

Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Simulació i anàlisi de sistemes de dosificació i pesatge dinàmic

MEMÒRIA

Autor: Ignasi Pons Montasell
Director/s: Pere Grima Cintas
Convocatòria: Gener 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

En el present document es presenta el treball que s'ha realitzat entorn a resoldre un problema de l'indústria, la dificultat que presenta l'empaquetament de certs productes. S'hi troba una aplicació capaç de simular-los i integrada en una interfície fàcil i amigable per l'usuari. A més de un anàlisi realitzat a partir d'aquesta assegurant el compliment de la normativa.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	5
2. PREFACI	6
2.1. Origen del projecte.....	6
2.2. Motivació.....	6
3. INTRODUCCIÓ	7
3.1. Objectius del projecte.....	7
3.2. Abast del projecte	7
3.3. Descripció de la màquina de dosificació i pesatge dinàmic.....	9
4. FUNCIONAMENT I PROGRAMACIÓ DE L'APLICACIÓ.	11
4.1. Descripció de l'arquitectura de l'aplicació	11
4.1.1. Fitxers aplicació	12
4.2. Llibreries utilitzades.....	13
4.2.1. Matplotlib.....	13
4.2.2. PyQt4.....	13
4.2.3. Numpy.....	14
4.2.4. Statistics.....	14
4.2.5. Random	14
4.3. Eines	15
4.3.1. Llenguatge i sistema operatiu	15
4.3.2. Programes utilitzats.....	15
5. ANÀLISI DELS PROCESSOS D'EMPAQUETAMENT	17
5.1. Flux Discret	17
5.1.1. Polítiques d'eliminació i factors que afecten al resultat	19
Com afecta en nombre de tolves?.....	20
Com afecta cada una de les polítiques a la resposta?	23
Quan les tolves romanen tancades en un cert nombre d'operacions.....	28
5.2. Flux discret de varies unitats per tolva.....	30
Com afecta el nombre de tolves?.....	31
Com afecta el nombre de tolves obertes per operació?	33
Com afecten les polítiques d'eliminació?.....	35
5.3. Flux continu.....	36
Com afecta el nombre de tolves buidades per operació a la resposta?	38

6. NORMATIVA I LEGISLACIÓ VIGENT	40
7. PLANIFICACIÓ, ANÀLISI ECONÒMICA I IMPACTE AMBIENTAL	47
7.1. Planificació.....	47
7.2. Estimació econòmica.....	49
7.2.1. Desenvolupament.....	49
7.2.2. Hardware i software.....	49
7.3. Impacte ambiental	49
8. CONCLUSIONS	50
9. AGRAÏMENTS	52
10. BIBLIOGRAFIA	53
10.1. Referències bibliogràfiques	53
10.2. Bibliografia complementària	53

1. Glossari

CONTINGUT EFECTIU	Quantitat (massa o volum) de producte que conté realment un envàs.
ENVÀS	Recipient dins el qual es posen productes, generalment articles de comerç, per transportar-los o conservar-los i protegir-los. De tal manera que si es modificat s'aprecii una modificació.
ERROR PER DEFECTE	Diferència entre el contingut efectiu respecte a la quantitat nominal.
LOT	Conjunt d'envasos d'iguals quantitats nominals model i fabricació, emplenats al mateix lloc, i que son objecte de control.
QUANTITAT NOMINAL	Massa o volum del producte marcat o quantitat que s'estima que hauria de tenir l' envàs.
SOFTWARE	Conjunt dels programes informàtics, procediments i documentació que realitzen alguna tasca en un ordinador.
TEST	Instrument que te per objectiu mesurar o avaluar una característica.
TREMUJA	Caixa en forma de tronc de piràmide o de con invertits que funciona com un embut deixant caure per la seva obertura inferior els materials que s'hi tiren per la superior, la qual serveix per a alimentar un aparell triturador, classificador, un forn, etc. Forma part de la maquinaria estudiada en el treball. En el treball sovint s'hi refereix com a tolva (del castellà) o hoppers (del anglès)

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Actualment molts dels productes trobats al mercat venen envasats essent una tendència a l'alça. Tot això es deu a la predilecció del mercat, cada cop més depenent de grans empreses que fabriquen una quantitat enorme de lots, i no de petits comerços amb lots menors i dedicats a l'àmbit local.

És per això, que molts dels productes venen envasats en embolcalls o paquets complexes, que compleixen les exigents normes de qualitat i faciliten el seu transport arreu. A més, la innovació tecnològica facilita la automatització de molts sistemes d'empaquetament, el que fa necessari complexes normatives d'empaquetament i de inspecció per tal d'assegurar un producte final correcte.

Alguns d'aquets productes s'envasen en paquets de varies unitats seguint un pes o un volum concret, ja que són més còmodes pel consum i pel transport. Per exemple, els llegums, cereals, verdures, congelats... Les màquines utilitzades s'anomenen dosificadors i pesadores dinàmiques, o comunament pesadora multicapçal. Fent una petita recerca del mercat es pot apreciar que l'automatització d'aquesta maquinària o el seu funcionament està força desenvolupat. La complexibilitat del tema recau en quina pesadora convé més triar per envasar cada tipus de producte, o com ha d'actuar aquesta per descartar paquets. És el que aquest projecte intentarà resoldre o facilitar.

2.2. Motivació

Personalment, el que m'ha motivat a fer aquest treball és el que suposava per mi resoldre un problema real, que espero que pugui ajudar com a eina d'anàlisi a la indústria que s'hi dedica. Un altre punt fort que m'ha ajudat a elegir aquest treball és la meva afició a l'estadística, de les matèries que més m'han agradat a la universitat, i en la qual m'agradaria poder seguir treballant més endavant. També el repte que suposava per mi, amb un nivell mig d'informàtica, crear l'algoritme del simulador i una interfície senzilla per l'usuari però alhora completa. Finalment, també destacar la transversalitat del treball, que agafa varis sectors de l'enginyeria, i on he pogut aplicar continguts de diferents matèries i departaments de la meva universitat, quelcom comú a la vida laboral.

3. Introducció

Seguint amb el fil anterior, podríem dir que ens trobem davant d'un problema industrial mal resolt, ja que l'empaquetador sol comprar una màquina i adaptar-la a pesar i preparar paquets del seus productes, sense analitzar profundament com hauria de ser la seva màquina, quants capçals o tremuges (*tolves/hoppers*) hauria de tenir, de quin pes, i quan hauria d'eliminar continguts erronis dels paquets. El qual provocaria un important salt per ell, tan econòmic com de qualitat.

3.1. Objectius del projecte

A l'actual projecte es plantegen els objectius que a continuació es detallen:

- Realització d'una eina que permeti trobar possibles solucions d'un problema industrial comú.
- Creació d'una aplicació amb una interfície amigable que permeti simular diversos casos de pesatge.
- Anàlisi e interpretació dels resultats obtinguts, per a millorar els processos d'empaquetament.

3.2. Abast del projecte

Aquest treball té l'ambició d'ajudar a resoldre aquest problema industrial mitjançant l'anàlisi estadístic. Procurant així un senzill interpretació i anàlisi del usuari per saber quin és el mètode d'empaquetament que més li convé.

Es per això que al llarg del treball, s'ha realitzat una interfície amigable a l'usuari, i un anàlisi exhaustiu de cada una de les polítiques i del tipus d'empaquetament. També, s'ha assegurat i estudiat la normativa vigent d'empaquetament i un anàlisi de precisió de la resposta segons les característiques en que s'empaqueti.

L'objectiu és facilitar que qualsevol persona del sector pugui entendre i raonar quin és el millor sistema d'empaquetament a utilitzar, resolent en la mesura del possible el problema plantejat. A

més es pretén que l'aplicació sigui utilitzable per tothom, per poder realitzar els seus anàlisis i treure les seves conclusions, és per això que l'aplicació disposa de un menú d'ajuda i està amb anglès.

Tot i l'esmentat anteriorment, aquest treball no resol de manera completa per tots els casos ja que pot haver variacions per cada un dels casos. Tampoc cobreix el tema d'etiquetatge d'aquets productes, ni del funcionament mecànic de la maquinària ja que es considera resolt.



Figura 1: Tolva de pesatge [1]



Figura 2: Pesadora ensecadora [2]

Finalment trobem la pesadora multicapçal, aquesta utilitza la combinació de pesos de diferents balances que es descarreguen segons el pes desitjat. L'ús de múltiples tolves permet una alta precisió i velocitat de producció, reduint al mateix temps el percentatge de producte tirat.

Sol entregar el producte en una sola seqüència, a partir de la combinació de varies tolves, però també en podem trobar de múltiples, que realitzen varies passades per emplenar el mateix paquet. Els materials els quals formen el sistema i que estan en contacte amb el producte es trien per facilitar una major fluïdesa tolva producte, igual que la mida de les tolves. Tot i això el material utilitzat sol ser acer inoxidable, ja que permet no contaminar els productes alimentaris al ser resistent a la corrosió. Aquestes pesadores són l'objecte del treball.

Els productes que es solen pesar en cadascun dels sistemes es mostren a la següent taula.

SISTEMA	PRODUCTES
Sistema basat en tolva de pesatge	Gra, farina, sòlids granulats o semi-sòlids, patates fregides, cereals, fruits secs, parts plàstiques...
Pesadora secadora	Productes polsegosos o de petita granulació
Pesadora multicapçal	Vegetals, fuites, nous, patates fregides, pasta, gra, caramels, gomes, cereals, productes frescos, congelats o secs

3.3. Descripció de la màquina de dosificació i pesatge dinàmic

En aquest apartat es tractarà el disseny e implementació física del sistema de dosificació de pesatge de forma breu. No es treballa extensament ja que es considera que es quelcom resolt i estudiat. De totes maneres, en la bibliografia del treball s'hi pot trobar documentació que aporta coneixements en detall del funcionament i l' implementació física de la maquinaria.

La maquinaria de dosificació i pesatge dinàmica, anomenada sovint com a pesadora mutlicapçal es comercialitza en moltes variants, ni ha de diferents materials, amb diferent nombre de punts de sortida, diferent nombre de tolves, o amb forma circular o plana. Tot i això totes comparteixen un funcionament comú que consta de 3 fases principals.

La fase de dosificació, on es carrega i es reparteix el producte en les diferents tolves, la fase de pesatge on es mesura el pes de cada tolva, i finalment l'etapa de recol·lecció, on es crea el paquet final a partir de les tolves obertes. A continuació i ha un esquema de com son les peces que trobem a cada una de les parts.

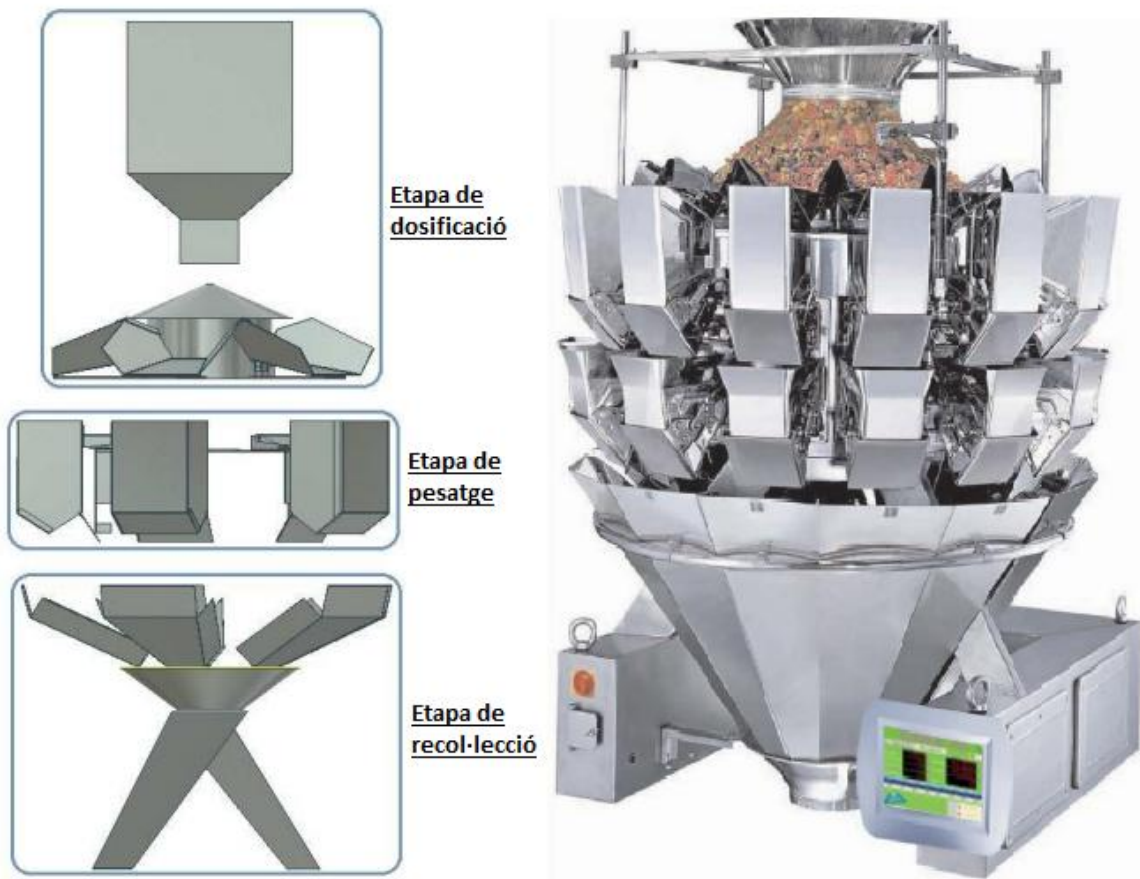


Figura 3: Parts de la pesadora multicapçal [3]



Figura 4: Procés que segueix la pesadora multicapçal

Aquest funcionament es fa buscant l'eficiència i la rapidesa alhora d'empaquetar. Aquesta distribució en sèrie permet fer les operacions simultàniament, de tal manera que mentre un paquet s'està buidant les tolves ja estan pesant el contingut del següent i s'està emplenant el que es pesarà a continuació. Aquest funcionament augmenta molt la velocitat d'empaquetament i es tradueix en un cost econòmic menor.

4. Funcionament i programació de l'aplicació.

4.1. Descripció de l'arquitectura de l'aplicació

Bàsicament la interfície de l'aplicació funciona seguint l'esquema mostrat a continuació:

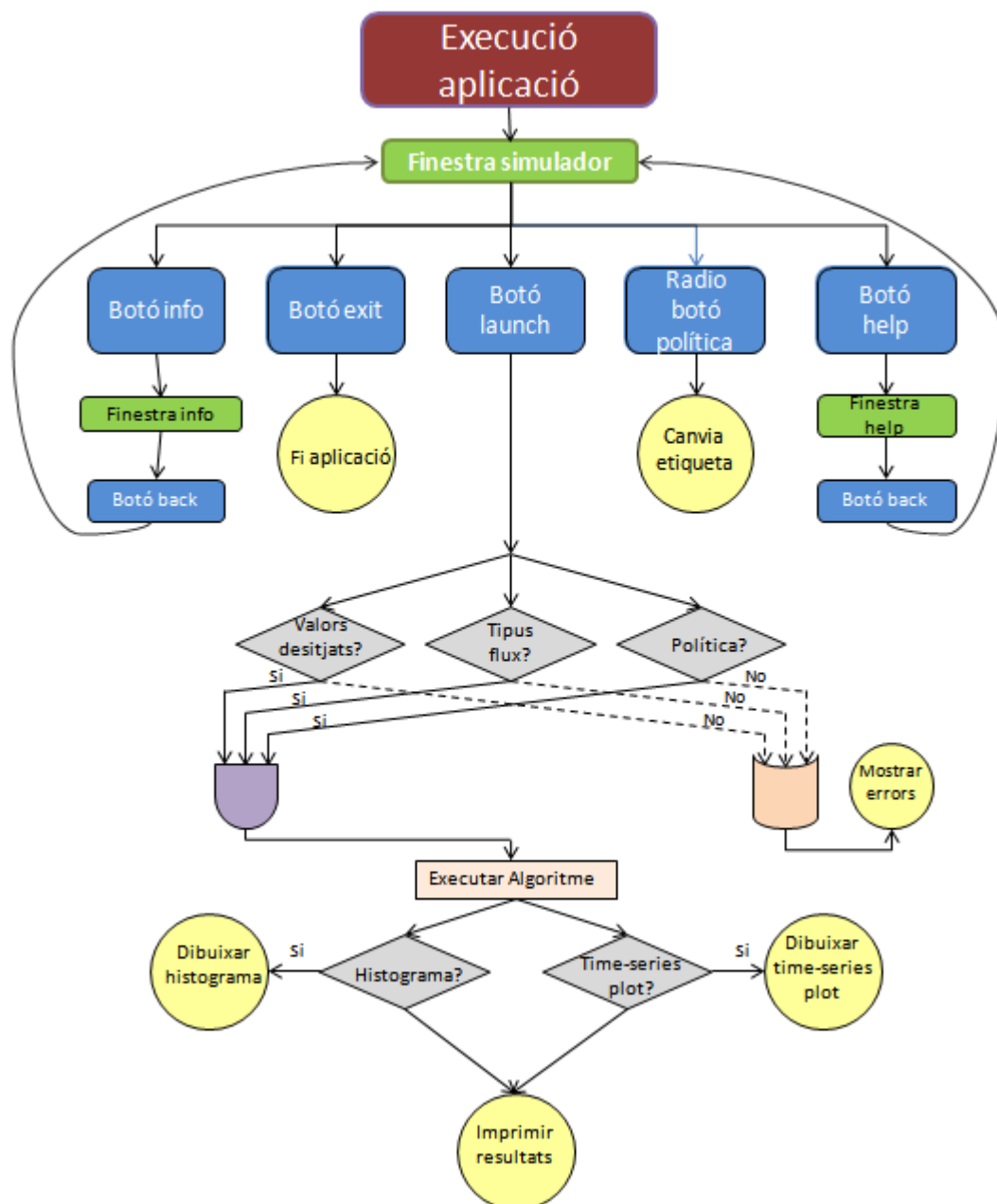


Figura 5: Esquema del funcionament de l'aplicació

L'aplicació creada funciona a partir d'un fitxer principal i varis de secundaris que es poden trobar a l'annex.

