

## RESUM

Els departaments de producció en la indústria de productes de gran consum necessiten reduir els seus costos per continuar sent competitius en el mercat. Les pèrdues associades a la qualitat del producte, així com les mermes que es generen en els processos de producció d'envasos plàstics, és una de les principals oportunitats per aconseguir aquesta millora de la competitivitat. L'objectiu d'aquest projecte és implementar una estratègia de control de processos que ens permeti reduir les fonts de variabilitat en un procés d'extrusió i bufat d'envasos plàstics, per tal de millorar la qualitat dels productes i l'eficiència del procés a fi de reduir els costos de producció.

Els passos en els que està estructurat aquest projecte són els següents:

- Una anàlisi de la situació actual de l'unitat de fabricació d'envasos plàstics que s'estudiarà, en el qual es descriu la tecnologia, els materials i els principals punts del procés de transformació per entendre el marc d'aplicació del projecte.
- Una explicació de la metodologia emprada per establir una estratègia de control de processos pas a pas i la seva implementació a la unitat de fabricació amb l'anàlisi dels principals problemes que existeixen actualment en aquesta unitat.
- Una anàlisi dels principals problemes que existeixen a la unitat de bufat, i l'elaboració d'un pla d'acció que permeti disminuir les pèrdues de qualitat, reduir les mermes i millorar l'eficiència del procés de fabricació. En cada cas es fa una avaluació de les implicacions econòmiques del pla de millora així com dels beneficis obtinguts.

Es conclou que amb la implementació d'aquesta estratègia de control de processos i la posada en marxa de les millores identificades durant aquest projecte, s'aconsegueix una millora substancial dels resultats de qualitat, la reducció de mermes del procés productiu i una millora de l'eficiència i la productivitat del departament. A més, es crea una atmosfera de millora continua per assegurar la sostenibilitat dels resultats obtinguts.



# SUMARI

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>5</b>
1.1. Abast del projecte.....	5
1.2. Objectius.....	6
<b>2. EL PRODUCTE I EL MÒDUL DE FABRICACIÓ</b>	<b>9</b>
2.1. La unitat de fabricació d'envasos plàstics.....	9
2.1.1. Descripció General.....	9
2.1.2. Organització .....	10
2.2. El producte i les seves Característiques.....	11
2.2.1. Els materials plàstics.....	11
2.2.2. El Polietilè d'alta densitat. Composició .....	12
2.2.2. El Polietilè d'alta densitat. Propietats .....	13
2.2.2.1. Viscositat .....	13
2.2.2.2. Conductivitat tèrmica.....	14
2.2.2.3 Calor específica i entalpia .....	14
2.2.2.4 Estabilitat tèrmica i temps d'inducció.....	14
2.2.2.5 Densitat.....	15
2.2.2.4 Color .....	16
2.3. El procés d'extrusió i bufat d'envasos.....	16
2.3.1. L'extrusió. ....	16
2.3.1.1. Components d'un extrusor.....	16
2.3.1.2. Funcions d'un extrusor .....	17
2.3.1.2.1. Transport del material .....	17
2.3.1.2.2. Escalfament i fusió del material .....	18
2.3.1.2.3. Mescla i homogeneïtzació .....	19
2.3.1.2.4. Formació del macarró .....	20
2.3.2. El bufat.....	21
2.3.2.1. Moldejat.....	22
2.3.2.2. Extracció sobrants o rebaves.....	22
2.3.2.3. Refrigeració final i comprovació de estanqueïtat.....	23
2.3.2.4. Expulsió de la màquina .....	23
2.4. Control de Qualitat del producte. Situació inicial .....	23
<b>3. METODOLOGIA DE TREBALL E IMPLEMENTACIÓ</b>	<b>26</b>
3.1. Crear una atmosfera de resolució de problemes .....	28



3.2.	Entrenament a l'organització en la estratègia i en la tecnologia del procés .....	29
3.3.	Determinació dels principals problemes i variables del procés.....	31
3.4.	Portar el procés sota control .....	41
3.5.	Implementació d'un pla de millora del procés.....	43
3.6.	Recollida de dades y avaluació dels resultats .....	43
3.7.	Validació i seguiment.....	43
<b>4.</b>	<b>APLICACIÓ ALS PRINCIPALS PROBLEMES DEL MÒDUL DE PRODUCCIÓ</b> .....	<b>45</b>
4.1.	Trencament de l'envàs al test de caiguda .....	45
4.2.	Fuites pel coll de l'ampolla i rebaves. ....	50
4.3.	Resistència a la compressió de les ampolles .....	52
<b>5.</b>	<b>COMPROVACIÓ DE RESULTATS</b> .....	<b>57</b>
5.1.	Resultats de Qualitat .....	57
5.2.	Resultats d'eficiència.....	58
5.3.	Resultats de costos i productivitat.....	58
<b>6.</b>	<b>ESTUDI ECONÒMIC DEL PROJECTE</b> .....	<b>60</b>
6.1.	Viabilitat econòmica.....	60
<b>7.</b>	<b>ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL Y SÒCIO-ECONÒMIC</b> ____	<b>63</b>
7.1.	Impacte mediambiental .....	63
7.2.	Impacte socioeconòmic.....	63
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>65</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>66</b>
9.1.	Referències bibliogràfiques.....	66
9.2.	Bibliografia complementaria .....	66





# 1. INTRODUCCIÓ

En aquest capítol s'exposen l'abast i els objectius d'aquest projecte.

## 1.1. Abast del projecte

Una de les prioritats de la direcció industrial de qualsevol empresa és l'optimització dels processos productius i per tant, la reducció dels costos de producció. Durant la dècada dels anys 80, els conceptes de gestió empresarial varen anar incorporant, com a element clau, els programes de millora de la qualitat.

Amb aquesta finalitat, es va desenvolupar el que es coneix com estratègies de control de processos. La seva implementació en un procés productiu significa utilitzar mètodes estadístics per tal de monitoritzar, analitzar i controlar el procés, o mes concretament, la variabilitat en els processos.

Aquest enfocament aporta unes oportunitats d'estalvi importants per a l'empresa:

- ✓ Millora la satisfacció del client i del consumidor en un entorn cada cop més competitiu i globalitzat, assegurant la conformitat de tots els productes fabricats. Això ajudarà a retenir els clients i consumidors, millorar la reputació de l'empresa, i obrir la porta a nous mercats.
- ✓ Redueix els temps de cicle per tal de millorar la productivitat dels processos productius i reduir costos directes.
- ✓ Redueix la variabilitat del procés, reduint defectes de producció i mermes.

A més aquests programes poden formar part important de les polítiques i objectius de sostenibilitat mediambiental de les empreses, els quals han adquirit una importància significativa en la darrera dècada degut a la major consciència social en aquesta matèria. En concret, una millora en la qualitat comportarà la reducció en la generació de residus, el consum energètic i un ús mes eficient de recursos naturals, com per exemple l'aigua.

En aquest projecte s'estudiarà la implementació d'una estratègia de control de processos a una unitat de fabricació d'envasos plàstics d'una empresa de productes de gran consum i en col·laboració amb una altra fàbrica de l'empresa situada al nord d'Itàlia. Durant el desenvolupament del projecte es podran apreciar els beneficis en termes de productivitat i reducció de costos en passar d'una estratègia de control de producte, en la que l'acceptació d'un lot de producció es fa per la inspecció d'un determinat nombre de productes finals, a una estratègia de prevenció de defectes.



Aquesta estratègia s'ha aplicat amb anterioritat a l'empresa en altres processos de fabricació però mai s'havia aplicat a la fabricació d'envasos plàstics. L'assoliment dels objectius del projecte en el departament donaria un potencial important per exportar els aprenentatges del projecte a d'altres fàbriques similars a nivell global de l'empresa.

## 1.2. Objectius

L'objectiu principal del present projecte es implementar una estratègia de control de processos que ens permeti reduir les fonts de variabilitat en un procés de extrusió i bufat d'envasos plàstics. Aquesta estratègia s'engloba dins de la política corporativa de l'empresa per tal de millorar la qualitat i la productivitat de les fàbriques d'Europa Occidental.

### Objectius específics

- ✓ Evitar la producció de productes no conformes pel client i pel consumidor en termes de qualitat.
- ✓ Reduir les mermes de producció i optimitzar el flux de reciclatge del material.
- ✓ Millorar els resultats de qualitat del mòdul de fabricació.
- ✓ Millorar l'eficiència del mòdul de fabricació.
- ✓ Desenvolupar el material d'entrenament pels operaris, i capacitar els operaris.

S'utilitzarà com a mesura de qualitat la variabilitat i la distància d'una característica del producte respecte al seu valor objectiu o especificació, és a dir, com més proper sigui el seu valor al valor objectiu, millor qualitat tindrem. Aquesta mesura es quantificarà mitjançant càlculs estadístics de defectes, mesurats en ppm (parts per milió).

$$Ppm = \frac{USL - LSL}{\sqrt{\frac{\sum(X - T)^2}{n - 1}}} = \frac{USL - LSL}{\sqrt{s^2 + \frac{n}{n - 1}(\bar{X} - T)^2}}$$

Per tal de mesurar la productivitat, s'enfocarà des de dues perspectives. La primera és la productivitat dels equips, que tal com es defineix en TPM (*Total Maintenance Productivity*), vindrà donada per la Efectivitat Global dels equips (*OEE: Overall Equipment Effectiveness*). Aquest indicador representa el percentatge de temps que una màquina produeix realment peces de qualitat versus el temps que va ser planificat per fer-ho, i està associada a tres elements:



Disponibilitat, Rendiment i Qualitat:

TEMPS DE FUNCIONAMENT				
TEMPS PRODUCTIU NET	TEMPS PERDUT PER DEFECTES	TEMPS PERDUT PER OPERACIO	TEMPS DE PARADA NO PLANIFICADA PER EQUIPS	TEMPS DE PREPARACIÓ DE L'EQUIP

$$OEE = \frac{TPN}{TF} = \frac{TF - TPD - TPOP - TPNP - TPA}{TF}$$

Aquesta mesura cobreix les sis grans pèrdues de productivitat d'un procés productiu:

1. Avaries
2. Temps de preparació i ajustaments
3. Funcionament a velocitat reduïda
4. Parades curtes
5. Defectes de qualitat i repetició de treballs
6. Posada en marxa

La segona mesura de productivitat serà la productivitat de les persones, que la definirem com

$$\text{Productivitat (P)} = \# \text{ peces/mes/persona.}$$

Finalment, donada la situació concreta del mòdul de fabricació, on existeixen unes pèrdues importants de material, es mesurarà les mermes del procés o variàncies en el consum respecte al consum teòric.

