'ampolla que exerceix en el suro, el tap agafarà una forma de “xampinyó” (Figura 9). Si es deixa reposar el tap un cop extret de l'ampolla es pot observar com recupera la seva forma original degut a l'elasticitat que té el tap de suro.



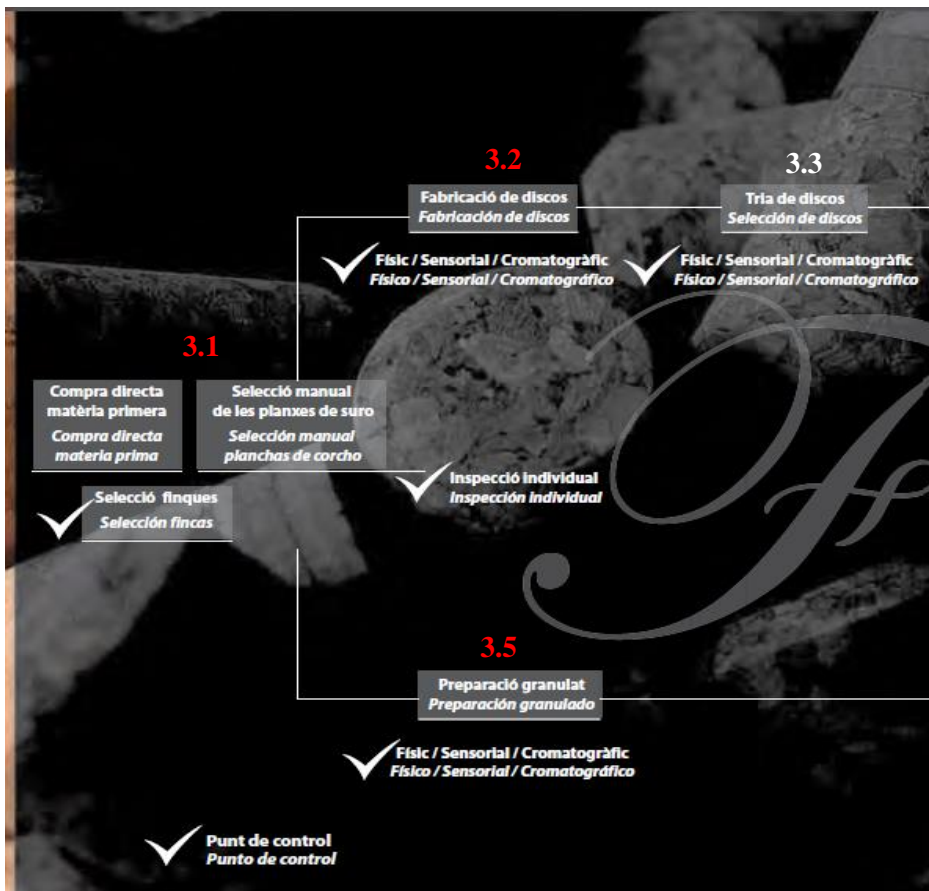
**Figura 9.** Tap de vins escumosos 1D un cop extret de l'ampolla.

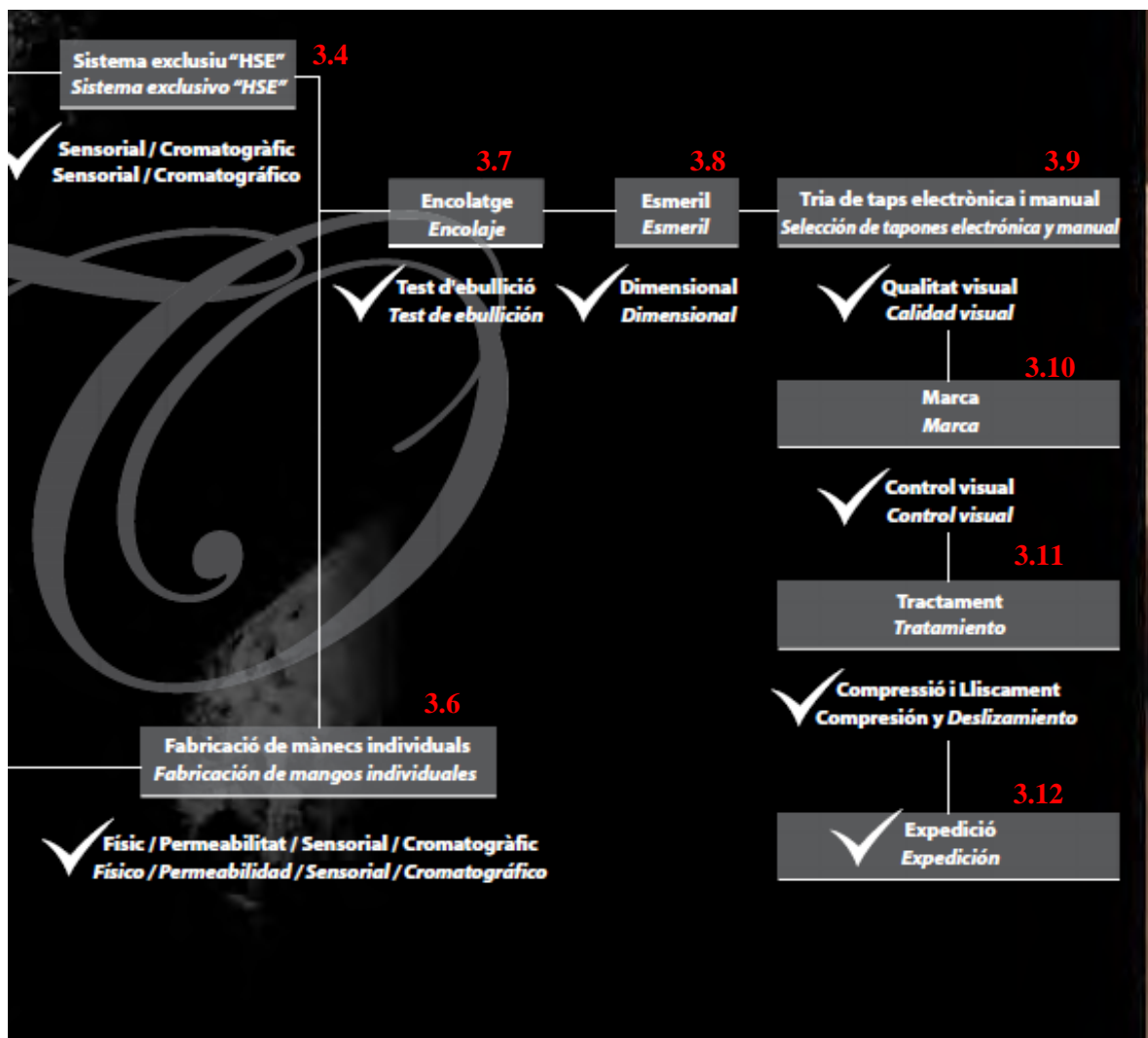
En el model de simulació d'aquest projecte apareixeran els taps 1D, 2D i 1+1, que són els fabricats en l'empresa Francesc Oller. A partir d'aquest punt utilitzarem simplement el terme empresa per tal de que el text sigui menys tediós i repetitiu.

### 3. PROCÉS DE FABRICACIÓ DE TAPS DE SURO

En aquest capítol es farà una breu descripció del sistema de fabricació de taps. S'explicaran els processos que es duen a terme per a l'obtenció de taps de suro en l'empresa, començant per la compra de la matèria primera fins a la sortida del producte acabat. Un cop haguem vist com s'obtenen els taps de suro, es plantejarà el paper que aportarà la simulació en aquest projecte i fins on abastarà. A continuació, un cop haguem realitzat la descripció del procés, i consegüentment, identificat les entrades i sortides del model, tots els elements rellevants del sistema a tenir en compte, etc. i haguem plantejat l'objectiu de la simulació, amb els coneixements adequats sobre modelització de sistemes, serem capaços de construir un model conceptual (Capítol 5) que contingui tots els elements, processos i relacions rellevants per a que el model sigui una correcta abstracció del sistema real.

En la Figura 10, es pot observar un diagrama corresponent al sistema de fabricació de taps de l'empresa.





**Figura 10.** Procés de fabricació de taps de suro. Empresa Francesc Oller, S.A. (Catàleg-Francesc Oller, 2015). En color vermell es mostren els números de les seccions on s'explicarà cada etapa del procés.

### 3.1 Compra directa matèria primera i selecció manual de les planxes

L'empresa no s'encarrega de la "saca" (extracció) del suro sinó que compra les planxes ja preparades per llescar i foradar. Un cop arriben les planxes a l'empresa s'analitzen per tal de comprovar la qualitat i es decideix la producció de discos de suro. L'empresa normalment no fabrica taps de suro natural, només taps tècnics compostats d'aglomerat de suro i discos de suro natural. És molt important l'anàlisi de les planxes ja que hi ha molts possibles defectes com: porositat excessiva, densitat elevada, elasticitat deficient, i excés de curvatura. Aquests defectes poden impedir superar els tests de qualitat del producte.

### 3.2 Fabricació de discos

Un cop s'han triat les planxes de suro a processar, passen per l'autoclau<sup>1</sup> i, un cop esterilitzades (Figura 11), es deixen reposar aproximadament 1 hora per tal de que no siguin tan toves i es puguin llescar (Figura 12). En la fabricació de discos, les planxes són d'alta qualitat però no suficients per a la perforació de taps de suro, i per tant, s'utilitzen llesques de 6 mil·límetres d'espessor. Seguidament, es porten cap a perforar, on varies fulles cilíndriques de tall, perforen les planxes (també anomenades plantilles en el cas dels discos) per a obtenir els discos de suro.



*Figura 11. Planxes de suro esterilitzades per autoclau.*



*Figura 12. Llesques de baix espessor (plantilles) per a la fabricació de discos.*

---

<sup>1</sup> Màquina per a esterilitzar amb vapor d'aigua que consisteix en un recipient cilíndric, de parets resistents; metàl·lic, amb tancament hermètic autoclau. L'objecte a processar es sotmet a pressions i temperatures elevades sense arribar a coure. (Diccionari *Google*. 2015).

### 3.3 Tria de discos

Els discos de suro que s'han obtingut passaran per una sèrie de proves i tests físics, sensorials i cromatogràfics que decidiran si el disc és vàlid per a formar part d'un tap o no. En cas de no superar les proves de qualitat s'enviaran, conjuntament amb les tires sobrants de les plantilles foradades, a una empresa externa dedicada a triturar aquestes restes i produir granulat de pols. Aquesta pols retornarà a l'empresa per a la creació de mànecs d'aglomerat de suro.

Els discos que aconseguen passar les proves tenen una forma cilíndrica completa amb un mínim de defectes. El següent pas a realitzar és polir els discos per aconseguir que les cares siguin planes i paral·leles i, conseqüentment, es puguin encolar sense problemes al mànec d'aglomerat. La pols generada pel procés de polir és absorbida per un corrent d'aire generat per ventiladors d'aspiració.

Un cop els discos estan polits i no presenten defectes es classifiquen per classes. En el cas de l'empresa d'estudi, les classes a considerar són EXTRA, 1FLACA, 3FI, A2 i N4 de major a menor qualitat respectivament. La principal diferència entre classes és la porositat en la superfície del disc. Un aspecte a tenir en compte és la cara del disc que estarà en contacte amb el líquid, llavors, una màquina automàtica marcarà la cara de menys qualitat amb un metall calent per tal de diferenciar-les en quan entrin al procés d'encolatge. Els discos es porten a un magatzem.

### 3.4 Sistema exclusiu "HSE"

El sistema exclusiu "HSE" (*Haloanisole Slow Extractcion*), consisteix en cicles alternatius de vapor calent i fluxos d'aire que garanteixen l'extracció i eliminació de compostos volàtils presents en els discos de suro natural (Catàleg Francesc Oller, 2015).

S'han registrat els percentatges de reducció de contaminants en el suro després del tractament durant 90 hores:

- TCA<sup>2</sup>: 90% < 1ppt
- Altres compostos volàtils: 98%

---

<sup>2</sup> *Tricoloroanisole* és un compost present en el suro contaminat que pot transferir al vi la seva sabor i olor.



### 3.5 Preparació granulat

Una empresa externa es dedica a la trituració de les restes de suro obtingudes en la fabricació dels discos. S'obté un granulat de suro de diferents mides, i llavors, unes màquines realitzen una separació per pes. Mitjançant aquesta separació es selecciona el gra més lleuger que és el utilitzat per a fabricar els mànecs d'aglomerat. La resta es descarta i s'utilitza per altres productes

### 3.6 Fabricació de mànecs individuals

Per a la fabricació de mànecs d'aglomerat de suro es combina el gra de suro amb una barreja de cola alimentària i d'oli de vaselina. Seguidament, un cop donada la forma de mànec, els aglomerats passaran per un forn calent i fred; en el forn calent es couen i en el forn fred s'endureixen.

### 3.7 Encolatge

Ara ja tenim els discos de suro natural i els mànecs d'aglomerat de suro preparats per a unir-se mitjançant les màquines encoladores. Per una banda, una cinta transporta els aglomerats i, per l'altra banda, un toro mecànic agafa els discos, continguts en contenidors, de la classe desitjada i es porten a l'encoladora (Figura 13). No totes les encoladores són iguals ja que algunes estan estructurades per a enganxar 1 disc, 2 discos o 1 en cada extrem. Les encoladores disposen d'un sistema amb càmera per a detectar la marca del disc (creada en la fabricació de discos) i un sistema d'orientació (Figura 14) del disc per a encolar de manera desitjada. Els taps encolats passen per un forn durant 15 minuts i després es porten a una zona a deixar reposar la cola abans de poder esmerilar.



*Figura 13. Encoladora.*



*Figura 14. Sistema orientador de discos..*

### 3.8 Esmeril

En aquest procés s'utilitzen màquines polidores (Figura 15) per a rectificar les dimensions del tap amb l'objectiu d'obtenir una forma precisa i uniforme, ja que les dimensions del mànec i dels discos encolats no són iguals. L'esmeril té la funció de realitzar 3 accions: rebaixar (reduir el diàmetre del tap), escapçar (reduir la llargada del tap) i bisellar (realitzar un tall inclinat de 45 graus en la part de l'aglomerat). És important tenir els taps ben orientats per al bisellat per tal de no tallar el disc en comptes de l'aglomerat. Aquest només es realitza en taps de cava (1D i 2D) amb l'objectiu de que les embotelladores sàpiguen quin costat del tap ha d'estar en contacte amb el líquid. En els taps 1+1 no cal ja que en els dos extrems conté un disc de suro natural.



*Figura 15. Polidora triple. S'anomena triple per l'acció de rebaixar tres cops.*

### 3.9 Tria de taps electrònica/manual

Un cop els taps estan encolats i esmerilats són inspeccionats per lectors òptics automatitzats (Figura 16), programats per a classificar els taps en relació al reconeixement de la superfície del tap. Tot i ja tenir els discos triats (3.3 Tria de discos), degut a l'encolatge o l'esmeril és possible que hi hagin taps defectuosos com: caps trencats, discos no alineats, etc. o fins i tot que augmentin o disminueixin de qualitat.

Després d'una tria electrònica, són inspeccionats per personal altament qualificat. La tria manual (Figura 17) és necessària ja que l'ull humà és capaç de detectar defectes i tipus de qualitat dels taps que els lectors òptics no han pogut classificar de manera correcta.



*Figura 16. Màquina de tria electrònica. Classifica taps segons la qualitat del suro i defectes.*

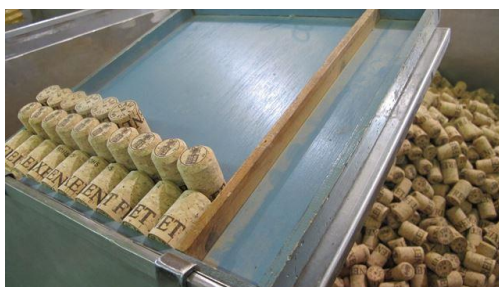


*Figura 17. Personal per tria de taps. Classifiquen taps segons la qualitat del suro i defectes.*

### 3.10 Marca

Les empreses embotelladores de vins demanen que els taps estiguin marcats amb el nom comercial de la seva empresa o bé del seu logo comercial. Els taps poden ser marcats en funció de la demanda del client en la superfície cilíndrica (mànec) i en els dos extrems del tap.

La marca és realitzada a foc per inducció, on s'uneix la superfície a marcar del tap amb una planxa metàl·lica a temperatura elevada a través d'una resistència. Si la superfície a marcar és la del mànec es fa rodar per la planxa i si és una de les extremitats simplement s'aproxima el temps necessari per a que quedi la marca. En la Figura 18 podem observar els taps marcats.



*Figura 18. Taps de suro marcats.*

### 3.11 Tractament

Un cop realitzats tots els processos anteriors, els taps són sotmesos a un procés de rentat i desinfecció, ja que tant en el procés d'encolatge, d'esmeril i marcatge s'han cobert de pols de suro. També s'hi aplicarà una capa de silicona i parafina en estat líquid a través d'una pistola amb l'objectiu de facilitar l'embotellament i posteriorment el destapament, mantenir la pressió interior de l'ampolla i millorar-ne l'estanqueïtat. En la Figura 19 podem veure com s'aplica aquest tractament.



*Figura 19. Taps de suro en procés de tractament.*

També es realitza un control de qualitat (Figura 20) d'algunes mostres abans de l'expedició per tal d'assegurar que el tap compleix les condicions requerides per a l'embotellament. Algunes de les mesures a realitzar és la força d'extracció necessària, la qual ha d'oscil·lar entre 20 i 40 kilograms. En cas de no estar en el rang indicaria que el tractament realitzat anteriorment no té la dosi adequada. Si estem per sobre el rang hi ha la possibilitat de trencar el tap al destapar l'ampolla, i en cas d'estar per sota és possible que el tap surti sol.



*Figura 20. Control de la força d'extracció.*

### **3.12 Expedició**

Els taps que surten del tractament i han passat estrictes controls de qualitat, són embalats en bosses de PVC que són apilades en palets. A partir d'aquest punt (Figura 21) es pot donar per finalitzat el procés de fabricació.



*Figura 21. Taps preparats per a sortir de la fàbrica.*

### 3.13 Objectiu de la simulació del procés de fabricació de taps

Tot i ja haver esmentat l'objectiu d'aquest projecte, en aquest apartat s'explicarà i visualitzarà al detall, ja que en la simulació, és molt important tenir present què és el que s'intenta solucionar i si el model ens ajudarà a complir-ho.

Llavors, l'objectiu que perseguirem al realitzar la simulació en aquest projecte, es pot resumir de la següent forma:

Anàlisi del sistema productiu actual per a una millor comprensió de com funciona el sistema. Verificació i validació dels resultats obtinguts per poder confiar en un model correcte. Avaluació i comparació d'un nou sistema productiu basat en la ideologia *Lean*. Aquesta ideologia d'organització de sistemes de producció, la podríem definir breument com una producció "neta", és a dir, sense malbaratament de recursos com sobre-producció, temps d'espera, transport, excés de processats, inventari, moviments, defectes, etc. Especialment, ens interessarà controlar com varien dos paràmetres de rendiment al canviar la política de producció: **el temps d'estada de les entitats en el sistema i el total d'entitats processades**. En el capítol 5 veurem més en detall els models que es realitzaran per a la simulació del projecte.

De tot el sistema de fabricació presentat en aquest capítol, es va decidir simular quatre processos: encolatge, esmeril i tria de taps electrònica i manual (Figura 22). Un dels problemes presents en aquests processos és la distribució i organització dels elements que els envolten; tot i que no hi hagin gaires temps improductius, es podria afirmar que la ruta dels taps de suro en aquests processos és "enrevessada".

Quan es va presentar la proposta del projecte de simulació, el responsable de producció tenia en ment una nova política per a millorar-ne el rendiment i, per tant, es va trobar oportú realitzar una simulació on es comparessin els dos sistemes de fabricació i es pogués estimar les avantatges que aquesta nova política presentaria.



Figura 22. Part del sistema a simular del procés de fabricació de taps de suro.

## 4. CONCEPTES BÀSICS DE LA SIMULACIÓ

En aquest capítol, es proposa presentar els conceptes bàsics sobre què és la simulació i els seus objectius, què entenem per modelar, la simulació per ordinador i el software que s'utilitzarà per a la realització de les simulacions.

### 4.1 Introducció i conceptes fonamentals

Simular es refereix a una àmplia col·lecció de mètodes i aplicacions per imitar, normalment amb recursos informàtics, el comportament de sistemes reals. Avui en dia, les simulacions estan agafant popularitat, ja que tant els programes com els ordinadors s'han desenvolupat molt i han aconseguit tenir grans capacitats de càlcul (Kelton, et al., 2010).

Els seus objectius els podríem resumir en:

- Obtenir una descripció del comportament d'un sistema que ens permeti construir teories i hipòtesis sobre el comportament observat.
- Usar el model per predir el comportament futur, p.e. els efectes produïts per canvis en el sistema o en el seu mètode d'operació.

Hem de tenir en compte que la simulació no aporta solucions analítiques, és a dir, no s'obtenen resultats exactes, sinó que proporciona estimacions estadístiques.

A més, podem classificar la simulació en diferents tipus:

- Simulació estàtica o dinàmica, en funció de si el paràmetre temps influeix en el model.
- Simulació determinista o estocàstica, és a dir, tot és exacte o hi ha aleatorietat degut a la estadística.
- Simulació contínua o discreta, en altres paraules, l'estat del sistema pot canviar contínuament o només en diferents intervals de temps.

La simulació del projecte, per exemple, consisteix en a una simulació dinàmica, estocàstica i discreta, així com la majoria de simulacions de processos productius. Cal destacar que la simulació és molt més que simplement construir un model i realitzar estudis estadístics. Hi ha molt per aprendre a cada pas d'un projecte de simulació, i les decisions que es van prenent afecten significativament al que pretenem assolir.



## 4.2 Avantatges i desavantatges de la simulació

Avantatges:

- Els models simulats són susceptibles de ser manipulats, sense que això suposi cap perill ni interferència amb el sistema real.
- La simulació és capaç de modelar sistemes complexos de manipular.
- Permet comparar i avaluar diferents alternatives del sistema real. Simular escenaris com: “què passaria si..? “.
- Facilita la identificació de problemes de flux d'entitats lògiques del sistema.
- L'espai temporal es pot comprimir, reduint anys d'experimentació en la realitat a minuts de simulació.

Desavantatges:

- La complexitat de la dinàmica d'un sistema pot fer difícil la construcció del model. Construir models requereix un aprenentatge especial. La qualitat de les anàlisis depèn de la qualitat del model i dels coneixements del modelador.
- Els models simulats permeten comparar alternatives, però no necessàriament trobar l'alternativa òptima, ja que són les decisions i els coneixements els que poden arribar a optimitzar un sistema. La simulació és una eina d'ajuda.
- L'aleatorietat de qualsevol simulació fa que els resultats que s'obtenen siguin només “estimacions” dels paràmetres reals que governen la dinàmica d'un sistema. Per això parlem d'una simulació estocàstica i no determinista. (Martín-Fernandez, 2014).
- El temps i l'esforç requerits per al desenvolupament d'un model de simulació, no es garanteix de que s'obtinguin resultats òptims.

### 4.3 Aplicacions de la simulació

Com ja hem vist, l'evolució dels ordinadors i dels programes per a simulacions, tant en potència com en flexibilitat, han fet possible el desenvolupament de tècniques per analitzar sistemes en una gran varietat de camps:

- Sector industrial: sistemes de fabricació, producció automàtica, emmagatzematge automàtic, control d'inventaris, disseny de màquines, estudis de comprovació i manteniment, distribució de plantes, etc.
- Sector informàtic: components de hardware, sistemes de software, xarxes, estructures, procés d'informació, comprovació de hard i software, anàlisi de protocols, etc.
- Sector de serveis: Admissió de hospitals, operacions en finestres de bancs, grans superfícies, gasolineres, caixers de supermercats, etc.
- Sector econòmic: Anàlisi d'estocs i inventaris, política de preus, estratègies de màrqueting, estudis d'adquisicions, previsions, alternatives de transport, etc.
- Sector de medi ambient: contaminació i purificació de l'aigua, control de residus, contaminació atmosfèrica, control de pesticides, sistemes d'energia renovables, producció de collites, etc.

### 4.4 Modelat de sistemes

En la simulació, com la majoria de mètodes d'anàlisi, involucra sistemes i els seus models. Pel que fa a els sistemes, els podríem definir com a una col·lecció d'entitats (p.e. persones màquines, peces, ...), que interactuen entre elles per tal d'aconseguir un determinat objectiu (Schmidt, et al. 1970). Cada entitat té les seves característiques definides per un conjunt de variables.

A més, l'estat d'un sistema està format per un conjunt de valors, que prenen cada una de les variables que caracteritzen a cada entitat del sistema en un moment determinat, en altres paraules, obtenim una descripció total del sistema, en relació als objectius establerts (p.e. nombre d'entitats en el sistema, longitud de cues, nombre d'entitats ocupades, ...). Així doncs, un cop definit què és un sistema i el seu estat, parlarem sobre la modelització d'aquest.

El primer pas en la construcció d'un model de simulació és la formulació d'un model conceptual, ja que és fonamental realitzar una bona abstracció del sistema real. L'objectiu del

model conceptual consisteix en si l'abstracció que hem realitzat podrà respondre a les qüestions plantejades en el projecte, en altres paraules, ho podríem definir com el procés en el que l'analista de la simulació i l'administrador del sistema es posen d'acord sobre quins aspectes del sistema real s'inclouran en el model i quina informació es vol recollir.