4.1.1. Fitxers aplicació

A continuació es mostra una petita descripció del funcionament de cada fitxer i com interaccionen entre ells.

- **Tfgppl.py:** Es tracta del fitxer principal del programa, en aquest s'hi troben totes les funcions necessàries per l'algoritme i les interaccions amb la interfície, a més del programa principal que crida les diverses funcions en funció del triat per l'usuari. Aquest fitxer també hereta i utilitza funcions en altres fitxers expressats a continuació i es l'únic que s'executa en llençar el programa. A l'annex hi ha una explicació del que fa cada funció a sobre de cada una d'elles.
- **Mainwindow.py:** Aquest fitxer hi ha la configuració de la mainwindow, que es el que s'obre en executar el programa. Inclou la seva mida, el seu logo, el títol, la icona d'escriptori... També inclou informació relativa a les altres finestres, com es configuren i per a quina d'elles s'inicia.
- **uiConverter.py:** Aquest fitxer és un script que executa el conversor del fitxer que prové del Qt Designer, que és un .ui fins a un .py interpretable per python. S'executa cada vegada que es fa algun canvi en el disseny.
- **Setup.py:** Fitxer que permet configurar com es vol crear el .exe utilitzable per tothom. Permet triar les llibreries i els paquets que inclourà, i influirà directament en la mida final de l'aplicació.
- **exeConverter.py:** Fitxer que amb les opcions triades a Setup.py, compila tota la informació dels fitxers, les llibreries i les imatges i converteix el programa i tots els arxius necessaris pel seu funcionament en un .exe.
- **Interface.ui, Anton.ui, Help.ui:** Fitxers que guarda el designer que han de ser convertits. Tenen un format molt definit indicant la mida, la posició, el nom i les característiques de cada un dels elements.

4.2. Llibreries utilitzades

En aquest apartat es mostren les llibreries principals utilitzades en el programa com també algunes de secundàries amb una petita explicació de què són i per què s'han utilitzat. Totes les llibreries utilitzades són de codi obert.

4.2.1. Matplotlib

Matplotlib és una llibreria de python per graficar amb 2d i 3d. Produeix una gran quantitat de figures interactives a través de diverses plataformes i diversos llenguatges. El matplotlib lib és l'adaptació a python dels gràfics del programa MATLAB[®] o Mathematica[®].

El matplotlib facilita graficar qualsevol tipus de gràfic complex amb poques comandes, a més de moltíssimes opcions de configuració d'aquests, com títols d'eixos, escales, colors, gràfics per pàgina, etc. També permet guardar i indica el valor del punt del gràfic en passar-hi el ratolí.

En el treball s'ha utilitzat per la realització dels histogrames i els Time-series plot. El fet d'utilitzar aquesta llibreria comporta un augment important en la mida de l'aplicació ja que en convertir el programa en un .exe queda tota la llibreria guardada i és enormement complexa.

4.2.2. PyQt4

PyQt4 és una llibreria de creació d'interfícies gràfiques traduïda del QtProject de C++. Disposa d'una gran quantitat d'elements i classes que permeten utilitzar quasi qualsevol objecte que es podria trobar en una aplicació, com finestres de diversos tipus, botons, espais de text, etiquetes, etc... La primera versió de la llibreria va sortir al 1999 i cada cop està més en desús. És una biblioteca que té poques actualitzacions i revisió tècnica perquè hi ha altres alternatives per al desenvolupament d'aplicacions amb interfícies gràfiques com altres llenguatges de programació per fer aquestes tasques que la gent troba millors. Es tracta d'una llibreria que funciona a partir de jerarquies d'elements en el sentit que tota classe hereta d'altres per compartir elements i mètodes. El treball a fer amb aquesta llibreria es podria separar en dos parts. Una part consisteix en la creació de la pròpia interfície amb els elements propis de PyQt4. Aquesta part es pot fer a mà cridant els diferents elements un per un o es pot fer utilitzant el programa Qt Designer que permet dissenyar l'estructura que es vol que tinguin les finestres. L'altra part de la feina a fer seria desenvolupar què vol que faci l'aplicació. Aquesta tasca consisteix en definir les interaccions dels usuaris amb diferents elements de la interfície com botons o altres elements i lligar-los amb altres funcions de Python que contenen el codi de

les tasques a desenvolupar. Aquesta part inclou també la creació i definició de les funcions que contindran el cos del programa.

4.2.3. Numpy

NumPy és una extensió de Python, que li agrega major suport per vectors i matrius, constituint una biblioteca de funcions matemàtiques d'alt nivell per operar amb aquests vectors o matrius.

Com que Python està implementat com un intèrpret i no com un compilador, els algorismes matemàtics escrits en Python generalment s'executen més lentament que els seus equivalents en llenguatges compilats. NumPy soluciona aquest problema per a algorismes numèrics creant operadors i funcions eficients per a vectors multidimensionals. Això fa que qualsevol algorisme que es pugui expressar primàriament com a operacions amb vectors i matrius pot executar-se tant ràpid com ho faria l'algorisme equivalent en llenguatge C.

Python aconsegueix una funcionalitat similar a la de Matlab usant la biblioteca NumPy, ja que ambdós llenguatges són interpretats i ambdós permeten a l'usuari programar algorismes ràpids i eficients sempre que les seves operacions es puguin reduir al tractament de vectors o de matrius en lloc d'usar escalars. En comparació Matlab té un nombre gran de llibreries, a destacar la llibreria Simulink, mentre que NumPy està integrat amb Python, un llenguatge més modern i de codi obert. A més a més, Python disposa de biblioteques complementàries com ara SciPy, que és una llibreria que fa que les funcionalitats de Python siguin similars a les de Matlab, i Matplotlib. Internament, tant MATLAB com NumPy estan basats en les biblioteques BLAS i LAPACK per executar els càlculs algebraics eficientment.

4.2.4. Statistics

Aquesta llibreria ens permet obtenir valors estadístics com la mitjana, la desviació, la variància, el rang, etc.. És una llibreria senzilla i es podria estalviar ja que les funcions que utilitza són fàcilment programables, però el fet d'utilitzar-la proporciona més rapidesa al codi ja que el fa més breu i eficient.

4.2.5. Random

Ens permet obtenir qualsevol nombre aleatori o a partir d'una distribució concreta. És relativament complexa però en el treball tan sols s'utilitza per crear valors aleatoris d'una simulació normal.

4.3. Eines

4.3.1. Llenguatge i sistema operatiu

Tot el treball s'ha realitzat utilitzant Python i les seves llibreries. Python és un llenguatge de programació d'alt nivell i propòsit general molt utilitzat, de fet es el més utilitzat a l'actualitat i segueix creixent. Aquest any 2015 ha estat el més utilitzat amb un 31,2% de tots els programes. Va ser creat per Guido van Rossum l'any 1991. La seva filosofia de disseny busca llegibilitat en el codi i la seva sintaxi permet als programadors expressar conceptes en menys línies de codi del que seria possible en llenguatges com C. També proveeix estructures per permetre programes més entenedors tan a petita com a gran escala, comunament, es diu que un programa en Python es pot interpretar tan sols llegint el seu codi.

Hi ha varies versions de Python, de fet hi ha dues generacions que s'utilitzin a l'actualitat. Python 2.x i Python 3.x, actualment s'està desenvolupant python 3.x i l'última versió de python 2.x (2.7.9) va ser acabada a l'any 2010. Són molt semblants, tan sols canvien unes comandes i que al 3.x es segueixen afegint llibreries i actualitzacions. La part flux del 3.x es que algunes llibreries complexes i poc utilitzades encara no han estat implementades. Per realitzar el treball s'ha triat la versió 3.2 de Python ja que és més senzill d'instal·lar-hi llibreries complexes a sobre degut a que ja porta un instal·lador preinstal·lat anomenat pip.

El sistema operatiu triat per realitzar el treball ha estat Windows. Tot i no estar qualificat com la millor alternativa per a treballar amb Python, ja que per exemple amb Linux podria semblar més fàcil degut a que ja el porta preinstal·lat, s'ha decidit treballar amb Windows perquè és més proper i em permet la transversalitat d'altres programes com Minitab o el paquet office.

El codi desenvolupat s'ha intentat fer de la manera més eficient possible, evitant redundàncies., per facilitar la rapidesa del programa i la comprensió del que fa a simple vista.

4.3.2. Programes utilitzats

Els programes utilitzats per la realització i la creació de l'estructura del treball són els següents:

- **Qt Designer**: Programa que permet la creació i disseny de interfícies gràfiques amb les que treballa la llibreria PyQt4. Aquest permet estructurar de manera visual la situació i posició dels elements finestres que es creen amb Qt. Un cop estructurat es convertirà en fitxer resultat d'aquest un programa un fitxer en codi Python .py. S'ha fet servir per

dissenyar l'estructura del simulador, i les seves finestres complementàries. Un cop es crea el disseny de interfície amb el Designer i la seva conversió automàtica al fitxer .py cal programar les interaccions amb el disseny, com els botons, els valors a llegir...

- **Eclipse:** És un entorn integrat de desenvolupament de codi obert programada principalment en Java (per tant, multi-plataforma), per desenvolupar projectes en C, C++, COBOL, Python, Perl, PHP i molts altres, sempre quan s'instal·lin els connectors corresponents per a cada llenguatge de programació. En el cas del python, s'ha instal·lat el Pydev que permet interpretar el llenguatge i editar-lo còmodament. Un cop instal·lat serveix com a editor, permetent a l'usuari moltes facilitats com per exemple autotabulacions, errors, identificació de variables, debugging, execució directe i moltes altres eines que fan senzill i visual la programació.
- **Minitab:** És un programa d'ordinador dissenyat per a executar funcions estadístiques bàsiques i avançades. Combina l'amigable de l'ús de Microsoft Excel amb la capacitat d'execució d'anàlisi estadístiques. És l'únic programa que no és de codi obert, tot i així en el treball s'ha utilitzat la versió d'estudiant que es gratuïta.

5. Anàlisi dels processos d'empaquetament

En la indústria es treballa amb varis productes i maneres d'empaquetament, es per això que s'ha decidit dividir-ho en 3 tipus de fluxes, per facilitar la simulació i l'anàlisi. En primer lloc hi trobem el que el simulador anomena flux discret. Aquest és el més senzill i consisteix en tan sols posar un producte a cada una de les tremuges (tolves/hoppers). D'ara en endavant, s'utilitzarà la paraula tolves per referir-se a tremuges o hoppers.

Un altre opció és en el que el simulador s'anomena flux de varies unitats, que no deixa de ser un flux discret però calculant les unitats necessàries a cada tolva per arribar al pes desitjat. Aquest flux permet decidir quantes tolves es vol que es buidin en cada operació. Per exemple, si es vol emplenar paquets d'1kg d'alguna cosa utilitzant 10 tolves, podem utilitzar tolves de 100g a 500g i ens variarà la precisió i la velocitat d'empaquetament.

Finalment, hi ha la opció de flux continu que permet preparar un paquet precís a partir de imprecisions en els dosificadors. Es tracta d'un cas comú a l'indústria i segueix criteris econòmics. Actualment es disposa d'una gran varietat de balances bastant precises i a preus molt econòmics, en canvi, no passa amb els dosificadors. Aquests solen ser d'un preu elevat que incrementa gradualment a mesura que se'ls hi requereix més precisió i velocitat. Aquest tipus de flux, permet simular aquest cas. Donat un pes desitjat en els paquets i un percentatge de tolves a buidar per operació, es simula i es calcula els pesos necessaris amb una imprecisió gran; simulada agafant com a desviació estàndard un terç de la mitjana que correspondria per paquet.

En aquesta part es farà un anàlisi de la resposta a partir de la mitjana i la variabilitat dels paquets segons el tipus de flux i la política aplicada. Aquest anàlisi espera poder donar una idea general de com es comporta el sistema, però si més no persegueix com a objectiu principal donar una eina i exemplificar com utilitzar-la per cada un dels casos estudiats.

5.1. Flux Discret

Es tracta el cas més simple, i ens servirà per facilitar la comprensió dels altres. Per un primer anàlisi utilitzarem un exemple senzill. Considerarem que envasem un producte que pesa 1kg

de mitjana, i volem paquets de 2kg. Aquest producte tindrà una desviació estàndard de 0,1. És a dir, considerem que el producte a envasar segueix una distribució normal $N(1;0,1)$ en kg. El nostre objectiu serà obtenir un producte central i amb una desviació el més petita possible.

S'ha triat aquest exemple ja que ha servit com a test del simulador, aquest és l'exemple utilitzat en un dels llibres nombrats a la bibliografia, Estadística pràctica en Minitab[4]. Més endavant s'analitzarà casos més complexos i més reals on aquesta maquinaria realment s'utilitza.

Pera simular-ho utilitzarem el programa, es trien 1000 iteracions i veurem com evoluciona la resposta en funció de com netegem les tolves i el nombre de tolves utilitzades.

Si introduïm aquets valors en el simulador, per exemple, utilitzant 10 tolves, i simulant 1000 paquets obtindrem els següents gràfic. La mitjana obtinguda és de 2001,81g i la seva desviació estàndard de 41,78g.

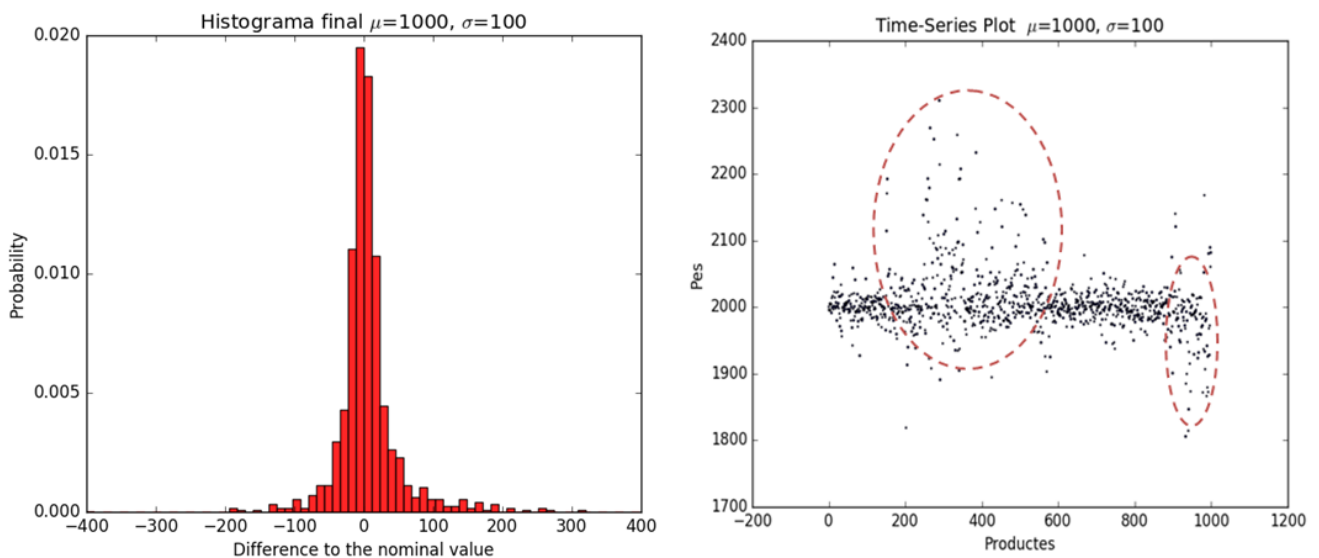


Figura 6: Gràfics extrets del simulador sense aplicar cap política

Com es pot observar en ambdós gràfics, el valor té tendència a descentrar-se lleugerament, provocant una gran variabilitat que sol ser cap a valors grans. Això es deu, a que quan un producte massa gros entra a les tolves, aquestes tenen dificultats per obrir-se ja que rarament son triades per l'algoritme. Tot això provoca que es vagin acumulant productes massa grans a les tolves, i en el fons acabem treballant majoritàriament amb menys tolves ja que aquestes no

s'obren i això afecta a la mitjana i la variabilitat de la resposta.