En concret, els criteris d'èxit definits per aquest projecte són:

- Reducció d'un 80% de defectes observats i un 50% dels defectes calculats (ppms).
- Increment d'un 5% de l'OEE.
- Reducció d'un operari per torn per una producció equivalent a l'actual.
- Reducció d'un 30% de les pèrdues de material de la unitat.







## 2. EL PRODUCTE I EL MÒDUL DE FABRICACIÓ

El present capítol s'estructura en dues parts. En la primera es presenten les característiques principals del producte a estudiar, la situació actual de la empresa i el seu posicionament al mercat espanyol, així com una descripció del producte i la seva composició. En la segona es descriu l'estructura del departament on es realitza el projecte.

### 2.1. La unitat de fabricació d'envasos plàstics

#### 2.1.1. Descripció General

En aquest mòdul de fabricació d'envasos plàstics es fabriquen ampolles de Polietilè d'alta densitat per a detergents. Hi ha 10 màquines d'extrusió i moldeig per bufat (Fig 2.1):

- ✓ 2 Màquines per ampolles de 750ml (Bufadors 1 i 2)
- ✓ 5 Màquines per envasos de 1.5 L (Bufadors 3 a 7)
- ✓ 3 Màquines per envasos de 3,5L (Bufadors 8 a 10)

Totes les màquines del mòdul són del mateix fabricant i amb característiques similars. A continuació es detallen algunes de les característiques de cada línia de producció:

##### Línia de 750 ml

- ✓ 2 Motllos / màquina
- ✓ 3 cavitats / motllo
- ✓ 48 envasos / minut / màquina

##### Línia de 1500 ml

- ✓ 2 Motllos / màquina
- ✓ 3 cavitats / motllo
- ✓ 30 envasos / minut / màquina

##### Línia de 3500 ml

- ✓ 2 Motllos / màquina
- ✓ 2 cavitats / motllo
- ✓ 20 envasos / minut / màquina



Cadascuna de les línies de producció té un pulmó on emmagatzema les ampolles que després són transportades cap a les línies d'envasat per mitjà d'un sistema de transport pneumàtic i d'una sèrie de transportadors de cintes.

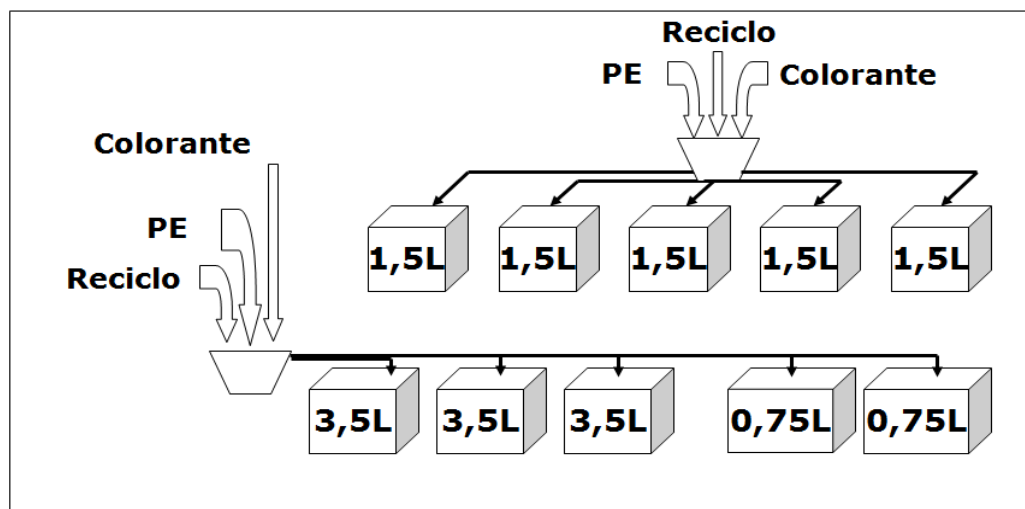


Fig. 2.1. Layout de la unitat de fabricació

### 2.1.2. Organització

Aquest mòdul de producció forma part del departament de Líquids, en el que hi ha dos mòduls de producció més (Mòdul de fabricació de líquid i Mòdul d'envasat). Les tres unitats de producció comparteixen recursos indirectes tals com tècnics de manteniment i comandaments intermitjos, tal com s'indica en l'organigrama de la Fig. 2.2.

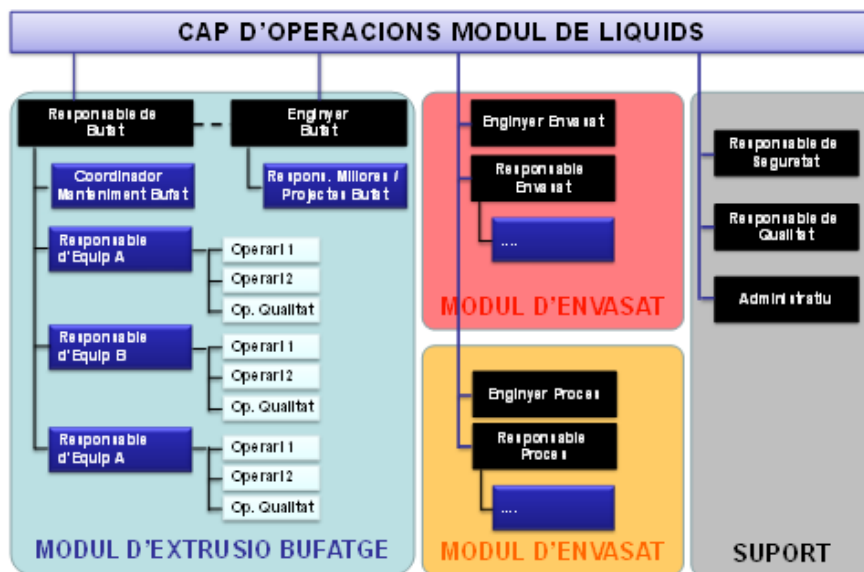


Fig. 2.2. Organigrama



## 2.2. El producte i les seves Característiques

### 2.2.1. Els materials plàstics

Els materials plàstics o també anomenats polímers es poden dividir en dos grans grups: termoplàstics i termostables.

Els termoplàstics són materials que es fonen i flueixen com un fluid viscos quan s'escalfen a partir de la temperatura característica de cada material. En aquesta fase de fluïdesa és quan els materials són transformats o moldejats en diferents productes. Una vegada es refreden, els termoplàstics s'endureixen i es comporten com a sòlids. Aquest tipus de material es pot tornar a transformar de nou si es fon una altra vegada fent-ho ideal per al seu reciclatge futur o en processos que, per disseny, generen un percentatge de material que es perd, com és el cas del bufat d'ampolles. Els termoplàstics es poden dividir al seu torn en: amorfs, semicristal·lins, líquids cristal·lins i elastòmers.

Els termostables, són materials que endureixen una vegada s'escalfen per sobre d'una determinada temperatura, a causa d'una reacció que connecta les molècules individuals i causa la formació d'una xarxa molecular tridimensional. Per aquesta raó, els materials termoplàstics han de ser moldejats abans que aquesta reacció es produeixi. Aquesta reacció és irreversible, impedit la recuperació del material per al seu reciclatge.

En el nostre cas el material utilitzat és el polietilè (PE), un material termoplàstic i semicristal·lí, que s'obté a través de la polimerització de molècules d'etilè (Fig. 2.3). El polietilè ofereix una gran flexibilitat, un cost òptim i a més no es degrada per agents químics, important pel tipus de producte que envasarem a posteriori.

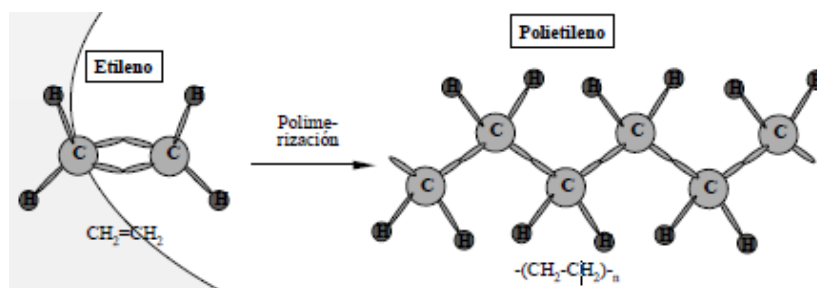


Fig. 2.3. Estructura molecular del PE

Existeix gran nombre de varietats de polietilè, i la seva diferenciació s'aconsegueix modificant els paràmetres en el procés de polimerització, especialment afectat per la pressió i la temperatura. Depenent de les condicions del procés s'aconsegueixen cadenes de diferent llargada. Existeixen dos tipus principals de polietilè:

- ✓ Polietilè de baixa densitat (LDPE)
- ✓ Polietilè d'alta densitat (HDPE)



El polietilè de baixa densitat té com a principal avantatge el seu millor comportament durant i després del seu moldejat. En el cas del polietilè d'alta densitat els principals avantatges són el seu alt grau de permeabilitat, una gran resistència a esforços mecànics i una major estabilitat en rangs més amplis de temperatura. En el nostre producte, la matèria primera utilitzada es el polietilè d'alta densitat.