A continuació, mostrarem algunes de les preguntes que ajuden a una bona construcció del model conceptual que es vol aconseguir:

- Què hem d'incloure en la simulació?
- A quin nivell de detall volem que estigui la simulació?
- Hi ha plànols o diagrames de flux disponibles?
- Com es realitzen les decisions? Excepcions?
- Hi ha dades disponibles sobre el sistema?
- Qui recollirà les dades? Qui verificarà i validarà el model? De quina manera?
- Quins escenaris s'han de considerar?
- Quin és el punt important a estudiar?

Resumint, estem realitzant el plantejament del problema que seria el primer punt a tenir en compte en un projecte de simulació.

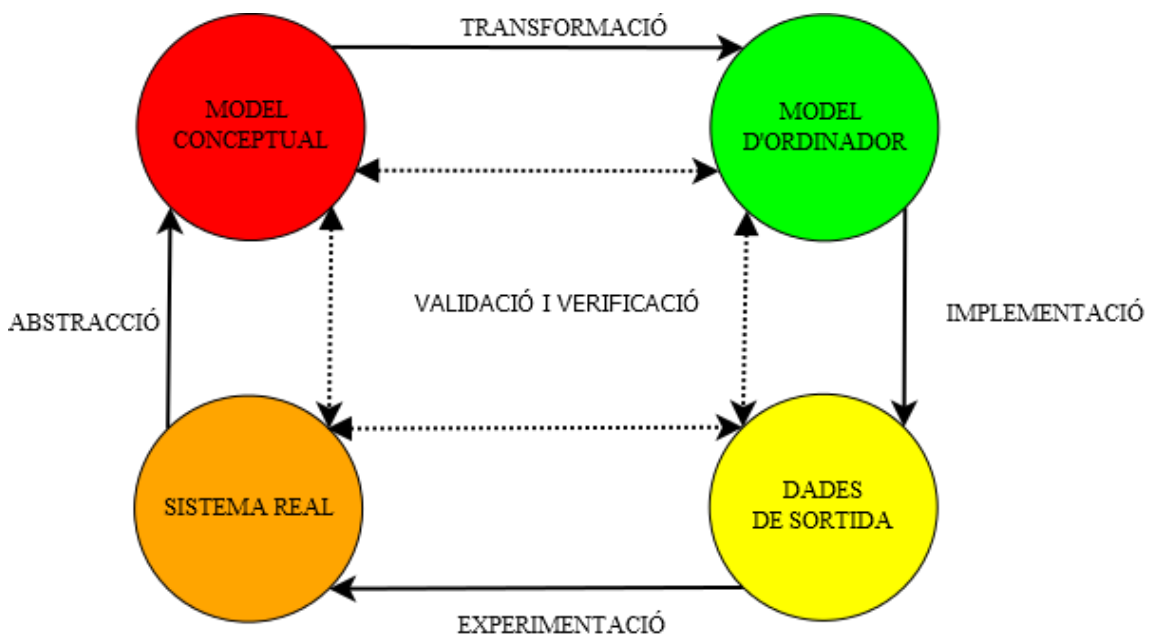
Un cop s'ha plantejat el problema, el següent pas és la recollida d'informació. Normalment en aquest procés, l'analista de la simulació i una persona involucrada en el sistema a simular intervenen i busquen la manera d'obtenir dades del sistema ja sigui a través d'informes, arxius, registres, etc.

El següent pas és la construcció del model d'ordinador. L'objectiu és que a través d'un software dissenyat per a imitar sistemes, podem obtenir valors numèrics els quals ens permetran tenir un millor coneixement del comportament del sistema real. Cal destacar que, en realitzar el pas del model conceptual al model d'ordinador, és fàcil passar per alt aspectes i paràmetres realment importants del sistema real. No obstant, també pot passar que no sigui possible incloure tots els aspectes o paràmetres del sistema degut a limitacions del software o processos massa complexos. Un terme important en aquesta etapa, és que la habilitat de l'analista i els seus coneixements respecte el software que s'utilitzarà marcaran la qualitat dels models i, conseqüentment, del projecte.

A continuació es realitzen els processos de verificació i validació per tal d'aconseguir que els models realitzats siguin correctes i realment hagin aconseguit ser una bona representació del

sistema real. Aquest pas és molt important ja que ens permetrà confiar en els valors i resultats obtinguts dels models d'ordinador i poder realitzar estudis estadístics sobre el rendiment del sistema. Un cop tinguem els paràmetres de rendiment localitzats i el model d'ordinador verificat i validat, som capaços d'experimentar i analitzar noves alternatives i polítiques del sistema, i veure si aquests paràmetres de rendiment milloren. En altres paraules, tenim la capacitat d'optimitzar el sistema si realitzem bones decisions.

La idea central de modelar un sistema, si ens fixem en el que acabem d'explicar, es podria resumir en un gràfic (Figura 23) el qual descriu el procés de modelatge de sistemes.



**Figura 23.** Interaccions entre un sistema real i la modelització d'aquest.

#### 4.5 Simulador Arena

Avui en dia, hi ha una ampla varietat de programes per a la simulació de sistemes.

El software que s'ha triat per a aquesta simulació és el de la empresa *Rockwell Automation, Inc.* anomenat *Arena*. *Rockwell Automation* és un proveïdor global de solucions d'automatització e informació industrial. Les marques inclouen *Allen –Bradley* i *Rockwell Software*. S'ha triat aquest software principalment per el següent motiu: és el software que s'ha ensenyat en la assignatura Investigació Operativa de quart de GETI (Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials) el curs 2014-2015 en la UdG.

A més, la majoria de programes de simulació, tenen la característica de tenir entorns “durs”, on els models s'estructuren amb eines matemàtiques com funcions, matrius, etc. i requereixen una gran quantitat d'hores d'aprenentatge, en canvi, podríem dir que el programa *Arena* es diferencia de la majoria ja que la seva estructura és més “amigable”. Disposa d'una interfície gràfica i visual que facilita a l'usuari el procés de modelització, verificació i validació, i d'anàlisi dels resultats. Això s'aconsegueix gràcies a combinar la facilitat d'ús de simuladors d'alt nivell amb una flexibilitat dels llenguatges de simulació.

La simulació d'aquest projecte s'ha realitzat amb el paquet *Arena* v14. D'entre les aplicacions del paquet, destacaren els programes següents:

- Programa *Arena*: permet crear models i realitzar simulacions.
- Programa *Input Analyzer*: permet simular mostres de valors aleatoris o distribucions i realitza anàlisis estadístiques de dades a l'entrada del model.
- Programa *Output Analyzer*: Permet importar els valors obtinguts del model implementat en *Arena* i realitza anàlisis estadístiques.

#### 4.5.1 Introducció i trets bàsics del software Arena

El software Arena, tal com hem dit anteriorment, és flexible ja que permet la utilització de diferents llenguatges de programació com Microsoft, Visual Basic o C. Això s'aconsegueix gràcies a la estructura jeràrquica que conté (Figura 24), on hi ha una sèrie de plantilles que interactuen entre elles que contenen mòduls per al modelat de sistemes. Aquests mòduls poden combinar-se i separar-se entre sí per a aconseguir una gran varietat de models de simulació.

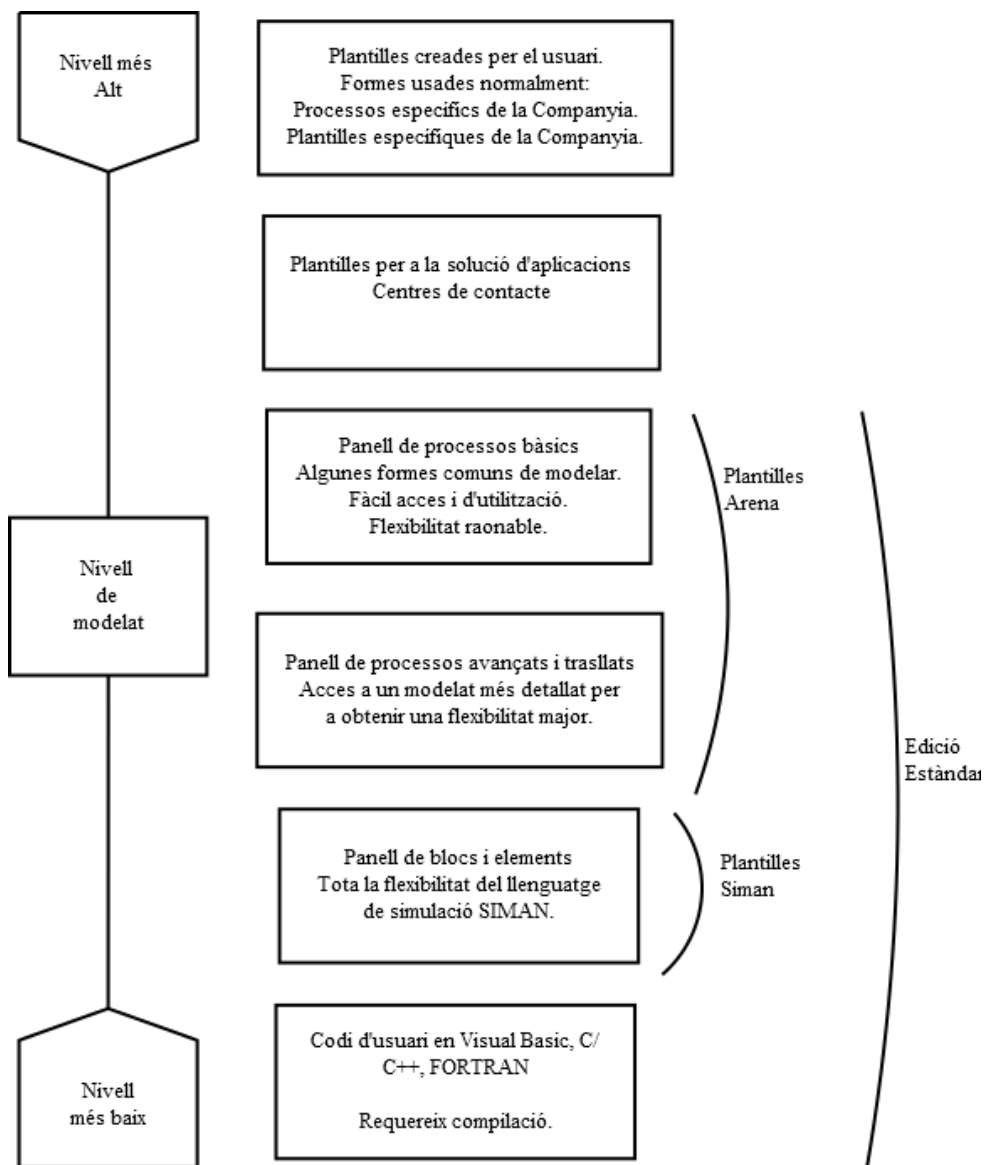


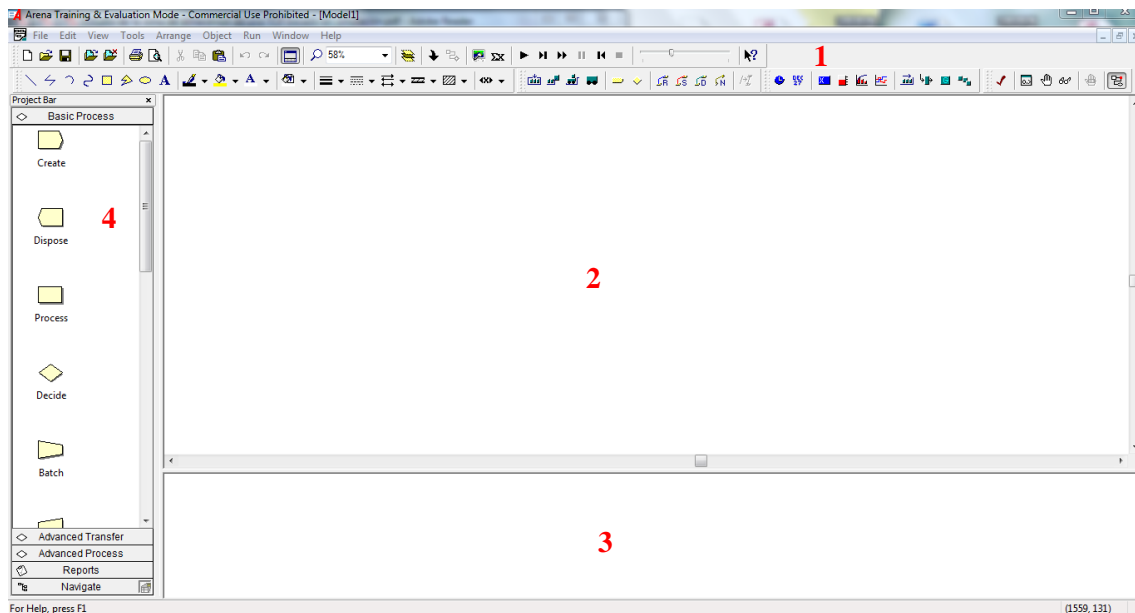
Figura 24. Estructura jeràrquica del software Arena. (Kelton, et al., 2010).

A continuació, es definiran els elements que componen un model de simulació i descriurem els trets més importants de cadascun d'ells.

- Entitats: quan parlem d'entitats en una simulació, ens referim a les persones, objectes o elements que interactuen amb el model, ja sigui desplaçant-se per ell, causant canvis en l'estat del sistema o en altres entitats, en altres paraules, són objectes dinàmics que es creen a l'entrada del model, interactuen amb una sèrie de processos (recursos) i surten del model. També és possible que el recorregut no sigui entrada – procés – sortida ja que algunes entitats potser mai deixin el sistema, sinó que romanguin per el model.
- Atributs: els atributs són característiques que s'assignen a les entitats amb l'objectiu de diferenciar les entitats respecte altres. Normalment l'atribut és comú a totes les entitats, però el valor de l'atribut és el que les diferencia. Permeten assignar tot tipus de d'atributs com costos, temps, imatges, etc.
- Variables (Globals): són necessàries per a descriure el sistema en un moment determinat. El programa *Arena* genera automàticament les més importants per a una descripció completa del model, encara que hi ha l'opció de que l'usuari generi les seves pròpies variables amb l'objectiu de descriure paràmetres que l'interessi estudiar. Cal destacar que al contrari que els atributs, les variables corresponen al sistema en general i no a les entitats en particular. Les entitats poden accedir a les variables però.
- Recursos: representen la maquinària, personal o elements necessaris per a que les entitats realitzin un procés. Les entitats que requereixin un procés, ocuparan el recurs i depenent de la capacitat del recurs, no deixaran entrar a altres. Quan una entitat es troba amb un recurs ocupat s'emplaçarà en una cua fins que el recurs estigui disponible.
- Cues: són espais físics o imaginaris on les entitats es situen a l'espera d'alguna senyal. Aquesta senyal pot ser deguda a molts factors, com per exemple, espera d'un recurs lliure, saturació del model, necessitat d'agrupar varies entitats, etc.
- Estacions: *Arena* representa els sistemes dividint-los en subsistemes anomenats estacions. Permeten estructurar de manera més organitzada del model.
- Comptadors estadístics: són variables per a guardar informació estadística sobre el rendiment del sistema. *Arena* en realitza una gestió automàtica en l'apartat *Statistic*.
- Relloige de simulació: variable encarregada de guardar el valor actual del temps de simulació.
- Llista d'esdeveniments: llista que conté els esdeveniments i el temps en que s'han d'executar. *Arena* en realitza una gestió automàtica.

- Rutina de gestió de temps: subprograma que determina el proper esdeveniment de la llista d'esdeveniments i l'encarregat d'avançar el rellotge de simulació en funció de l'esdeveniment programat. *Arena* en realitza una gestió automàtica. Icona *Step*.
- Generador d'informes: Subprograma que comptabilitza les mesures del sistema i genera un informe en quan es para la simulació.

A continuació mostrarem la finestra principal del programa *Arena* (Figura 25) . Visualitzarem com està estructurada i explicarem els trets bàsics.



**Figura 25.** Finestra principal del programa *Arena*.

1. Menú principal i barra d'eines: tenim un conjunt de pestanyes les quals són molt semblants a la dels altres softwares de Windows com *File*, *Edit*, *Tools* i *View*. La pestanya *Arrange* permet estructurar i ordenar els mòduls del model. El menú *Object* permet realitzar canvis en els connectors i afegir submodels. El menú *Run* és un dels més importants ja que és on s'inclouran tots els paràmetres de temps a simular, nombre de rèpliques, etc. El menú *Window* mostra les pestanyes dels models oberts i per últim, el menú *Help* que proporciona tot tipus d'informació i exemples sobre els elements del programa.
2. Àrea central (*Flowchart view*): zona on hi construirem el model, estarà format de mòduls, diagrames de flux, animacions i altres representacions.
3. Àrea inferior (*Spreadsheet view*): zona reservada per a la gestió, declaració i definició de tots els elements disposats en l'àrea central, variables, paràmetres i fitxers del model.

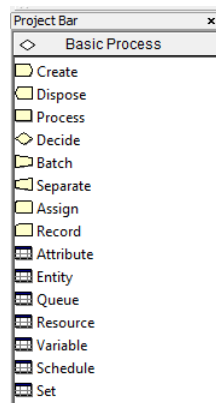


4. Àrea vertical costat esquerre (*Project Bar*): zona on hi ha tots els panells necessaris per a la construcció del model. Els que s'utilitzaran per a la construcció del model en aquest projecte seran: *Basic Process*, *Advanced Process* i *Advanced Transfer*.

A continuació s'exposaran els mòduls utilitzats en els models. Els elements que es creen en l'àrea *Spreadsheet view* com els atributs, expressions, fallades, etc. es definiran en el capítol 5.

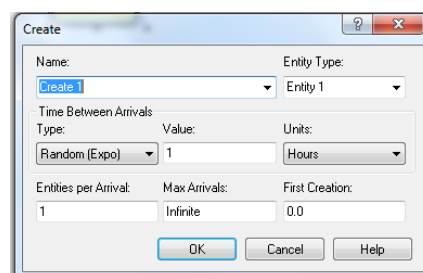
#### 4.5.2 Panell de processos bàsics

En la Figura 26 es pot observar els mòduls i elements que componen la plantilla de processos bàsics. Són els elements més bàsics d'un model de simulació. Es farà una breu descripció dels mòduls utilitzats en els models del projecte.



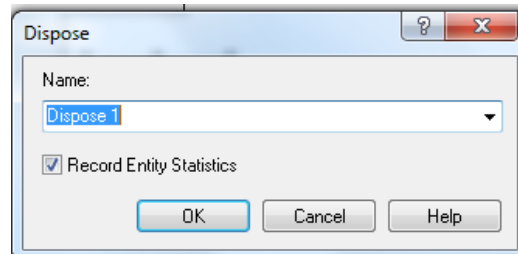
**Figura 26.** Panell de processos bàsics.

Mòdul *Create*: crea les entitats que recorreran el model. Es pot determinar la freqüència d'arribades i la seva quantitat (lots). Hi ha l'opció de triar la naturalesa del procés d'arribades: un tipus de distribució estadística, arribades programades a través de un *Schedule*, constant o a través d'una expressió. Figura 27.



**Figura 27.** Mòdul *Create*.

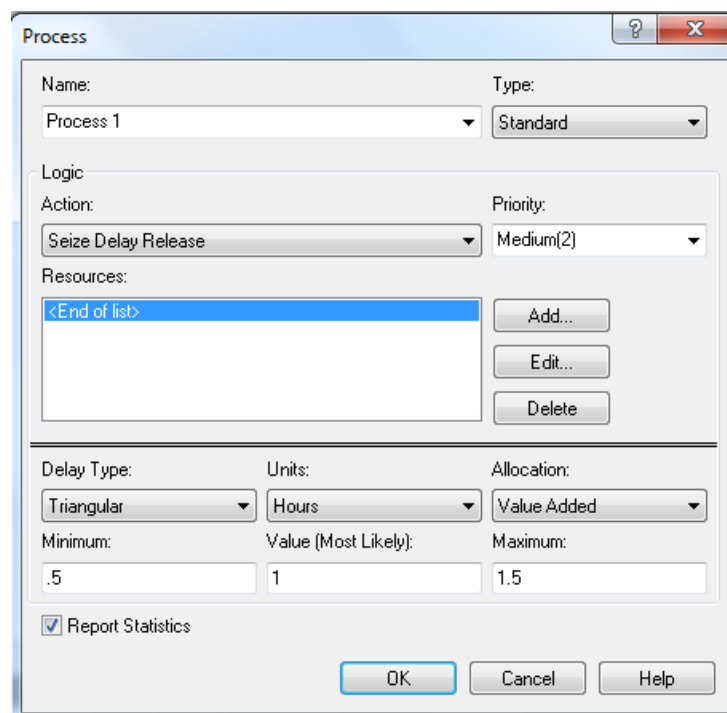
Mòdul *Dispose*: és el punt de sortida de les entitats del model. Hi ha l'opció de triar si es volen recollir els estadístics de les entitats que entren en aquest mòdul. Figura 28.



**Figura 28.** Mòdul *Dispose*.

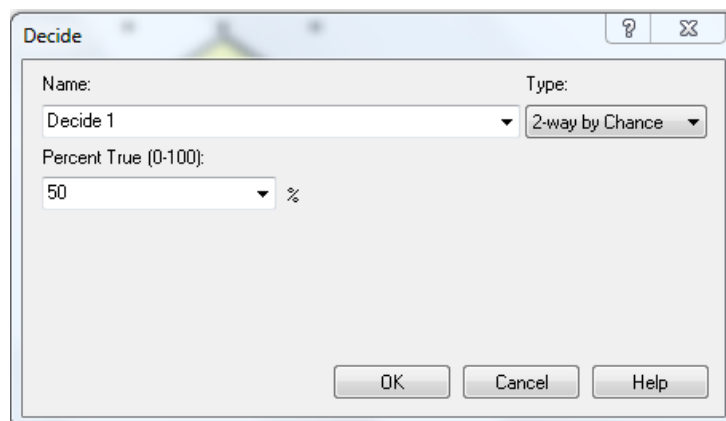
Mòdul *Process*: s'utilitza per a representar els processos que requereixen les entitats, normalment el mòdul *Process* és creat amb la lògica *Seize*, *Delay*, *Release*, que seria equivalent a ocupar un recurs, romandre l'estona necessària indicada i llavors alliberar el recurs. Aquest mòdul té la característica de poder-se dividir en tres mòduls, és a dir, un mòdul per a cada funció lògica esmentada, la qual cosa permet tenir una major flexibilitat alhora de modelar.

En la figura 29 podem observar un mòdul *Process* amb les 3 funcions lògiques.



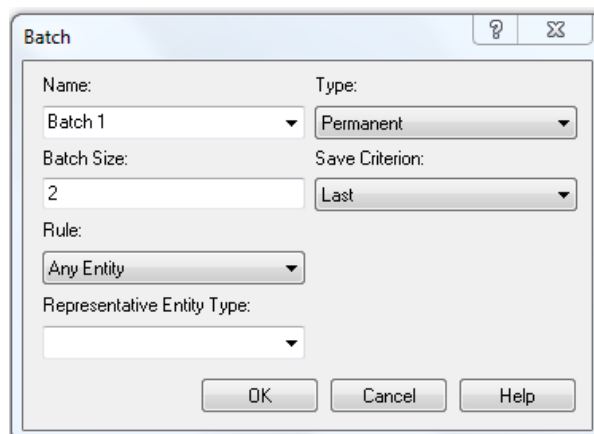
**Figura 29.** Mòdul *Process*.

Mòdul *Decide*: la seva funció es realitzar decisions sobre les entitats que entren en funció d'una condició imposada a una variable, atribut, expressió, etc. També pot decidir en funció de probabilitats. Figura 30.



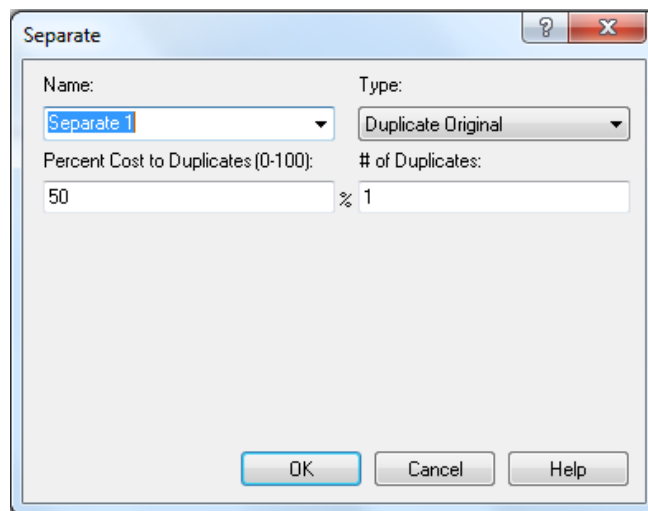
**Figura 30.** Mòdul *Decide*.

Mòdul *Batch*: s'utilitza per a agrupar entitats. Es pot decidir si formar grups temporals o permanents, si són temporals, hi ha d'haver un mòdul *Separate* després. Les entitats es situen en una cua fins que siguin el nombre requerit d'entitats per a formar el grup. Figura 31.