Quan es produeix, l'algoritme intenta emplenar paquets amb les altres tolves, però hi ha tendència a que cada cop ens trobem amb més productes grans i més tolves que poden quedar semi bloquejades. Finalment, no hi ha mes solució que emplenar paquets amb varis productes massa grans, i això provoca augments en la mitjana i la variabilitat. El mateix passa amb productes massa petits, tot i que menys comunament, degut a que aquets són relativament més fàcils de quadrar. Si observem el Time-Series Plot anterior, veiem que hi ha uns valors a l'alça durant els primers 500 productes, que s'acaben estabilitzant, per acabar amb uns quants paquets a la baixa.

Per evitar aquest fenomen cal aplicar el que anomenem polítiques d'eliminació. Aquestes permeten suprimir el contingut de les tolves quan es detectin diferents anomalies. Tal i com està explicat a l'ajuda del simulador, aquest ofereix 3 possibilitats per eliminar productes, que s'expliquen a continuació.

5.1.1. Polítiques d'eliminació i factors que afecten al resultat

La primera, nombrada en el programa com *"After filling a certain number of packages"* consisteix en netejar i reemplenar el contingut de totes les tolves un cop s'han emplenat un cert nombre de paquets. Això no evita directament el fenomen nombrat anteriorment però si que el disminueix proporcionalment a la mesura en que es netegi el contingut de les tolves. En el fons el que fa aquesta política es buidar i tornar a emplenar totes les tolves cada x operacions, tan si hi ha mals productes com si no. Més endavant analitzarem com afecta a la resposta.

Una altre política aplicable, es la que el simulador anomena *"When a package exceed a % of his own weight"*. En aquest cas, el simulador netejarà el contingut de les tolves, quan no li quedi més opció que crear un paquet superior o inferior a un % del seu pes nominal. Cal destacar, que no es crearia el paquet, sinó que les tolves es netejarien quan el simulador no pogués crear res millor, així que la pèrdua de producte seria menor.

Per últim, hi ha l'opció d'eliminar directament el contingut de les tolves que són sospitoses de tenir mals productes. Aquesta opció en el simulador s'anomena *"When the hoppers remain closed in x operations"* i funciona de la següent manera. El simulador te un contador per a cada una de les tolves, quan aquestes romanen tancades durant varies operacions d'emplenament, es neteja el seu contingut i es reemplen per productes nous. Les tolves que solen estar tancades durant diverses operacions solen ser aquelles que no quadren amb l'algoritme, per

tant son candidates a tenir productes massa grans o massa petits. A priori, aquesta es la política d'eliminació més eficient, ja que es perd poca quantitat de producte, però s'analitzarà estadísticament més endavant.

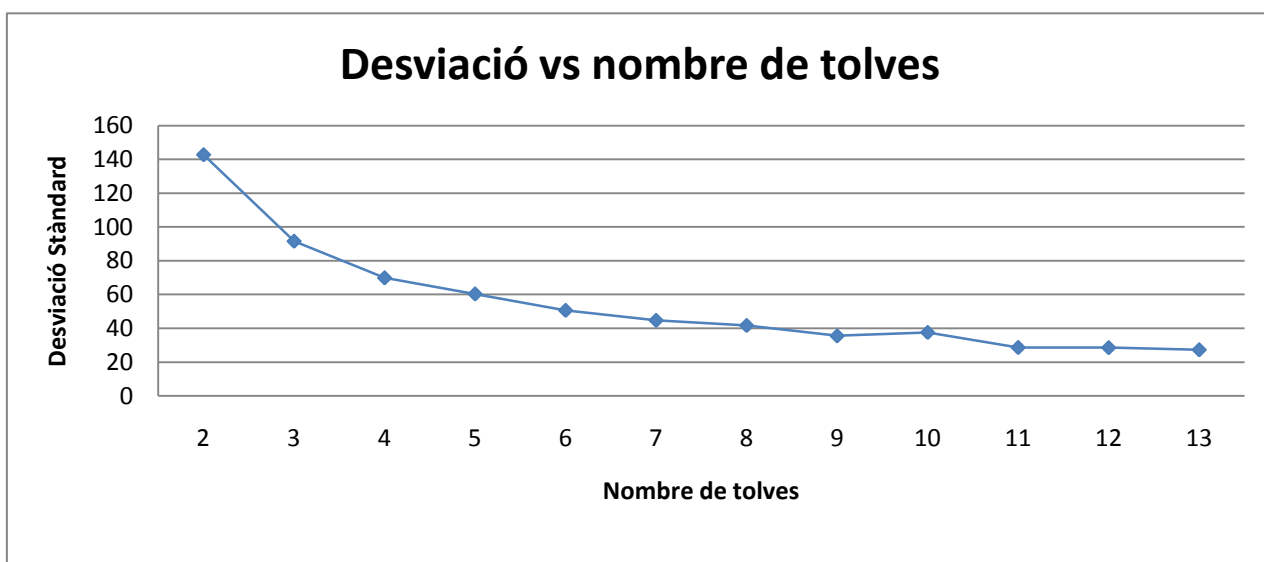
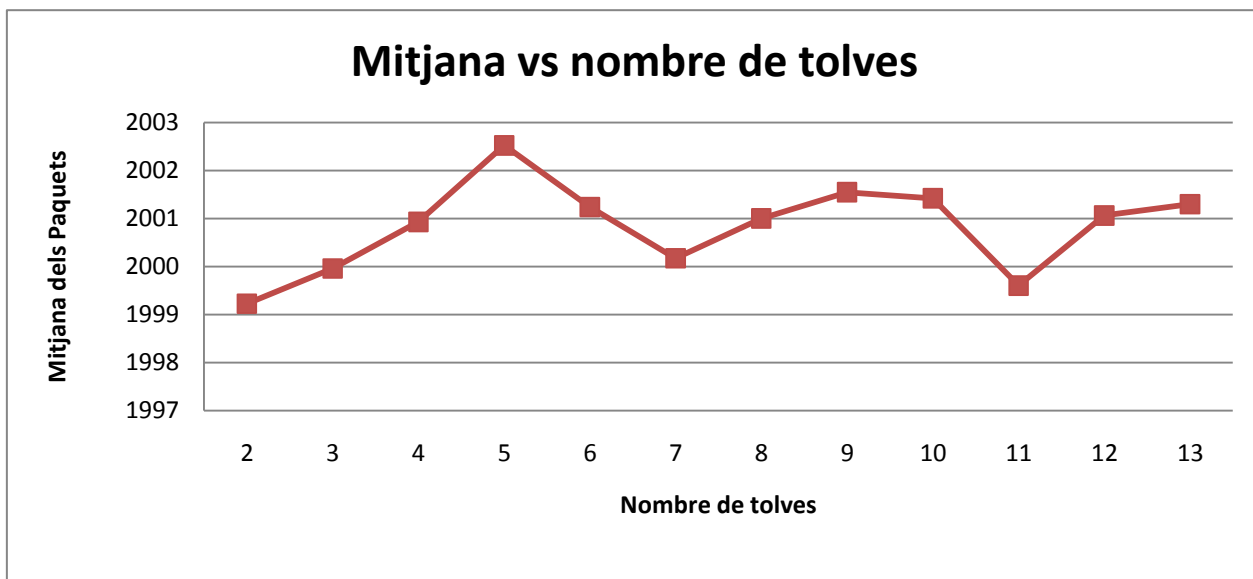
Com afecta en nombre de tolves?

Un altre factor a tenir en compte, és el nombre de tolves. És trivial que com més elevat sigui en nombre de tolves menor serà la variabilitat i millor ens acostarem a la mitjana. Un altre factor que afecta a la resposta, és el nombre de tolves necessàries per emplenar un paquet. És a dir, a l'exemple anterior el simulador té molt de joc per fer quadrar l'algoritme ja que tan sols ha d'obrir dues de deu tolves per a emplenar un paquet. En canvi, en l'altre extrem, si el nostre producte peses 200g de mitjana i volguéssim paquets de 2kg utilitzant tan sols 10 tolves no tindríem pràcticament cap marge, i sempre hauríem de buidar el contingut de les tolves independentment de si crea bons paquets.

En l'exemple anterior, hem obtingut una mitjana de 2001,81g una desviació estàndard de 41,78g, utilitzant 10 tolves. Si repetim l'experiment disminuint el nombre de tolves s'obtenen els següents resultats.

Nota: Per obtenir els valors de la taula, s'han fet 5 simulacions per cada quantitat de tolves i s'ha fet la mitjana dels valors de la resposta.

Tolves	Mitjana	Desviació
2	1999,225	142,7075
3	1999,96	91,562
4	2000,929	69,8956
5	2002,5218	60,36
6	2001,2366	50,656
7	2000,1724	44,7452
8	2001,0014	41,733
9	2001,5478	35,5462
10	2001,421	37,61
11	1999,6025	28,69
12	2001,062	28,6
13	2001,3	27,36



Com es pot observar en els gràfics anteriors, el nombre de tolves utilitzades té poc efecte en la mitjana final dels paquets. El que sí que és important és l'efecte que té el nombre de tolves en la desviació de la mostra, com més tolves més precís i acurat serà el procés d'empaquetament. També és cert que com més tolves més lent es el procés i més cara la maquinària, a més a partir de un cert valor tendeix a disminuir molt poc la millora. Així doncs, caldria trobar un equilibri entre el nombre de tolves desitjat, la precisió i el sentit econòmic. En l'exemple anterior el més adequat seria entre 10 i 11 tolves.

Un altre aspecte a estudiar és el nombre de tolves que de mitjana es necessiten per emplenar un paquet però això s'estudiarà més endavant conjuntament amb el flux de varies unitats, ja que permet més joc.

Un cop se sap quin hauria de ser el nombre idoni de tolves a utilitzar, cal centrar-se en com actua cada una de les polítiques d'eliminació sobre el producte. D'ara en endavant es treballarà amb 10 tolves, ja que això permet una resolució ràpida i alhora precisa, a més el fet de fixar una de les variables permet entendre com actuen les altres. El nombre de simulacions també quedarà fixat d'ara endavant realitzant-ne 1000 per experiment.

En quan a la normativa d'empaquetament aquesta requereix que els productes de 1000g a 10000g no difereixin inferiorment en més del 1,5% del seu pes, es a dir en el nostre cas convé que siguin superiors a 1970 grams. Aquesta norma es pot trobar al apartat 8 del treball de forma detallada. També expressa que en control no destructiu i per lots de 501 a 3200 unitats cal analitzar 50 paquets del lot, i que per que el paquet sigui acceptat poden haver com a màxim 2 d'incorrectes sempre i quan no difereixin en més de 2 vegades l'error màxim. En resum, tots els paquets han d'ésser superiors a 1970g a excepció de un petit percentatge que no poder ser inferiors a 1940g.

Si considerem que en una mostra de 50 unitats del lot podem tenir com a màxim dues defectuoses, i que el producte ha de ser correcte en la majoria del casos, s'aproxima que la probabilitat que un paquet sigui incorrecte ha d'estar per sobre el 99 % a través de la binomial. Es considera que una peça es incorrecte en un 1% dels casos.

Per tant, si volem que més del 99% dels valors quedin a la dreta, sabem la distribució de paquets normal que es mostra a la següent imatge i que el procés esta generalment centrat podem concloure que $3\sigma(99,7\% \text{ de les mostres})=30$, per tant $\sigma < 10$.

En aquest cas es tracta de un exemple molt imprecís, ja que una desviació estàndard de 100 és molt elevada, i aquestes màquines s'utilitzen per a empaquetar productes més petits fer un paquet. De totes maneres, si volem complir la norma en aquest cas hauríem de seguir augmentant el nombre de tolves fins a 20 tolves, o aplicar alguna política d'eliminació.

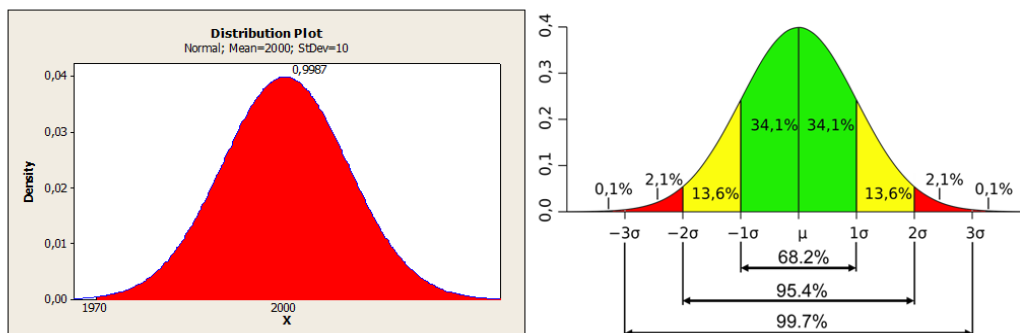


Figura 7: Repartiment dels valors en la distribució normal [5]

Com afecta cada una de les polítiques a la resposta?

“Netejar les tolves cada un cert nombre d’operacions”

En primer lloc, estudiarem com afecta la política de netejar tolves cada cert nombre de operacions a la nostra resposta. Seguirem amb el senzill exemple anterior, on volíem paquets de 2kg, partint de productes $N(1,0,1)$ kg.

Per simular-ho ens demana cada quantes operacions volem netejar tolves, i es realitzarà un escombrat de valors per tal d’entendre com afecten. Les taules i els gràfics resums es poden trobar a continuació. També s’inclou el Time-series Plot de neteja de tolves cada 300 paquets on es pot apreciar, com a 300 600 i 900 aquets paquets que estaven sortint desviats, es reinicien i es tornen a centrar ja que netegem les tolves. Totes els gràfics de els altres valors de neteja de paquets es poden trobar al annex..