Per tant, les principals característiques del material utilitzat per la producció dels nostres envasos plàstics, el polietilè d'alta densitat, son:

- ✓ Excel·lent resistència tèrmica y química.
- ✓ Molt bona resistència a l'impacte.
- ✓ És sòlid, incolor, translúcid.
- ✓ Fàcil de moldejar
- ✓ És flexible.
- ✓ És més rígid que el polietilè de baixa densitat.
- ✓ És molt lleuger.
- ✓ Impermeable.
- ✓ Baix cost.

### **2.2.2. El Polietilè d'alta densitat. Composició**

El polietilè normalment es rep en una forma de perles de plàstic. Aquestes no tan sols contenen les molècules d'etilè, sinó que per tal de millorar les qualitats del material, tals com la resistència a altes temperatures o la degradació en el procés de moldejat, porten una sèrie d'additius:

- ✓ Estabilitzadors: S'utilitzen per tal de reduir l'impacte de la degradació del material que, durant el procés d'extrusió, pateix augments de temperatura.
- ✓ Absorbents d'ultraviolats (UV): Utilitzats per atenuar el deteriorament provocat pel fet que el material estigui en contacte amb la llum solar, així com el contingut de l'envàs si aquest es degrada pel raigs UV.
- ✓ Lubricants: Permeten que la massa de plàstic fluida llisqui millor, reduint la fricció entre les diferents parts del plàstic.



## 2.2.2. El Polietilè d'alta densitat. Propietats

En aquest apartat es veuran les principals del polietilè per tal de conèixer millor l'impacte en els paràmetres de qualitat del producte final. Principals propietats del polietilè:

### 2.2.2.1. Viscositat

Com els plàstics estan compostats de molècules llargues, la seva fluïdesa no és gaire gran en el seu estat fluid. La facilitat amb la que un fluid flueix es descriu per la viscositat del fluid. La unitat en la que normalment es mesura es el poise (10 poise = 1 Pa·Sec)

La viscositat depèn en gran mesura del pes molecular del material. Així, en el cas del HDPE serà més gran que en el LDPE. La principal prova que mesura la fluïdesa del material és el Melt flow Index (MFI) o Melt index (MI), que mesura, en una unitat normalitzada, la quantitat de plàstic extrusionada en un temps determinat, normalment 10 minuts (MFI-10).

Quant més alta és la viscositat del plàstic, serà necessària una torsió més gran a la màquina d'extrusió i més pressió per extrusionar el plàstic dins del motllo. Un dels paràmetres que més afecta a la viscositat és la temperatura. Com es veu a la Fig. 2.4, a mesura que la temperatura augmenta, la viscositat es redueix. En el cas del polietilè, el coeficient de temperatura de la viscositat és d'entre 2 i 3%, és a dir, per cada grau d'augment de temperatura, el polietilè redueix la seva viscositat en aquesta quantitat.

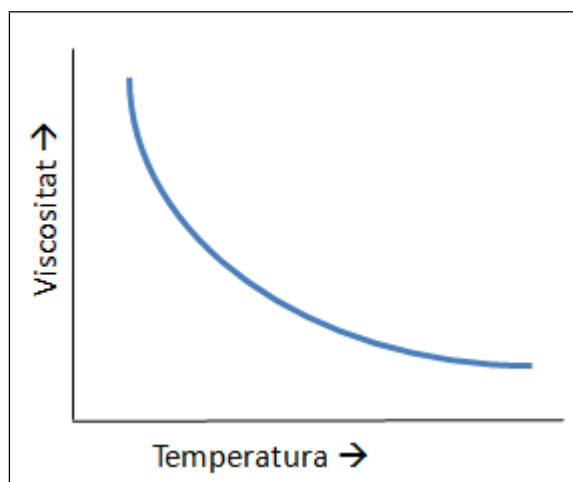


Fig. 2.4. Ratio Viscositat / Temperatura

Per contra, l'efecte de la pressió en la viscositat és petit en el rang de pressions en que ens movem en la tecnologia d'extrusió.



### 2.2.2.2. Conductivitat tèrmica

Els plàstics, en general, tenen una conductivitat tèrmica baixa, és a dir, escalfar un plàstic per conducció és un procés molt lent i això serà un dels factors claus que determinarà el cicle de producció. En el procés d'extrusió, l'escalfament del plàstic, com veurem més endavant, es produeix en l'extrusora per conducció i fricció, mentre que el refredament es produeix al motllo.

### 2.2.2.3 Calor específica i entalpia

El calor específic és la quantitat de calor necessari per tal de fer augmentar la temperatura del plàstic en 1 °C. El polietilè d'alta densitat és un dels plàstics que té una entalpia més gran, és a dir, necessita una gran quantitat d'energia per escalfar-se. L'entalpia és una energia específica, es mesura com energia per unitat de massa. La gran part de l'energia que s'utilitza per processar els plàstics és necessària per augmentar la temperatura.

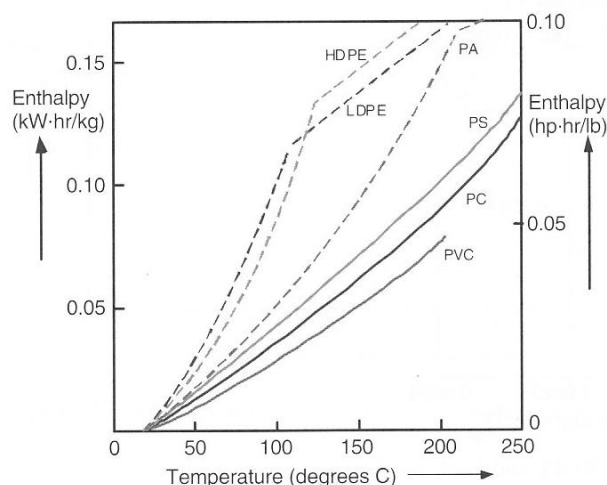


Fig. 2.5. Ratio Entalpia / Temperatura de diferents materials plàstics

### 2.2.2.4 Estabilitat tèrmica i temps d'inducció

Els plàstics es poden degradar degut a dues variables principals: la temperatura i el temps d'exposició a altes temperatures. La degradació del plàstic podria suposar la pèrdua de les seves propietats mecàniques, òptiques, i generar problemes d'aparença.

Una mesura de l'estabilitat tèrmica és el temps d'inducció, temps que un plàstic pot estar a altes temperatures sense apreciar-se degradació. Quan més gran sigui el temps d'inducció, més estable serà el plàstic.

El temps d'inducció del HDPE a diferents temperatures es pot veure a la gràfica següent.



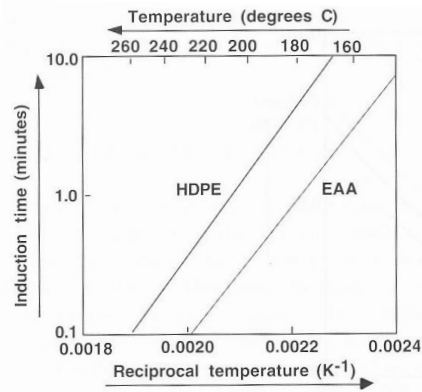


Fig. 2.6. Ratio temps d'inducció / Temperatura del HDPE

### 2.2.2.5 Densitat

La densitat dels plàstics en general és molt semblant a l'aigua, com es pot veure a la taula 2.7.

Material	Densitat (g/cm <sup>3</sup> )
LDPE	0,92
HDPE	0,95
PVC	1,40
PP	0,91
PETP	1,35
PS	1,06

Taula 2.7. Densitat de diversos materials plàstics

La densitat també depèn de la pressió i temperatura. Així si mirem el volum específic del HDPE (1/densitat) a la Fig. 2.8, podem veure que augmenta com més alta és la temperatura, i que es redueix com més gran és la pressió. Per tant, durant el procés d'extrusió, on la pressió i la temperatura varien amb el temps, la densitat anirà variant al mateix temps.

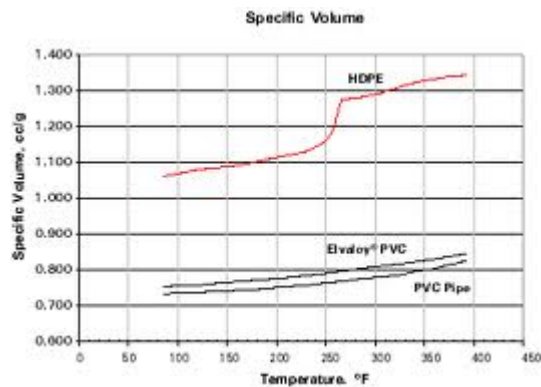


Fig. 2.8. Volum específic del HDPE i PVC



### 2.2.2.4 Color

El polietilè és un plàstic translúcid. Per tal de donar-li diferents colors, el mètode més comú és mesclar-ho durant el procés d'extrusió o injecció de plàstics amb unes partícules colorants anomenades *masterbatch*. Aquestes partícules s'han de barrejar amb el polietilè al menys uns 15-20 minuts per tal que el plàstic agafi un color homogeni.

## 2.3. El procés d'extrusió i bufat d'envasos

En aquest apartat s'estudiarà les característiques principals i els components del procés de fabricació d'envasos. Aquest procés es fa en dues fases contigües, primer de tot la formació de la mànega de plàstic a través de l'extrusió del polietilè d'alta densitat, i després un procés de bufat per donar-li la forma final a l'envàs.