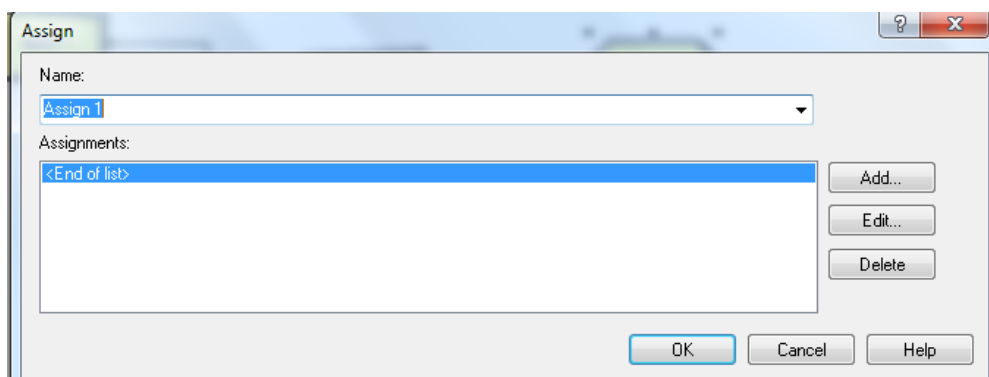
**Figura 31.** Mòdul *Batch*.

Mòdul *Separate*: s'utilitza per a fer duplicats de les entitats. Hi ha l'opció de que les entitats duplicades no tinguin cap cost o atribut de l'entitat principal, ja que l'entitat principal es quedaria la totalitat dels atributs, o és possible distribuir equitativament els atributs a les dúpliques (*Percent Cost to Duplicates*). Figura 32.



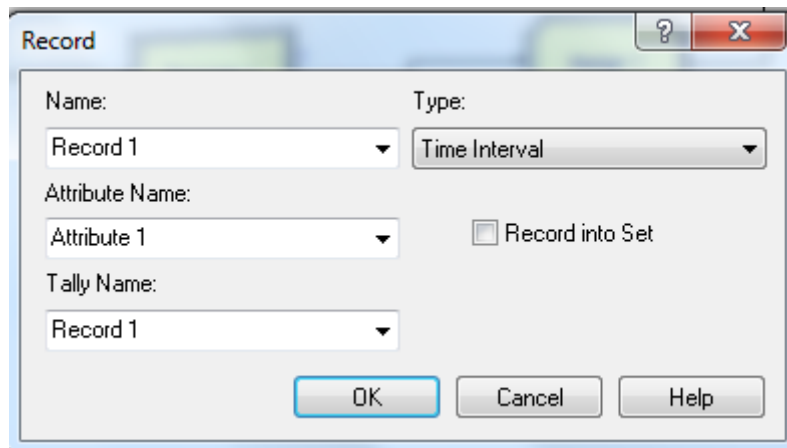
**Figura 32.** Mòdul *Separate*.

Mòdul *Assign*: la seva funció és d'assignar o actualitzar els valors de les variables o atributs de les entitats, en un mateix mòdul es poden fer varies assignacions. És un dels més importants. Figura 33.



**Figura 33.** Mòdul *Assign*.

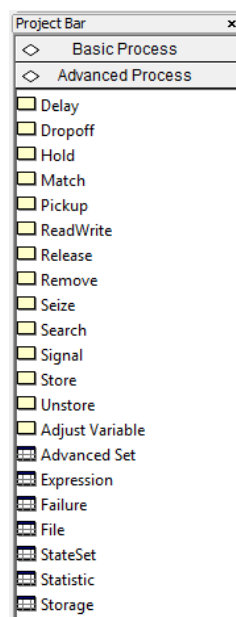
Mòdul *Record*: la seva funció és recollir valors estadístics del model de simulació. Hi ha varis tipus d'observació d'estadístics així com temps entre dos mòduls (*Time Interval*), observacions generals, etc. Utilitza el rellotge de la simulació per a fer comparacions (variable anomenada TNOW). Figura 34.



*Figura 34. Mòdul Record.*

### 4.5.3 Panell de processos avançats

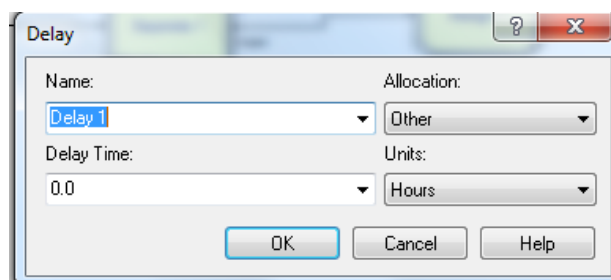
En la Figura 35 es pot observar els mòduls i elements que componen la plantilla de processos avançats. Aquests permeten una millor modelització del sistema. Es farà una breu descripció dels mòduls utilitzats en els models del projecte.



*Figura 35. Panell de processos avançats.*

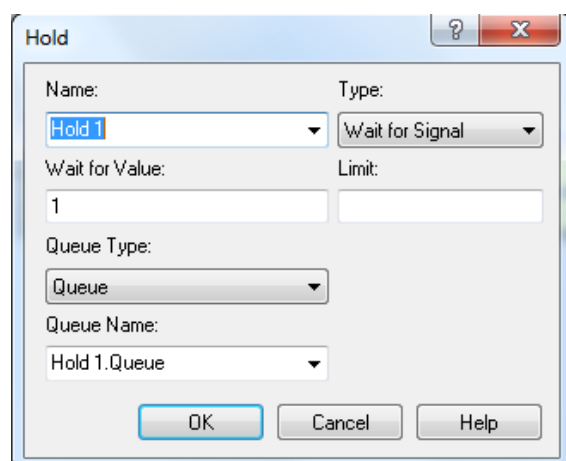
Mòdul *Delay*: la seva funció és mantenir una entitat a l'espera un específic període de temps.

Figura 36.



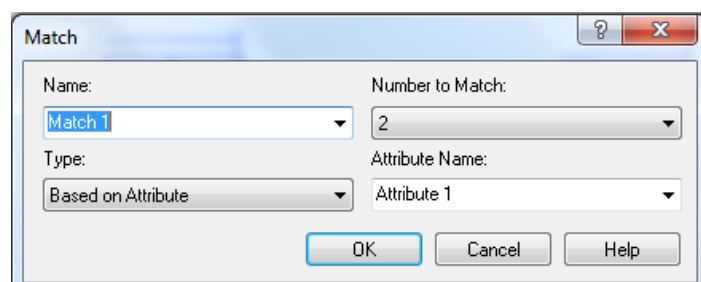
*Figura 36. Mòdul Delay.*

Mòdul *Hold*: s'utilitza per a mantenir les entitats que entren al mòdul en una cua les quals no sortiran fins rebre una senyal. Figura 37.



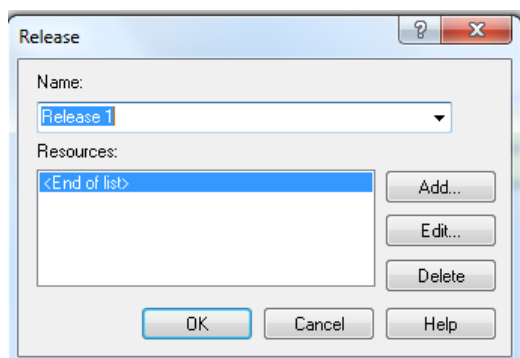
*Figura 37. Mòdul Hold.*

Mòdul *Match*: la seva funció és separar en diferents cues a les entitats en funció d'un atribut, i llavors quan hi ha almenys una entitat en cada cua, surt una de cada tipus. Figura 38.



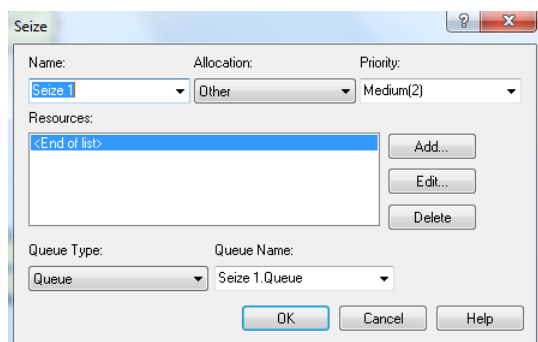
*Figura 38. Mòdul Match.*

Mòdul *Release*: és l'encarregat d'alliberar els recursos que havien ocupat les entitats. Figura 39.



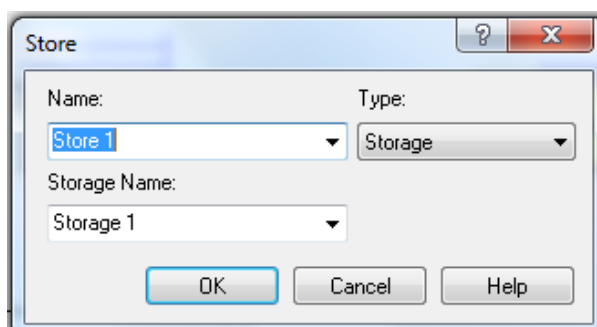
**Figura 39.** Mòdul *Release*.

Mòdul *Seize*: s'utilitza per a que les entitats ocupin recursos, en el cas de que el recurs requerit ja estigui ocupat per una entitat, són enviades a una cua. Figura 40.



**Figura 40.** Mòdul *Seize*.

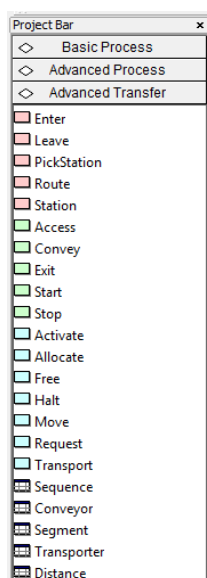
Mòdul *Store*: la seva funció és de simular una zona d'emmagatzematge. Es crea una variable la qual augmenta a mesura entren entitats al mòdul i hi ha la possibilitat de animar-ho. Normalment s'utilitza amb el mòdul *Unstore* per a retirar les entitats del magatzem creat. Figura 41.



**Figura 41.** Mòdul *Store*.

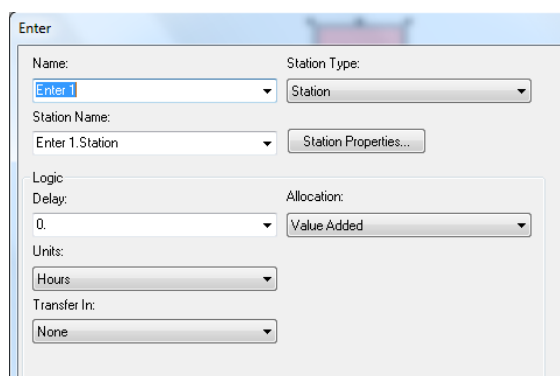
#### 4.5.4 Panell de trasllats avançats

En la Figura 42 es pot observar els mòduls i elements que componen la plantilla de trasllats avançats. Aquesta plantilla té la funció d'organitzar i estructurar els moviments d'entitats a través d'estacions. Es farà una breu descripció dels mòduls utilitzats en els models del projecte.



**Figura 42.** Panell de trasllats avançats.

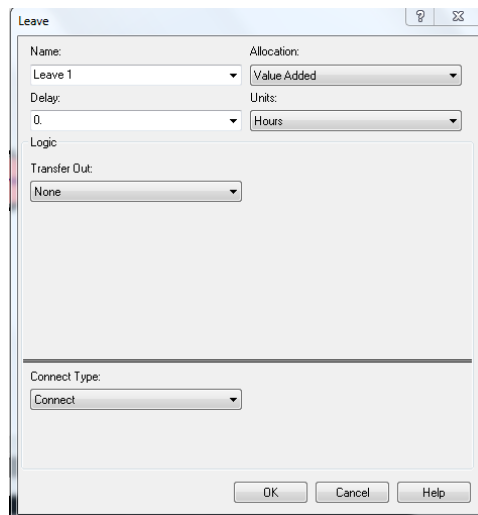
Mòdul *Enter*: defineix una estació que correspon a una localització física o lògica on donen lloc els processos a modelar. Hi ha l'opció d'introduir un temps afegit quan una entitat entra en el mòdul. Figura 43.



**Figura 43.** Mòdul *Enter*.

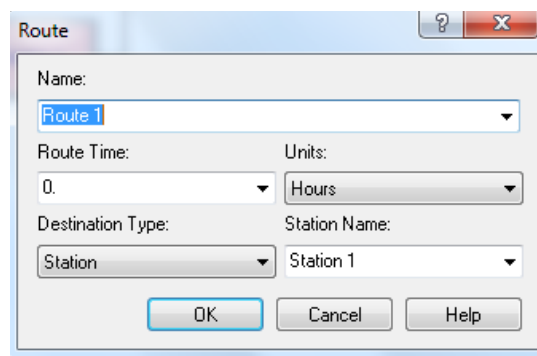


Mòdul *Leave*: la seva funció és la de transportar a una entitat des de una estació a una altre demanant una via de transport com: *route*, *conveyor*, *transporter* (auto-desplaçament, línies de transport físiques contínues, toros industrials) o simplement amb la connexió gràfica. L'opció *Transfer Out* s'utilitza per a triar la via de transport. També es pot afegir un temps per a “descarregar” la entitat de l'estació. Figura 44.



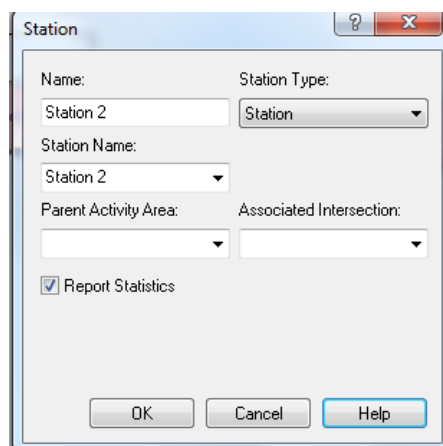
**Figura 44.** Mòdul *Leave*.

Mòdul *Route*: s'utilitza per a transferir unitats d'una estació a una altre. En la pestanya *Route Time* s'indica el temps que requereix. Figura 45.



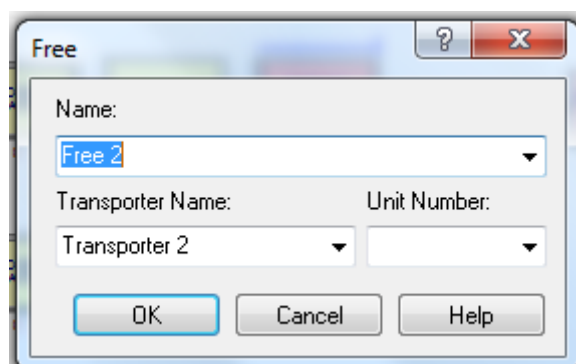
**Figura 45.** Mòdul *Route*.

Mòdul *Station*: aquest mòdul s'utilitza per a definir una estació o un conjunt d'estacions si es defineix un *Set* (conjunt). En aquest projecte s'ha utilitzat a l'inici de cada model amb la funció d'inicialitzar la seqüència de processos. Figura 46.



**Figura 46.** Mòdul *Station*.

Mòdul *Free*: la seva funció és d'alliberar *transporters*, en el nostre cas, toros industrials. Normalment està implícitament en els mòduls *Enter*. Figura 47.



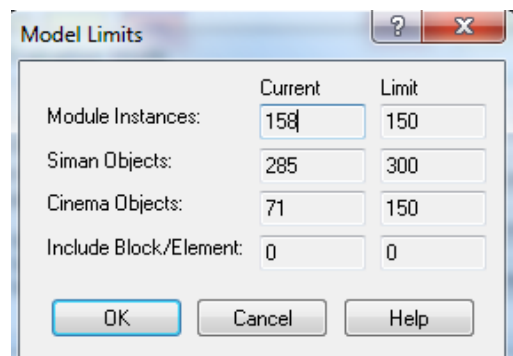
**Figura 47.** Mòdul *Free*.

#### 4.6 Limitacions dels models Arena

En relació amb el software *Arena*, hi ha diferents versions acadèmiques, com podem veure en al Figura 48, i cada una té les seves característiques amb algunes limitacions.

Arena Academic Offerings

	Student Version	Academic Laboratory	Academic Research
Number of Users	1	30	1
OptQuest for Arena		✓	✓
Arena Professional Edition	✓	✓	✓
Network Capable		✓	✓
Model Size Limitations	✓		
Access to Selected Online Help	✓	✓	✓
Access to Arena Tech Support		✓	✓
Access to Teaching Materials		✓	
Commercial Use Restrictions	✓	✓	✓
Price	Free	Contact Us	Contact Us



**Figura 48.** Versions acadèmiques del software Arena. **Figura 49.** Limitacions del model.

La versió que s'ha utilitzat per a la simulació d'aquest projecte és la versió d'estudiant. En la Figura 48 es pot observar que la versió utilitzada (primera columna) té limitacions en la mida del model. Així doncs, la major limitació del projecte a l'hora de modelar el sistema de fabricació de taps de suro és la versió d'estudiant. Aquesta versió limita la quantitat d'entitats que poden circular per el model (150) i el nombre d'elements (300). Figura 49.

Llavors, davant d'aquest problema, es va proposar una alternativa per aconseguir la realització de la simulació: ja que no és possible modelar tots els processos de la part del sistema a simular (veure Capítol 3.13) en un mateix model, és a dir, en un fitxer *Arena*, es realitzaran dos models per separat anomenats *Sistema Productiu actual 1* i *Sistema Productiu actual 2*. Aquest fet ens permetrà modelar el sistema real en la seva totalitat, podent verificar, validar i realitzar proves de rendiment, ja que no és necessari reduir ni el ritme d'arribades, ni la quantitat de recursos dels processos, ni els tipus de clients, etc.

Hem de tenir en compte de que al modelar estem generant una representació abstracta del sistema, i, hi hauran consideracions i simplificacions, sempre però que no afectin al comportament del sistema i sobretot als paràmetres de rendiment que es pretenen analitzar.

## 5. MODEL DE SIMULACIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ DE TAPS

En aquest capítol es proposa presentar la part del procés de fabricació que es modelarà, es descriuran tots els elements i paràmetres que intervenen en el procés i per a finalitzar es mostraran els models Arena realitzats. El fet d'haver descrit en anteriors capítols el sistema de fabricació de taps i els conceptes bàsics de la simulació facilitarà al client reproduir les parts del projecte sense cap mena de dificultat.

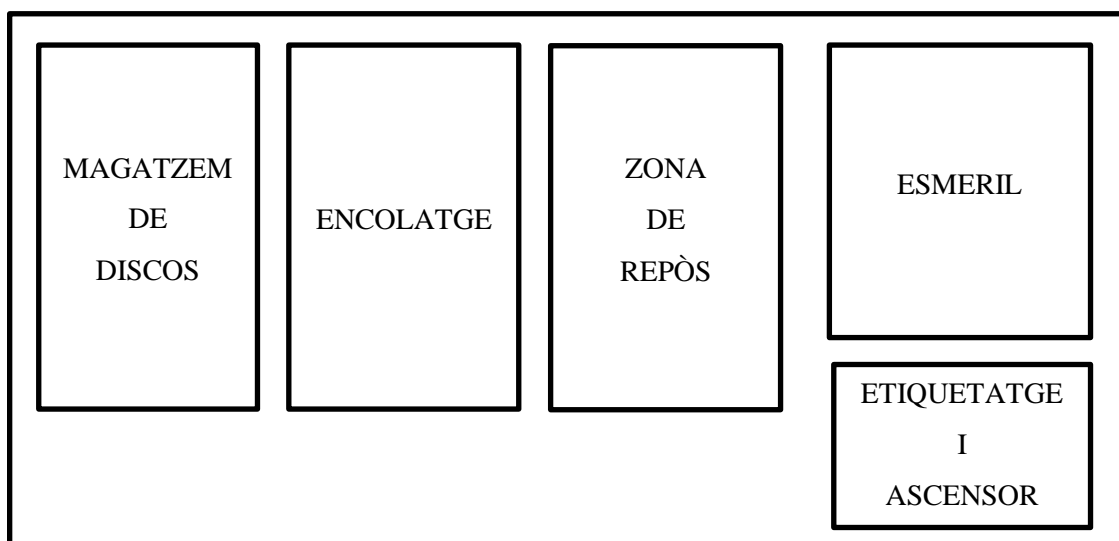
En quant a la modelització del sistema, tal com s'ha anat comentant, s'han creat 3 models Arena. En primer lloc, s'ha creat el model *Sistema Productiu actual 1* que involucra als processos d'encolatge i esmeril. En segon lloc, s'ha creat el model *Sistema Productiu actual 2* que involucra els processos de tria de classe electrònica i tria de classe manual. En tercer i últim lloc, s'ha creat el model *Sistema Productiu "Lean"* que involucra els nous processos d'encolatge, esmeril i tria de classe. **El simple fet d'haver pogut modelar el nou sistema de fabricació en un sol model, al contrari del sistema de fabricació actual creat en dos models, ja es un gran indicatiu de reducció de recursos no imprescindibles en el sistema.**

### 5.1 Descripció del model *Sistema Productiu actual 1*

El model *Sistema Productiu actual 1* consta de les següents parts: magatzem de discos, encolatge, zona de repòs, esmeril, etiquetatge i ascensor.

- Magatzem de discos: zona on es guarden els discos de suro natural en contenidors a l'espera de rebre la comanda i ser enviats cap a encolar.
- Encolatge: zona on hi ha un conjunt de màquines encoladores encarregades d'unir els discos de suro natural amb els mànecs d'aglomerat de suro.
- Zona de repòs: zona on s'emmagatzemen els contenidors de taps encolats i s'esperen a l'assecatge de la cola alimentaria per poder ser esmerilats.
- Esmeril: zona on hi ha un conjunt de màquines esmeriladores encarregades de rectificar les dimensions dels taps.
- Etiquetatge i ascensor: zona on un ordinador té monitoritzades les màquines d'esmeril i proporciona una etiqueta per a cada contenidor que descriu la classe del tap de suro.

Per a tenir una millor visualització del sistema, en la Figura 50 podem observar com estan organitzades les parts.



*Figura 50. Diagrama esquemàtic del model Sistema Productiu actual 1.*

### 5.1.1 Consideracions i simplificacions

En aquest apartat es descriuran les simplificacions realitzades del sistema real. Generalment, simplificar en la modelització significa convertir variables en constants, eliminar o combinar variables, afegir suposicions, etc.

Llavors les simplificacions que s'han realitzat en aquest model són les següents:

- Considerarem que el nombre de discos dels contenidors de discos que arriben a les encoladores és fixe en funció del tipus de tap a fabricar, és a dir, per a comandes de taps 1+1 i 2D i hauran 54.000 discos i per a taps 1D, 27.000.
- Considerarem que el nombre de taps en els contenidors no varia i és de 27.000 taps.
- Suposarem que no hi ha pics de producció. Conjuntament amb les simplificacions anteriors, quan un contenidor arriba a un procés, és buidat completament, ja que tant les màquines encoladores com esmeriladores, disposen d'un comptador que parerà les màquines quan el contenidor s'hagi buidat.
- Suposarem que els aglomerats de suro estan sempre disponibles en les màquines encoladores, i per tant, no hi hauran parades degudes a la manca d'aglomerats.

- Els temps de càrrega i descàrrega dels toros industrials, temps en l'etiquetatge i ascensor, i per últim, temps en la zona de repòs s'han obtingut a través del responsable de producció de l'empresa que, gràcies als anys d'experiència i coneixements del sistema, no s'ha cregut necessari l'obtenció de dades dels termes esmentats.

### 5.1.2 Arribades

Les arribades al sistema s'han modelat a partir de registres obtinguts del sistema. La jornada laboral està dividida en tres torns de 8 hores cadascun, és a dir, l'empresa està produint 24 hores al dia, de dilluns a diumenge exceptuant alguns dies festius.

Quan arriba una comanda, un contenidor de discos de suro demana ser transportat a la zona d'encolatge. En cas de que la màquina encoladora que requereixi estigui ocupada, el contenidor s'espera en el magatzem de discos fins que l'encoladora que requereix és alliberada.

El temps que transcorre entre dues arribades consecutives s'ha analitzat en l'apartat 5.1.9 i s'ha estimat que segueix una distribució Exponencial de 47,156 minuts de mitjana.

### 5.1.3 Tipus de clients i recorregut

Hi ha 8 tipus de clients que demanen entrar al sistema. Es classifiquen segons el tipus i classe de tap. En primer lloc, tenim els taps 2D de diferents classes: EXTRA, 1FLACA, 3FI, A2 i N4, de major a menor qualitat. En segon lloc tenim els taps 1D de classe A2. En tercer i últim lloc, taps 1+1 de dos possibles diàmetres, de 26 i 28 mil·límetres.

Tots els clients han de passar per el mateix tipus de processos, és a dir, tenen el **mateix recorregut**, encara que alguns disposen de menys recursos que els altres. El recorregut a tenir en compte és el següent: magatzem de discos (entrada) – encolatge – zona de repòs – esmeril – etiquetatge i ascensor.

Les probabilitats de que el client sigui d'un tipus i classe de tap s'han modelat a través de registres (Annex A).

#### 5.1.4 Recursos

Tots els processos estan completament automatitzats, i per tant, no requereixen de personal, és necessari però tenir a varis operaris per a transportar els contenidors d'un procés a un altre i també per a realitzar les tasques de manteniment de les màquines.

Els recursos que disposa el model *Sistema Productiu actual 1* són:

- 9 Màquines encoladores.
- 8 Màquines polidores.
- 2 Toros industrials.
- 1 Ascensor.

#### 5.1.5 Estacions

En aquest model, al constar de processos totalment automatitzats, podem afirmar que es pren la mateixa quantitat de temps de procés per a cada contenidor. Llavors, es considerarà que els temps de servei són deterministes, és a dir, amb una desviació estàndard igual a zero. (Veure Annex B).