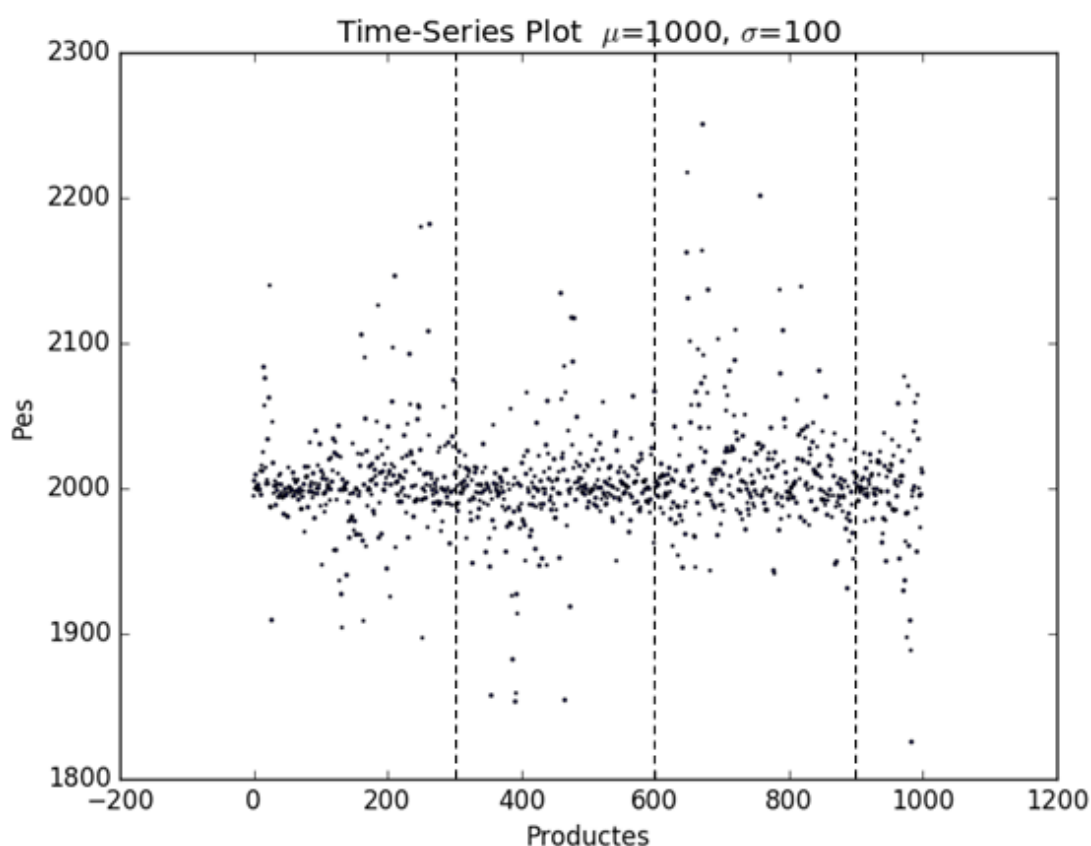
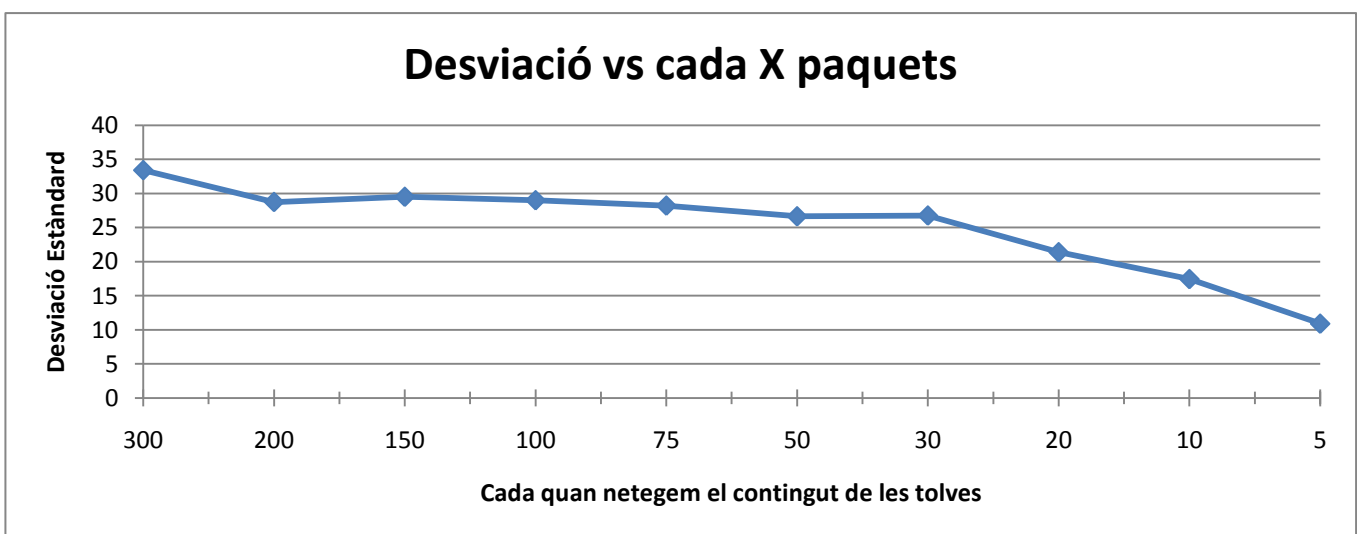
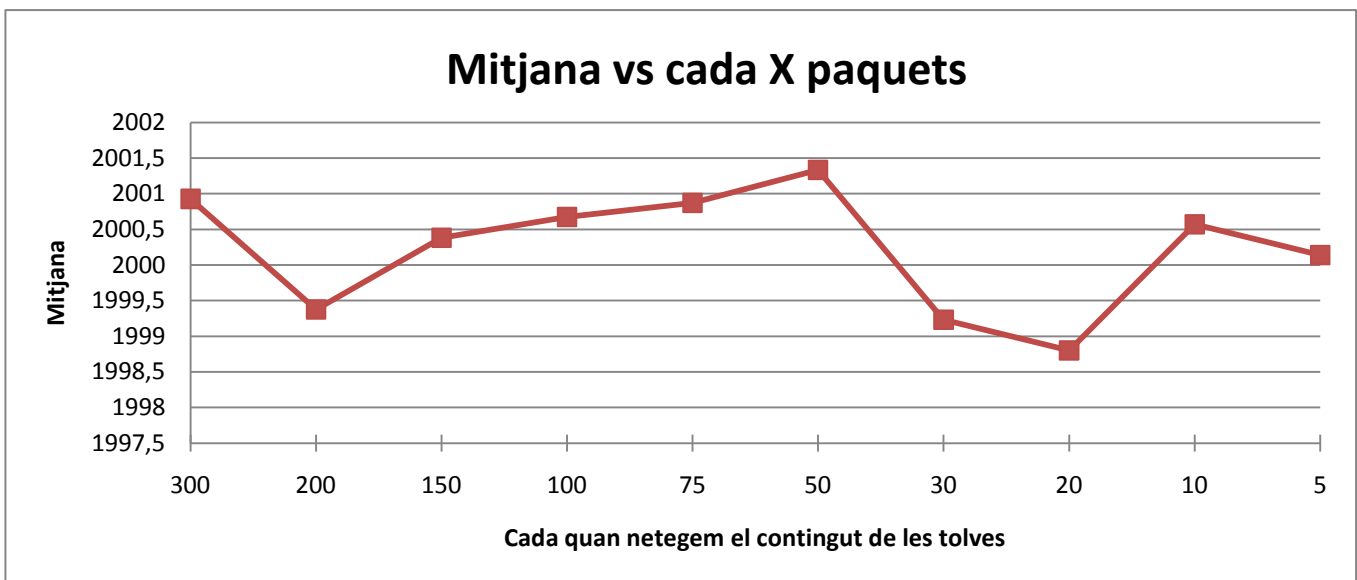
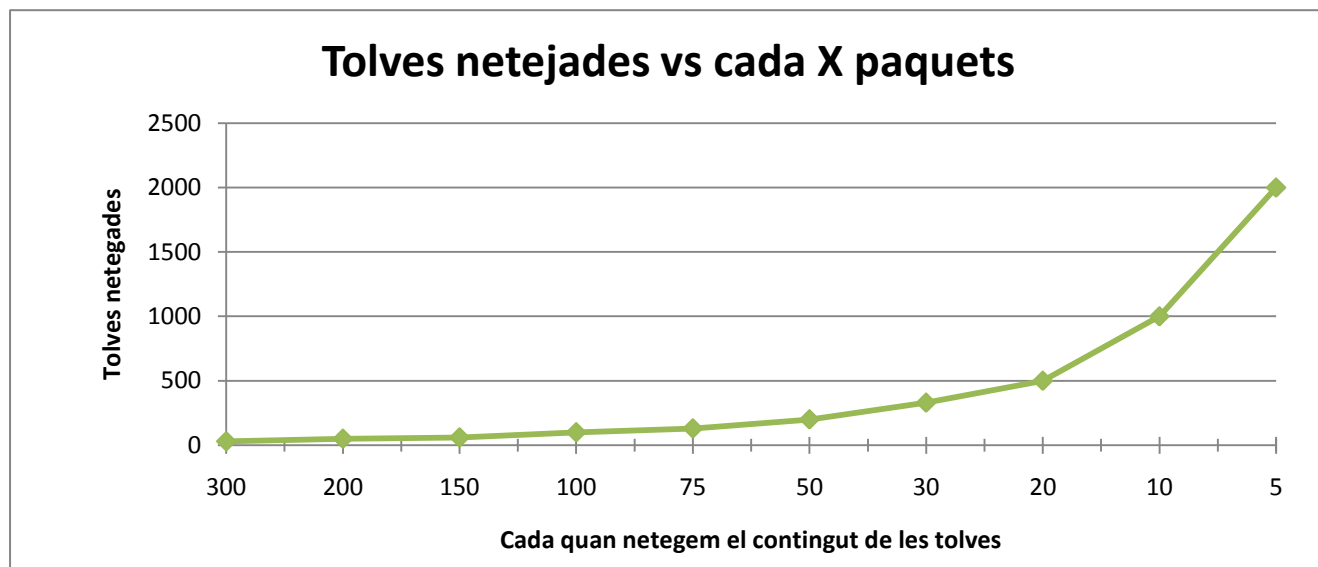


Figura 8: Time-series plot que mostra l’evolució dels paquets.

Nota: Per a obtenir els valors de la taula, s’han fet 5 simulacions per cada quantitat de tolves, i s’ha fet la mitjana dels valors de la resposta.

Eliminació cada X paquets			
X	Mitjana	Desviació	Tolves Netejades
300	2000,92	33,25	30
200	1999,37	28,75	50
150	2000,38	29,74	60
100	2000,67	28,98	100
75	2000,87	28,22	130
50	2001,33	26,63	200
30	1999,23	26,75	330
20	1998,80	21,37	500
10	2000,57	17,44	1000
5	2000,138	10,90	2000





Ens trobem en un cas semblant al anterior, la mitjana no afecta massa ja que un paquet es compensa amb l'altre. On hi ha el gran canvi es a la desviació, com més sovint reiniciem les tolves, menys probabilitats hi ha que "s'encallin" productes difícils de combinar i per tant més precís i acurat serà el nostre empaquetament. Convé buscar quin és el valor idoni d'eliminació segons cada tipus d'empaquetament, utilitzant com a eina el simulador. Cal tenir en compte el nombre de tolves que tirem, ja que suposaria una pèrdua econòmica o podria afectar negativament a la precisió del sistema si les tornem a utilitzar.

Així doncs, en aquest exemple segurament ens convindria netejar les tolves cada 50 empaquetaments, i obtindríem una desviació estàndard al voltant de 26,5 només netejant 200 tolves. Aquesta política permet mola més precisió i obtenir una menor variabilitat que en el cas anterior on no s'aplicava cap política. Cal notar però que cada empaquetament requeriria un estudi, i podria donar resultats diferents.

En aquest cas, per complir la normativa caldrà aplicar una eliminació de cada 5 operacions, que comportaria una gran pèrdua de tolves. Això es deu a la gran dificultat que comporta empaquetar paquets amb una precisió tan elevada utilitzant productes amb molta variabilitat. En l'exemple posterior, és veurà un cas molt més realístic.

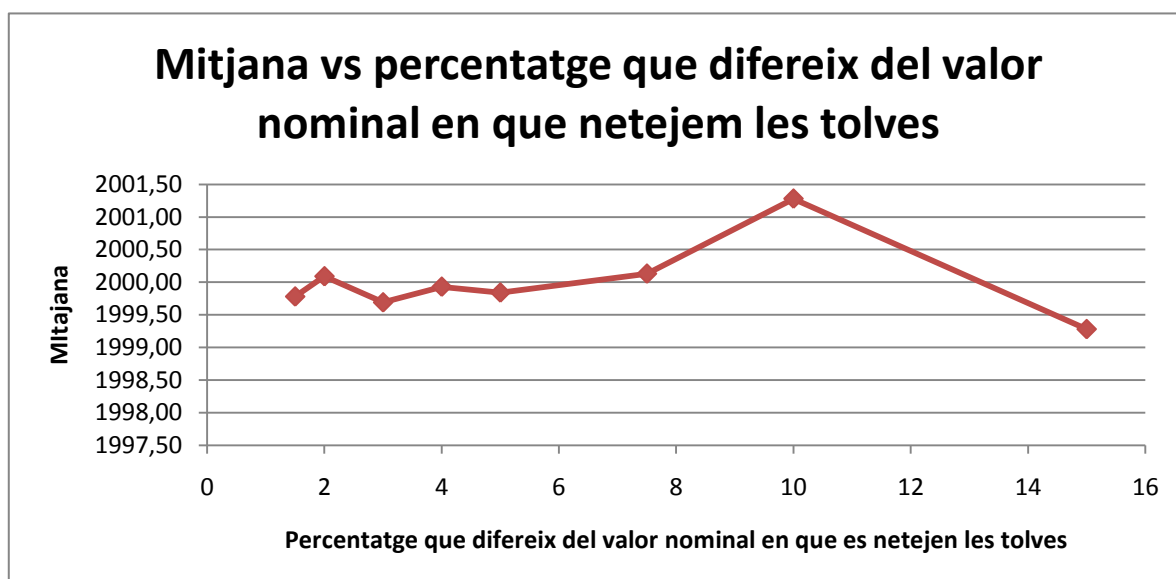
"Quan els paquets siguin superiors o inferiors del seu valor nominal en un percentatge"

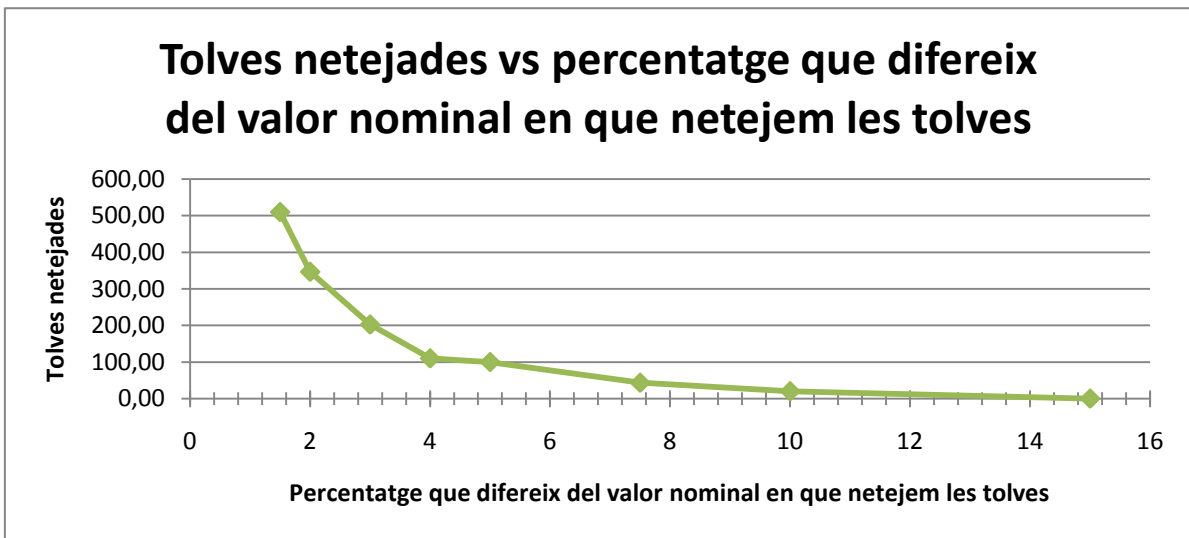
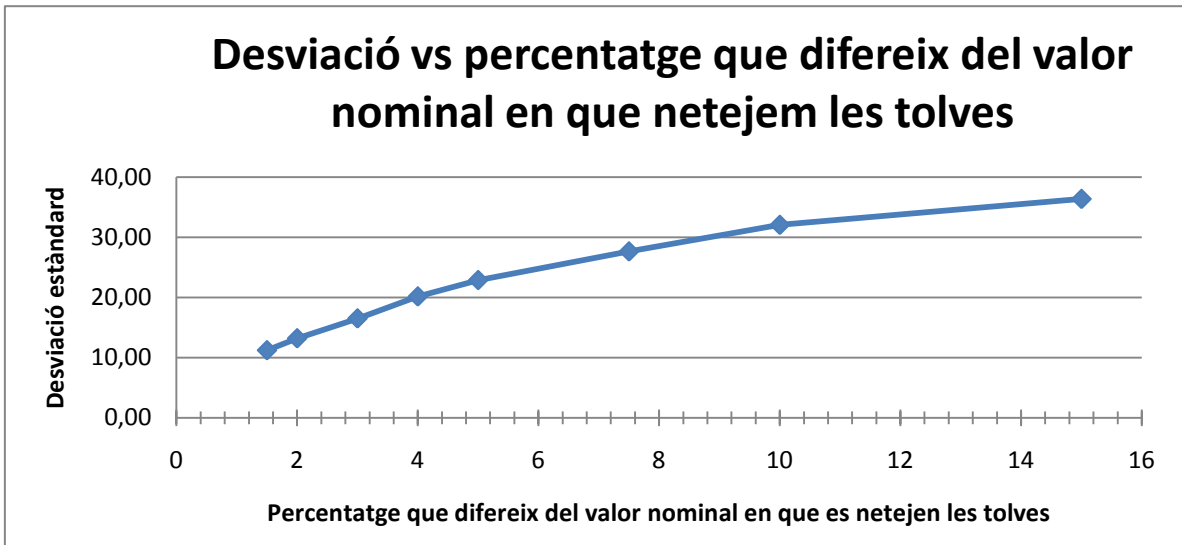
Una altre política que es podria aplicar seria eliminar el contingut de totes les tolves quan aquestes superin o siguin inferiors en un percentatge del seu pes nominal. La manera correcta d'actuar es eliminar aquestes tolves quan el simulador no tingui més opció que fer un paquet superior a aquest valor, i no un cop el paquet ha estat creat. És a dir, si eliminem un paquet

incorrecte quan es superior o inferior a un %, tirarem el contingut del paquet i els productes dolents quedaran encara a dins de la màquina, així que provocarà que segueixin sortint paquets incorrectes. La manera d'actuar és eliminar el contingut de totes les tolves quan l'algoritme no pot fer un paquet correcte.