### 2.3.1. L'extrusió.

L'extrusió és un procés per la producció continua de productes plàstics com ampolles, tubs, film, etc. Generalment, l'extrusió és un procés que s'utilitza per fabricar productes de secció constant.

#### 2.3.1.1. Components d'un extrusor

En el nostre cas treballarem amb una màquina d'extrusió per plastificació ja que el material d'entrada són partícules sòlides. Els principals components de la màquina es descriuen al diagrama de la figura 2.9:

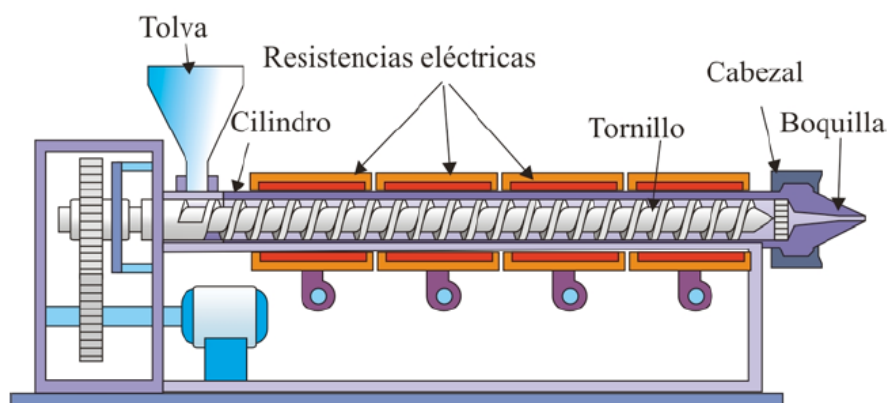


Fig. 2.9. Representació esquemàtica d'un extrusor

Una de les parts fonamentals de la màquina d'extrusió és el cargol d'extrusió. Aquest és un llarg cilindre amb una o més fulles helicoidals al voltant i, en ell, es produeixen les





transformacions del material plàstic. Com a conseqüència, l'estabilitat del procés i la qualitat del producte extrusionat depenen del disseny del cargol (Fig. 2.10).

El cargol està situat dins de d'una camisa d'extrusió, que és un cilindre buit, de diàmetre interior una mica superior al del cargol, de tal manera que quedi espai entre ambdues parts. La mesura estàndard d'aquest espai és 1/1000 del diàmetre de la camisa.

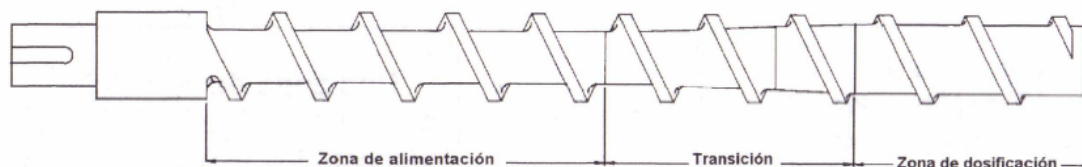


Fig. 2.10. Representació esquemàtica d'un cargol extrusor

La rotació del cargol provoca el moviment cap endavant del plàstic des de la zona d'alimentació fins la sortida pel capçal.

### 2.3.1.2. Funcions d'un extrusor

Les principal funcions d'un extrusor son:

- ✓ Transport
- ✓ Escalfament i fusió
- ✓ Mescla
- ✓ Formació del macarró

#### 2.3.1.2.1. Transport del material

El moviment cap endavant del material es deu a les forces d'arrossegament entre el plàstic i la camisa. Les forces de resistència entre el plàstic i el cargol actuen en el sentit contrari. Per tant, per tenir un transport estable és important tenir una gran força contra la camisa i que la força contra el cargol sigui petita. Per tal d'incrementar les característiques de transport d'una màquina d'extrusió es posen unes coves a la superfície de la camisa al final de l'entrada de material.

El transport dins la camisa es produeix pel moviment de rotació del cargol i el flux resultant (flux d'arrossegament) i el transport a través del capçal es produeix per la pressió exercida pel cargol. El flux a través del capçal es causat per la diferència de pressió existent entre l'entrada i la sortida del capçal tenint en compte que la pressió a la sortida és constant



(pressió atmosfèrica). L'output de la màquina d'extrusió ve donat per la pressió d'entrada del material al capçal.

L'output de l'extrusora disminueix a mesura que la pressió al final del cargol augmenta. D'altra banda l'output del capçal augmenta a mesura que la pressió a l'entrada és major, com es pot veure a la figura. 2.11

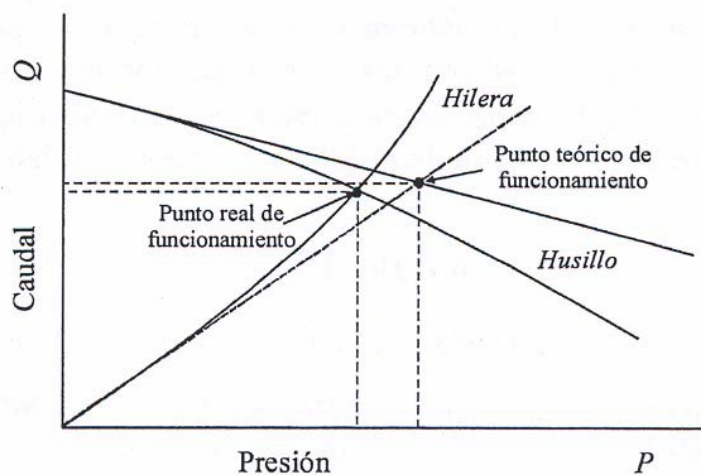


Fig. 2.11. Relació flux / pressió a la sortida del cargol extrusor

Aleshores el punt d'operació de l'extrusora és la intersecció d'ambdues corbes, la corba característica del cargol i la corba característica del capçal.

La corba del capçal depèn de la geometria en sí, la temperatura i de la viscositat del plàstic fos. Per exemple, quan més gran sigui el pas pel capçal menys pressió es necessitarà per obtenir un flux raonable.

D'altra banda, la corba característica del cargol, també depèn de la geometria, la temperatura, i de les propietats de flux del material. Per exemple, un cargol amb canals profunds donarà gran output a poca pressió, però l'output baixarà ràpidament amb la pressió.

### 2.3.1.2.2. Escalfament i fusió del material

En el procés d'extrusió hi ha dos fonts de calor, una és el calor provinent de les resistències que estan col·locades al voltant de la camisa i l'altra és el calor generat per fricció i per viscositat. El calor per fricció es genera pel contacte de les partícules sòlides amb el metall i entre les diverses partícules. El calor per viscositat es produeix quan el plàstic fos es cisalla per la rotació del cargol, i es determina per la velocitat de cisalla a la mescla i per la viscositat del fluid. La velocitat de cisalla es calcula per la diferència en velocitat entre dos



punts dividit per la distància entre aquests. En el cas d'estudi, la velocitat de cisalla és aproximadament la velocitat circumferencial del cargol dividit per la profunditat del canal.

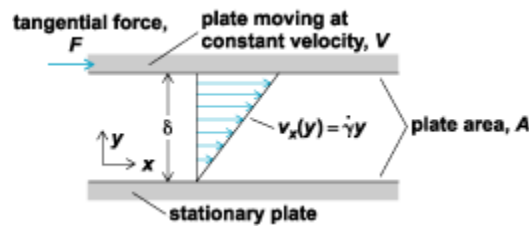


Fig. 2.12. Efecte cisalla en un extrusor

En el cas d'extrusores d'alta velocitat, la major part del calor necessari ve de la viscositat i la fricció. En el cas de màquines de baixa velocitat, com en el nostre cas, l'aportació d'energia de les resistències és considerable.

La fusió del plàstic comença un cop el material ha assolit el seu punt de fusió, i això més o menys passa a una distància equivalent a cinc diàmetres de la camisa des de l'entrada de material. Inicialment, es crea un pel·lícula de material fos a la superfície de la camisa. A mesura que aquesta es va fent més gruixuda, una piscina de material fos es forma a la part davantera de la fulla, empenyent la part sòlida contra la part posterior de la fulla de davant, com es veu a la figura 2.13

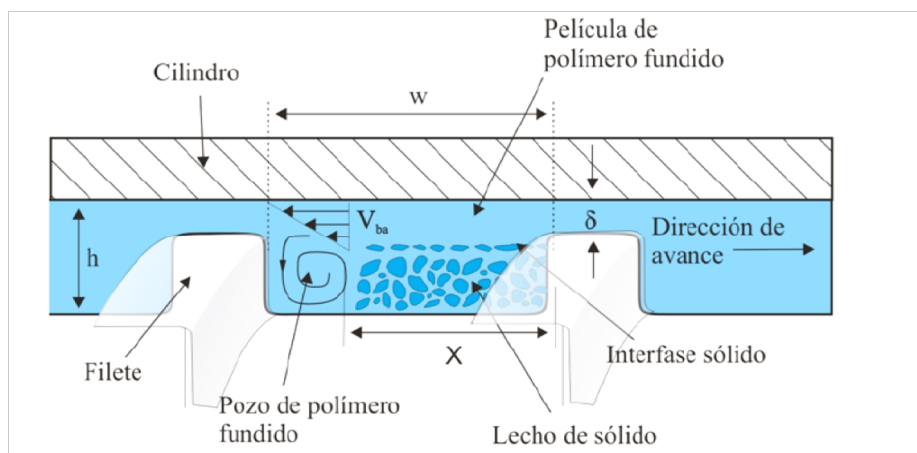


Fig. 2.13. Secció transversal d'un extrusor en la zona de transició

### 2.3.1.2.3. Mescla i homogeneïtzació

A dins dels canals del cargol, es produeix un flux de recirculació que produeix un efecte de desmescla, ja que en les parts superior e inferior del canal del cargol, la direcció de l'efecte de cisalla és oposada, com es veu en el gràfic posterior (Fig. 2.14.). Un altre efecte



que no afavoreix la homogeneïtzació de la mescla és la temperatura. Com la major part de calor es transmet a través de la camisa, la part exterior del material a dins del canal estarà a més temperatura que no pas la part interior.