El magatzem de discos de suro natural disposa d'una gran capacitat de contenidors, i per tant, s'ha considerat en el model que si una comanda arriba i la màquina encoladora requerida està ocupada, el contenidor no sortirà del magatzem i s'esperarà fins que s'alliberi la màquina encoladora que havia demanat ocupar. Conseqüentment, no hi haurà comandes refusades.

Zona encolatge: les màquines encoladores tenen una capacitat d'un contenidor cada una. No totes estan estructurades de la mateixa manera, ja que és diferent el procés d'encolatge amb taps 1D que 2D o 1+1, i, per tant, de les 9 màquines encoladores 6 són per a taps 2D, 2 per a taps 1D i 1 per a taps 1+1. També es disposa de 3 màquines encoladores, 1 per a taps 2D i les altres 2 per a taps 1D, més ràpides que la resta i s'utilitzarà prioritàriament respecte les altres.

En utilitzar productes com és la cola alimentària, les màquines requereixen un manteniment que consta del greixat de les parts mòbils, l'ajust el dosificador de cola i de la pressió en el premsat. El manteniment està programat i consta de 2 hores de durada.

Zona de repòs: no requereix cap tipus de recurs ja que la funció d'aquesta zona és deixar reposar la cola per tal de que es refredi i sigui possible rectificar els taps sense perill de que els discos se separin del mànec. El temps en que un contenidor roman en aquesta zona s'ha considerat que segueix una distribució triangular, pel fet de que com a mínim el contenidor roman 4 hores per assegurar que la cola s'ha assecat, i per altre banda, és segur que el contenidor no sobrepassarà les 24 hores en la zona de repòs degut a que la producció de l'empresa és sota comanda. Segons el responsable de producció, els temps habitual és de 4 hores i mitja per a donar un marge d'error i evitar taps defectuosos en el procés de polir.

Zona esmeril: les màquines esmeriladores, també anomenades polidores, tenen la capacitat d'un contenidor cada una. Al contrari de les màquines encoladores, qualsevol tipus i classe de tap pot ser processat en les 8 polidores i totes treballen a la mateixa velocitat. Tot i que els taps 1+1 no requereixin ser bisellats, l'operari, quan transporta el contenidor des de la zona de repòs fins la màquina esmeriladora, s'encarrega de canviar una mànega per tal de d'evitar la màquina de bisellar.

La zona esmeril no disposa d'espai per a cues, i per tant, si un contenidor demana una polidora i totes estan ocupades, s'esperarà en la zona de repòs fins que alguna polidora sigui alliberada.

Les polidores requereixen un manteniment d'una hora de durada el qual està programat com podem veure en la Taula 1.

CALENDARI DE MANTENIMENT DE MÀQUINES POLIDORES					
TORN	DILLUNS	DIMARTS	DIMECRES	DIJOUS	DIVENDRES
<b>MATÍ</b>	P1	P2	P3	P4	
<b>TARDA</b>	P7	P5	P6	PD	
<b>NIT</b>					

*Taula 1. Calendari de manteniment de les màquines polidores.*

Zona etiquetatge i ascensor: un cop la màquina polidora ha esmerilat el contenidor, un monitor avisa a l'operari quina és la màquina a la qual ha d'anar a recollir els taps esmerilats i, llavors, un cop s'ha recollit amb el toro el contenidor, passarà per el monitor per tal d'aconseguir l'etiqueta que indica el tipus i classe del tap processat. També s'indicarà al monitor que la polidora en qüestió està preparada per a un nou contenidor.

Al costat del monitor, hi ha un ascensor per tal de portar els taps que han estat encolats i esmerilats cap a el magatzem de la planta superior.



Els temps de processat s'han calculat a través de les velocitats per tap de les màquines i del nombre de taps per contenidor. Es mostraran els temps en la Taula 2 que veurem a continuació:

	<b>CONTENIDOR AMB TAPS DE SURO 1D/2D/1+1</b>
Encolatge (HORES)	4,950 // 3,960 (Encoladores 1D i una 2D)
Zona de repòs (HORES)	TRIA(4, 4.5, 24)
Esmeril (HORES)	3,865
Etiquetatge (MINUTS)	NORM(1, 0.05)

**Taula 2.** Temps de processat dels contenidors.

### 5.1.6 Distàncies, toros industrials i ascensor

Cada part del procés està separada de les altres per una distància física que depèn de les dimensions de la nau. Per qüestions de confidencialitat de l'empresa no es mostrarà el plànol del sistema de fabricació, però mostrarem les distàncies obtingudes en la Taula 3.

Distàncies (metres)	Magatzem discos	Zona encolatge	Zona repòs	Zona esmeril	Etiquetatge i Ascensor
Magatzem discos	-	20	30	-	-
Zona encolatge	20	-	10	-	-
Zona repòs	30	10	-	10	15
Zona esmeril	-	-	10	-	5
Etiquetatge i Ascensor	-	-	15	10	-

**Taula 3.** Distàncies entre estacions en metres. Les distàncies que no apareixen són de la mateixa estació o el toro mecànic no realitza el trajecte en qüestió.

Per al transport de contenidors entre els estacions esmentades s'utilitzen 2 toros industrials idèntics amb una velocitat mitjana de 50 metres per minut. Un toro s'encarrega de la zona Magatzem discos – Encolatge – Zona repòs i l'altre Zona repòs – Esmeril – Etiquetatge i Ascensor. També es considerarà un temps de càrrega i descarrega, que es distribueix segons una llei Normal (1 minut, 0.05). L'ascensor es mou a una velocitat constant de 50 metres per minut i la distància entre els dos pisos és de 5 metres.

### 5.1.7 Comptadors estadístics (variables claus)

Els paràmetres que es tindran en compte a l'hora de simular el model són els següents:

- Nombre de contenidors en el sistema: aquest estadístic ens proporcionarà la informació necessària per a realitzar una anàlisi del *Warm-Up* del sistema, ja que en la simulació Arena totes les màquines comencen buides i el model és d'un sistema "Estat-Estacionari", és a dir, no hi ha un principi ni un final en un sistema de producció de 24 hores diàries.
- Temps d'estada dels contenidors en el sistema: objectiu principal de la simulació d'aquest projecte, ja que amb la nova política que es presentarà en el model *Sistema Productiu "Lean"* es busca reduir considerablement aquest paràmetre.
- Total d'entitats processades: és un paràmetre important a analitzar ja que ens permetrà contrastar-lo amb dades del sistema real per a la validació del model. També ens proporcionarà el ritme d'arribades del model *Sistema Productiu actual 2*.

### 5.1.8 Recollida de dades i anàlisi estadístic

Un aspecte d'especial importància en un model de simulació és les arribades al sistema, ja que són l'inici de tot model i són les que el fan funcionar. La dinàmica del model, llavors, vindrà determinada per la forma en que s'incorporen les entitats. El procés del temps transcorregut entre dues arribades consecutives una variable aleatòria amb una determinada distribució.

A continuació es mostrarà l'estudi estadístic de les arribades al sistema. S'ha disposat de registres que recullen l'hora de tots els contenidors que just han sigut encolats, i per tant, al suposar que la velocitat de les encoladores és constant, s'ha calculat la diferència per obtenir les arribades al sistema d'un cert període de temps.

A continuació, es pot observar la Taula 4 amb els valors obtinguts de la diferència entre dues arribades consecutives de la Taula Excel inclosa en l'Annex A.

TEMPS ENTRE ARRIBADES CONSECUTIVES (Minuts)				
25	55	0,6	5,6	5
9,4	35	0	55	50
45,6	39,4	0	15	79,4
50	10,6	95	15	120,6
79,4	105	89,4	25	30
70,6	50	35,6	9,4	19,4
30	19,4	0	40,6	30,6
100	20,6	50	85	20
10	20	70	35	20
90	80	19,4	24,4	104,4
5	64,4	90,6	65,6	30,6
25	95,6	30	30	130
14,4	0	30	79,4	59,4
25,6	60	130	10,6	75,6
29,4	14,4	40	20	5
100,6	35,6	9,4	20	184,4
50	20	45,6	469,4	115,6
34,4	0	35	55,6	5
5,6	20	35	0	15
105	15	59,4	40	
20	55	20,6	40	
44,4	159,4	80	125	
15,6	45,6	60	15	
95	0	0	15	
10	40	19,4	70	
64,4	5	5,6	20	
10,6	10	80	20	
35	74,4	89,4	9,4	
130	5,6	20,6	155,6	
144,4	30	20	24,4	
5,6	110	0	20,6	
10	5	120	30	
15	14,4	94,4	15	

**Taula 4.** Temps entre dues arribades consecutives. Valors obtinguts dels registres de l'Annex A.

La distribució exponencial juga un paper important en models de sistemes de cues. El temps entre arribades en el sistema freqüentment involucren a la distribució exponencial.

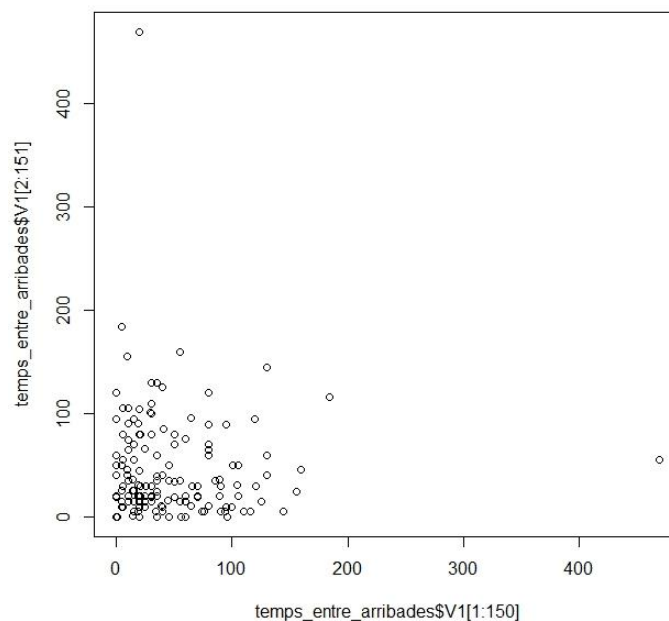
Segons el procés de Poisson, s'afirma que quan el nombre d'arribades sigui una variable aleatòria Poisson de paràmetre  $\lambda$ , el temps que transcorre entre esdeveniments consecutius sigui una variable aleatòria que segueix una distribució Exponencial de paràmetre  $\lambda$ .

Un cop presentada la taula de temps entre arribades, es comprovarà que les dades recollides siguin independents, ja que han estat recollides durant una setmana de manera ordenada i podria ser que estiguessin correlacionades.

En cas que la mostra fos dependent (dades auto correlacionades), els estimadors són poc eficients i les proves de contrast no vàlides, en resum, s'anul·larien les anàlisis estadístiques.

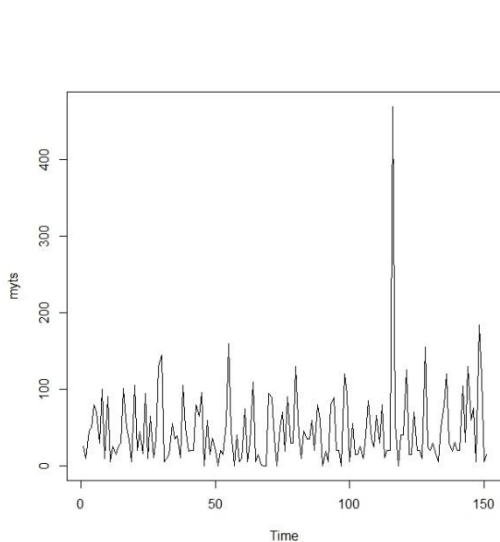
S'han utilitzat dos programes per a l'anàlisi estadística del temps entre arribades: *R* (amb el paquet *R commander*) i *Arena12* (programa *Input Analyzer*).

En la Figura 51, es pot observar que el núvol de punts no suggereix cap relació funcional entre les dades. De primeres, diríem que les dades són independents a "un pas vista".

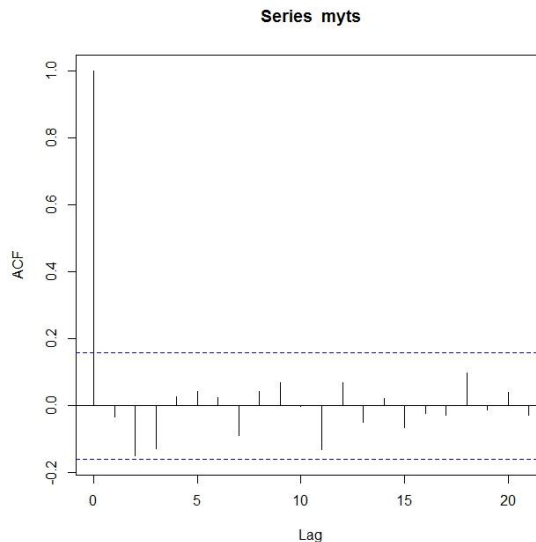


**Figura 51.** Núvol de punts de la variable temps entre arribades.

El següent pas és convertir a la mostra en un objecte de tipus sèries temporal per a poder aplicar la funció d'autocorrelació, ja que ens permet trobar patrons repetitius dins una senyal. Figures 52 i 53.



**Figura 52.** Gràfic de la sèrie temporal.



**Figura 53.** Gràfic de la funció d'autocorrelació.

Aquesta funció d'autocorrelació aplicada en les dades de temps entre arribades, mostra que la sèrie temporal és aleatòria degut a que els valors observats en el gràfic de correlacions no són significativament diferents de zero, no superen els marges d'aleatorietat. Només és significatiu el coeficient de correlació de les dades amb elles mateixes (sense desplaçament) el qual naturalment pren el valor igual a 1. Per tant, podem assumir que les dades són incorrelacionades.

El següent pas a seguir és realitzar un resum numèric per a descartar possibles lleis de distribució. Si inspeccionem la Figura 54, podem veure un tret característic de la llei exponencial: la mitjana i la desviació prenen valors propers.

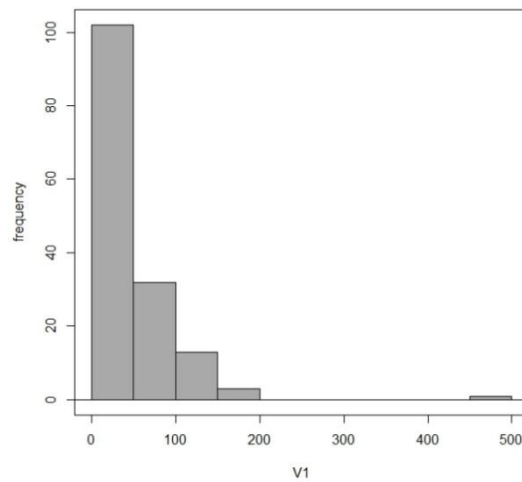
```
· numSummary(TEMPS_ARRIBADES[, "TEMPS.ENTRE.ARRIBADES"], statistics=c("mean", "sd", "IQR",  
· "quantiles"), quantiles=c(0, .25, .5, .75, 1))  
  mean      sd IQR 0% 25% 50% 75% 100%  n NA  
47.15629 52.97284 52.8 0 15 30 67.8 469.4 151 1
```

**Figura 54.** Resum numèric realitzat amb el programa R

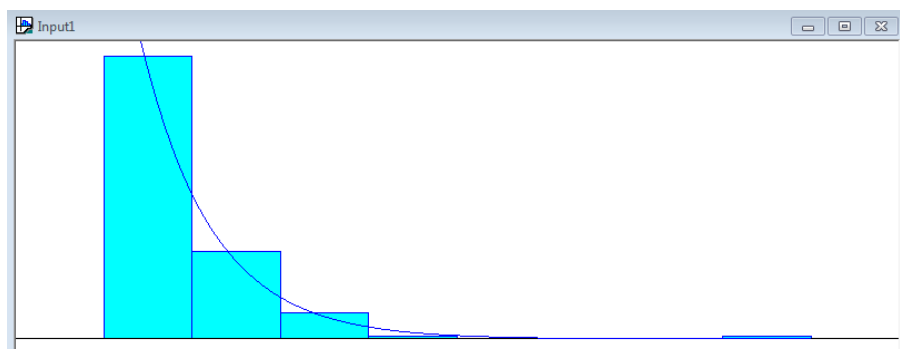
Per a tenir una orientació gràfica de la distribució de les dades de la mostra realitzarem un histograma. Per a decidir el nombre d'interval que contindrà l'histograma aplicarem la regla de Sturges (Eq.1):

$$k = 1 + \log_2 n = 1 + \frac{\log n}{\log 2} = 1 + \frac{\log 151}{\log 2} = 8.238 \approx 8 \quad (\text{Eq.1})$$

On  $n$  és la mida de la mostra i  $k$  el nombre d'interval que contindrà l'histograma. Figures 55 i 56.

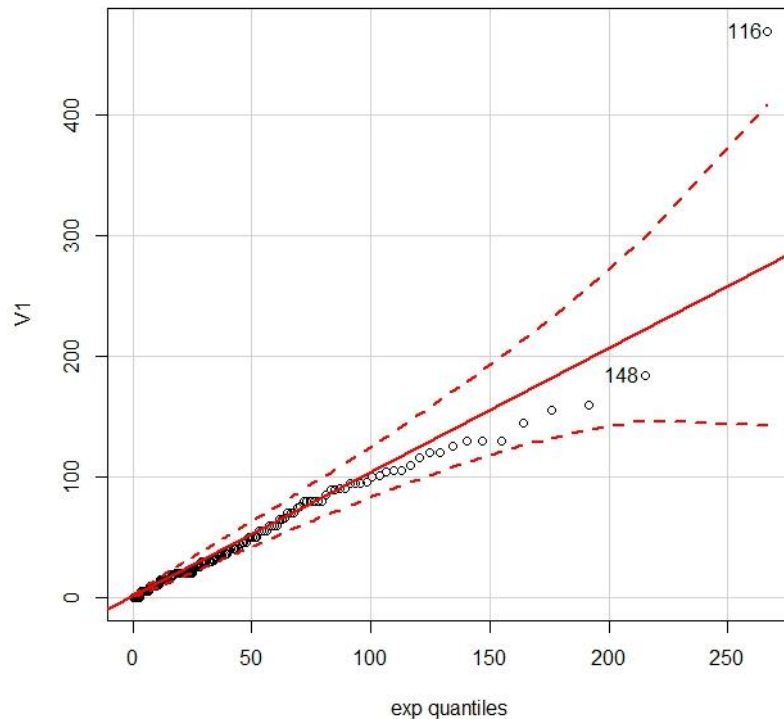


*Figura 55. Histograma realitzat amb el programa R. Podem veure un biaix cap a la dreta.*



*Figura 56. Histograma realitzat amb el programa Input Analyzer. La corba blava representa la llei exponencial que millor ajusta.*

Un cop mostrats els estadístics bàsics i l'histograma de la nostra mostra de dades, es pot valorar gràficament si algun model s'ajusta a les dades experimentals a través dels diagrames QQ (Quantil – Quantil). Tal com han sortit els càlculs previs, la distribució més indicada a mostrar serà la Exponencial. Figura 57.



**Figura 57.** Diagrama QQ Exponencial. Es pot observar una dada atípica (116: 469,4min) possiblement deguda per un excés d'estoc, i conseqüentment, es va aturar el procés d'encolatge per a no saturar el sistema.

L'últim pas, i no el menys important, és realitzar un contrast de bondat d'ajust que ens permetrà definitivament afirmar si una llei teòrica s'ajusta a la mostra de dades.

Les hipòtesis de partida en tots els casos són:

- H0: La llei SÍ s'ajusta a les dades.
- H1: La llei NO s'ajusta a les dades.

Llavors, fixat un nivell de significació alfa (usualment es tria 0,05), si el p-valor és major que alfa no hi ha motius per a rebutjar H0, és a dir, la llei és útil per a simular dades com les de la mostra.

Utilitzarem el contrast de Kolmogorov-Smirnov (KS) amb la funció de probabilitat Exponencial. Figures 58 i 59.

```
> ks.test(Datos$V1, 'pexp', 1/mean(Datos$V1))  
  
One-sample Kolmogorov-Smirnov test  
  
data: Datos$V1  
D = 0.06329, p-value = 0.5808  
alternative hypothesis: two-sided
```

**Figura 58.** Contrast de Kolmogorov-Smirnov (KS) amb el programa R. P-valor igual a 0.5808. No es rebutja la hipòtesi nul·la.

```
Distribution Summary  
  
Distribution: Exponential  
Expression: -0.001 + EXPO(47.2)  
Square Error: 0.000520  
  
Chi Square Test  
Number of intervals = 3  
Degrees of freedom = 1  
Test Statistic = 0.197  
Corresponding p-value = 0.683  
  
Kolmogorov-Smirnov Test|  
Test Statistic = 0.0536  
Corresponding p-value > 0.15
```

**Figura 59.** Contrast de Kolmogorov-Smirnov (KS) i Chi Square Test amb el programa Input Analyzer. P-valor igual a 0.0536 i 0.683 respectivament. No es rebutja la hipòtesi nul·la.

Podem afirmar que el procés d'arribades en el nostre sistema s'assimila a un procés de Poisson?

El procés de Poisson modelitza el nombre d'arribades de clients a un sistema. En un procés de Poisson, la llei Exponencial modela els temps entre esdeveniments aleatoris, introduint a les arribades de contenidors que siguin aquests esdeveniments i el temps la diferència entre dues arribades consecutives.



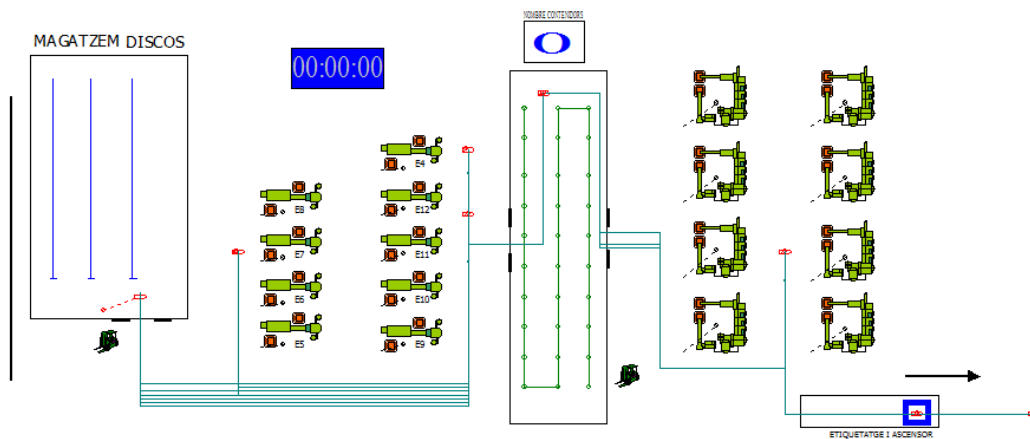
Les hipòtesis a satisfer són:

- Les dades recollides del temps entre dues arribades ha de ser estadísticament independents.
- La quantitat d'arribades en un cert període de temps ha de ser constant ( $\lambda$ ) i no depèn de l'interval estudiat en particular. És a dir, un procés de Poisson homogeni al llarg del dia.

Si es comparen les hipòtesis anteriors amb l'estudi estadístic realitzat, es compleixen. Per tant, arribem a la conclusió que podem assumir que el procés d'arribades al sistema serà un procés de Poisson de paràmetre  $\lambda$  (0,021contenedors/minut), i consegüentment, el temps entre arribades es distribuirà segons una Exponencial de paràmetre  $\lambda$  també.

### 5.1.9 Model arena del *Sistema Productiu 1*

A partir d'aquest punt, ja es tenen totes les característiques, paràmetres i elements necessaris per a la construcció del model *Sistema Productiu actual 1* per ordinador amb el programa Arena. Figures 60 i 61.