Per fer l'anàlisi utilitzarem l'exemple anterior, i fixarem que els paquets no difereixin en 1,5% del seu valor nominal, així aconseguirem que compleixi l'article 8 referent a toleràncies de la normativa actual descrita en el treball. Aquest diu que un paquet de 1001 a 10.000 grams el seu valor de pes real no pot diferir en més d'un 1,5% del valor nominal. De totes maneres es tornarà a fer un escombrat de valors ja que es tracta d'un anàlisi experimental. Els resultats es mostren a la taula i gràfics següents:

± %	Mitjana	Desviació Estàndard	Tolves netejades
1,5	1999,78	11,21	510,00
2	2000,09	13,20	346,66
3	1999,69	16,50	202,50
4	1999,93	20,15	110,00
5	1999,84	22,87	100,00
7,5	2000,13	27,63	43,33
10	2001,28	32,04	20,00
15	1999,28	36,35	0,00





En aquest cas, en el fons el que fem és forçar a complir la normativa, i no deixar opció a que algun paquet la deixi de complir. És el sistema més eficient i ens permet tenir un procés molt centrat per percentatges petits. A més a més, el cost en toltes netejades és relativament petit. Com es pot observar, s'obté una desviació estàndard acotada, ja que al limitar el % en que difereix del nominal també es limita la variància i per tant, la desviació estàndard. Com que el procés gairebé sempre centrat, per complir la normativa hem d'anar a que els paquets no difereixin en més del 1,5% del seu valor nominal. Això implica netejar 510 toltes de mitjana, un valor molt inferior a els altres casos.

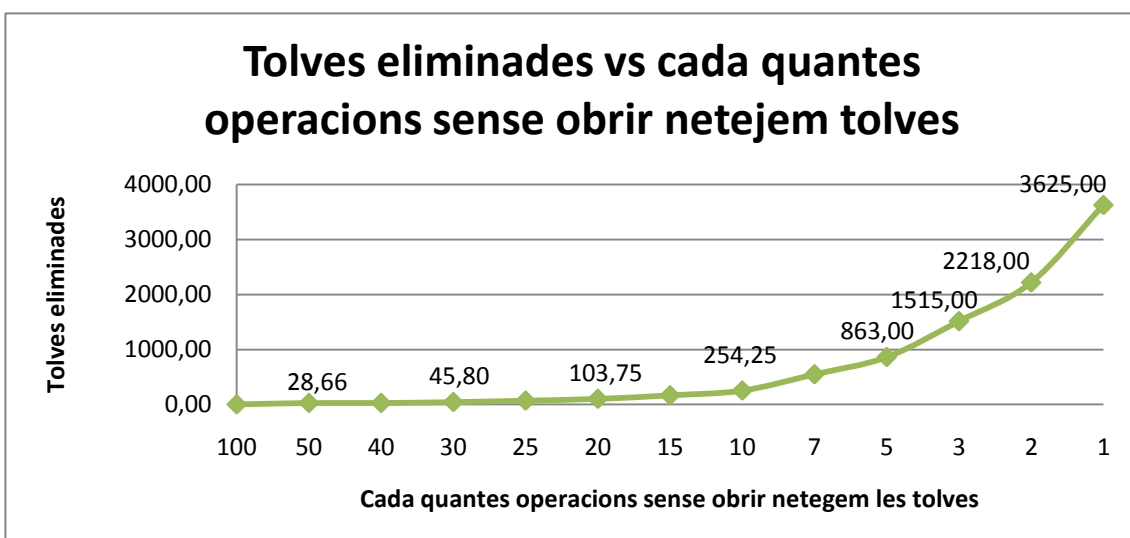
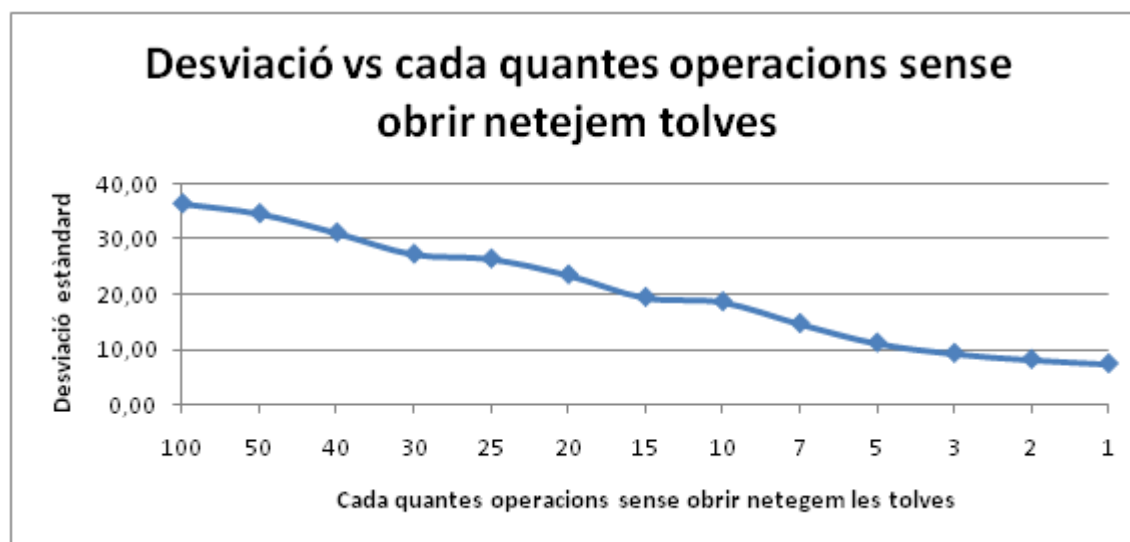
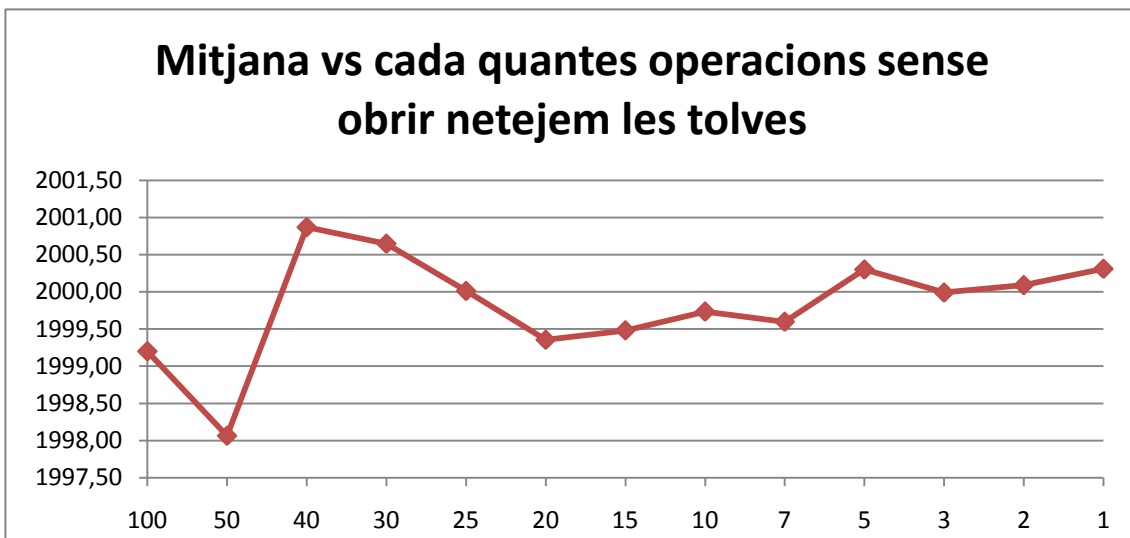
Per tant, veiem que utilitzant aquesta política limitem la variància o desviació estàndard a un valor, del qual sempre serà més petit ja que és impossible que totes les mostres estiguin al extrem.

Observem també, que es tracta del mètode més eficient en eliminació de tolves, ja que tan sols les neteja quan no hi ha més opció que fer un paquet incorrecte. En canvi totes les altres polítiques netegen quan hi ha la possibilitat que siguin dolentes, o simplement cada un cert temps. L'inconvenient d'aquesta política es que requereix lleugerament més complexitat que les anteriors en quant a càlcul i simulacions.

Quan les tolves romanen tancades en un cert nombre d'operacions

Finalment, s'analitzarà l'última política que elimina el contingut d'una sola tolva quan aquesta no s'obre durant unes certes operacions d'emplenament. Es seguirà utilitzant l'exemple anterior amb 1000 repeticions i es veurà com afecta els resultats a la precisió de la resposta. Lògicament, quan més restrictius es sigui amb les repeticions, més tolves es tiraran però també més precisos seran els paquets. Realitzant un escombrat amb varis nombres d'operacions a eliminar, i fent 5 repeticions per simulació s'obté:

Tolves romanen tancades en X operacions, X:			
X	Mitjana	Desviació	Tolves eliminades
100,00	1999,20	36,50	4,00
50,00	1998,06	34,70	28,66
40,00	2000,87	31,23	29,00
30,00	2000,65	27,34	45,80
25,00	2000,01	26,49	71,25
20,00	1999,36	23,58	103,75
15,00	1999,48	19,47	168,75
10,00	1999,73	18,68	254,25
7,00	1999,60	14,71	550,00
5,00	2000,30	11,20	863,00
3,00	1999,99	9,30	1515,00
2,00	2000,09	8,20	2218,00
1,00	2000,31	7,41	3625,00



Observant el primer gràfic es veu que, com ja és habitual, la mitjana no sol influir massa per les polítiques d'eliminació, tot i això si ens fixem en els casos més extrems, eliminant el contingut de les tolves molt sovint trobem que la mitjana es fa molt acurada però a un alt cost de pèrdua de tolves. A més aquests valors freturen de massa sentit ja que comporta estar tot el dia buidant tolves, i més en aquest exemple que tan sols utilitzem dos per operació.

En el segon gràfic està representat com varia la desviació o la variància segons cada quan eliminem una tolva no oberta. S'aprecia que com més sovint s'elimini més acurada és aquesta però s'estabilitza bastant a partir de 5 vegades. Cal avaluar el cost que té això en quan a la eliminació o neteja de tolves.

Finalment, en aquest tercer gràfic es mostra com creix el nombre de tolves que es netegen a mesura que som més restrictius amb les repeticions sense obrir. Veiem que es dispara moltíssim per valors petits, el que comportaria una pèrdua molt gran de productes i temps. En canvi per valors com 10 o 15 obtenim una desviació estàndard bastant precisa i inferior a 20 i ens permet fer servir la majoria de productes. Per exemple en el cas de cada 10 vegades tan sols es netegen 254 tolves i s'utilitzen 2000 per emplenar paquets; tan sols un 11% de les tolves són netejades. En el cas de 15 vegades sense obrir-se també obtenim una desviació estàndard inferior a 20 i tan sols s'eliminen un 7% del total de productes utilitzats.

En quan a complir la normativa, s'hauria d'obtenir una desviació estàndard inferior o propera a 10, i això implicaria netejar cada 4 operacions sense obrir amb una pèrdua de tolves de 990. Que suposaria un 33% dels productes utilitzats, una pèrdua molt elevada degut un altre cop, a la gran variabilitat dels productes utilitzats.

5.2. Flux discret de varies unitats per tolva

Aquest tipus de flux consisteix en emplenar les tolves amb tants productes com siguin necessaris per a aconseguir el pes desitjat. És un cas semblant al anterior, esta pensat per productes amb un pes relativament petit però contables, com podrien ser congelats, fruites, verdures i altres.

El simulador agafa com a variables d'entrada la mitjana dels productes, la seva desviació, el pes desitjat dels paquets i el nombre de tolves que es vol utilitzar. També, permet triar quin percentatge de tolves vol que s'obrin per operació. Per exemple si volem crear paquets de 2kg a partir de productes de 50g i utilitzant 10 tolves ens seria suficient en deixar caure uns 4 productes per tolva, però no ens aportaria cap precisió ja que la màquina sempre ho hauria d'

que obrir tot. Seria interessant deixar un marge de tolves amb les que la màquina faci el joc, però quin? Aquest percentatge permet triar quantes es vol que s'obrin de mitjana, de tal manera que un percentatge del 50% comportaria utilitzar 8 productes per tolva.

A més, el simulador introdueix una certa variabilitat en els productes que cauen, tot i que el ideal seria que sempre hi anés un nombre concret, a la realitat no es així. Això, s'ha simulat de la següent manera: els productes que cauen a dins de cada tolva, a part de la variabilitat pròpia de cadascun d'ells, varien seguint l'aproximació entera d' una distribució normal de:

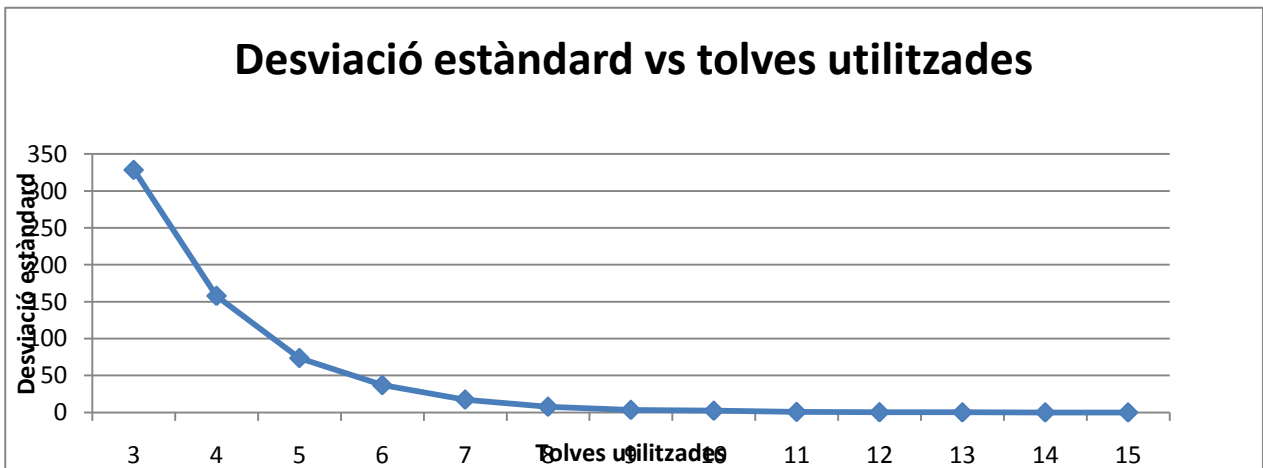
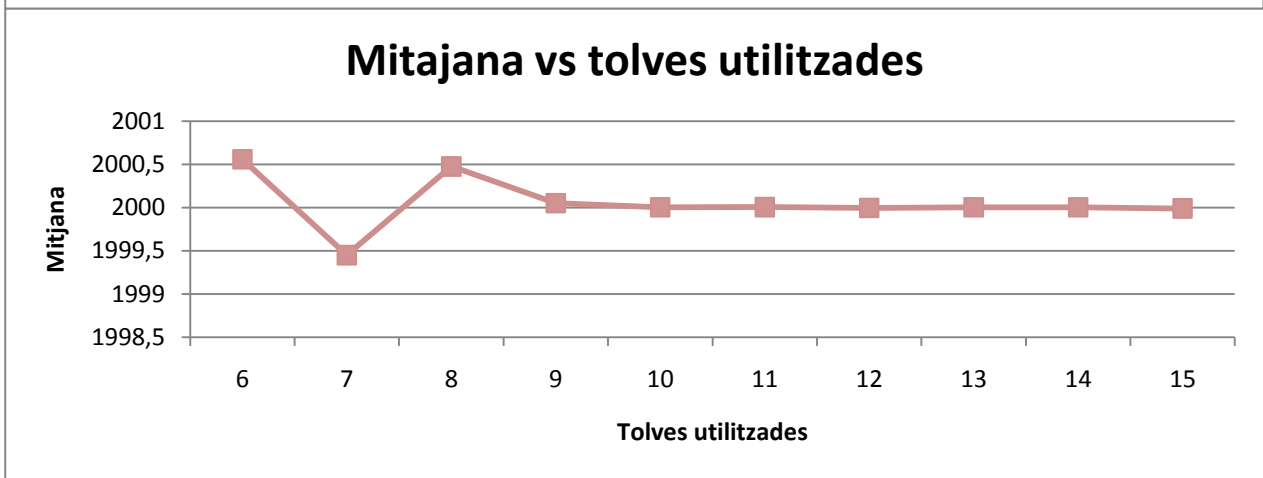
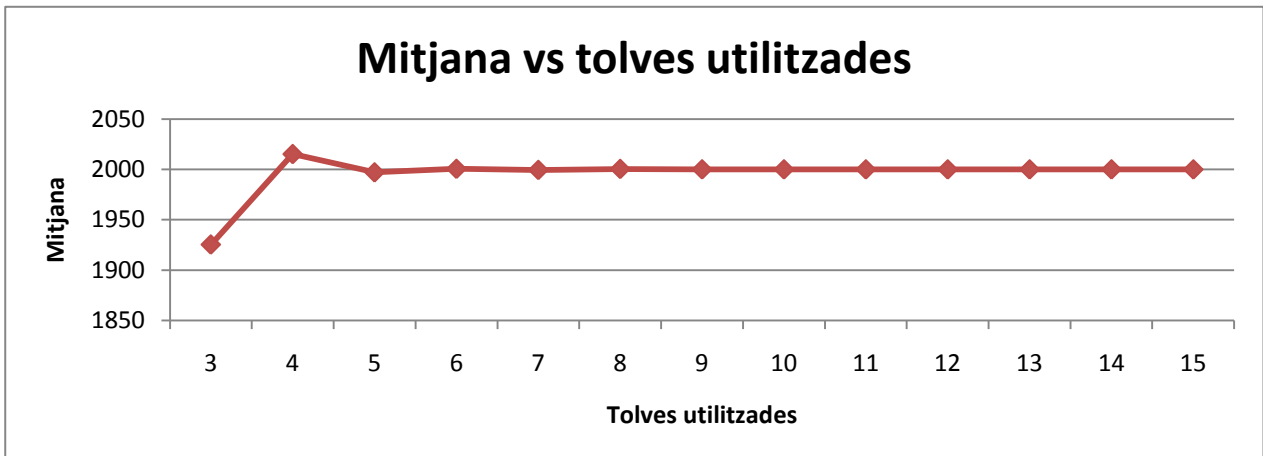
$$Z \sim N(\mu, \mu/4)$$

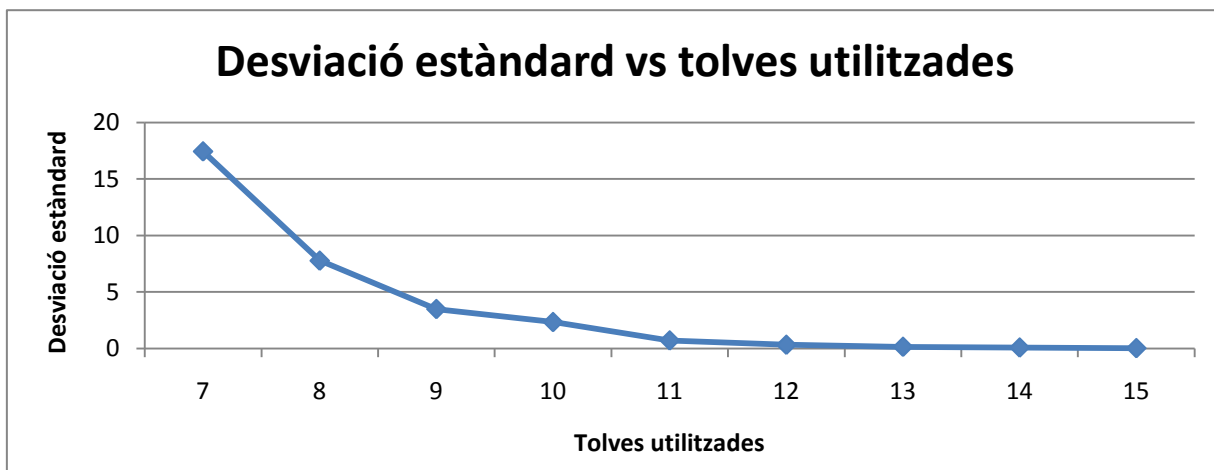
Per a fer l'anàlisi, utilitzarem el cas següent. S'envasaran paquets de 2kg a partir de productes de 50g, amb una desviació estàndard de 7g i es tornarà a analitzar tot l'anterior de manera més breu. Mirant també com afecta el nombre de tolves obertes per operació.

Com afecta el nombre de tolves?

S'ha fet un escombrat deixant totes les altres variables fixes i analitzant com varia el nombre de tolves. En aquest cas s'ha triat no aplicar cap política i que s'obrin el 50% de les tolves per operació, s'han realitzat 1000 iteracions amb la mitjana esmentada de 50g per producte i la desviació estàndard de 7g. La taula mostra els resultats obtinguts. Tan sols s'ha recorregut fins a 15 tolves ja que la manera en que funciona l'algoritme provoca que augmenti exponencialment el temps quan augmentem el nombre de tolves. Això es deu a que les combinacions de tolves possibles son $2^{\text{nombre de tolves}}$, i per tant el temps d'execució es va elevat al quadrat.

Tolves	Mu	Sigma	Productes per tolva
3	1952,76	258,769	27
4	2025,68	118,295	20
5	1990	66,89	16
6	1999,683	45,41	13
7	1999,596	16,181	11
8	2000,309	12,81	10
9	2000,059	7,001	9
10	1999,88	4,13	8
11	2000,01	1,254	7
12	2000,015	0,589	7
13	2000,004	0,198	6
14	2000	0,086	6





S'han representat 2 gràfics per a poder apreciar en una escala correcta la mitjana i la desviació estàndard per a valors alts de toves utilitzades, ja que hi ha molta diferència amb l'anterior.

En aquest cas s'observa que aquest tipus de flux és molt més precís que l'anterior, i dona lloc a una variabilitat molt baixa a mesura que augmentem el nombre de toves utilitzades. En quan a la mitjana dels paquets, és increïblement precisa per valors de toves a partir de 10 valors, fins a arribar a ser pràcticament al decimal. En canvi, al anar disminuint el nombre de toves la mitjana queda perjudicada ja que es produeix l'efecte que passava en l'exemple anterior, que les toves menys exactes es van acumulant i acaba fent augmentar o disminuir la mida dels paquets finals.

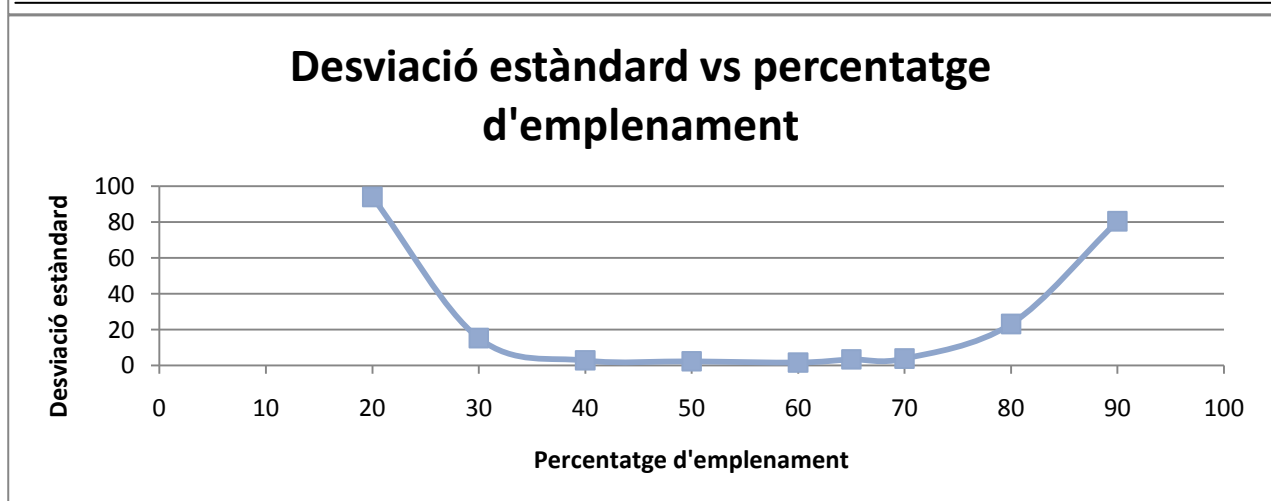
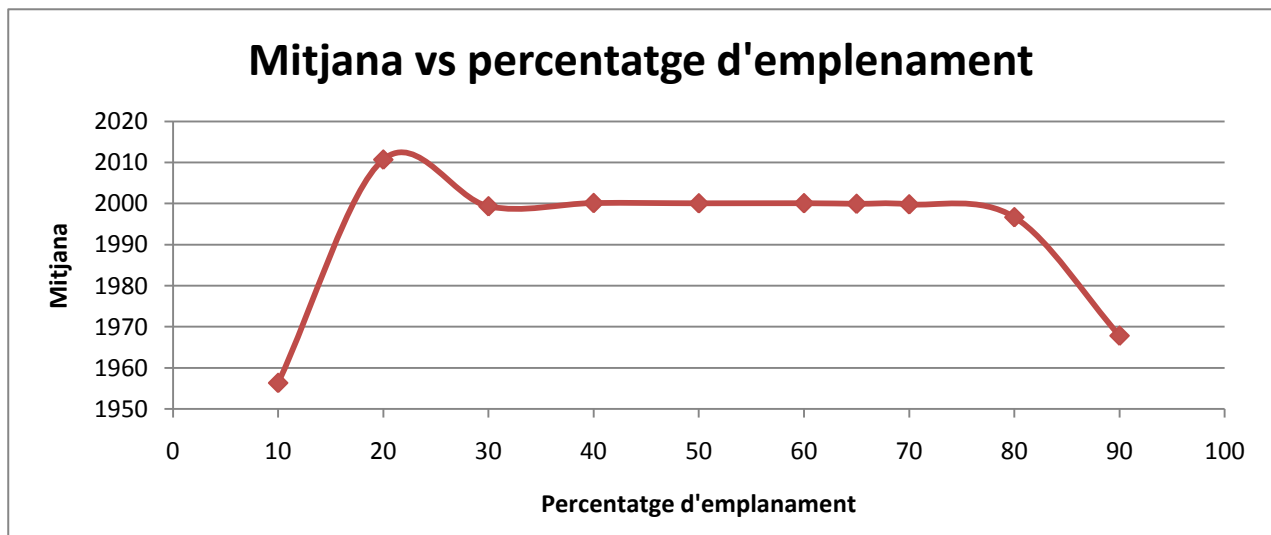
La variabilitat o la desviació estàndard va disminuint a mesura que augmentem el nombre de toves, arribat a valors molt petits i precisos per 11 o 12 toves. Per exemple, si s'utilitzessin 12 toves trobem que el 99,7% dels paquets es trobarà entre 1998,233 i 2001.767g. Per a complir la normativa requereix una desviació estàndard inferior o igual a 10, i per tant a partir de 9 toves ja compliria la normativa sense aplicar cap política d'eliminació.

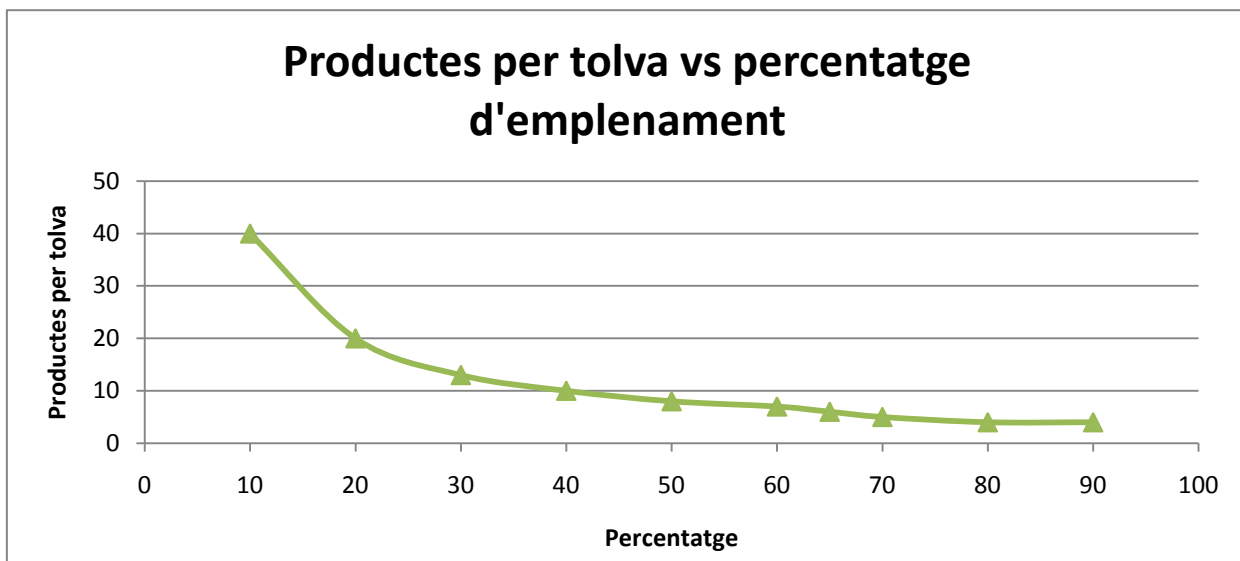
Com afecta el nombre de toves obertes per operació?

Per realitzar l'anàlisi d'aquesta part s'ha fixat totes les altres variables, i s'ha fet un escombrat dels valors possibles, des de 10% al 100%. Cap d'aquets dos extrems té massa sentit ja que un 10% implicaria buidar una sola tolva (treballem amb 10 toves) i per tant, seria directament la imprecisió de els dosificadors, i al 100% la màquina no tindria cap tolva per especular, i sempre ho hauria de buidar tot. De totes maneres servirà per veure l'evolució de com actuen. Novament, per realitzar la taula s'han fet 5 simulacions i s'ha agafat la mitja.

La següent taula i els gràfics il·lustren els resultats obtinguts:

Percentatge de tolves utilitzades	Mitjana	Desviació	Productes per tolva
10	2001,61	101,905	40
20	2001,417	18,02	20
30	1999,698	10,61	13
40	1999,779	8,097	10
50	1999,961	3,698	8
60	1999,895	2,478	7
70	2000,072	1,937	6
80	1999,91	4,129	5
90	1999,872	4,778	4
100	1999,45	9,258	4





Observant els gràfics anteriors, notem que hi ha un valor ideal en el percentatge de tolves que s'obren per operació. Aquest es troba en el mínim de la corba de desviació i seria del 70%. Es tracta de buscar l'equilibri entre les opcions entre les tolves que pot obrir, i els que te per triar.

En quan a la mitjana, a partir de un cert valor s'estabilitza bastant, i no sembla influir massa en el procés d'empaquetament. El que realment influeix és la desviació estàndard, aquesta va disminuint a mesura que augmentem el percentatge fins a un mínim, on la màquina perd opcions on triar i perjudica la precisió. Finalment, el nombre de productes per tolva va disminuint a mesura que augmentem el nombre de tolves obertes de mitjana ja que al utilitzar-ne més, no fa falta que estiguin tan carregades.

Com afecten les polítiques d'eliminació?