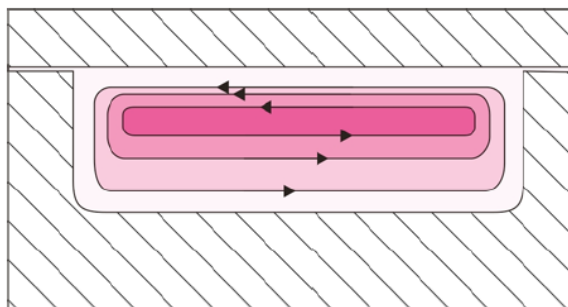


Fig. 2.14. Flux de recirculació al cargol extrusor

Per aquesta raó, és necessari incorporar mescladors al cargol per tal de millorar la qualitat del material fos. Generalment, s'utilitzen mescladors distributius, els quals apliquen tensions constants al material amb divisions i reorientacions molt freqüents.



Fig. 2.15. Detall de la zona d'homogenització del cargol extrusor

#### 2.3.1.2.4. Formació del macarró

L'últim pas del procés d'extrusió és la formació del macarró. El flux a través de la boquilla és el resultat de la diferència de pressió entre l'entrada i sortida de la boquilla. És important que el cargol extrusor doni un flux uniforme de plàstic fos, ja que si no això podrà afectar a les dimensions del producte.

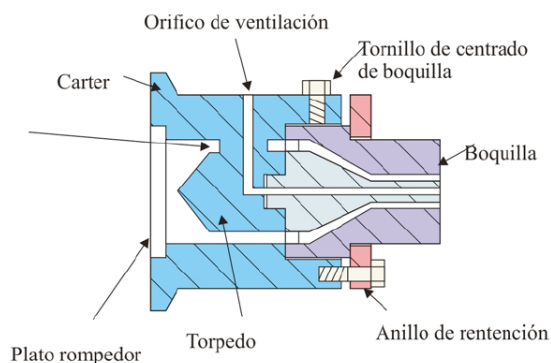


Fig. 2.16. Representació esquemàtica de la boquilla



En el cas de productes tubulars o de moldeig per bufat, el plàstic fos ha de fluir al voltant d'un nucli central. Aquest nucli, es manté centrat per cargols ajustables tal com es veu al gràfic següent (Fig. 2.17.).

Sección de la zona de sujeción del torpedo

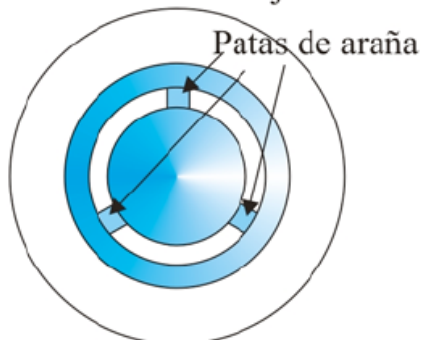


Fig. 2.17. Representació esquemàtica de la boquilla

En el cas d'estudi, com l'envàs té un perfil variable i amb gruixos diferents segon les especificacions de l'envàs, al final del procés d'extrusió hi ha una boquilla variable, que obrirà o tancarà més la sortida de material, posant més material a la base o a la zona del tap de l'ampolla per tal que sigui més resistent a possibles impactes mecànics, tal com es pot veure en el perfil de plàstic de la Figura 2.18.

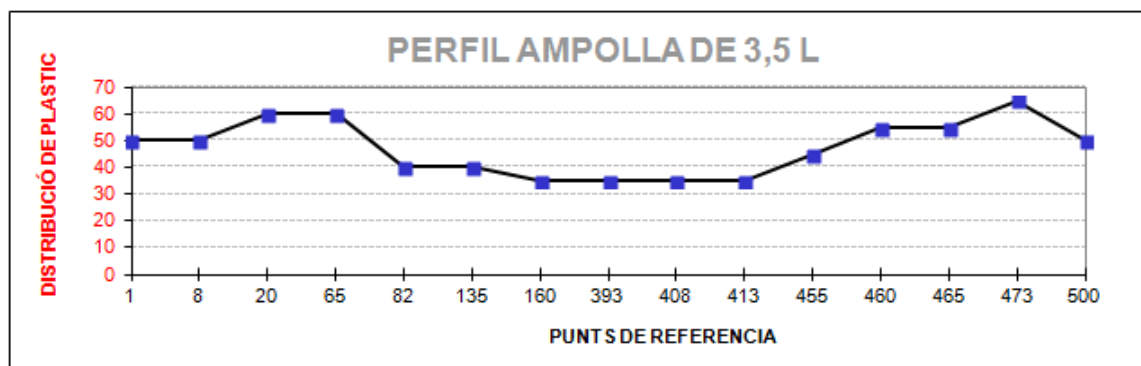


Fig. 2.18. Exemple perfil de gruixos

### 2.3.2. El bufat

Tal com s'ha comentat a l'apartat anterior, al final del procés d'extrusió del plàstic s'aconsegueix una màniga buida de plàstic homogeni i amb un perfil determinat pel producte, una ampolla. El procés de bufat consistirà aleshores a introduir aquesta massa de plàstic en un motllo i expandir-ho cap a les parets per donar-li la forma esperada. En els següents apartats s'explicarà les diferents fases del nostre procés de bufat.



### 2.3.2.1. Moldejat

En el primer pas, els motllos es tancaran agafant una longitud determinada de la màniga, i mitjançant la introducció d'aire per la part superior aquesta mànega s'expandirà contra les parets donant la forma bàsica del nostre envàs.

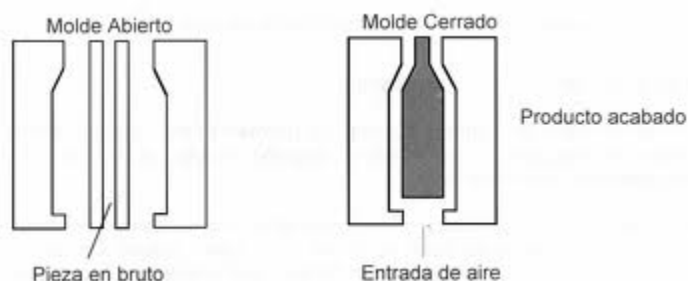


Fig. 2.19. Representació esquemàtica del bufat



Fig. 2.20 Detall interior del motlle

Els motllos són els component més important del procés de bufat. A més, de la cavitat del motlle, que determinarà les característiques geomètriques, els motllos tenen moltes altres característiques que influencien la operativitat, eficiència i efectivitat del procés.

Primer de tot, consten de diversos canals de fluids per accelerar la refrigeració, i per tant, reduir el temps de cicle. Es tracta de refrigerar la peça fins a una temperatura apropiada per a ser extreta el més aviat possible.

Hi ha regions que sobresurten una mica sobre el motlle (pletines) que segellen la mànega. Als motllos també es poden introduir altres peces (inserts) per tal de produir formes específiques, tals com rosques al coll d'una ampolla. Finalment, també trobem petits canals de ventilació per tal que l'aire existent entre la peça i el motlle pugui escapar.

Com les pressions que s'assoleixen en aquest procés són relativament petites, els materials que s'utilitzen per a la construcció de motllos no són gaire durs, generalment aleacions d'alumini. Si el desgast dels motllos és massa gran, aleshores es poden utilitzar altres materials tals com acer o coure per a les pletines.

### 2.3.2.2. Extracció sobrants o rebaves

En aquesta part del procés s'acaben d'extreure les parts sobrants de l'ampolla (anomendes rebaves) que han estat prèviament marcades per la pressió del motlle i de les pletines. En aquest punt la temperatura de l'envàs ha de ser baixa per tal de poder extreure aquestes parts restants netament, i evitar que es quedin parcialment enganxades.



### 2.3.2.3. Refrigeració final i comprovació de estanqueïtat

Un cop ja tenim el nostre envàs en la forma final, es tornen a introduir uns conductes a dins de l'ampolla per refrigerar amb aire fred i assolir una temperatura propera a la temperatura ambient, de tal manera que l'envàs adquirirà les seves característiques necessàries de rigidesa, i evitar deformacions en el posterior procés de transport fins al mòdul d'envasat. També, en aquest punt, es fa una prova per comprovar l'estanqueïtat de l'envàs, injectant aire i mantenint-ho a dins amb una pressió determinada. Qualsevol forat a l'envàs, ja sigui per impureses a la mescla o per un problema de segellat, indicarà una variació de la pressió i l'ampolla es rebutjarà automàticament.

Tots els rebutjos de la màquina, així com les parts restants de l'envàs sense polir, seran transportats fins a un molí triturador, i aquest material reciclat es tornarà a processar en el procés d'extrusió.

### 2.3.2.4. Expulsió de la màquina

La darrera màquina selecciona les ampolles bones de les dolentes. Les dolentes, on s'hagi detectat algun defecte durant el procés de bufat, seran rebutjades cap a un transportador que les portarà al molí de trituració i al sistema de reciclatge, i les bones es conduiran cap a la següent estació del procés productiu.

## 2.4. Control de Qualitat del producte. Situació inicial

Un cop vista la descripció del procés de fabricació d'envasos plàstics, així com les principals característiques del material utilitzat, ara es descriurà el sistema de control de la qualitat existent en el procés.