**Figura 60.** Animació del model Arena Sistema Productiu actual 1.

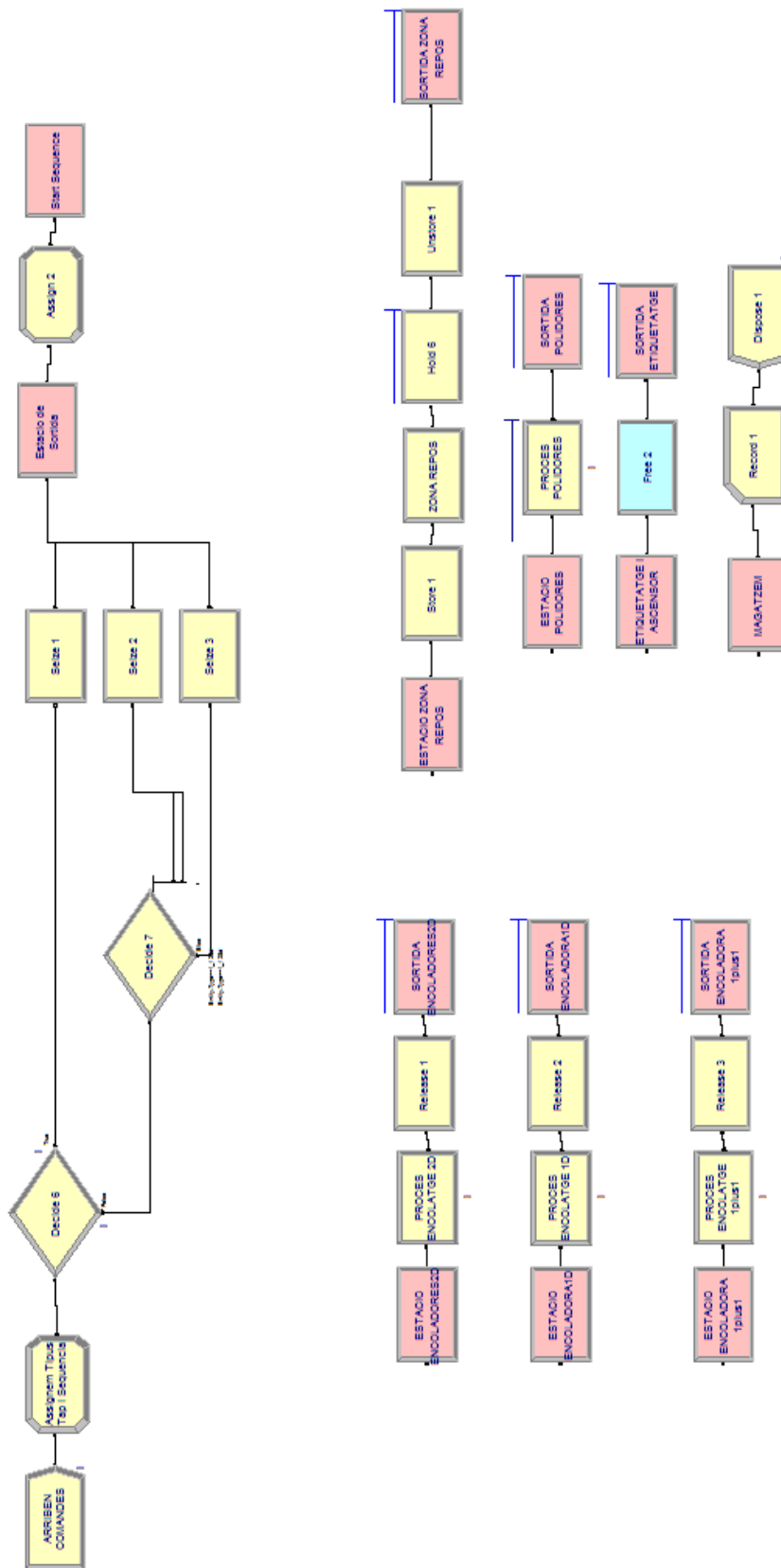


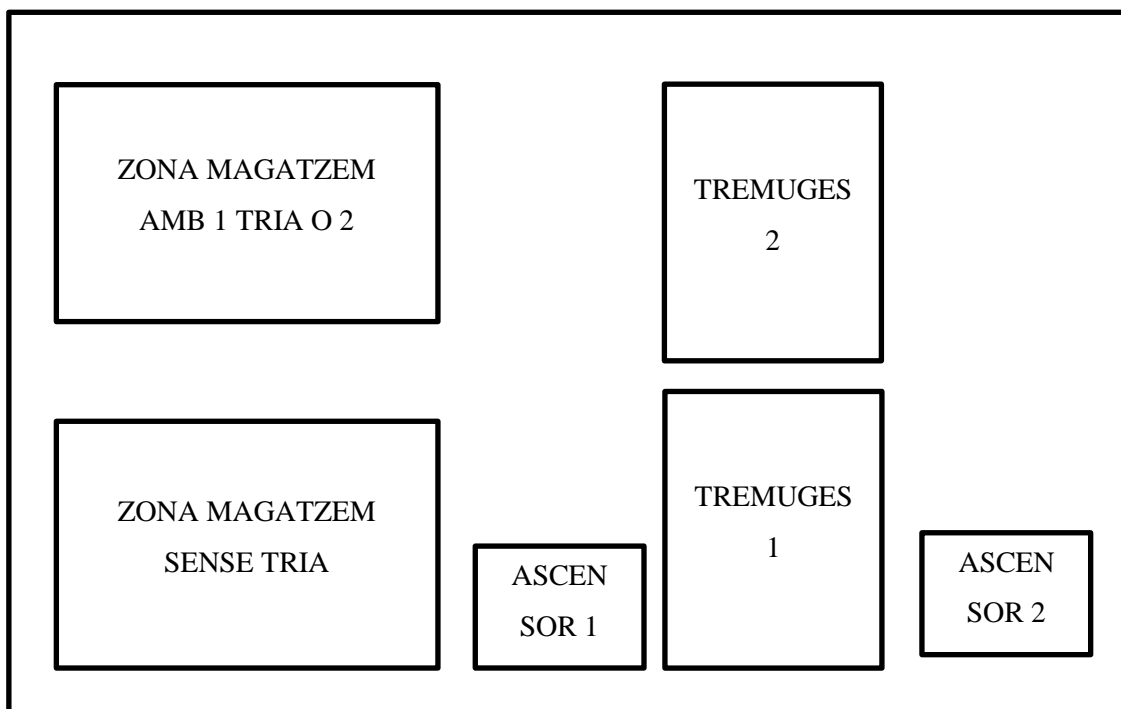
Figura 61. Model Arena Sistema Productiu actual 1.

## 5.2 Descripció del model *Sistema Productiu actual 2*

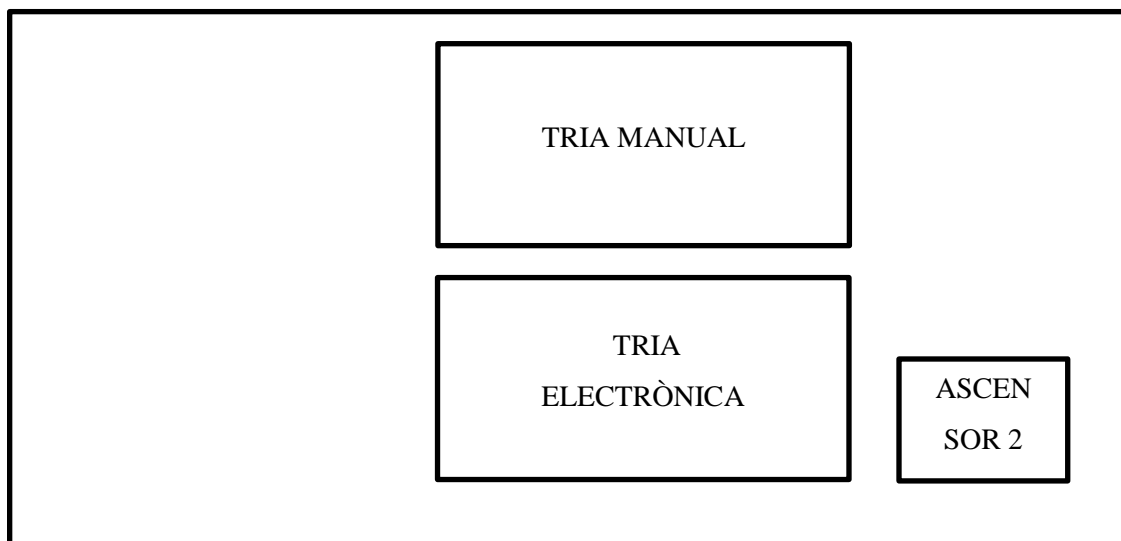
El model *Sistema Productiu actual 2*, és la continuació del model *Sistema Productiu actual 1* i consta de les següents parts: magatzem sense tria, tremuges 1, tria electrònica, ascensor 2, magatzem amb 1 tria o 2, i per últim, tria manual.

- Magatzem sense tria: zona on s'emmagatzemen els contenidors que han estat encolats i polits, els quals arriben a través del ascensor esmentat en el model *Sistema Productiu actual 1*.
- Tremuges 1: zona on arriben contenidors que han de fer la tria electrònica. Els taps que contenen els contenidors van caient al pis inferior a través de les tremuges on la màquina de tria electrònica els recollirà.
- Tria electrònica: zona on hi ha un conjunt de màquines amb sensors òptics que distribueixen els taps segons la classe que considerin.
- Ascensor 2: un cop els taps han sigut triats, es recollirà el contenidor i, a través de l'ascensor, tornarà a pujar a la segona planta.
- Magatzem amb 1 tria o 2: zona on s'emmagatzemen els contenidors que han realitzat la tria electrònica o les dues. En cas d'haver passat per ambdues tries sortiran del sistema.
- Tremuges 2: zona on arriben contenidors que han realitzat la tria electrònica i cauen al pis inferior per ser recollides per les màquines de tria manual.
- Tria manual: zona on hi ha un conjunt de màquines amb operaris encarregats de realitzar una segona classificació dels taps.

Per a tenir una millor visualització del sistema, en la Figura 62 i 63 de la següent pàgina, es pot observar com estan organitzades les parts.



*Figura 62. Planta superior del model Sistema Productiu actual 2.*



*Figura 63. Planta inferior del model Sistema Productiu actual 2.*

### 5.2.1 Consideracions i simplificacions

Les simplificacions realitzades en aquest model són les següents:

- S'ha combinat dues zones del magatzem diferenciades per el nombre de tries en una anomenada Magatzem amb 1 tria o 2.
- La classificació de taps tant en la tria manual com electrònica és un procés complex de modelar, i s'ha disposat d'una taula de freqüències corresponent a la classificació general dels dos tipus de tria. S'explicarà en detall el funcionament de la tria del model d'ordinador.
- Les arribades seran les mateixes que les del model *Sistema Productiu actual 1*, aquesta assumptió és justificable ja que el flux de producció és continu i no es formen “colls d'ampolla” en el sistema productiu.
- Els taps defectuosos deguts a les operacions realitzades anteriorment (procés d'encolatge i esmeril) es classificaran en un conjunt anomenats taps a serrar i fustes, tot i que en el sistema real s'efectua una sèrie de processos per als taps a serrar i una altre sèrie de processos per a les fustes, no s'aplicaran en aquest model ja que ni afecta ni involucra al nostre cas d'estudi.

### 5.2.2 Arribades, tipus de clients i recorregut

Tal com s'ha esmentat en l'apartat anterior, les arribades seran les mateixes que en el model *Sistema Productiu actual 1*, és a dir, el temps entre dues arribades consecutives es distribueix segons la llei Exponencial amb un valor esperat de 47,156 minuts.

El tipus i classe de contenidors de taps que entren en el sistema s'ha modelat a través dels registres de l'Annex A, de la mateixa manera que en el model *Sistema Productiu actual 1*.

El recorregut que realitzen els contenidors en aquest model és el següent: zona magatzem sense tria – tremuges 1 – procés de tria electrònica – ascensor – zona magatzem amb 1 tria o 2 – tremuges 2 – procés de tria manual – ascensor – zona magatzem amb 1 tria o 2. Tots els tipus i classe de taps realitzaran aquest recorregut.

### 5.2.3 Recursos

El procés de tria electrònica està completament automatitzat i no requereix de personal. En el procés de tria manual, podríem dir que el recurs està compost de maquinària i personal, que s'analitzaran en conjunt. A diferència dels processos de l'anterior model, al no realitzar-se processos mecànics de tall ni s'apliquen productes químics, no és necessari el manteniment de cap recurs en els processos de tria.

Els recursos que disposa el model *Sistema Productiu actual 2* consta de:

- 6 Màquines de tria electrònica.
- 6 Màquines amb 6 operaris en la tria manual.
- 2 Toros industrials i 1 transpalet.
- 1 Ascensor.

### 5.2.4 Estacions

En aquest model també es considerarà que es pren la mateixa quantitat de temps de procés per a cada contenidor. Llavors, es considerarà que els temps de servei són deterministes, és a dir, amb una desviació estàndard igual a zero. (Veure Annex B).

El model comença en el magatzem situat en la planta superior. En el model anterior *Sistema Productiu actual 1*, els contenidors surten del sistema en quant agafen l'ascensor, que és el mateix punt on comença el model que estem descrivint; per aquest fet no es refusarà cap contenidor d'entrada en el model. El magatzem també disposa d'una gran capacitat de contenidors. El temps en que un contenidor roman en el magatzem no és precís, però es pot afirmar que es coneix un temps mínim, temps usual i un temps màxim: per una banda, si es tracta d'una comanda urgent i s'interessa triar aquell contenidor, no s'esperarà en el magatzem, per altre banda, se sap que com a màxim el contenidor no superarà les 24 hores ja que l'empresa treballa sota comanda i el contenidor no sobrepassarà aquest límit. L'experiència del responsable de producció diu que normalment duren mitja hora ja que la demanda és alta i no s'aconsegueix tenir un gran estoc.

Tremuges 1: són el mitjà per tal d'alimentar a les màquines de tria electrònica. Els contenidors que demanin el recurs i no hi hagi cap lliure, es podran situar a sobre del contenidor que està

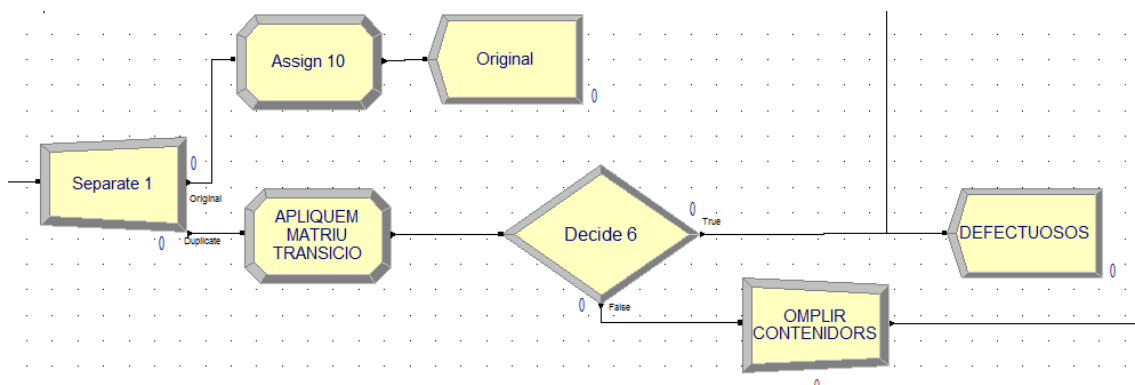
alimentant a el recurs requerit. En altres paraules, les tremuges 1 permeten espai per a la cua del procés de tria electrònica.

Zona de tria electrònica: aquest és un procés complex ja que durant tota la modelització hem estat treballant amb contenidors, i, en aquest punt hem de dividir el contenidor. Tal com s'ha explicat en el Capítol 3.9, la funció d'aquest procés és classificar els taps segons la qualitat de cadascun. Un altre aspecte a tenir en compte és que a partir d'aquest punt del procés, els contenidors passaran a ser de 25.000 taps.

Degut a la complexitat de modelització d'aquest procés procedirem a explicar-la detalladament.

Suposem que es situa un contenidor de taps 2D i classe 3FI a les tremuges 1 i va alimentant a una màquina de tria electrònica, aquesta va classificant tap per tap segons la seva qualitat, i, per tant, dels 27.000 taps que tenia el contenidor, una part serà defectuosa, una altre serà de pitjor o fins i tot de major qualitat. La màquina de tria electrònica té una sèrie de canals que connecten a varis contenidors buits, exactament, cada canal té un contenidor buit d'una classe diferent, i per tant, totes les màquines de tria electrònica van emplenant els contenidors buits (contenidors de 25.000 taps de capacitat).

En el model Arena s'ha modelat de la següent manera (Figura 64):



**Figura 64.** Part del model Sistema Productiu actual 2. Separació en el procés tria electrònica.

En el *Separate 1* es generen 10 rèpliques que representaran cada una el 10% del contenidor original, llavors, a través del mòdul *Assign* (Apliquem matriu transició) s'assignarà a cada rèplica una classe de tap en funció de la matriu de transició. En cas de ser taps defectuosos sortiran del sistema, en canvi, les rèpliques no defectuoses entraran al mòdul *Batch* (Omplir contenidors), el qual disposa d'una cua on les rèpliques esperaran fins a ser 9 de la mateixa

classe. D'aquesta manera s'han pogut omplir contenidors de 25.000 taps aproximadament a partir de contenidors de 27.000 taps. Per a més informació sobre els mòduls veure el Capítol 4.

En la Taula 5 a continuació es pot observar la matriu de transició utilitzada:

	2D EXTRA	2D 1FLACA	2D 3FI	2D A2	2D N4	1D A2	1+1 26d.	1+1 28d.	Defectuosos
2D EXTRA	0.90	-	-	-	-	-	-	-	0.10
2D 1FLACA	-	0.90	-	-	-	-	-	-	0.10
2D 3FI	-	0.40	0.40	0.10	-	-	-	-	0.10
2D A2	-	0.40	-	0.50	-	-	-	-	0.10
2D N4	-	-	-	-	0.80	-	-	-	0.20
1D A2	-	-	-	-	-	0.90	-	-	0.10
1+1 26d.	-	-	-	-	-	-	0.90	-	0.10
1+1 28d.	-	-	-	-	-	-	-	0.90	0.10

*Taula 5. Matriu de transició utilitzada per a la tria de taps.*

Magatzem amb 1 tria o 2: zona on s'emmagatzemen els contenidors. En cas que els contenidors hagin realitzat els processos de tria electrònica i manual sortiran del sistema. Els contenidors que només hagin realitzat la tria electrònica seran enviats a la zona de tremuges 2.

Tremuges 2: són el mitjà per tal d'alimentar a les màquines de tria manual. Els contenidors que demanin el recurs i no hi hagi cap lliure, es podran situar a sobre del contenidor que està alimentant a el recurs requerit. En altres paraules, les tremuges 2 permeten espai per a la cua del procés de tria manual.

Zona de tria manual: en aquesta estació, tot i no haver-hi tasques de manteniment, s'han modelat fallades en els recursos degudes al personal involucrat en el procés; hi ha un operari per cada màquina de tria manual encarregada de fer la classificació de taps. Degut a l'esforç requerit per a la inspecció dels taps que automàticament es van desplaçant per uns carrils s'ha considerat que per cada hora de feina l'operari realitzarà un temps de descans, el qual seguirà una distribució Normal (10 minuts, 0.5).

Degut a que la matriu de transició engloba als dos processos de tria i per a una major simplicitat del, només s'ha modelat el triatge en el procés de tria electrònica.



Es torna a fer un incís en que la realització del projecte s'ha realitzat amb la supervisió del responsable de producció, i degut a la seva àmplia experiència en el procés de fabricació, s'ha confiat en els valors dels temps de processat que ens ha proporcionat. Es mostraran els temps en la Taula 6 que veurem a continuació:

	<b>CONTENIDOR AMB TAPS DE SURO 1D/2D/1+1</b>
Tria electrònica (HORES)	3
Magatzem sense tria (HORES)	TRIA(0, 0.5, 24)
Tria manual (HORES)	3

*Taula 6. Temps de processat del model Sistema Productiu actual 2.*

### 5.2.5 Distàncies, toros industrials, transpalet i ascensor

Cada part del procés està separada de les altres per una distància física que depèn de les dimensions de la nau. Per qüestions de confidencialitat de l'empresa no es mostrarà el plànol del sistema de fabricació, però mostrarem les distàncies obtingudes en la Taula 7 i 8 en la següent pàgina.

Per al transport de contenidors entre els estacions del pis superior s'utilitzen 2 toros industrials idèntics amb una velocitat constant de 50 metres per minut. En el pis inferior es disposa d'un transpalet per al transport dels contenidors amb una velocitat constant de 30 metres per minut. També es considerarà un temps de càrrega i descarrega, que es distribueix segons una llei Normal (1 minut, 0.05). L'ascensor es mou a una velocitat constant de 50 metres per minut i la distància entre els dos pisos és de 5 metres.

Distàncies (metres)	Ordre de sortida (Ascensor 1 planta alta)	Magatzem sense tria	Tremuges 1	Magatzem amb 1 o 2 tries	Tremuges 2	Ascensor 2 planta alta
Ordre de sortida (Ascensor 1 planta alta)	-	10	10	10	15	15
Magatzem sense tria	10	-	15	10	25	25
Tremuges 1	10	15	-	25	10	5
Magatzem amb 1 o 2 tries	10	10	25	-	5	25
Tremuges 2	25	25	10	5	-	20
Ascensor 2 planta alta	15	25	5	25	20	-

*Taula 7. Distàncies pis superior entre estacions en metres.*

Distàncies (metres)	Ascensor 2 planta baixa	Zona de tria electrònica	Zona de tria manual
Ascensor 2 planta baixa	-	10	15
Zona de tria electrònica	10	-	5
Zona de tria manual	15	5	-

*Taula 8. Distàncies pis inferior entre estacions en metres.*

### 5.2.6 Comptadors estadístics (variables claus)

Els paràmetres que es tindran en compte alhora de simular el model són els següents:

- Nombre de contenidors en el magatzem: aquest estadístic ens proporcionarà la informació necessària per a realitzar una anàlisi del *Warm-Up* del sistema, ja que en la simulació Arena totes les màquines comencen buides i el model és d'un sistema "Estat-Estacionari", és a dir, no hi ha un principi ni un final en un sistema de producció de 24 hores diàries.
- Temps d'estada dels contenidors en el sistema: objectiu principal de la simulació d'aquest projecte, ja que amb la nova política que es presentarà en el model *Sistema Productiu "Lean"* es busca reduir considerablement aquest paràmetre.
- Total d'entitats processades: és un paràmetre important a analitzar, ja que es contrastarà amb el ritme de producció del model *Sistema Productiu "Lean"*.

### 5.2.7 Model arena del Sistema Productiu 2

A partir d'aquest punt, ja es tenen totes les característiques, paràmetres i elements necessaris per a la construcció del model *Sistema Productiu actual 2* per ordinador amb el programa Arena. Figures 65,66 i 67.

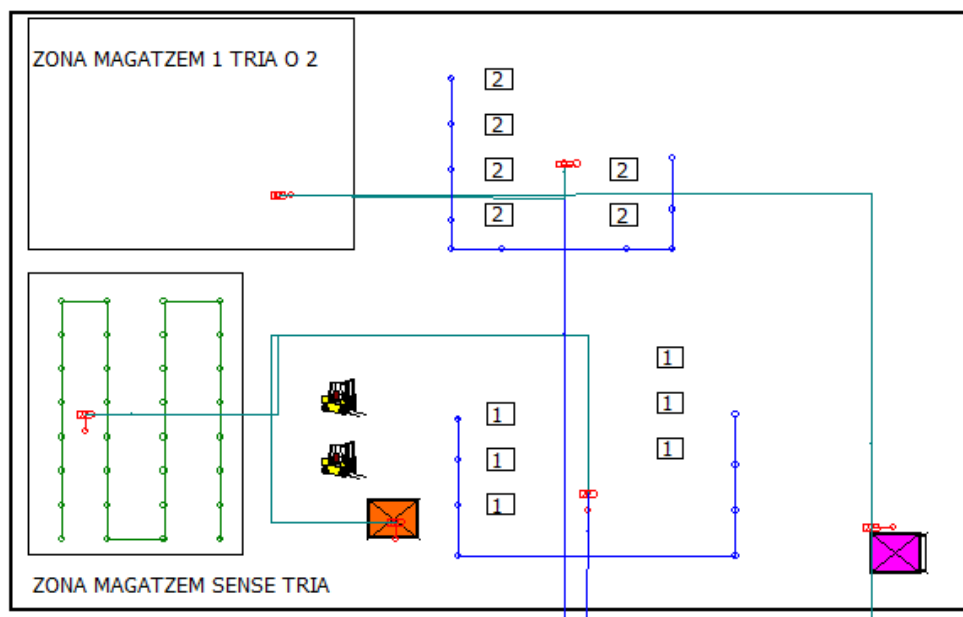
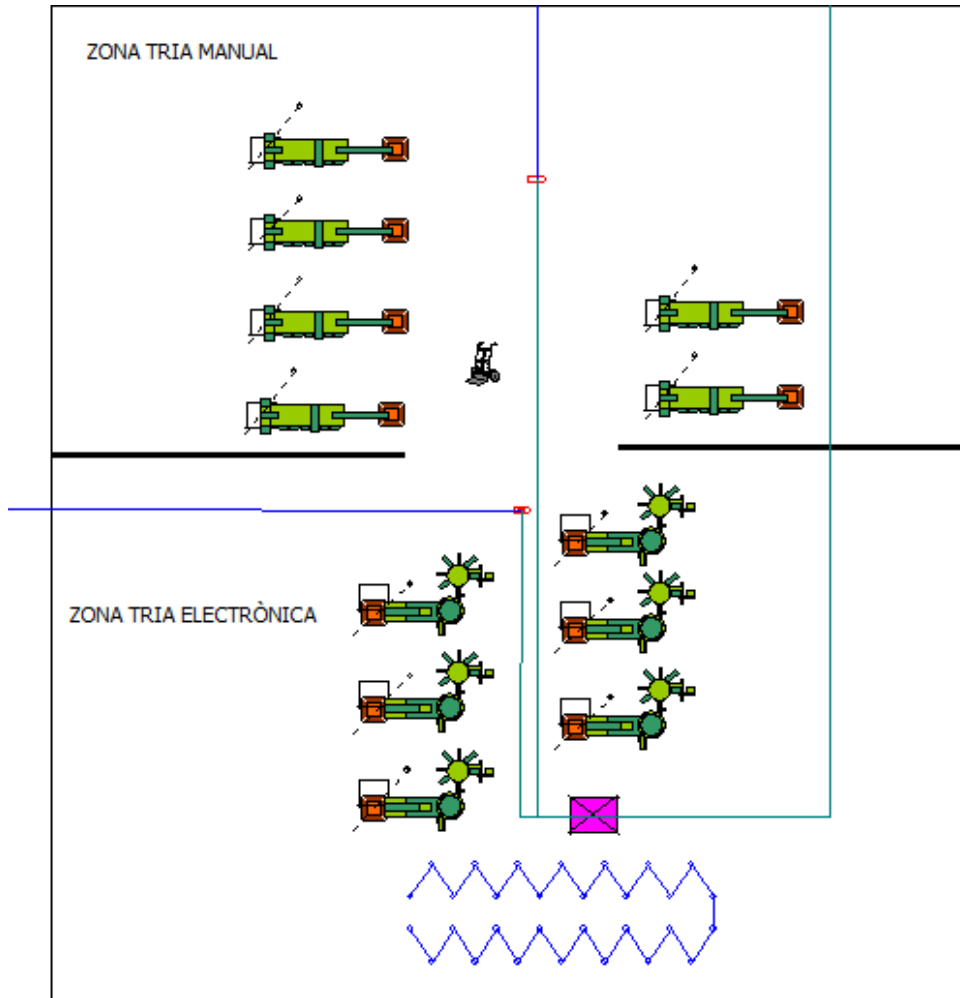


Figura 65. Animació del model Arena Sistema Productiu actual 2, planta superior.