Com hem vist en aquest exemple, es tracta de un sistema prou precís sense aplicar polítiques d'eliminació, i no faria necessari utilitzar aquestes per complir la normativa. En el cas de que es vulgues un sistema elevadament precís es podria utilitzar la política de limitar el valor nominal tan per sobre com per sota, aconseguint així la precisió desitjada.

5.3. Flux continu

El flux continu està pensat per a pesar productes molt petits, que no tindria sentit mesurar-los individualment. Es tracta doncs d'un tipus de flux que va empaquetant a partir d'un corrent continu de productes. Aquests poden ser llegums, cereals, tot tipus de productes de gra, etc...

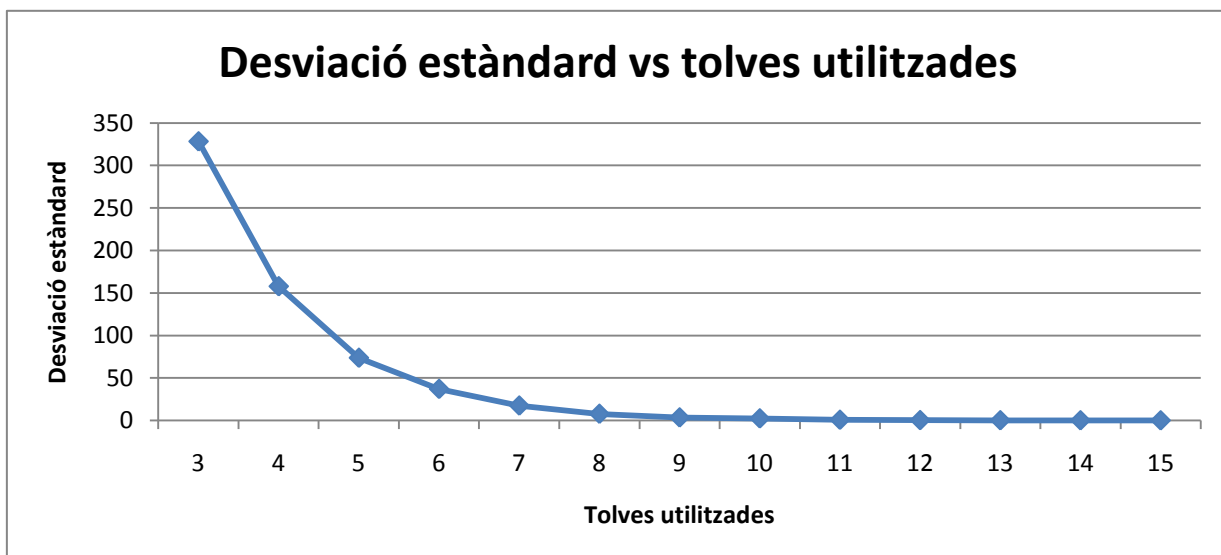
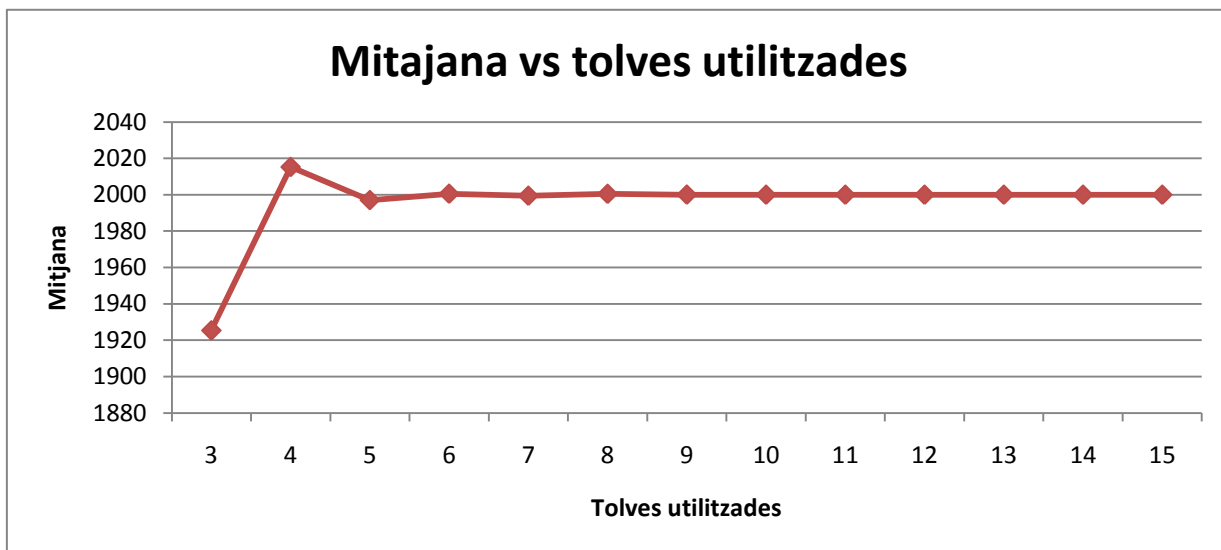
És un tipus de flux molt utilitzat, fins i tot, per productes que podrien arribar a ser pesats individualment, de tal manera que permet guanyar temps. Així doncs, els dosificadors i pesadores dinàmiques van repartint contínuament el producte a pesar a les tolves, el problema real recau en la precisió dels dosificadors i les tolves. Mentre que les balances, situades a les tolves, solen ser barates i precises, els dosificadors son cars proporcionalment a la precisió que ofereixen. Així mateix, com més precisió se'ls hi requereix més lents són, això provoca que l'industria utilitzi dosificadors barats i poc precisos, que tenen el benefici de ser molt ràpids.

Aquest tipus de flux s'ha simulat a partir del pes desitjat, el nombre de tolves i el percentatge de tolves que es vol utilitzar. Donats aquests valors, el simulador calcula quina quantitat caldria posar a cada tolva d'acord amb el nombre de tolves i les que es volen netejar per operació. Per simular la imprecisió del pes que cau a dins de cada tolva segueix una distribució normal de:

$$Z \sim N(\mu, \mu/3)$$

Com ja hem realitzat en els dos exemples anteriors, anirem variant una variable deixant fixa les altres. En quan el nombre de tolves utilitzades, varia tal i com ha passat en els exemples anteriors seguint la taula:

Tolves	Mitjana	Desviació estàndard
3	1925,428	328,255
4	2015,24	157,792
5	1997,046	73,687
6	2000,558	37,05
7	1999,45	17,449
8	2000,475	7,775
9	2000,051	3,495
10	2000,004	2,343
11	2000,005	0,716
12	1999,996	0,332
13	2000,002	0,153
14	2000,004	0,087
15	1.999,99	0,034



Ens trobem en un cas molt semblant al anterior de varies unitats, on la imprecisió dels dosificadors permet diferents valors en les tolves, que facilita que no es produeixi l'efecte d'acumulació de productes grans, sempre i quan hi hagi un nombre suficient de tolves.

La mitjana tan sols es veu afectada per valors de desviació estàndard elevats, és a dir, quan no disposa de suficients tolves per a triar.

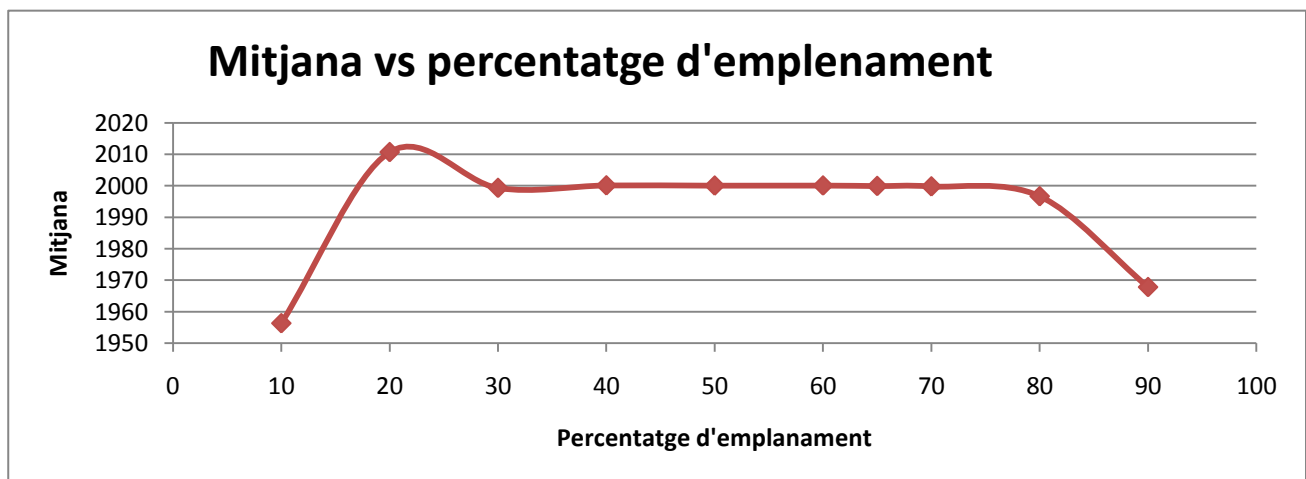
En quan a la normativa, tots els paquets a partir de 8 tolves seguiran la normativa, ja que tots ells estan centrats i per tant la seva desviació estàndard ha de ser inferior a 10.

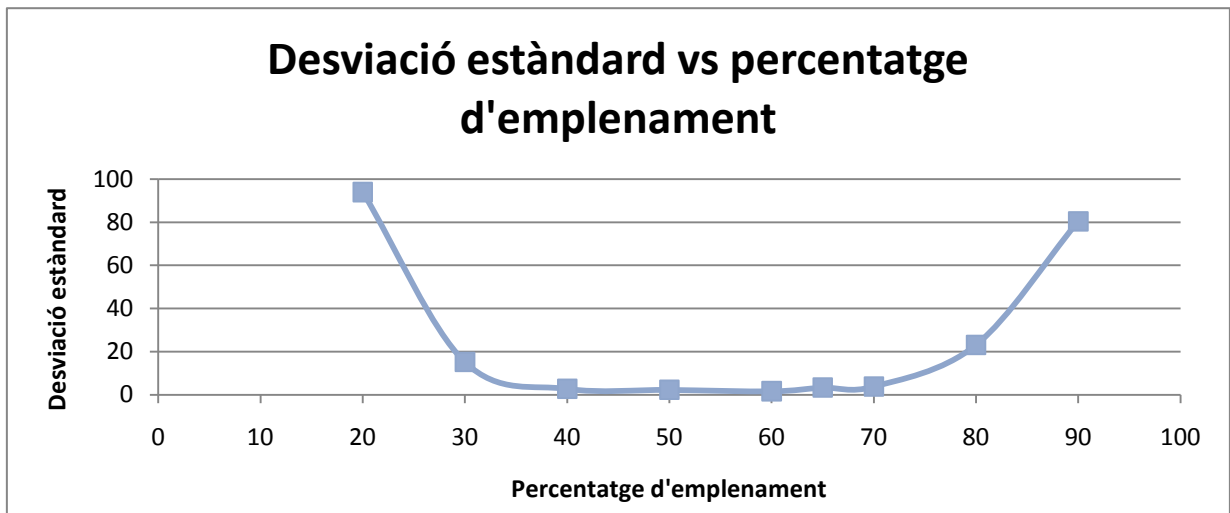
Com afecta el nombre de toves buidades per operació a la resposta?

Fixem el nombre de toves en 10, i requerirem que ens creï paquets de 2kg. Es fa un escombrat de valors segons el percentatge de toves que utilitzem, tal i com s'ha fet al exemple anterior.

La taula i les gràfiques obtingudes ajuden a interpretar el resultat.

Percentatge de toves utilitzades	Mu	Sigma
10	1956,36	278,734
20	2010,676	93,973
30	1999,316	15,237
40	2000,111	2,801
50	2000,045	2,316
60	2000,068	1,665
65	1999,92	3,342
70	1999,79	3,86
80	1996,662	23,137
90	1967,84	80,4
100	1902,98	132,445





Tal i com s'ha fet en l'exemple anterior, cal buscar un equilibri entre el nombre de tolves que fem servir, i el joc que li deixem a la màquina. Observem que en el cas del flux continu aquest valor està al voltant del 60%, on ofereix una variabilitat molt reduïda i un aprofitament correcte de la màquina.

Es podrien estudiar com afecten tots els altres factors, des del nombre de tolves a les polítiques d'eliminació, però torna a donar resultats semblants i es considera que no és necessari.

Finalment, ressaltar que tot aquest anàlisi pretén donar unes guies i uns valors estàndard que es compleixin a la majoria de casos, però es motiva al usuari a utilitzar per ell la aplicació i treure les seves pròpies conclusions.

6. Normativa i legislació vigent

Actualment la llei vigent sobre sistemes d'empaquetament i envasat a Espanya és el Reial Decret 1801/2008 del 3 de novembre. [6]

Fins ara hi havia el Reial Decret 1472/1989 del 1 de desembre que regulava les games de les quantitats nominals de determinats productes envasats, per tal de fer un mercat més transparent. Tot i això, la normativa europea ha provocat modificacions en diverses ocasions a aquest per tal de adaptar-se a la legislació europea, entre elles la Directiva 98/6/CE del parlament i del consell Europeu relativa a la indicació dels preus, obligant a indicar sobre el preu per unitat de mesura en els productes oferts.

Una altre modificació necessària va ser deguda a la Directiva Europea 2007/45/CE que llibertava les quantitats nominals de productes envasats per així afavorir la competència. També, s'ha modificat diverses vegades la llei que regula el control metrològic, on se'n deriva el Reial decret 889/2006 del 21 de juliol.

En el nou Reial Decret 1801/2008 s'han unificat totes les directives i s'han regulat els punts ambigus. A continuació hi ha un resum dels articles que més apliquen en el treball.

Article 1. Objecte. Aquest Reial Decret te per objecte:

1. Establir nomes relatives a les quantitats nominals.
2. Fixar les toleràncies del contingut dels productes envasats.
3. Fixar els errors màxims permesos en la mesura del contingut efectiu dels envasos.
4. Fixar les modalitats de control estadístic del contingut dels productes envasats.
5. Fixar la responsabilitat de les persones físiques o jurídiques en relació al envasat de productes.

Article 2. Àmbit d'aplicació.

1. Aquest Reial Decret s'aplicarà als productes envasats destinats al consumidor, a excepció dels productes enumerats al annex 1.
2. Les disposicions establertes sobre el control del contingut efectiu dels productes envasats i destinats a la venda en quantitats nominals constants:
 - a) Iguals a valors prefixats per l' envasador
 - b) Expressats en unitats de massa o volum.
 - c) Iguals o superiors a cinc grams o cinc mil·lilitres e inferiors o iguals a 10kilograms i 10 litres.

Article 3. Definicions.

Envàs: Unitat formada per l'envàs pròpiament dit i el seu contingut, de forma que la quantitat del producte que conté no pot variar sense que l'envàs pateixi una obertura o modificació perceptible.

1. **Quantitat nominal:** Massa o volum del producte marcat o quantitat que s'estima que hauria de tenir l' envàs.

Contingut efectiu: Quantitat (massa o volum) de producte que conté realment un envàs.

Error per defecte: Diferència entre el contingut efectiu respecte a la quantitat nominal.

Error màxim tolerat per defecte: És la quantitat màxima que pot diferir en menys de la quantitat nominal.

Contingut mínim tolerat: Diferència entre la quantitat nominal del envàs i el error màxim per defecte tolerat.

Envàs deficient: És aquell el qual el seu contingut efectiu es inferior al tolerat.

Lot: Conjunt d'envasos d'iguals quantitats nominals model i fabricació, emplenats al mateix lloc, i que son objecte de control. La mida del lot es limita a 10000 envasos.

Control no destructiu: Control que no malmet l'obertura del envàs.

Control destructiu: Control que suposa l'obertura o destrucció del envàs.

Article 4. Comercialització i lliure circulació de determinats productes.

No aplica, és un tema que no es tracta en el treball.

Article 5. Generadors Aerosols.

No aplica.

Article 6. Envasos múltiples formats per dos o més envasos individuals no destinats a ésser venuts per separat.

No aplica, relatiu a l'etiquetatge.

Article 7. Principis generals del control del contingut dels productes envasats.

El envasat haurà de realitzar-se de tal manera que permeti complir els següents requisits:

- Que la mesura del contingut efectiu dels envasos no sigui inferior a la quantitat nominal.
- Que la proporció d'envasos amb un error per defecte superior al màxim tolerat sigui el suficientment petita perquè permeti als lots complir amb els controls estadístics d'aquest Reial Decret.
- Que cap envàs tingui un error per defecte superior al doble del error màxim per defecte tolerat.