La qualitat es mesura amb un sistema de control de qualitat basat en la detecció segons la taula 2.2. En una freqüència definida es realitzen els següents controls de qualitat:

- ✓ Pes: Necessari pel control de pes del producte final.
- ✓ Aparència de l'envàs: Pell de taronja, contaminació, rebaves, base bombada.
- ✓ Control de fuites: Acabat interior del coll que es per on fa contacte amb el con del tap, submergit en aigua.
- ✓ Test d'impacte: Es llencen les ampolles plenes d'aigua des d'una alçada d'un metre.
- ✓ Control de compressió: En un compressímetre.
- ✓ Mesura d'espessors de les parets. A set punt diferents de l'ampolla.



Prova de Qualitat	Freqüència	Quantitat
<b>Aparença</b>	Cada hora	Totes les cavitats
<b>Test d'impacte</b>	Cada hora	Totes les cavitats
<b>Fugues</b>	Cada hora	Totes les cavitats
<b>Pes</b>	Cada hora	Totes les cavitats
<b>Espessors</b>	Cada dia	Totes les cavitats
<b>Test de Compressió</b>	Cada dia	Totes les cavitats

Taula 2.2. Freqüència dels controls de qualitat

De tots aquests controls, hi ha dos sistemes que són d'obligat compliment des del punt de vista legal: el control d'impacte de les ampolles per requeriments legals, degut a que el contingut de l'envàs es considerat un producte irritant; i el pes que influeix en la tara del sistema de pes del mòdul d'envasat que també està cobert per requeriments legals.

Els resultats de qualitat y eficiència de la unitat de producció dels tres mesos anteriors a l'inici del projecte ens serviran com a base per a l'anàlisi dels resultats i l'assoliment dels objectius establerts:

		Defectes Ponderats per volum		<b>22766 ppm</b>			
		Defectes Totals		<b>193582 ppm</b>			
Equipo	Descripcion	Nº Muestras	Defectos Calculados (ppm)	Defectos observados (ppm)	Defectos Totales (ppm)	ppm Low Side	ppm High Side
Soplado	Apariencia	10560	0	21780	21780	0	0
	Fugas	10560	0	9754	9754	0	0
	Test de Caída	10560	0	23674	23674	0	0
	Test de Compresion	3520	90374	0	90374	90373	1
	Peso	10560	7364	0	7364	1	7363
	Espesores	3520	40636	0	40636	40059	577

Taula 2.3. Resultats de qualitat inicials





<b>Eficiència Global dels Equips (EGE)</b>		<b>77,5%</b>	
<b>PERDIDAS POR PARADAS NO PLANIFICADAS</b>	<b>8,39%</b>	<b>PERDUES PER DEFECTES</b>	<b>7,14%</b>
Sistema d'alimentació	0,78%	Test Caiguda	1,91%
Extrusora	1,57%	Compressió	0,36%
Formació d'ampolles	1,86%	Aparença	1,98%
Refrigeració i expulsió de rebaves	1,95%	Fugues pel Coll	0,77%
Sistema de Detecció de Porus	0,56%	Pes	0,89%
Sistemes d'utilitats (Refrigeració Aigua / Aire comprimit)	1,21%	Altres	1,23%
Sistema hidràulic	0,46%		
<b>PERDUES PER PREPARACIÓ D'EQUIPS</b>	<b>6,15%</b>	<b>PERDUES PER OPERACIÓ</b>	<b>0,82%</b>
Arrancades i parades setmanals	1,67%		0,21%
Arrancades després de Parades no planificades	3,23%		0,18%
Arrancades després de Parades planificades	1,25%		0,43%

Taula 2.4. Resultats de Eficiència inicials

Un cop descrit el sistema de control de la qualitat i els resultats actuals de defectes i eficiència, es determinen els costos associats:

- ✓ Cost de revisió o destrucció si s'escau, del producte final bloquejat per defectes de qualitat del producte final segons les dades del departament.
  - i. Cost de revisió i segregació dels productes bons dels dolents → 1.300 hores d'operari per any x 22,5 Euro/hr = 29.250 Euros.
  - ii. Cost de destrucció del producte definitivament dolent. En aquest cas s'inclou la mà d'obra per destruir el producte, la totalitat del cost del material d'envasat (Ampolla, Etiqueta, Caixa i tap) i un 20% del líquid durant el procés de destrucció (la resta es recicla) → 87.750 Euros.
- ✓ Mermes associades al producte intermedi per problemes de qualitat.
  - i. Envasos plàstics no recuperables → 30.000 Euros.
  - ii. Manegues de plàstic no reciclables generades després de cada arrancada i parada per motius de qualitat → 110.000 Euros.
- ✓ Cost associat a la carrega d'esforç humà per portar a terme els protocols de mostreig.
  - i. Un operari cada torn dedicat pràcticament al 100% a les inspeccions de qualitat → 120.000 Euros.



### 3. METODOLOGIA DE TREBALL E IMPLEMENTACIÓ

El principal objectiu del control de processos és la prevenció de defectes, contràriament al control de producte que es basa en la detecció de defectes un cop ja s'han produït. El control de producte vol assegurar que la variabilitat d'una característica del producte està dins dels límits d'especificació. Aquests límits es defineixen com USL (*Upper specification limit*) i LSL (*Lower specification limit*).

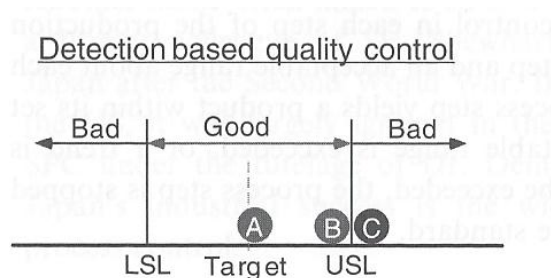
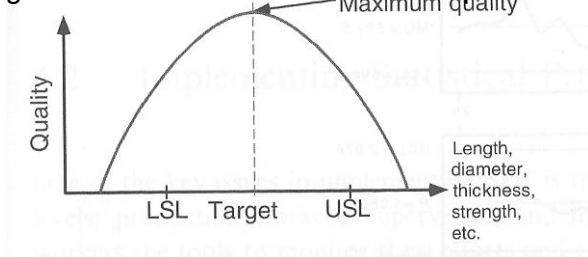


Fig. 3.1. Diferència entre el control de processos de qualitat i el control de producte



En una estratègia de control de la qualitat basada en la detecció, (Fig 3.1) el productes A i B son igual de bons, mentre que el producte C es dolent, tot i que B i C son més semblants que A i B. En canvi en un sistema basat en la prevenció (Fig 3.2) el producte A es de màxima qualitat, B es pobre, i C és dolent.

La principal eina en una estratègia de control de producte és l'acceptació d'un lot per la inspecció d'un determinat nombre de productes finals, però:

- ✓ Els protocols de mostreig no són capaços de trobar tots els defectes.
- ✓ Quan els productes dolents són identificats el mal ja està fet, i has de tirar enrere per acotar des de quin moment s'han produït productes defectuosos.
- ✓ La inspecció requereix moltes hores, per tant té un cost de personal molt alt.



En el millor dels casos el producte defectuós ha de ser reciclat per tal de recuperarlo, significat una pèrdua d'esforç humà important i un alt cost. En el pitjor dels casos, tot el lot ha de ser destruït.

El control de processos es basa en el control de la qualitat a cadascun dels passos del procés de producció. S'estableixen estàndards a cada pas i es determina un rang acceptable. Com que en cadascun dels passos de transformació el producte està dins del rang determinat, podem assegurar la qualitat del producte final. Quan un pas excedeix el seu rang o s'identifica una tendència que farà que s'excedeixi en un determinat temps, es corregeix a temps o es para el procés per tal d'ajustar-ho i tornar-ho al seu valor estàndard.

La implementació d'una estratègia de control de processos en una unitat de producció és un procés que requereix una quantitat de recursos considerable a l'inici, ja que suposarà un canvi en la cultura de l'empresa vers la qualitat dels productes. Aquesta metodologia proporcionarà eines per la millora de la productivitat de l'empresa i la reducció de pèrdues associades a la producció, però aquests objectius no s'assoliran o no seran sostenibles a mig termini si aquesta mentalitat no s'arrela a l'organització i a tots els nivells.

Per tant, el primer pas per a la implementació és la formació de l'organització a tots els nivells: operaris, mecànics/elèctrics, líders d'equip i responsables. El principal missatge que volem arrelar a l'organització és que l'estratègia de control de processos donarà als operaris les eines necessàries per monitoritzar els seus esforços i per millorar el producte que han de fer, donant alhora una major satisfacció a la seva feina.

Per als líders dels equips operacionals i del departament ens centrarem en una formació que proporcioni un coneixement profund de les eines de resolució de problemes per tal de donar *coaching* als seus equips en la interpretació i anàlisi de les dades disponibles.

L'objectiu final d'aquesta estratègia de Control de Processos és la millora del benefici de l'empresa, que clarament està lligat a la millora de la qualitat i de la productivitat. Els operaris disposaran d'eines per fer el seu treball de manera més fàcil i menys laboriosa, estant més involucrats dia a dia i amb l'objectiu de zero rebutjos i zero pèrdues.

Una de les principals causes de fracàs en la implementació és donar als operaris unes eines per trobar els problemes sense les facilitats per resoldre'ls. El fet de no ser capaços de resoldre'ls porta a la ineficiència del sistema i en molts casos a la frustració. Hi haurà cops que l'equip operacional podrà identificar els problemes, les causes bàsiques i resoldre'ls, però d'altres necessitarà de l'ajuda del management per tal de posar les contramesures necessàries. Per aquesta raó és clau un bon coneixement a tots els nivells.