*Figura 66. Animació del model Arena Sistema Productiu actual 2, planta inferior.*

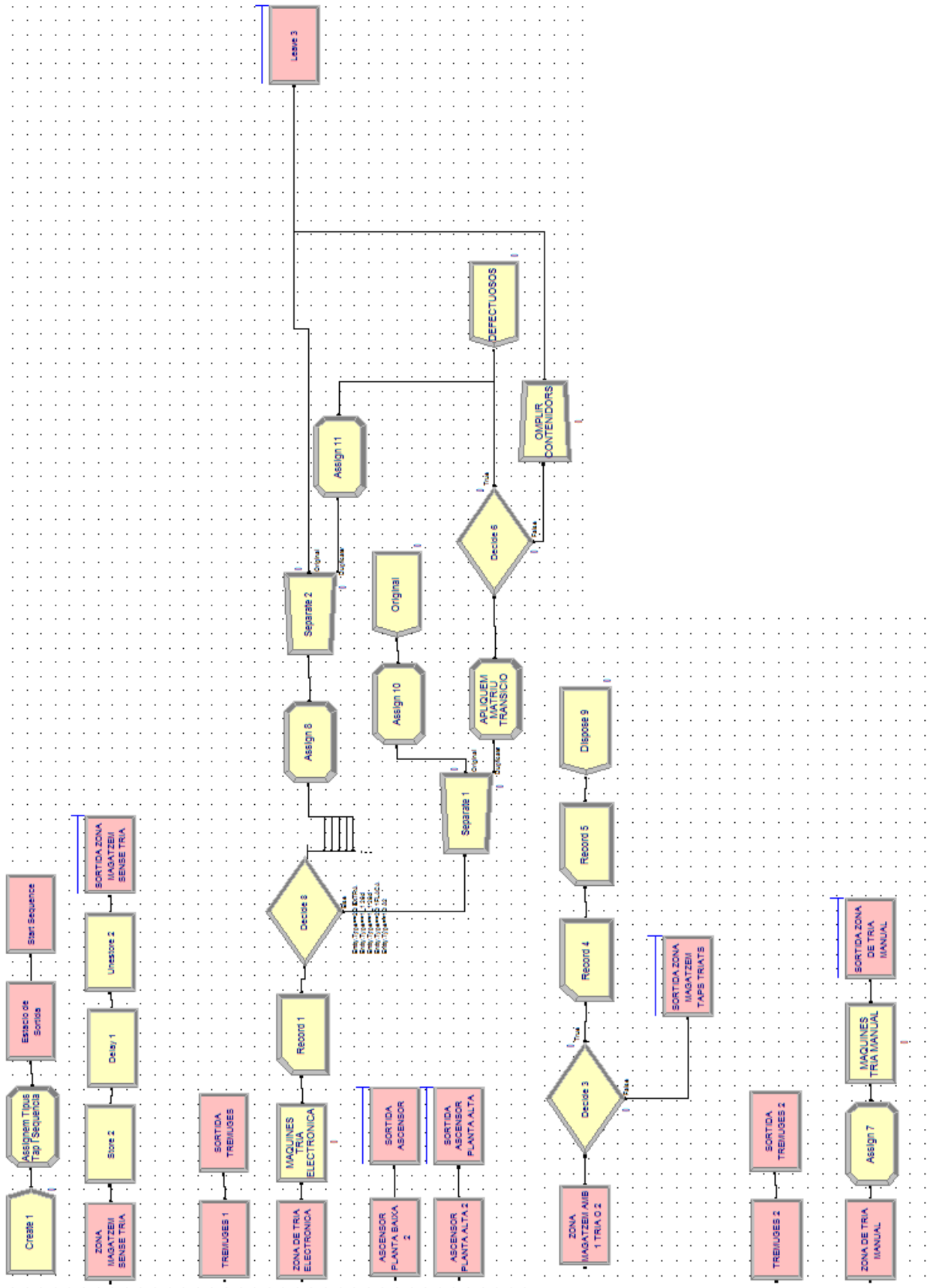


Figura 67. Model Arena Sistema Productiu actual 2.

### 5.3 Descripció del model *Sistema Productiu “Lean”*

La nova política a modelar té com a objectiu principal introduir una gran quantitat de variacions en el sistema producció actual (models *Sistema Productiu actual 1* i *Sistema Productiu actual 2*) per a millorar paràmetres de rendiment i estalviar el màxim possible de recursos.

Actualment està en procés d'instal·lació una part del nou sistema de fabricació que es modelarà, i, per tant, amb el model *Sistema Productiu “Lean”* es podrà tenir una visió de com es comportarà el sistema i si hi hauran diferències significatives en certs paràmetres respecte l'actual procés de producció.

A continuació es presentaran els canvis que implica la nova política de producció, on alguns estan en procés de construcció i la resta s'implementaran, en un futur no molt llunyà:

- La zona de repòs situada entre les encoladores i polidores serà eliminada. Aquest canvi és viable si s'utilitza una cola alimentària que no requereixi un temps de repòs, és a dir, es refredi en pocs segons.
- La producció serà en sèrie, és a dir, no hi hauran espais entre dos processos. Els taps s'auto-desplaçaran per tubs com a medi de transport entre dos processos. Es substituiran les màquines actuals per noves, les quals treballaran a la mateixa velocitat.
- S'eliminarà la zona de tria manual. Aquesta té la funció de trobar defectes en els taps, sobretot “fustes” (partícules petites de fusta en el suro que inutilitzen el tap per a l'embotellament de vins d'alta qualitat) i taps amb parts trencades. Per a descartar el suro amb “fustes” s'ha plantejat introduir un nou sistema d'anàlisi del suro per raigs X en el procés de Tria de discos (veure Capítol 3.3).
- Les noves màquines de tria electrònica estan dotades de sensors òptics en color que són capaços d'analitzar la forma, color, vores i grossor dels taps amb gran precisió. Així doncs, quan la màquina polidora, per alguna averia, comenci a produir taps defectuosos, la màquina de tria electrònica donarà l'alarma i es parará la producció fins que s'arregli l'averia.
- Els contenidors passen a ser de 25.000 taps en comptes de 27.000.

En la Figura 68 es pot observar la instal·lació d'una tercera nova línia de fabricació. Actualment només consten del procés d'esmeril (1) i de tria electrònica (2), i es vol aconseguir unir el procés d'encolatge (3).



**Figura 68.** Noves línies de fabricació. Es vol unir les encoladores en el punt 3.

Així doncs, amb els canvis del sistema definits, es procedirà a explicar el model al detall.

El model *Sistema Productiu "Lean"* consta de les següents parts: magatzem de discos i 5 noves línies de producció, cada una formada per 1 màquina encoladora, 1 màquina polidora i 1 màquina de tria electrònica.

### 5.3.1 Arribades, tipus de clients i recorregut

Es considerarà el mateix ritme d'arribades que en el model *Sistema Productiu actual 1*.

El tipus i classe de contenidors de taps que entren en el sistema s'ha modelat a través dels registres de l'Annex A.

El recorregut dels contenidors en el model és el següent: magatzem de discos – nova línia de fabricació – sortida.

### 5.3.2 Recursos

Tots els processos estan completament automatitzats, i per tant, no requereixen de personal, és necessari però tenir a varis operaris per a transportar els contenidors del magatzem de discos fins a les noves línies de fabricació i també per a realitzar les tasques de manteniment de les màquines.

Els recursos que disposa el model *Sistema Productiu "Lean"* són:

- 5 Noves encoladores.
- 5 Noves polidores.
- 5 Noves màquines de tria electrònica.
- 1 Toro industrial.

### 5.3.3 Estacions

En aquest model també se suposa que es pren la mateixa quantitat de temps de procés per a cada contenidor. Llavors, es considerarà que els temps de servei són deterministes, és a dir, amb una desviació estàndard igual a zero. Les noves línies de fabricació treballaran a 8000 taps/hora.

Magatzem de discos: No ha canviat cap en cap paràmetre respecte el model *Sistema Productiu actual 1* (apartat 5.1.5)

Noves línies de fabricació: els contenidors (25.000 taps) arriben a les noves línies mitjançant un toro industrial. La regla per a decidir quina línia de fabricació utilitzar serà cíclica, és a dir, primer es comprova si la primera línia pot ser ocupada, després la segona i així successivament.

Un cop el contenidor ha realitzat els processos d'encolatge, esmeril i tria electrònica surt del model mitjançant un toro industrial.

Degut a les noves màquines encoladores i polidores, també per el canvi de cola, el manteniment no serà el mateix que en el model *Sistema Productiu actual 1*. El responsable de producció ens ha informat que està previst que el manteniment només sigui necessari un cop per setmana amb una durada de 2 hores, 1 de les quals coincidirà amb el manteniment de les màquines polidores. Per tant, podem afirmar que el manteniment d'una nova línia de fabricació és de 2 hores per setmana.



Els temps de processat s'han calculat a través de les velocitats per tap de les noves màquines i del nombre de taps per contenidor. Es mostraran els temps en la Taula 9 que veurem a continuació:

	<b>CONTENIDOR AMB TAPS DE SURO 1D/2D/1+1</b>
Encolatge (HORES)	3,125
Esmeril (HORES)	3,125
Tria electrònica (HORES)	3,125

**Taula 9.** Temps de processat dels processos de les noves línies de fabricació.

S'ha introduït una fallada en els recursos del procés d'esmeril ja que, com hem explicat anteriorment, la màquina de tria electrònica detectarà els taps que s'estiguin fabricant de manera defectuosa i parará la polidora per tal de no seguir produint. L'experiència del responsable de producció ens indica que les fallades segueixen una distribució exponencial de mitjana 16 hores i que el temps de reparació es distribueix segons una normal de mitjana 15 minuts i desviació de 5 minuts.

#### 5.3.4 Distàncies i toro industrial

En la Taula 10 podem observar les distàncies entre estacions del model:

Distàncies (metres)	Magatzem de discos	Noves línies de fabricació	Sortida del model
Magatzem de discos	-	20	30
Noves línies de fabricació	20	-	10
Sortida del model	30	10	-

**Taula 10.** Distàncies entre estacions del model Sistema Productiu "Lean"

Per al transport de contenidors entre les estacions s'utilitzarà un toro industrial amb una velocitat constant de 50 metres per minut. També es considerarà un temps de càrrega i descarrega, que es distribueix segons una llei Normal (1 minut, 0.05).

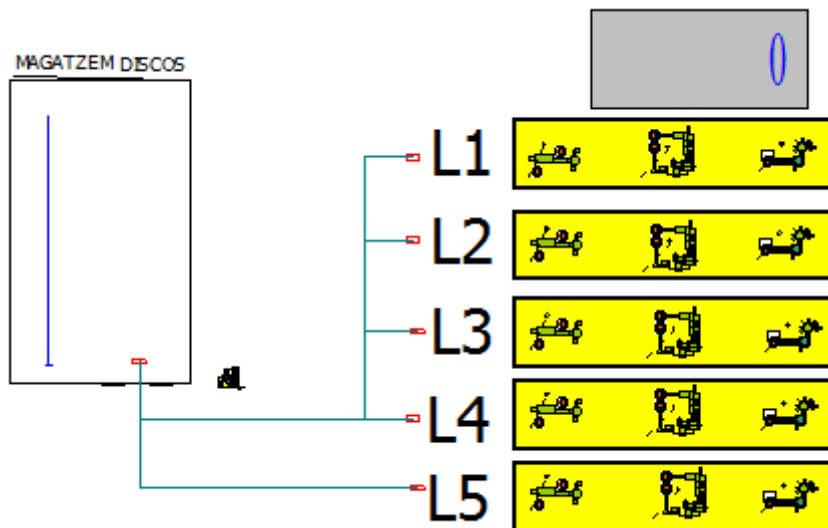
### 5.3.5 Comptadors estadístics (variables claus)

Els paràmetres que es tindran en compte alhora de simular el model són els següents:

- Nombre de contenidors en el sistema: aquest estadístic ens proporcionarà la informació necessària per a realitzar una anàlisi del *Warm-Up* del sistema, ja que en la simulació Arena totes les màquines comencen buides i el model és d'un sistema "Estat-Estacionari", és a dir, no hi ha un principi ni un final en un sistema de producció de 24 hores diàries.
- Temps d'estada dels contenidors en el sistema: objectiu principal de la simulació d'aquest projecte. Es compararà amb els estadístics dels anteriors models.
- Total d'entitats processades: és un paràmetre important a analitzar, ja que es contrastarà amb el ritme de producció del model *Sistema Productiu actual 2*.

### 5.3.6 Model arena del model *Sistema Productiu "Lean"*

A partir d'aquest punt, ja es tenen totes les característiques, paràmetres i elements necessaris per a la construcció del model *Sistema Productiu "Lean"* per ordinador amb el programa Arena. Figures 69, 70 i 71.



*Figura 69. Animació del model Sistema Productiu "Lean".*

SIMULACIÓ ESTOCÀSTICA D'UN SISTEMA PRODUCTIU  
MEMÒRIA I ANNEXOS

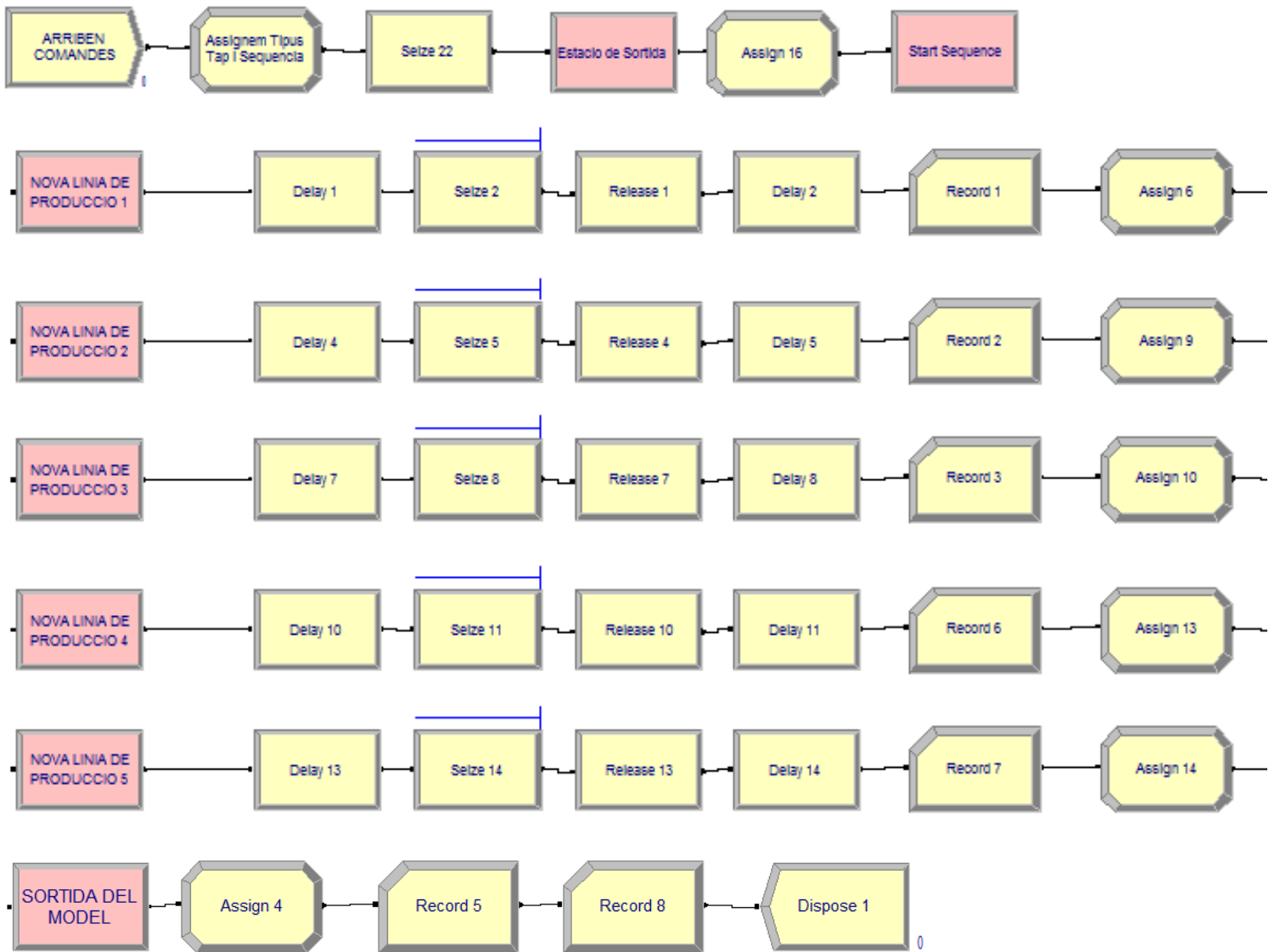
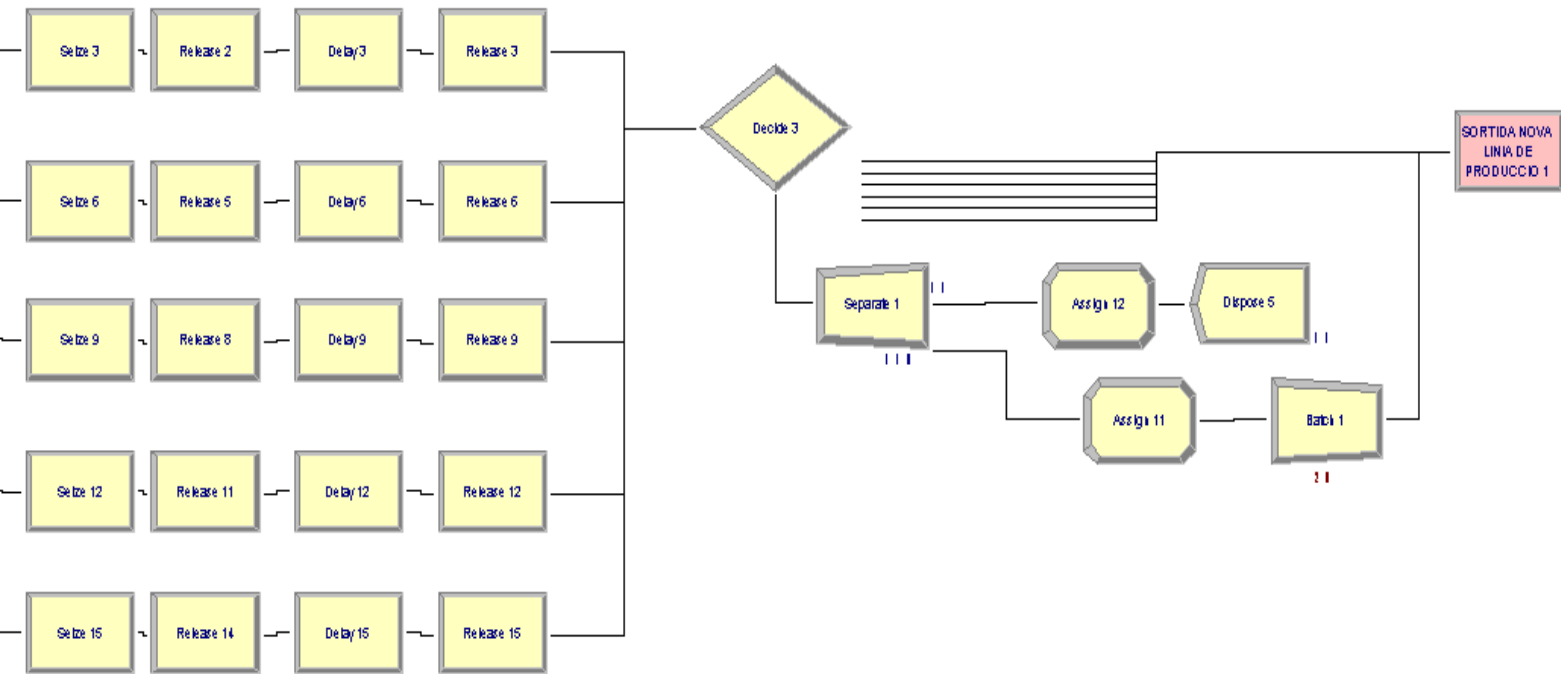


Figura 70. Model Arena Sistema Productiu "Lean". Part 1.



*Figura 71. Model Arena Sistema Productiu “Lean”. Part 2.*

## 6. ESTUDIS, RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS

En aquest capítol, inicialment es realitzaran els estudis necessaris per al correcte funcionament dels models Arena presentats en el capítol anterior. Els pilars d'aquests estudis provenen dels estadístics generats per informes en quan s'executen els models. Els valors dels estadístics obtinguts es poden gravar en arxius i la seva dimensió mostral depèn del nombre de rèpliques ( $n$ ) que executem en la simulació, com a resultat, tindrem arxius on hi disposarem  $n$  valors de la mitjana del estadístic. L'estratègia d'anàlisi a seguir es fonamenta en la hipòtesi d'independència entre les rèpliques, i per tant, podrem calcular intervals de confiança i realitzar contrastos d'hipòtesis.

Un cop s'hagin verificat i validat els models, es procedirà a analitzar els paràmetres de rendiment claus i es realitzaran contrastos d'hipòtesis per a comparar el sistema de producció actual amb el sistema de producció *Lean*. Per a finalitzar, es presentaran les conclusions sobre el canvi de política de producció.

Per tal de fer una anàlisi correcta dels paràmetres de rendiment, es necessari tenir uns intervals de confiança per als paràmetres raonables, que siguin útils per determinar de manera acurada els paràmetres de rendiment.

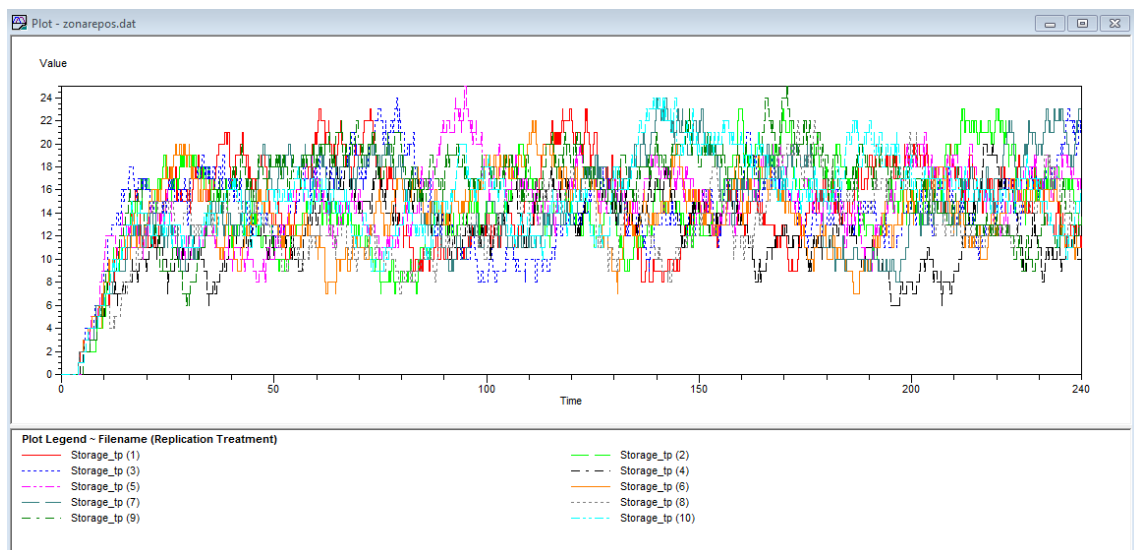
El primer pas a realitzar és analitzar la durada de l'estat transitori (*Warm-Up Period*), ja que la planta de producció modelada treballa les 24 hores al dia. La funció del *Warm-Up* és identificar la part inicial de la simulació, que no s'haurà d'utilitzar en l'anàlisi estadística. En cas de no realitzar aquesta anàlisi els paràmetres serien estimats per sota del seu valors real.

Un cop s'ha estimat l'estat transitori, hem de decidir la longitud de les simulacions i la quantitat de rèpliques a realitzar. En aquest estudi s'ha considerat oportú realitzar simulacions amb una duració de 24 hores. D'aquesta manera, amb els paràmetres de rendiment definits, es podrà estimar el temps d'estada d'un contenidor en el sistema i el total d'entitats processades en 24 hores, és a dir, la producció diària.

A continuació es mostraran els resultats de les simulacions obtinguts en cada model.