Article 8. Toleràncies.

El error màxim fixat per defecte tolerat en el contingut d'un envàs es fixa conforme a la següent taula:

Quantitat nominal en grams o en mil·lilitres	Errors màxims per defecte			
	Massa		Volum	
	Percentatge - Quantitat nominal	En grams	Percentatge - Quantitat nominal	En mil·lilitres
De 5 a 50	9,0	-	9,0	-
De 51 a 100	-	4,5	-	4,5
De 101 a 200	4,5	-	4,5	-
De 201 a 300	-	9,0	-	9,0
De 301 a 500	1,5	-	1,5	-
De 501 a 1000	-	15	-	15
De 1001 a 10.000	1,5	-	1,5	-

En l'aplicació del primer quadre, els valors calculats en unitats de massa o de volum pels errors màxims per defecte tolerats, que s'indiquen en percentatge, s'arrodoniran per excés a la dècima de gram o de mil·lilitre.

Article 9. Inscripcions i marcat.

No aplica, aquest article també és referent al etiquetatge.

Article 10. Modalitats en el control estadístic de lots.

1. Els controls dels envasos es realitzaran per mostreig i s'efectuaran:
 - a) Un sobre el contingut efectiu de cada un dels envasos de la mostra.
 - b) Un altre sobre la mesura dels continguts efectius dels envasos de la mostra.
2. Un lot es considerarà acceptable si el resultat de els controls satisfà els dos criteris que s'especifiquen en els articles 11 i 12 d'aquest Reial Decret.
3. Per a cada un d'aquests controls estan previstos dos plans de mostreig.
 - a) Un per un control no destructiu.
 - b) Un altre per un control destructiu.

El control destructiu no ha d'utilitzar-se si es pot utilitzar el no destructiu.
4. Prèviament als controls previstos en els articles 11 i 12, es prendrà al atzar un nombre suficient de envasos del lot, amb la finalitat d'efectuar el control que requereix la mostra de mesura.
5. A efectes de càlcul dels paràmetres necessaris per el control estadístic de lots, es tindran en compte els mètodes de càlcul estadístic que es recullen en l'annex II d'aquest Reial Decret.

Article 11. Control del contingut efectiu.Control no destructiu:

- El control no destructiu s'efectuarà seguint el pla de mostreig que es recull en la segona taula.
- El nombre d'envasos controlats en primer lloc, ha de ser igual a la mida de la primera mostra que s'indica en quadre número 2.
- Si el nombre d'envasos deficients trobats es inferior o igual al primer criteri d'acceptació, el lot es considerarà acceptat per aquest control.
- Si el nombre d'envasos deficients trobats en la primera mostra es igual o superior al primer criteri de rebuig el lot es rebutjarà.
- Si el nombre d'envasos deficients trobats en la primera mostra està comprés entre el primer criteri d'acceptació i el primer criteri de rebuig, s'haurà d'utilitzar una segona mostra.
- El nombre d'envasos deficients trobats a la primera i a la segona mostra han d'acumular-se. Si el nombre acumulat d'envasos deficients es inferior o igual al segon

criteri d'acceptació, el lot es considerarà acceptat. En canvi, si el nombre es superior o igual al criteri de rebuig, es rebutjarà.

Mida del lot	Mostres			Nombre d'envasos deficients	
	Ordre	Mida	Mida acumulada	Criteri d' acceptació	Criteri de Rebuig
De 100 a 500	1 ^a	30	1	1	3
	2 ^a	30	4	4	5
De 501 a 3.200	1 ^a	50	2	2	5
	2 ^a	100	6	6	7
De 3.201 o més	1 ^a	80	3	3	7
	2 ^a	160	8	8	9

Quant la mida de lot sigui inferior a 100 unitats, s'inspeccionarà tot el lot.

Control destructiu:

- El control destructiu s'efectuarà seguint el pla de mostreig simple que s'indica en el quadre número 3 i no ha de ser utilitzat per lots els quals no siguin superiors a 100 unitats.
- El nombre d'envasos controlats ha de ser superior o igual a 20. Si el nombre d'envasos deficients trobats a la mostra es inferior o igual al criteri d'acceptació, el lot es considerarà acceptat per aquest control.
- Si el nombre d'envasos deficients trobats a la mostra es igual o superior al criteri de rebuig, el lot es rebutjarà.

Mida de lot	Mida de la mostra	Nombre d'envasos deficients	
		Criteri d' acceptació	Criteri de rebuig
Qualsevol mida(≥ 100)	20	1	2

Article 12. Control sobre la mesura del contingut efectiu al lot d'envasos.

Un lot s'acceptarà en aquest control si la mesura dels continguts efectius dels envasos de la mostra compleix amb la següent expressió:

$$\bar{X} \geq Q_n - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{(1-\alpha)}$$

En la que:

\bar{X} =Mitjana dels continguts efectius en els envasos de la mostra.

Q_n =Quantitat nominal.

n =Mida de la mostra.

s =Desviació estàndard dels continguts efectius del lot.

$t_{(1-\alpha)}$ =Variable aleatòria de la distribució de Student. Amb $v=n-1$ i de nivell de confiança

$\alpha=0.005$

Els criteris d'acceptació o rebuig per el control de la mitjana son els expressats en els quadres número 4 i 5.

Control no destructiu			
Mida de lot	Mida de la mostra	Criteri d'acceptació	Criteri de rebuig
De 100 a 500	30	$X \geq Q_n - 0,503 \cdot s$	$X < Q_n - 0,503 \cdot s$
Més de 500	50	$X \geq Q_n - 0,379 \cdot s$	$X < Q_n - 0,503 \cdot s$

Control destructiu			
Mida de lot	Mida de la mostra	Criteri d'acceptació	Criteri de rebuig
Qualsevol mida (≥ 100)	20	$X \geq Q_n - 0,640 \cdot s$	$X < Q_n - 0,640 \cdot s$

Article 13. Medició del contingut efectiu dels envasos.

El contingut efectiu dels envasos pot ser mesurat directament amb l'ajuda d'instruments de mesura de massa o volum, o si es tracte de líquids, indirectament per la pesada del producte i la mitja de la seva densitat. Sigui quin sigui el mètode utilitzat, el error comés en la mesura del contingut efectiu d'un envàs ha de ser com a màxim, igual a la cinquena part del error màxim tolerat.

Article 14. Responsabilitats.

No aplica.

Article 15. Controls a efectuar pels serveis d'inspecció.

No aplica.

Article 16. Prohibicions, infraccions i sancions.

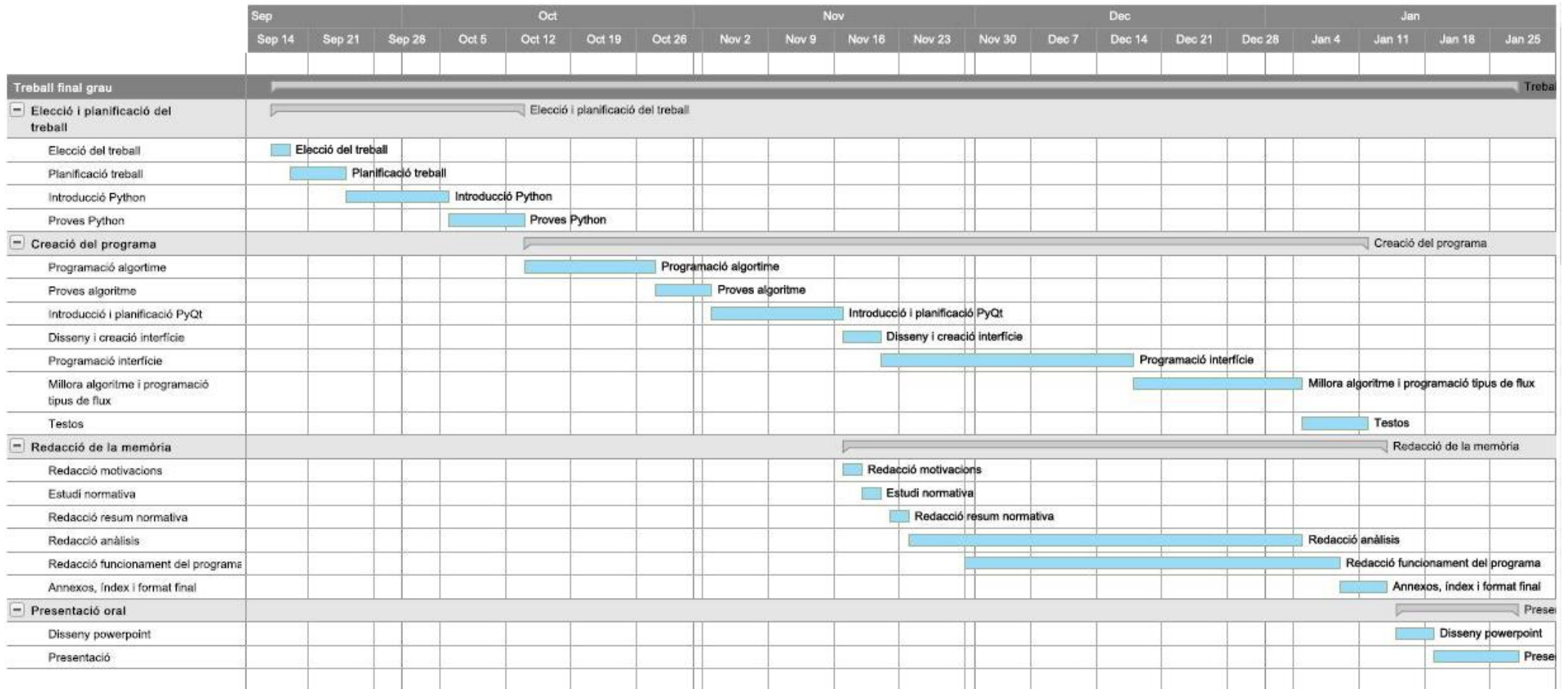
No aplica.

La normativa queda a la bibliografia del treball, on també s'hi poden consultar els annexos de la pròpia normativa.

7. Planificació, anàlisi econòmica i impacte ambiental

7.1. Planificació

A continuació es mostra en diagrama de Gantt de com s'ha organitzat el projecte, aquest s'ha actualitzat a mesura de realitzar-se el treball per tant de que sigues suficientment acurat i mostres l'evolució real del treball.



7.2. Estimació econòmica

7.2.1. Desenvolupament

A partir del càlcul realitzat a partir de la planificació i el diagrama de Gantt s'obté que el temps total dedicat al treball ha estat de 195h. Per un preu hora de 35€/hora el cost del desenvolupament es de 6825€.

7.2.2. Hardware i software

El software utilitzat ha estat freeware o de codi obert, a abstenció del programa Minitab, el sistema operatiu Windows i el paquet office. Tant el sistema operatiu, com el Minitab, s'han utilitzat les versions gratuïtes per a estudiants. En el cas del paquet office, actualment el paquet bàsic es ven per 34€ a l'any i es calcula que s'ha utilitzat un 20% del temps de tot l'any, per tant 6,8€.

Finalment, s'ha utilitzat un ordinador ASUS portàtil de cost estimat de 700€. Considerant una amortització en tres anys i tres projectes d'aquestes dimensions per any correspon a un 11% del preu total que són 78€.

Per tant, el cost total del projecte ha estat de 6909,8€.

7.3. Impacte ambiental

Aquest projecte té un impacte ambiental ínfim ja que és de caire informàtic i d'estudi sobre l'ordinador. Podríem considerar que pot aportar beneficis ambientals si s'utilitza per crear un sistema d'empaquetament més eficient. Tot i això, no es considera que tingui cap impacte, ni positiu ni negatiu.

8. Conclusions

En aquest treball de final de grau s'ha desenvolupat una eina que permet resoldre un problema industrial actual. S'ha aconseguit una aplicació eficaç i senzilla utilitzable per tothom que es considera que ajudarà a resoldre aquest problema, i que era un dels objectius del treball. Un altre dels objectius era realitzar un anàlisi exhaustiu dels processos d'empaquetament i treure conclusions més generals, que es considera realitzat tot i que encara hi ha molt recorregut per endavant.

En quan a les conclusions extretes sobre els tipus de flux i les polítiques d'eliminació a utilitzar sabem el següent. La mitjana no sol estar descentrada per valors suficientment alts de nombre de tolves. En quan els tipus de flux, el flux menys precís, i que dona errors més grans es clarament el flux discret d'una sola unitat per tolva, això provoca que s'hagin d'utilitzar polítiques d'eliminació estrictes que acaben comportant una gran pèrdua de producte i per tant una gran pèrdua econòmica.

Tant el flux discret com el flux continu, comporten una variabilitat extra associada a la imprecisió dels dosificadors, però curiosament això ajuda a obtenir una millor precisió del paquet final; provocant que tingui més opcions per triar i dificultant que en la màquina s'acumulin tolves amb pesos massa grans o massa petits.

Les polítiques d'eliminació més efectives són les d'eliminar el contingut de les tolves quan no es pot fer un paquet que compleixi amb els requeriments, i les de eliminar el contingut de una sola tolva quan aquesta no s'obri durant un cert nombre d'operacions. A més, ambdues són les que comporten menys pèrdua de productes, especialment la primera. Això es deu a que en la primera política no s'elimina res fins que no és segur que no es podrà fer un paquet correcte, en canvi en l'altre política s'elimina quan hi ha altes possibilitats que sigui incorrecte.

Totes les llibreries de Python que s'han utilitzat han estat interessants i complertes, i m'han servit per aprendre i aficionar-me a la programació. Python és un llenguatge fàcil, potent i amb projecció de futur que de ben segur m'ha facilitat les coses respecte un altre llenguatge. De fet python es tracta del llenguatge més utilitzat al món en l'actualitat.

Com a punt dèbil del fet d'utilitzar Python és la part d'interfícies, aquestes llibreries com el PyQt4 no han estat actualitzades en anys, ja que hi ha altres llenguatges molt més potents per a crear interfícies gràfiques, i això provoca que tingui un aspecte lleugerament antiquat i a vegades és una mica feixuc de treballar-hi.

Finalment destacar que he estat molt a gust fent el treball, que ha despertat una afició en mi per la programació que no coneixia i que espero seguir treballant en temps semblants en un futur.

9. Agraïments

En primer lloc m'agradaria agrair l'ajuda, dedicació i interès que m'ha proporcionat el meu director del treball Pere Grima al llarg de tot el projecte. Vull agrair-li que hagi estat sempre disponible per comentar qüestions del treball i resoldre alguns dubtes, a més de proposar-me un treball interessant i complet.

M'agradaria també agrair l'ajuda a meu amic Alejandro Anton per introduir-me al PyQt i ensenyar-me els coneixements bàsics i els mòduls a instal·lar per poder seguir desenvolupar correctament la aplicació del simulador i el seu codi.

10. Bibliografia

10.1. Referències bibliogràfiques

[1] i [2] AVILES,M. CAVIEDES.G, *Implementación del sistema de dosificación y control de pesaje dinámico para empaquetamiento de comestibles sólidos*. Escuela politécnica nacional de ecuador.

[<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3870/1/CD-3687.pdf>,22 de Desembre de 2015]

[3] PRESMATIC. *Catalogo general. Multicabezales, pesadoras-llenadoras, controladores, dosificadores, detectores de metales*.

[<http://www.pesadoras.info/docs/catalogMCES.pdf>,19 de Novembre de 2015]

[4] GRIMA,P. MARCO,L.TORT-MARTORELL,J. *Estadística práctica con MiniTAB*.

Pearson:Prentice Hall.

[5] [<http://news.mit.edu/2012/explained-sigma-0209>,18 d'Octubre de 2015]

[6]MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. REAL DECRETO 1801/2008, de 3 de noviembre.

[<https://www.boe.es/boe/dias/2008/11/04/pdfs/A43706-43712.pdf> ,20 de novembre]

[7] [<http://www.highdream.cn/enpro.asp>, 15 d'Octubre de 2015] (Imatge del simulador)

[8] [<http://yeraymaquinaria.net/pesadora-multicabezal.html>], 15 d'Octubre de 2015] (Imatge del simulador)

10.2. Bibliografia complementària

VARIOPS. *Algoritmos y programación con lenguaje Python*. Madrid, 2011.

PyQt4 class reference. [<http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt4/classes.html>]

Manual on how to install PyDev for eclipse.[http://www.pydev.org/manual_101_install.html]

Matplotlib documentation and examples

[http://matplotlib.org/1.4.1/examples/pylab_examples/index.html]