Els passos a seguir en la implementació son els següents:

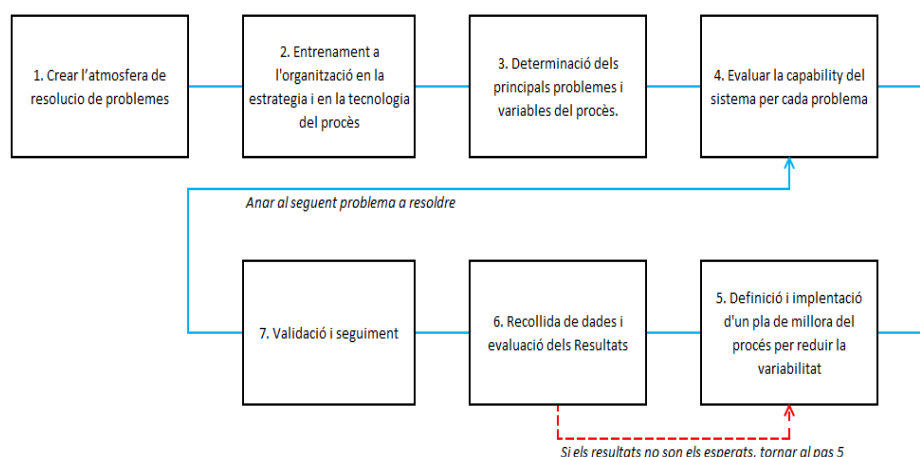


Fig. 3.2. Pasos d'implementació d'una estratègia de control de processos

### 3.1. Crear una atmosfera de resolució de problemes

Primer de tot, s'ha d'assegurar que tenim un ambient que permeti i encoratgi la resolució de problemes. Depenent del tipus de cultura que hagi arrelat a l'organització aquest pot ser un dels principals problemes. L'estratègia de control de processos que s'implementi ha de permetre la detecció dels problemes, però el que és més important és el reconeixement del problema per la gent apropiada i pels comandaments intermitjos, ja que poden pensar que el fet de reconèixer que el fet que diguin que hi ha un problema sigui considerat com una cosa negativa. El primer canvi cultural és encoratjar als operaris a que reportin els problemes.

En aquest cas, aquest ambient de resolució de problemes ja existia, especialment pel que fa a la millora de l'eficiència de la unitat. L'empresa té un sistema de millora continua basada en TPM (*Total Productive Maintenance*) i altres eines de resolució de problemes.

En concret existeix un sistema d'inspecció, neteja dels components crítics i lubricació dels equips en base diària, setmanal i mensual. A partir d'aquestes inspeccions, es detecten els problemes dels equips de producció, s'introdueixen al sistema de SAP PM i es planifica la seva resolució. Una altra via d'identificació de problemes és a través de les inspeccions de qualitat que es realitzen al productes un cop produïts en base horària. Tot i que en aquest cas això té un cost elevat ja que ja s'han consumit els recursos necessaris per la producció del producte (materials, gent, energia,...).

Pels problemes dels quals no es coneix la causa bàsica o aquesta no és de fàcil resolució s'estableixen equips de treball que inclouen persones de l'equip de supervisió, del



equip tècnic i operaris per a la determinació de la causa bàsica. En general, s'utilitzen eines de resolució de problemes descrites en TPM tals com anàlisi d'espina de peix, anàlisi causa-efecte i anàlisi perquè perquè.

La direcció de la fàbrica estableix un reconeixement d'aquests equips de treball per tal de fomentar la resolució de problemes, evitant que es facin canvis sense determinar la causa bàsica. En concret, el cap de departament i cap d'operacions fan revisions periòdiques incloent els resultats en les avaluacions anuals dels operaris, aquestes revisions determinaran possibles promocions o el nivell de la pujada salarial. A nivell de departament es selecciona la millora més important del mes i es dóna una targeta regal d'un centre comercial proper a la fàbrica d'un valor determinat. D'entre tots els departaments es selecciona la millor del mes a nivell de fabrica, la qual rep, per part del cap de planta, una altra targeta regal d'un valor mes elevat. Així mateix, es reconeix la feina feta a través de les visites del Cap de planta al departament o quan directores regionals visiten la fabrica, donant l'oportunitat als operaris a explicar el que han aconseguit.

### **3.2. Entrenament a l'organització en la estratègia i en la tecnologia del procés**

Un cop ens hem assegurat que l'ambient de treball és l'adient haurem de donar un entrenament a la gent involucrada en el procés. Aquest entrenament, com ja he comentat, s'ha de donar a tots el nivells organitzatius. L'entrenament ha de cobrir dues parts. La primera són els conceptes de control de processos i la segona la tecnologia específica del procés.

En el aquest cas, primer de tot es va centrar en millorar els coneixements del procés de les persones que operen la maquinaria. En concret es va estructurar l'equip tècnic del departament per tecnologies, és a dir es va identificar qui era la persona més adient per desenvolupar el material de formació per cada part del procés productiu. Per a cadascuna d'aquestes persones, es va traçar un pla de formació de detall que en alguns casos va incloure cursos de formació o benchmarking fora da la fàbrica. Es van det determinar 5 àrees / tecnologies principals:

- ✓ Materials: Visita a la fàbrica de Polietilè d'alta densitat del proveïdor a Bèlgica
- ✓ Sistema de transferència: Visita a la fàbrica que l'empresa opera al nord d'Itàlia, on tenen una extensa experiència en extrusió/injecció i modelat.
- ✓ Extrusió: Ídem.
- ✓ Sistema hidràulic: Ídem.



- ✓ Moldejat: Curs de formació a la fàbrica del proveïdor de motllos a Santa Coloma de Gramenet.
- ✓ Utilitats (Aire comprimit, refrigeració). Curs de formació amb el proveïdor dels equips de la Fàbrica (Atlas Copco i Carrier)

En un parell de mesos, aquestes persones havien desenvolupat els seus coneixements previs en la tecnologia que se'ls va assignar, i varen desenvolupar els materials de formació existents pels operaris i la resta de l'equip tècnic del departament. En paral·lel es va crear una secció al taller per poder veure i experimentar amb peces antigues de la màquina d'extrusió, així com aplicar els coneixement teòrics de la formació en tests pràctics, com per exemple circuits hidràulics o pneumàtics.

El pla de formació contenia dos nivells diferenciats, un més avançat per l'equip tècnic i el de supervisió i un altre pels operaris. Es va considerar que intentar anar massa al detall en conceptes tècnics amb els operaris podia ser contraproduent a aquest estadi. A mesura que es progressava en la implementació del SPC, aquests anirien millorant els seus coneixements del procés, i posteriorment es podia complementar la formació amb altres conceptes tècnics.

La formació es va estructurar en varies sessions per cadascuna de les tecnologies mencionades mes a munt. L'estructura era la següent:

- ✓ Conceptes teòrics principals de la unitat.
- ✓ Test pràctics al taller: En aquestes sessions s'experimentava amb peces reals, assemblatge de circuits hidràulics o pneumàtics, determinació de les mesures crítiques dels components.
- ✓ Test pràctics a les màquines del departament. Aquesta tercera part de la formació es va realitzar durant un període de baixa producció, i per tant es va poder treure de servei una de les màquines per tal de completar la formació adequada sense limitacions o pressions de producció.

Un cop es va completar aquesta fase de la formació del personal del departament, es va introduir el concepte d'estratègia de control de processos que es volia seguir per tal d'eliminar pèrdues de qualitat, material i esforç humà. Per aquest entrenament, es va redirigir una persona que ja havia implementat la mateixa estratègia a la fàbrica en un mòdul de fabricació diferent per poder formar a tots els empleats de la unitat de bufat.

Per tal d'evitar el fet que massa informació des del principi pogués distraure l'atenció del personal, es va optar per una formació d'un dia cobrint tres punts:



- ✓ Introducció de l'estratègia de control de processos. Fases de la implementació.
- ✓ Visita al l'altre mòdul de fabricació on la implementació ja s'havia completat. Compartir enfocament, situació inicial, procés d'implementació i resultats obtinguts. En aquest cas es va involucrar tant al responsable de la implementació com a operaris que havien participat durant la mateixa, per tal que els operaris veiessin els beneficis que tant l'empresa com ells mateixos podrien obtenir.
- ✓ Explicar el pla d'implementació a la unitat de bufat d'ampolles i els objectius fixats. Recollida d'idees per part dels operaris per a que la implementació doni els seus fruits.

Respecte als detalls de cada fase de la implementació es va decidir que s'explicaria sobre la marxa, a mesura que s'anava avançant, de tal manera que els operaris poguessin veure els fruits del pas anterior i d'aquesta manera avançar cap a la següent fase.

### **3.3. Determinació dels principals problemes i variables del procés**

En aquest tercer pas es poden utilitzar diversos mètodes per identificar i prioritzar els problemes existents. És important que els esforços de tothom es dirigeixin cap als principals problemes on hi pugui haver una millora de la qualitat i de la productivitat. Com es busca un canvi en la cultura de qualitat en l'organització, si escollim un problema molt petit, els beneficis no seran apreciats de manera significativa pels operaris.

Per tal d'aprofundir en el coneixement de la unitat i els seus equips, així, com començar a realitzar el treball d'identificació dels principals problemes de qualitat, s'utilitza una eina que s'anomena FMECA (*Failure Mode, Effect and Causes Analysis*). Aquesta eina s'ha emprat també com a sessió de brainstorming per tal d'aconseguir la involucració de tothom, operaris, supervisor i management.

El FMECA consta de dues parts:

- ✓ Identificació: Consisteix en desenvolupar un llistat de tots els equips que intervenen en el procés de fabricació d'ampolles, la funció que desenvolupen, i el tipus de fallades que es poden produir. Després es considera l'efecte que poden tenir en l'unitat o en el nostre producte final. En aquest anàlisi no es limitarà als defectes de qualitat, si no que també s'inclouran altres tipus de fallos que afecten a la eficiència de la unitat, i que han de servir per



a millorar la productivitat global de la unitat. D'aquesta manera tothom que treballa en la unitat coneix les conseqüències d'un mal disseny, operació o manteniment dels diferents components.