### 6.1 Estudi del model *Sistema Productiu actual 1*

L'anàlisi del *Warm-Up* s'ha determinat a través del nombre de contenidors en el sistema amb una simulació de 10 dies de durada i 10 rèpliques. Tal i com s'observa a la Figura 72 es pot comprovar que les dades no passen de 30 contenidors, corresponent a la capacitat màxima de la zona de repòs. Per assegurar que estem en estat estacionari considerarem que el període del *Warm-Up* és de 6 dies.



**Figura 72.** Anàlisi del període *Warm-Up* del model *Sistema Productiu actual 1*. On l'eix d'abscisses és la durada en hores i l'eix de coordenades el nombre contenidors.

Els resultats obtinguts de la simulació amb un temps *Warm-Up* de 6 dies, una longitud de 24 hores i 10 rèpliques són els següents (Figura 73): l'estadístic "CONT\_ENC\_ESM" mostra el nombre de contenidors que han sortit del sistema; "TAPS\_ENC\_ESM" mostra el nombre de taps que surten del sistema; "Temps estada contenidor ENC\_ESM" mostra el temps (hores) d'estada d'un contenidor un cop surt del magatzem de discos fins que puja per l'ascensor.

#### Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CONT_ENC_ESM	34.5000	4,78	25.0000	44.0000
TAPS_ENC_ESM	931500.00	129.157,03	675000.00	1188000.00
Temps estada contenidor ENC_ESM	19.4879	0,79	18.0939	21.8406

**Figura 73.** Resultats del estadístics del model *Sistema Productiu actual 1*.

La precisió dels intervals de confiança, anomenada *Half Width*, no ens satisfà ja que l'interval dels contenidors de sortida és molt ampli. Per tal de millorar la precisió s'incrementarà el nombre de rèpliques fins obtenir una precisió del 5% de la mitjana. A continuació mostrarem l'equació (Eq.2) que ens permetrà saber el nombre de rèpliques a simular per a obtenir la precisió desitjada.

$$n_r = \frac{n_0 \cdot h_0^2}{h_r^2} \tag{Eq.2}$$

On  $n_r$  és el nombre de rèpliques;  $n_0$  nombre de rèpliques inicial;  $h_0$  precisió inicial i  $h_r$  precisió desitjada.

Els resultats obtinguts amb un temps *Warm-Up* de 6 dies, una longitud de 24 hores i 77 rèpliques són els següents. Figura 74.

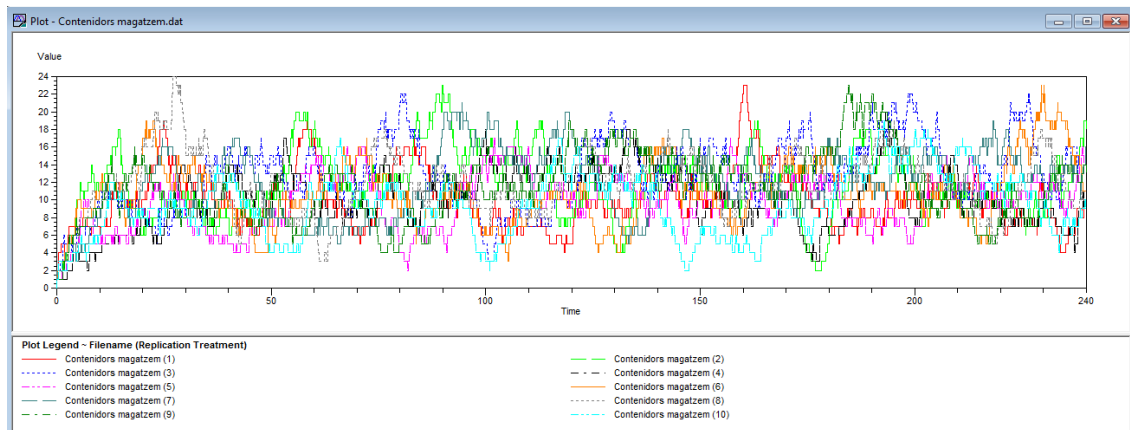
### Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CONT_ENC_ESM	32.8312	1,15	21.0000	44.0000
TAPS_ENC_ESM	886441.56	31.124,40	567000.00	1188000.00
Temps estada contenidor ENC_ESM	19.4706	0,19	17.4321	21.9847

**Figura 74.** Resultats del estadístics del model Sistema Productiu actual 1 amb bona precisió.

## 6.2 Estudi del model *Sistema Productiu actual 2*

L'anàlisi del *Warm-Up* s'ha determinat a través del nombre de contenidors en l'estació magatzem sense tria amb una simulació de 10 dies de durada i 10 rèpliques (Figura 75). Per assegurar que estem en estat estacionari considerarem que el període del *Warm-Up* és de 6 dies.



**Figura 75.** Anàlisi del període *Warm-Up* del model *Sistema Productiu actual 2*.

Els resultats obtinguts amb un temps *Warm-Up* de 6 dies, una longitud de 24 hores i 34 rèpliques són els següents (Figura 76): l'estadístic "Contenidors a marcar" mostra el nombre de contenidors que han sortit del sistema, "Taps a marcar" mostra el nombre de taps que surten del sistema, "Temps estada contenidor MAG\_TE\_TM" mostra el temps (hores) d'estada d'un contenidor un cop surt entra en el sistema fins que s'emmagatzema en l'estació "Magatzem amb 1 tria o 2", corresponent a la sortida del model.

<b>Output</b>				
Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Contenidors a marcar	33.2941	1,67	22.0000	42.0000
Taps a marcar	832352.94	41.726,38	550000.00	1050000.00
TAPS DEFECTUOSOS	115544.12	7.662,73	72900.00	164700.00
Temps estada contenidor MAG_TE_TM	16.0095	0,43	14.0377	19.4223

**Figura 76.** Resultats del estadístics del model *Sistema Productiu actual 2* amb bona precisió.



### 6.3 Estudi del model *Sistema Productiu "Lean"*

Es considerarà que el temps del *Warm-Up* és el mateix que els models *Sistema Productiu acutal 1 i 2*.

Els resultats obtinguts amb un temps *Warm-Up* de 6 dies, una longitud de 24 hores i 30 rèpliques són els següents (Figura 77): l'estadístic "Contenidors a marcar" mostra el nombre de contenidors que han sortit del sistema, "Taps a marcar" mostra el nombre de taps que surten del sistema, "Temps estada contenidor MAG\_TE\_TM" mostra el temps (hores) d'estada d'un contenidor un cop surt entra en el sistema fins que s'emmagatzema en l'estació "Magatzem amb 1 tria o 2", corresponent a la sortida del model.

#### Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Nou taps a marcar	34.0333	1,46	26.0000	39.0000
Nou temps estada contenidor ENC_ESM	6.3754	0,03	6.2975	6.5420
Nou temps estada contenidor TE	3.1689	0,00	3.1631	3.1743
Nou temps estada contenidor TOTAL	9.5443	0,03	9.4641	9.7072

**Figura 77.** Resultats del estadístics del model *Sistema Productiu "Lean"* amb bona precisió.

#### 6.4 Verificació i validació

Una de les tasques més importants i difícils en la simulació és la verificació i validació del model. Els estadístics de sortida s'utilitzaran per a obtenir conclusions del sistema i per tant és molt important poder confiar en el model per a la seva implementació.

Donat que el model és una abstracció del sistema real hem d'assegurar que existeix una correspondència entre aquests dos. Els termes a utilitzar per a descriure el procés en que el model és una representació creïble del sistema real són la verificació i la validació:

- La verificació correspon a la construcció correcte del model. Es pot definir com el procés de determinar si la lògica operacional del model (software *Arena*) es correspon amb la lògica del disseny, és a dir, determinar si hi ha errors en la simulació.
- La validació correspon a una correcta construcció del model. És el procés de determinar si el model és una bona representació del sistema.

Normalment la validació s'obté a través d'un procés iteratiu de comparació entre el sistema real i el model fins que es consideri una simulació acceptable.

En la Taula 11 podem resumir l'objectiu de la verificació i validació en l'àmbit de la simulació:

Nivell de modelització	Verificació	Validació
<b>Model conceptual</b>		Conté el model tots els elements, processos i relacions rellevants?
<b>Model Lògic</b>	Estan els esdeveniments representats correctament?  Estan les fórmules matemàtiques i relacions formulades correctament?	Inclou el model tots els elements considerats en el model conceptual?
<b>Model <i>Arena</i></b>	Conté el codi tots els elements del model lògic?  Estan els estadístics calculats correctament?  Hi ha errors de codificació en el model?	És el model una representació vàlida del sistema real?  És creïble el model per als experts del sistema?

**Taula 11.** Verificació i validació en la modelització.

A partir d'aquest punt, podem afirmar que tant el model conceptual com el lògic ja han estat verificats i validats. Si realitzem una lectura dels anteriors capítols, podem observar que hem anat contestant de manera indirecta a les preguntes plantejades en la Taula 11. Per tant anirem directament a l'anàlisi de verificació i validació del model de simulació del procés de fabricació **actual** de taps (*Sistema Productiu actual 1 i 2*).

#### 6.4.1 Verificació del model Arena

El model d'ordinador es verifica per a mostrar que la implementació és correcta i no hi ha errors. S'ha de tenir en compte que és diferent a mostrar que el model és una representació adequada del sistema real, ja que és l'objectiu de la validació.

Una programació estructurada i ordenada ajuda al software a realitzar la verificació de manera més eficaç. Alguns d'aquests termes són:

- Modularitat: cada mòdul és responsable d'una única funció.
- Refinament per passes: cada mòdul és creat desenvolupant-lo pas a pas de la funció final que tindrà aquest.
- Mòduls compactes: quantes menys línies de codi més eficaç.
- Estructures de control: el codi ha de poder ser escrit amb les estructures *IF-THEN-ELSE*, *WHILE*, *REPEAT-UNTIL*, *FOR* i *CASE*.

El software *Arena* té l'opció de compilar el codi del model per tal de determinar possibles errors en la sintaxis i en la animació. La majoria dels errors són detectats en el procés de compilació i la resta durant el temps d'execució del programa. Podem compilar el model (Figura 78) a través del menú *Run*. En cas de que no hi hagi cap error, apareixerà un missatge en la pantalla com podem observar en la Figura 79.

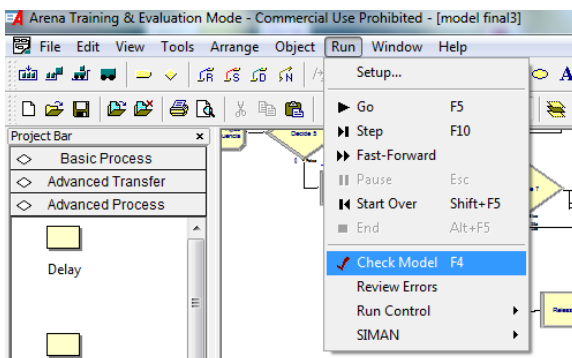


Figura 78. Menú Run del software Arena.

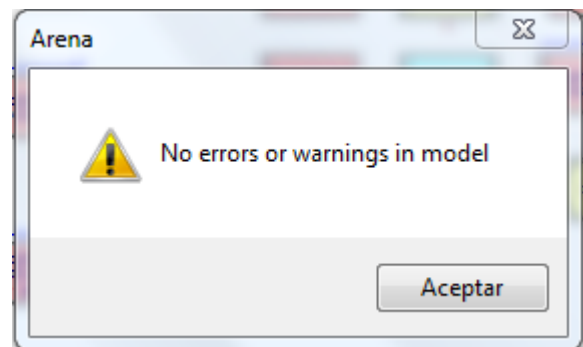


Figura 79. Missatge de verificació del codi.

### 6.4.2 Validació del model Arena

Un cop s'ha verificat el model *Arena*, s'ha de determinar si aquest és una representació correcta del sistema real. En el procés de validació del model han d'intervenir l'analista i les persones relacionades amb el sistema. Una manera de validar el model és que les persones relacionades amb el sistema confiïn en el model i estiguin disposats a utilitzar-lo. La animació del model és un aspecte important en aquest procés ja que facilita la comunicació i enteniment del model sense el coneixement total del funcionament del software.

En aquest projecte, l'analista i el tècnic responsable de la planta de producció s'han anat citant periòdicament per a l'estudi i creació de la simulació del sistema productiu de l'empresa *Francisc Oller* i consegüentment, un cop finalitzat el model d'ordinador, s'ha presentat per tal d'efectuar el procés de validació.

En addició, l'analista ha disposat de dades e informes del procés productiu per a una millor realització de la simulació. Les dades del sistema real es compararan amb els resultats de sortida del model i, mitjançant mètodes estadístics, analitzarem si el model és una representació adequada del sistema real.

Realitzarem un contrast a través de la prova *t-student* per a estimar si hi ha una diferència de mitjanes a partir de dues mostres independents. Per una banda tenim les dades de l'arxiu Excel: Producció d'esmeril 2015 (Taula 12), i per l'altre disposem de l'estadístic de sortida del model *Sistema Productiu actual 1*, anomenat "TAPS\_ENC\_ESM". L'objectiu d'aquest contrast que mostrarem a continuació és validar el model en qüestió.

NOMBRE DE TAPS ESMERILATS AL DIA					
831365	1009157	973651	1057191	952577	856260
1075196	986142	1053769	1045263	1099812	1021816
309245	1111431	1177604	880654	1091741	884200
962429	948499	1171134	1071293	926899	1032607
1164967	895948	1153807	735894	1008749	882870
1196258	1197892	1161045	868299	1020376	919887
962406	856704	1021291	764567	883462	961064
975351	1259387	1014624	845321	777120	983705
291962	1171526	921723	856671	810860	1007198
950885	1102691	1277370	952776	296440	

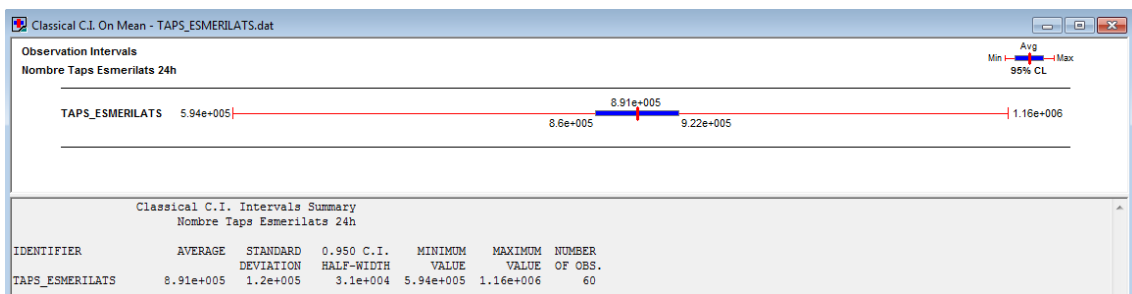
**Taula 12.** Mostra de la producció de taps esmerilats per dia extreta de l'arxiu Excel.

Tot i que ja s'ha esmentat anteriorment en aquest capítol, és important tenir en compte que el fet de treballar amb valors de mitjanes ens permetrà assumir el model de distribució Normal, per la qual podrem realitzar contrastos d'hipòtesi amb les dades obtingudes de la simulació per al procés de validació.

En les Figures 80 i 81 es pot observar els resums numèrics de la Taula 12 i del estadístic "TAPS\_ENC\_ESM" respectivament, realitzats amb el software *R* i el programa *Output Analyzer*.

```
> numSummary(Datos[,"V1"], statistics=c("mean", "sd", "IQR", "quantiles"), quantiles=c(0,.25,
+ .5,.75,1))
  mean      sd      IQR    0%     25%    50%    75%   100%  n
926972.5 246756.4 196379.8 78000 871387.8 968040 1067768 1277370 62
```

**Figura 80.** Resum numèric realitzat amb *R* del nombre de taps esmerilats mostrats en la Taula 12.



**Figura 81.** Resum numèric realitzat amb el programa *Output Analyzer* del estadístic "TAPS\_ENC\_ESM".

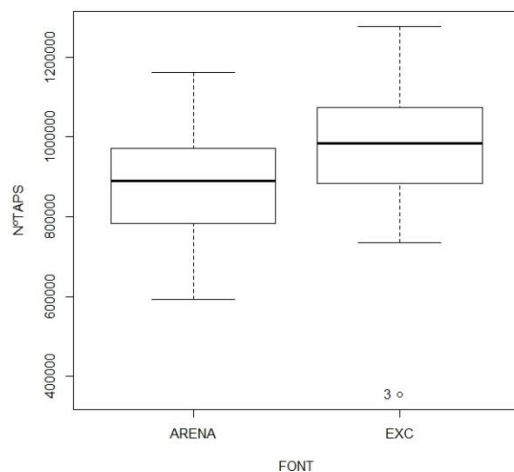
Per tal de que la prova *t-student* per a mostres independents sigui vàlida, s'ha de complir alguna de les següents condicions:

- Les variàncies són similars i les observacions de cada mostra són normals.
- Les variàncies són similars i les mides mostrals són grans.
- Les variàncies són notablement diferents però les mides de la mostra són similars.

Si inspeccionem la Figura 81 podem observar que hem realitzat 60 rèpliques de la simulació del model *Sistema productiu actual 1* amb l'objectiu de que la mostra sigui similar a la de la Taula 12.

Una eina més informativa per a es variables en procés d'estudi consisteix en realitzar un diagrama de caixa múltiple, que dóna una descripció clara de la forma de la distribució i també l'existència de valors atípics. En la figura 82 mostrada a continuació, podem observar com la altura de les “caixes” i els “bigotis” corresponents a els diagrames de caixa de les dos mostres són aproximadament iguals, per tant, tenim un indicati de que possiblement les mostres provenen de poblacions amb igual variància.

Hem de tenir en compte que en estadística, és sempre perillós arribar a conclusions només a partir de gràfics. Per aquest motiu realitzarem el contrast anomenat *F-test* (Figura 83) per a confirmar si les variàncies són iguals. Amb el p-valor obtingut, no hi ha motius suficients per a rebutjar la hipòtesi nul·la, per tant, assumirem que les variàncies de les mostres són iguals.



**Figura 82.** Diagrama de caixa de l'estadístic “TAPS\_ENC\_ESM” (Arena) i de la mostra de la Taula 12 (EXC). La mostra EXC presenta un valor atípic (tercer nombre de la Taula 12: 309245) possiblement degut a una fallada en la producció.

```
> var.test(N°TAPS ~ FONT, alternative='two.sided', conf.level=.95, data=Datos)

      F test to compare two variances

data:  N°TAPS by FONT
F = 0.637, num df = 55, denom df = 56, p-value = 0.09624
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.3745675 1.0846966
sample estimates:
ratio of variances
 0.6370005
```

**Figura 83.** *F-test* de les dues mostres. Amb un p-valor de 0.09624.

El següent pas a realitzar, un cop hem demostrat que les variàncies d'ambdues mostres són iguals i de mida semblant, és realitzar la prova *t-student* (Figura 84). Amb el p-valor obtingut del contrast, no tenim motius suficients per a rebutjar la hipòtesi nul·la i, per tant, podem afirmar que les mitjanes de les dues mostres són iguals.

```
Two Sample t-test

data: N°TAPS by FONT
t = -1.0315, df = 120, p-value = 0.3044
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -106333.7  33488.7
sample estimates:
mean in group ARENA    mean in group EXC
           890550.0           926972.5
```

**Figura 84.** Contrast *t-student* amb un 95% de confiança i un p-valor de 0.3044. L'estimació de la diferència de mitjanes poblacionals és (-106333.7,33488.7).

Així doncs, a través de les eines estadístiques mostrades anteriorment hem sigut capaços de validar el model *Sistema Productiu actual 1*, i hem pogut demostrar que és una bona representació d'una part del sistema real. No obstant, tal com hem explicat en el capítol 5, el sistema real està dividit en dos models *Arena*, i només hem verificat i validat el *Sistema Productiu actual 1*. En quant a el model *Sistema Productiu actual 2*, no disposem de dades o informes per a treballar amb eines estadístiques, però tal com hem dit, hem presentat els dos models al responsable de producció i s'ha considerat que són una bona adaptació del sistema de producció actual.

En relació amb el model *Sistema Productiu "Lean"*, s'ha realitzat la verificació per a un correcte funcionament d'aquest. En quant a la validació, no té sentit parlar-ne, ja que el model està representant una nova política de producció la qual està en fase de construcció en hores d'ara.

## 6.5 Comparació dels estudis i resultats obtinguts

Per últim, un cop hem realitzat tots els passos per a una correcta construcció dels models i s'han verificat i validat, s'estimaran les diferències de mitjanes dels paràmetres de rendiment del nou sistema de producció respecte l'actual. Aquests contrastos es realitzaran a través del programa *Output Analyzer* i *R*.

El primer contrast indicarà si s'ha aconseguit reduir el temps d'estada d'un contenidor en el sistema aplicant la nova política de producció "Lean". Degut a la construcció del sistema productiu actual en 2 diferents models, ja que la versió estudiant del programa *Arena* els limitava, s'ha utilitzat una fulla d'Excel per a combinar els valors dels temps d'un contenidor en el sistema del model *Sistema Productiu actual 1 i 2*. Amb el programa *R* es realitzarà un contrast de mitjanes per a mostres independents (Figura 85).

```
> t.test(TEMPS..HORES.~TIPUS.POLITICA, alternative='two.sided', conf.level=.95, var.equal=FALSE, data=Datos)

Welch Two Sample t-test

data: TEMPS..HORES. by TIPUS.POLITICA
t = 98.084, df = 33.146, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 25.23011 26.29878
sample estimates:|
mean in group SIS.PROD.ACT mean in group SIS.PROD.LEAN
                 35.30876                9.54431
```

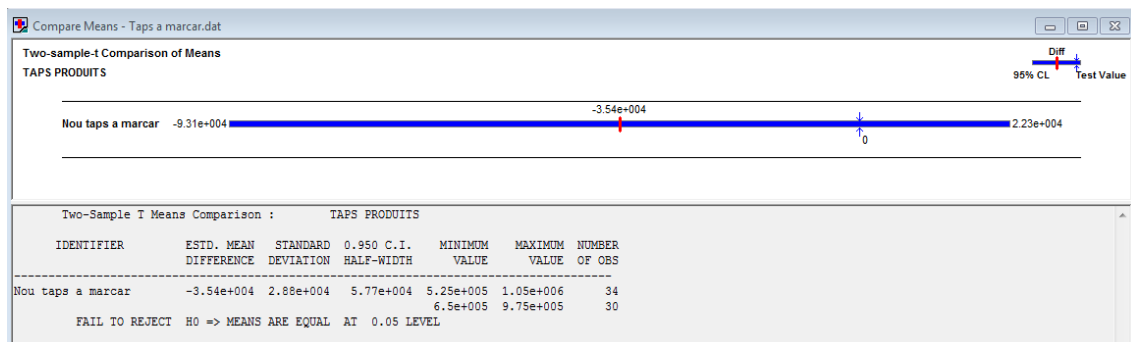
**Figura 85.** Test *t* per a mostres independents. *P*-valor és igual a  $2,2e-16$ . Es rebutja la hipòtesi nul·la.

**Podem afirmar que la nova política de producció "Lean" ha reduït significativament el temps d'estada d'un contenidor per el sistema; l'estimació, a un nivell de confiança del 95%, de la diferència de mitjanes poblacionals (SIS.PROD.ACT i SIS.PROD.LEAN) val (25.230, 26.299) hores.**



El segon contrast indicarà si les 5 noves línies de producció creades en el model *Sistema Productiu "Lean"* seran suficients per a satisfer la producció actual o serà necessari afegir-ne més perquè no seran suficients per a satisfer la demanda.

En la Figura 86 es pot observar el contrast de la diferència de mitjanes amb el programa *Output Analyzer*. No es pot rebutjar a la hipòtesi alternativa ja que el p-valor és més gran que 0.05, per tant, podem afirmar que la producció de taps en les dues polítiques no són diferents.



**Figura 86.** Contrast de les mitjanes dels taps produïts amb la nova política i l'actual.

## 6.6 Conclusions

A la vista dels estudis descriptius i anàlisis estadístiques del sistema de fabricació de taps es pot afirmar que aplicant la nova política de producció, tot i que s'ha de realitzar una gran inversió en la compra de la nova maquinària (encoladores, polidores i tries electròniques), s'aconseguirà una enorme reducció de recursos, estocs, espais, temps, qualitat del producte, etc.

El temps d'estada d'un contenidor s'ha reduït considerablement, 25 hores aproximadament; el nombre de màquines de cada procés s'ha reduït a 5; el magatzem del pis superior no serà necessari així com els toros industrials que s'utilitzaven; no seran necessaris els ascensors, etc.

Amb la modelització de 5 noves línies de producció s'ha previst una capacitat de producció igual a la del sistema de producció actual, i, per tant, els espais alliberats per la nova política com la zona de repòs o el magatzem podrien ser utilitzats per a instal·lar més noves línies i augmentar la producció.

**7. RESUM DEL PRESSUPOST**

El pressupost total del projecte d'una simulació del sistema productiu de l'empresa *Francisc Oller*, amb l'estudi de la nova alternativa contrastada amb la del sistema de fabricació actual emprant programes com *R* i el paquet de *Rockwell Software Arena* (Llicència educativa), tenint en compte els costos involucrats en la realització del projecte, és de sis mil set-cents quatre euros amb quaranta-un cèntims amb IVA inclòs.....**6.704,41 Euros**

## 8. CONCLUSIONS

En la secció 3.13 del projecte s'han presentat una sèrie d'objectius a realitzar a través de la simulació. A mesura que hem anat avançant en la modelització d'un sistema de fabricació real hem adquirit coneixements i experiències amb les que s'ha pogut arribar a obtenir resultats satisfactoris en relació als objectius inicials.

És important dir que hem tinguts dificultats en algunes parts de la modelització degut a que la versió estudiant del programa Arena limitava les mides dels models i a la complexitat del procés de la classificació de taps segons la seva qualitat. No obstant, la valuosa monografia anomenada *Simulation with Arena* (Kelton et al., 2010) ens ha proporcionat els coneixements necessaris per assolir els objectius d'aquest projecte.

Cal destacar que hem après la importància de l'organització i distribució dels recursos, operaris, magatzems, etc. que componen un sistema de fabricació, ja que tot i no poder semblar-ho, cada un dels elements del sistema afecta a la resta, i per això és necessari tenir un control total.

Per a poder continuar amb el desenvolupament d'aquest projecte de simulació, el primer pas a realitzar seria canviar la versió estudiant per la versió professional del software Arena, ja que ens permetria modelar la totalitat del sistema de producció sense gairebé simplificacions i d'aquesta manera poder realitzar estudis amb major quantitat d'elements. Així es podria modelar no només una part del sistema de fabricació sinó que des de l'entrada de matèria primera fins l'expedició del producte. També es podria estudiar si afecta al rendiment del sistema la distribució del tipus i classe de tap, i en cas afirmatiu, quins són aquests efectes.

En fi, existeix una gran quantitat de casos en els quals aquest projecte pot ser d'utilitat i desenvolupat en un futur. Esperem que aquest projecte hagi sigut d'interès per al lector i sigui una possible font d'inspiració per a futurs projectes.

## 9. BIBLIOGRAFIA

© ASECOR - Agrupación Sanvicenteña de Empresarios del Corcho. *Productos del corcho*. (<http://www.asecor.com>). 2015.

AVERILL, M. LAW.; MICHAEL, G. MCCOMAS. *Secrets of succesful simulation studies*. Proceedings of the 23rd conference on Winter simulation. 1991.

DAUNIS I ESTADELLA, P. *Sessions pràctiques amb R* (GETI: curs 2012-2013). Àrea d'Estadística i Investigació Operativa (Dept. IMAE-UdG). 2012.

FÁBREGAS, ALDO.; WADNIPAR, RODRIGO.; PATERNINA, CARLOS.; MANCILLA, ALFONSO. *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Barranquilla: Ediciones Uninorte. 2003.

KELTON, W.DAVID.; RANDALL, P.SADOWSKI.; NANCY, B.SWETS. *Simulation with Arena*. New York: Mc-Graw-Hill Education, 5 edition. 2010.

MARTÍN-FERNÁNDEZ, J.A. *Apunts assignatura Investigació Operativa* (GETI: curs 2014-2015). Àrea d'Estadística i Investigació Operativa (Dept. IMAE-UdG). 2014.

MEGÍA, T.; MARTÍN, D. *El clúster català del suro*. Generalitat de Catalunya, Departament d'Innovació, Universitats i Empresa. Barcelona, febrer del 2009.

ROBERT M. SALTZMAN. *What makes a student simulation project successful?* San Francisco State University.

ROSSETI, MANUEL D. *Simulation modeling and Arena*. Wiley, 1 edition. January 27, 2009.

SCHMIDT, J.WILLIAM.; TAYLOR, R.E. *Simulation and analysis of industrial Systems*. R. D. Irwin, 1 edition. 1970.

TARIFA, E. EDUARDO. *Teoria de modelos y simulación*. Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Jujuy. 2015.

SIMULACIÓ ESTOCÀSTICA D'UN SISTEMA PRODUCTIU  
MEMÒRIA I ANNEXOS

**A. REGISTRE DE CONTENIDORS ENCOLATS**

En el Capítol 5, apartat 5.3.8, s'ha efectuat l'anàlisi estadístic de la següent taula Excel:

DIA	MAQUINA	HORA FI ENC.	VELO ENC. (min/cont.)	HORA ARRIBADES	MINUT ARRIBADES (-)	MINUT ARRIBADES	CLASSE TAP
01/03/2015	6	1:35	237,6	#####	-142,60	1297,40	3FI (2D)
2-3-15	6	4:30	237,6	0:32	32,40	32,40	3FI (2D)
2-3-15	6	10:15	237,6	6:17	377,40	377,40	3FI (2D)
2-3-15	6	11:10	237,6	7:12	432,40	432,40	3FI (2D)
2-3-15	6	14:15	237,6	10:17	617,40	617,40	3FI (2D)
2-3-15	6	17:10	237,6	13:12	792,40	792,40	3FI (2D)
2-3-15	6	20:15	237,6	16:17	977,40	977,40	3FI (2D)
2-3-15	7	7:10	297	2:13	133,00	133,00	1FLACA
2-3-15	7	10:30	297	5:33	333,00	333,00	1FLACA
2-3-15	7	17:25	297	12:28	748,00	748,00	Nº4
2-3-15	9	11:40:00	297	6:43	403,00	403,00	3FI (2D)
2-3-15	9	17:05:00	297	12:08	728,00	728,00	3FI (2D)
2-3-15	9	22:00:00	297	17:03	1023,00	1023,00	3FI (2D)
1-3-15	10	2:00:00	297	#####	-177,00	1263,00	A2 (1D)
2-3-15	10	6:40:00	297	1:43	103,00	103,00	Nº4
2-3-15	10	11:00:00	297	6:03	363,00	363,00	Nº4
2-3-15	10	15:20:00	297	10:23	623,00	623,00	Nº4
2-3-15	10	21:25:00	297	16:28	988,00	988,00	Nº4
1-3-15	11	3:20:00	297	#####	-97,00	1343,00	A2 (1D)
1-3-15	11	4:10:00	297	#####	-47,00	1393,00	A2 (1D)
2-3-15	11	8:50:00	297	3:53	233,00	233,00	A2 (1D)
2-3-15	11	13:50:00	297	8:53	533,00	533,00	A2 (1D)
2-3-15	11	20:00:00	297	15:03	903,00	903,00	A2 (1D)
1-3-15	4	2:25:00	297	#####	-152,00	1288,00	1+1 (26)
2-3-15	4	9:00:00	297	4:03	243,00	243,00	1+1 (26)
2-3-15	4	20:10:00	297	15:13	913,00	913,00	1+1 (28)
2-3-15	12	10:35:00	297	5:38	338,00	338,00	A2 (1D)
2-3-15	12	14:40:00	297	9:43	583,00	583,00	A2 (1D)
2-3-15	12	18:25:00	297	13:28	808,00	808,00	A2 (1D)
2-3-15	6	1:35:00	237,6	#####	-142,60	1297,40	3FI (2D)
3-3-15	6	4:15:00	237,6	0:17	17,40	17,40	3FI (2D)
3-3-15	6	7:20:00	237,6	3:22	202,40	202,40	3FI (2D)
3-3-15	6	10:25:00	237,6	6:27	387,40	387,40	3FI (2D)
3-3-15	6	13:15:00	237,6	9:17	557,40	557,40	3FI (2D)
3-3-15	6	18:20:00	237,6	14:22	862,40	862,40	3FI (2D)
3-3-15	6	21:15:00	237,6	17:17	1037,40	1037,40	3FI (2D)
3-3-15	7	22:50:00	297	17:53	1073,00	1073,00	Nº4
2-3-15	7	4:35:00	297	#####	-22,00	1418,00	Nº4
3-3-15	7	15:10:00	297	10:13	613,00	613,00	Nº4
3-3-15	7	20:05:00	297	15:08	908,00	908,00	Nº4
2-3-15	9	4:00:00	297	#####	-57,00	1383,00	EXTRA
3-3-15	9	8:40:00	297	3:43	223,00	223,00	EXTRA
3-3-15	9	15:10:00	297	10:13	613,00	613,00	EXTRA
3-3-15	9	20:05:00	297	15:08	908,00	908,00	EXTRA
2-3-15	10	2:50:00	297	#####	-127,00	1313,00	Nº4
3-3-15	10	8:00:00	297	3:03	183,00	183,00	Nº4
3-3-15	10	13:00:00	297	8:03	483,00	483,00	Nº4
3-3-15	10	14:00:00	297	9:03	543,00	543,00	RPS
3-3-15	10	15:45:00	297	10:48	648,00	648,00	RPS
2-3-15	11	0:10:00	297	#####	-287,00	1153,00	A2 (1D)
3-3-15	11	5:25:00	297	0:28	28,00	28,00	A2 (1D)
3-3-15	11	10:20:00	297	5:23	323,00	323,00	A2 (1D)
3-3-15	11	14:50:00	297	9:53	593,00	593,00	A2 (1D)
3-3-15	11	20:45:00	297	15:48	948,00	948,00	A2 (1D)
2-3-15	4	2:40:00	297	#####	-137,00	1303,00	1+1 (28)
3-3-15	4	9:00:00	297	4:03	243,00	243,00	1+1 (28)
3-3-15	4	15:30:00	297	10:33	633,00	633,00	1+1 (28)
3-3-15	4	21:00:00	297	16:03	963,00	963,00	1+1 (28)
2-3-15	12	3:05:00	297	#####	-112,00	1328,00	A2 (1D)
3-3-15	12	7:10:00	297	2:13	133,00	133,00	A2 (1D)
3-3-15	12	13:00:00	297	8:03	483,00	483,00	A2 (1D)
3-3-15	12	16:40:00	297	11:43	703,00	703,00	A2 (1D)
3-3-15	12	20:50:00	297	15:53	953,00	953,00	A2 (1D)
3-3-15	12	22:20:00	297	17:23	1043,00	1043,00	A2 (1D)

# SIMULACIÓ ESTOCÀSTICA D'UN SISTEMA PRODUCTIU

## MEMÒRIA I ANNEXOS

3-3-15	6	0:00:00	237,6	#####	-237,60	1202,40	3FI (2D)
3-3-15	6	3:05:00	237,6	#####	-52,60	1387,40	3FI (2D)
4-3-15	6	6:00:00	237,6		122,40	122,40	3FI (2D)
4-3-15	6	11:30:00	237,6	2:02	452,40	452,40	3FI (2D)
4-3-15	6	14:25:00	237,6	7:32	627,40	627,40	3FI (2D)
4-3-15	6	17:25:00	237,6	10:27	807,40	807,40	3FI (2D)
4-3-15	6	20:20:00	237,6	13:27	982,40	982,40	3FI (2D)
3-3-15	7	1:00:00	297	#####	-237,00	1203,00	Nº4
4-3-15	7	8:30:00	297	3:33	213,00	213,00	Nº4
4-3-15	7	13:15:00	297	8:18	498,00	498,00	Nº4
4-3-15	7	18:05:00	297	13:08	788,00	788,00	Nº4
3-3-15	9	0:45:00	297	#####	-252,00	1188,00	3FI (2D)
4-3-15	9	5:30:00	297	0:33	33,00	33,00	3FI (2D)
4-3-15	9	12:20:00	297	7:23	443,00	443,00	3FI (2D)
4-3-15	9	17:05:00	297	12:08	728,00	728,00	3FI (2D)
4-3-15	9	22:00:00	297	17:03	1023,00	1023,00	3FI (2D)
3-3-15	10	2:35:00	297	#####	-142,00	1298,00	Nº4
3-3-15	10	4:40:00	297	#####	-17,00	1423,00	Nº4
4-3-15	10	9:30:00	297	4:33	273,00	273,00	Nº4
4-3-15	10	13:50:00	297	8:53	533,00	533,00	Nº4
4-3-15	10	19:50:00	297	14:53	893,00	893,00	Nº4
4-3-15	10	22:00:00	297	17:03	1023,00	1023,00	Nº4
3-3-15	11	1:00:00	297	#####	-237,00	1203,00	A2 (1D)
4-3-15	11	6:40:00	297	1:43	103,00	103,00	A2 (1D)
4-3-15	11	11:40:00	297	6:43	403,00	403,00	A2 (1D)
4-3-15	11	15:45:00	297	10:48	648,00	648,00	A2 (1D)
4-3-15	11	21:40:00	297	16:43	1003,00	1003,00	A2 (1D)
3-3-15	4	1:00:00	297	#####	-237,00	1203,00	1+1 (28)
4-3-15	4	18:05:00	297	13:08	788,00	788,00	1+1 (26)
3-3-15	12	0:40:00	297	#####	-257,00	1183,00	A2 (1D)
3-3-15	12	4:40:00	297	#####	-17,00	1423,00	A2 (1D)
4-3-15	12	9:00:00	297	4:03	243,00	243,00	A2 (1D)
4-3-15	12	14:25:00	297	9:28	568,00	568,00	A2 (1D)
4-3-15	12	18:30:00	297	13:33	813,00	813,00	A2 (1D)
4-3-15	6	0:35:00	237,6	#####	-202,60	1237,40	3FI (2D)
4-3-15	6	2:40:00	237,6	#####	-77,60	1362,40	3FI (2D)
5-3-15	6	5:45:00	237,6	1:47	107,40	107,40	3FI (2D)
5-3-15	6	8:40:00	237,6	4:42	282,40	282,40	3FI (2D)
5-3-15	6	17:20:00	237,6	13:22	802,40	802,40	3FI (2D)
4-3-15	7	3:30:00	297	#####	-87,00	1353,00	Nº4
5-3-15	7	10:10:00	297	5:13	313,00	313,00	Nº4
5-3-15	7	22:55:00	297	17:58	1078,00	1078,00	Nº4
4-3-15	9	2:50:00	297	#####	-127,00	1313,00	3FI (2D)
5-3-15	9	7:50:00	297	2:53	173,00	173,00	3FI (2D)
5-3-15	9	19:55:00	297	14:58	898,00	898,00	3FI (2D)
4-3-15	10	0:00:00	297	#####	-297,00	1143,00	Nº4
4-3-15	10	3:05:00	297	#####	-112,00	1328,00	Nº4
5-3-15	10	8:20:00	297	3:23	203,00	203,00	Nº4
5-3-15	10	19:15:00	297	14:18	858,00	858,00	Nº4
4-3-15	11	1:40:00	297	#####	-197,00	1243,00	A2 (1D)
5-3-15	11	5:45:00	297	0:48	48,00	48,00	A2 (1D)
5-3-15	11	10:30:00	297	5:33	333,00	333,00	A2 (1D)
5-3-15	11	20:35:00	297	15:38	938,00	938,00	A2 (1D)
4-3-15	4	4:20:00	297	#####	-37,00	1403,00	1+1 (26)
5-3-15	4	9:50:00	297	4:53	293,00	293,00	1+1 (26)
5-3-15	4	23:10:00	297	18:13	1093,00	1093,00	1+1 (26)
4-3-15	12	2:35:00	297	#####	-142,00	1298,00	A2 (1D)
5-3-15	12	6:20:00	297	1:23	83,00	83,00	A2 (1D)
5-3-15	12	19:15:00	297	14:18	858,00	858,00	A2 (1D)
5-3-15	12	22:40:00	297	17:43	1063,00	1063,00	A2 (1D)
5-3-15	6	0:10:00	237,6	#####	-227,60	1212,40	3FI (2D)
5-3-15	6	3:10:00	237,6	#####	-47,60	1392,40	A2 (1D)
6-3-15	6	6:30:00	237,6	2:32	152,40	152,40	A2 (1D)
6-3-15	6	9:20:00	237,6	5:22	322,40	322,40	A2 (1D)
6-3-15	6	12:15:00	237,6	8:17	497,40	497,40	A2 (1D)

## SIMULACIÓ ESTOCÀSTICA D'UN SISTEMA PRODUCTIU

## MEMÒRIA I ANNEXOS

6-3-15	6	15:55:00	237,6	11:57	717,40	717,40	A2 (1D)
6-3-15	6	20:20:00	237,6	16:22	982,40	982,40	A2 (1D)
5-3-15	7	0:20:00	297	#####	-277,00	1163,00	Nº4
6-3-15	7	5:20:00	297	0:23	23,00	23,00	Nº4
6-3-15	7	10:00:00	297	5:03	303,00	303,00	Nº4
5-3-15	9	0:40:00	297	#####	-257,00	1183,00	3FI (2D)
6-3-15	9	6:10:00	297	1:13	73,00	73,00	3FI (2D)
6-3-15	9	11:30:00	297	6:33	393,00	393,00	3FI (2D)
5-3-15	10	4:30:00	297	#####	-27,00	1413,00	Nº4
6-3-15	10	10:50:00	297	5:53	353,00	353,00	Nº4
6-3-15	10	15:55:00	297	10:58	658,00	658,00	Nº4
6-3-15	10	23:35:00	297	18:38	1118,00	1118,00	Nº4
5-3-15	11	1:00:00	297	#####	-237,00	1203,00	A2 (2D)
6-3-15	11	5:15:00	297	0:18	18,00	18,00	A2 (2D)
6-3-15	11	9:30:00	297	4:33	273,00	273,00	A2 (2D)
6-3-15	11	13:45:00	297	8:48	528,00	528,00	A2 (2D)
6-3-15	11	18:15:00	297	13:18	798,00	798,00	A2 (2D)
6-3-15	4	5:00:00	297	0:03	3,00	3,00	1+1 (26)
6-3-15	4	11:10:00	297	6:13	373,00	373,00	1+1 (26)
6-3-15	4	23:20:00	297	18:23	1103,00	1103,00	1+1 (26)
5-3-15	12	3:45:00	297	#####	-72,00	1368,00	A2 (1D)
6-3-15	12	18:10:00	297	13:13	793,00	793,00	A2 (1D)
6-3-15	12	23:15:00	297	18:18	1098,00	1098,00	A2 (1D)

Taula A. Registres de sortida de contenidors del procés encolatge.

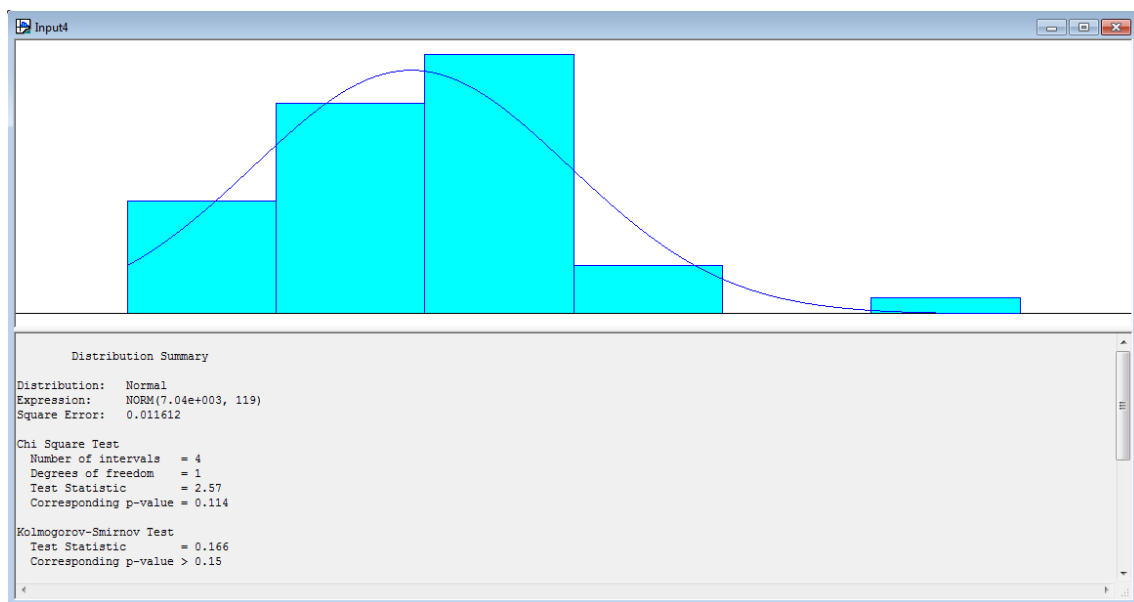
## B. ASSUMPCIÓ TEMPS DE SERVEI CONSTANTS

En la modelització del sistema de fabricació de l'empresa s'ha considerat que els temps de servei són deterministes. En aquest annex es mostrarà la justificació per a la suposició esmentada.

L'obtenció completa de dades alhora de simular un sistema no és sempre possible, fet que ens obliga a fer suposicions, sempre i quan, siguin justificables.

Per tal d'assumir que els temps de servei són deterministes es realitzarà una comparativa dels resultats obtinguts en la simulació del model *Sistema Productiu actual 1* amb temps de servei constants i temps de servei distribuït segons una llei de probabilitat.

A continuació mostrarem resultats de l'anàlisi estadístic d'una mostra corresponent a la velocitat de les màquines polidores. Figura B.1. Tal com podem observar, no podem rebutjar la hipòtesi nul·la, i per tant, suposarem que els temps de servei segueixen una distribució Normal. Es considerarà que totes les màquines del sistema de fabricació tenen la mateixa variància que la de les màquines polidores.

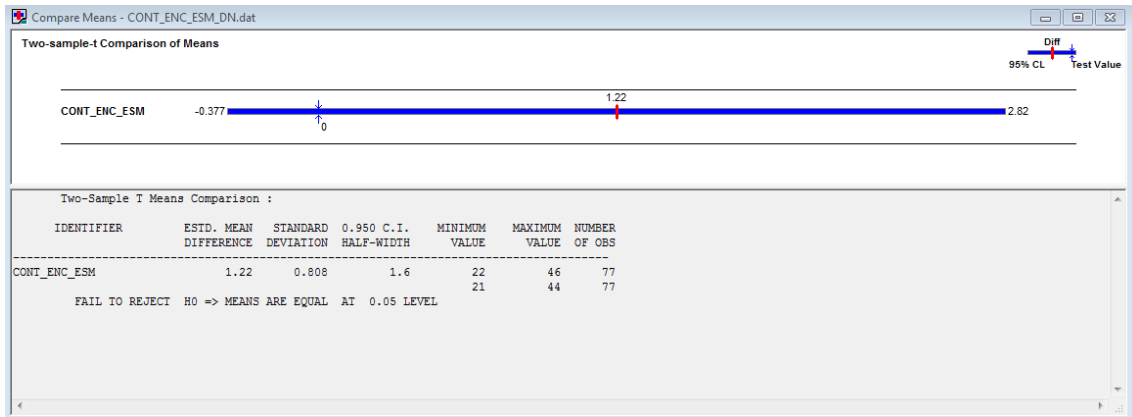


**Figura B.1.** Anàlisi estadístic amb Input Analyzer de la velocitat (taps per hora) de les màquines.  $P$  valor del test chi quadrat = 0.114.  $P$  valor del test KS > 0.15. No es rebutja  $H_0$ . Velocitat de les màquines polidores:  $NORM(7040, 119)$  taps per hora.

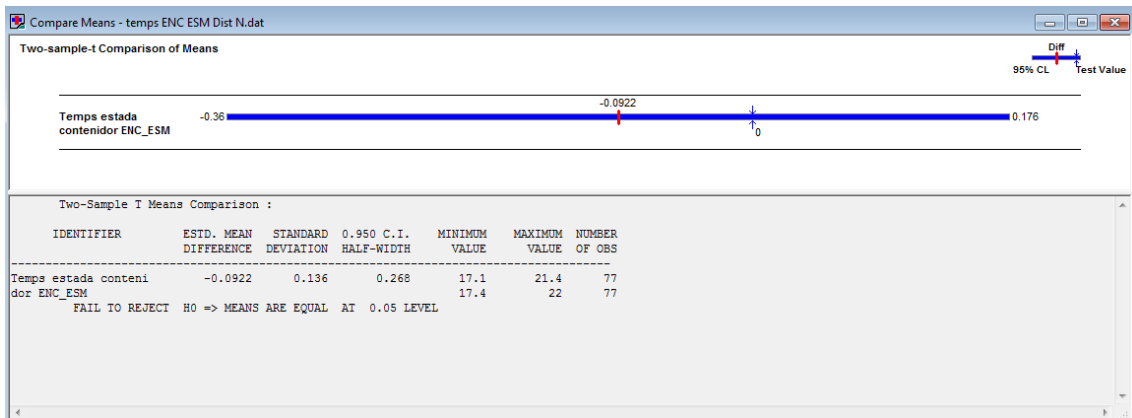


SIMULACIÓ ESTOCÀSTICA D'UN SISTEMA PRODUCTIU  
MEMÒRIA I ANNEXOS

Per últim, es realitzaran contrastos per a la diferència de mitjanes dels paràmetres de rendiment, per una banda, amb temps de servei deterministes, i per l'altre, distribuïts per una Normal com s'ha obtingut en les figures B.2 i B.3.



**Figura B.2.** Contrast de mitjanes del nombre de contenidors de sortida amb temps de servei deterministes i temps distribuïts per una Normal.



**Figura B.3.** Contrast de mitjanes del temps d'estada d'un contenidor de sortida amb temps de servei deterministes i temps distribuïts per una Normal.

**C. PRESSUPOST**

En aquest annex es presentarà el que es podria definir com l'aspecte econòmic del projecte, en funció del temps de realització del projecte i altres costos deguts al desenvolupament d'aquest.

Aplicarem un cost de 15 Euros per hora.

DESCRIPCIÓ	DURADA (h)	PREU UNITARI (Euros/h)	COST (Euros)
Recollida d'informació	40	15	600
Realització dels Models	110	15	1650
Validació dels Models	30	15	450
Anàlisi dels Models	30	15	450
Redacció del Projecte	100	15	1500
Defensa del Projecte	5	15	75
Impressió i enquadernació	-	-	29,90
		Subtotal	4754,9
		13% Costos generals	618,14
		7% Benefici	332,84
		21% IVA	998,53
		<b>TOTAL</b>	<b>6704,41</b>

*Taula C. Costos del projecte final de grau.*

El cost total del projecte final de grau és de sis mil set-cents quatre euros amb quaranta-un cèntims amb IVA inclòs.