- ✓ Priorització. En aquesta es determinaran quins són les primeres fallades que intentarem eliminar. Per a tal efecte, s'utilitzarà un mètode que s'anomena RPN (*Risk Prediction Number*). Aquest índex combina tres factors principals.
  - Probabilitat: Es la freqüència en la que trobem aquest mode de fallada.
  - Severitat: L'impacte que pot tenir si es produeix aquest mode de fallada.
  - Detectabilitat: La facilitat per detectar aquest mode de fallada.

Un cop ja tenim puntuat sota aquests criteris l'arbre de fallades, ara ja es poden determinar els principals problemes a atacar.





Component/ System	Function	Failure Modes	Causes	Effects	S	L	D	RPN	Recommendations Actions/Resp	
GRINDER	Cutting plastic in small pieces	No cutting	Mechanical breakdown	Line downtime	8	1	8	64		
			Electrical breakdown	Line downtime	8	1	8	64		
			Foreign materials in mix	Line DT + Q-issue	7	4	7	196	TT&T operators-startup mngr	
			Jam	Line DT	4	4	7	112	TT&T operators-startup mngr	
		Bad cutting	Settings	Line DT	3	1	7	21		
			Wear	Line DT	3	2	4	24		
			Too many bottles returned	Line DT	7	4	7	196	TT&T operators-startup mngr	
FAN	Transport plastic	No transport	Mech. Breakdown	Block grinder	4	2	7	56		
			Too high temp	Block grinder	4	2	7	56		
			Overload grinder	Block grinder	4	2	7	56		
Mixer	Mix 3 raw plastics in correct and constant balance	No mixing	No material	Line DT	8	2	1	16		
			Electrical breakdown	Line DT	8	5	8	320	Prev. maint./spare parts - rel.mngr/proj.mngr	
			Mechanical breakdown	Line DT	8	1	8	64		
		Less mixing	Not enough capacity	Quality issue	3	1	3	24		
			Wrong settings	Quality issue	7	4	8	224	TT&T operators & techn.-startup mngr/supplier	
		Not correct mix	Too much recycled product	Quality issue	7	4	8	224	System to control recycled plastic- Proj.mngr	
Defective material supply	Quality issue		8	1	8	64				
Aspirator	Feed product from mixer to extruder	No feeding	Vacuum breakdown	Machine DT	6	1	8			
			Material blockage	Machine DT		0	0			
			Electrical breakdown	Machine DT	6	2	8			
		Less feeding	Holes in pipe	Machine DT	6	1	8	48	Aluminium curves no flexible	
			Material blockage	Machine DT		0	0			
			Wrong settings	Machine DT	5	1	7	35		
Full filter	Machine DT	6	1	7	42					
Extruder	Melt plastic and feed to extrusion head	No melting	Heating elements breakdown	Machine DT + Q	6	1	8	48		
			Material characteristics	Machine DT + Q		0	0			
			Less melting	Heating settings	Machine DT + Q	4	1	7	28	
				Settings	Machine DT + Q	4	2	7	56	
		Too much melting	Material characteristics	Machine DT + Q		0				
			No feeding	Mechanical breakdown	Machine DT	8	2	8	128	Prev. maintenance/spare parts - startup mngr/rel. mngr.
		Electrical breakdown		Machine DT	6	1	8	48		
		Material blockage		Machine DT	5	1	8	40		
		Less feeding	Settings/alignment	Machine DT + Q	1	2	8	16		
			Material characteristics	Machine DT + Q	2	5	8	80		
Mechanical wear	Machine DT + Q		8	1	8	64				
Electrical problems	Machine DT + Q		5	2	8	80				
Extrusion head	From straight parison with right thickness	Not straight	Settings/alignment	Machine DT + Q	3	6	5	90	TT&T operators & mechanics- start-up mngr.	
			Material characteristics	Machine DT + Q	4	8	5	160	Quality check on incoming material-dept.mngr.	
			Dirt	Machine DT + Q	4	2	5	40		
			Wear	Machine DT + Q		0				
			Electrical malfunction	Machine DT + Q	3	1	8	72		
		Not right thickness	Not correct parison profile	Not enough bottle strength	8	1	5	40		
			Not enough dots points	Too much plastic	8	1	5	40		
			Material characteristics	Machine DT and Q		0	0			
			Mechanical wear	Too much plastic/ Q problem	4	3	4	48		
			Mechanical settings	Too much plastic/ Q problem	4	2	5	40		
Electronic settings	Too much plastic/ Q problem		0		0					



Mould	Form the shape of the bottle and cooling	Not correct shape	design mistake	Machine DT + Q	8	2	4	64	Check at Magic EPD/Techn. Pack	
			temperature change	Machine DT + Q	4	1	1	4		
			Material characteristics	Machine DT + Q	4	6	5	120	Quality check on incoming material-dept.mngr.	
			Not enough pressurized air	Machine DT + Q	8	2	5	80	Install 8 bar	
			Dirty extrusion head/mould	Machine DT + Q		0		0		
			Incorrect screw speed	Machine DT + Q	2	1	2	4		
		No cutting	Hydraulic failure	Machine DT + Q						
			Mechanical failure	Machine DT + Q	8	5	8	320	TT&T and Prev. maintenance-startup mngr/dept. mngr	
			No cooling caused by Chiller	Machine DT + Q	8	2	8	128	Cooling system upgrade + prev. maintenance	
		Less cutting	Insufficient cooling	Q-issue	8	5	8	320	Cooling system upgrade + prev. maintenance	
			Calc forming	Q-issue	4	2	8	64		
			Mechanical settings	Q-issue	8	5	8	320	TT&T operators	
			Mechanical wear	Q-issue	5	5	8	200	Prev. maintenance	
			not enough water	Q-issue		0		0		
		Material characteristics	Q-issue		1		1			
Cooling station	Cool down bottle to X temp.	No cooling	No compressed air	Q issue	8	2	5	80		
			Mechanical breakdown			0		0		
			Air nozzles defect			0		0		
		Less cooling	Insufficient air			0		0		
			Nozzles dirty			0		0		
			Settings			0		0		
Deflashing system	Separate flashes from the bottle	No separation	Mechanical breakdown	Machine DT +Q issue	6	1	8	48		
			No cooling	Machine DT +Q issue	6	2	5	60		
		Less deflashing	Not enough cooling in mould	Q issue	6	2	5	60		
			Electrical breakdown	Q issue	4	1	8	32		
			Mechanical wear	Q issue		0		0		
			Settings	Q issue	6	1	8	48		
Bottle discharge	Move bottle to conveyor	No movement bottle	Mechanical settings	Machine DT		0		0		
			Bad bottle shape	Machine DT	4	4	8	128	TT&T operators	
Pneumatic bottle conveyors	Transport bottles	No transport	Mechanical settings	Line DT		0		0		
			Bottle design	Line DT	8	5	8	320	Plant involvement before aproval	
			Flashes	Line DT	8	8	8	512	Pneumatic conveyor upgrading	
			Cleasng air fan	Line DT	7	2	8	112	Prev. maintenance	
			Bad shaped bottle	Line DT						
Belt conveyors under machines	Transport bottles and flashes	No transport	Belt breakage	Line DT	8	1	5	40		
			Mechanical breakage/wear	Line DT	8	3	8	192	Prev. maint.- Reliability mngr	
		Less transport	Capacity of belt conveyor insufficient	Line DT	6	1	1	6		
			Blockage	Line DT	6	4	5	120	Prev. Maint.	
Leak testing	Reject bottles with holes	No rejection	Electrical breakdown	Q-issue +Packing DT	8	1	8	64		
			Mechanical settings	DT		0		0		
			Electrical settings	Q-issue +Packing DT	6	2	8	96	TT&T	
			Bottle blockage	DT	3	3	5	45		
Bottle surge to packing	Transport bottles to packing	No transport	Bottle shape			0		0		
			Mechanical breakdown	Stop all departmental blowers	10	1	8	80		
			Electrical breakdown	Stop all departmental blowers	10	1	8	80		
		Less transport	Not enough capacity			0		0		
Bottle shape				0		0				

Taula 3.1. FMECA de la unitat de bufat en estudi



Aquest primer exercici ha servit per aprofundir els coneixements dels diferents equips del procés productiu, i a identificar possibles causes bàsiques dels problemes de qualitat que més endavant poden ser la clau d'alguns dels principals defectes de producte.

En aquest cas ens centrarem tan sols en els modes de fallada que causaran un problema de qualitat, tot i que l'organització de producció utilitzarà aquest exercici per variar l'estratègia de manteniment així com per buscar millores que redueixin el risc del mode de fallo (per exemple, posant un sistema de detecció).

A continuació, es va passar a prioritzar els defectes de qualitat procedents de la unitat:

1) Defectes d'aparença:

- ✓ Pell de taronja. La superfície de l'ampolla té una textura rugosa, com si es tractés d'una taronja.
- ✓ Rebaves: Part dels sobrants de les ampolles no han estat retirats en el procés de desbarbat.



Fig. 3.3. Exemples de productes amb rebaves

- ✓ Color: Ens podem trobar dos casos. El primer que hi hagi traces d'un color diferent, i el segon que el nivell de colorant no sigui l'adequat, i les ampolles siguin més transparents que l'estàndard.
- ✓ Abonyegades. Per impactes mecànics en la formació de l'ampolla o entre diferents ampolles durant el seu transport.

2) Fuites de producte:

Aquestes es produeixen quan el tap no tanca completament l'ampolla i es produeixen pèrdues de líquid quan l'ampolla està en posició horitzontal o boca avall. La part més important és l'acabat interior del coll de l'ampolla, que és el que facilita la obturació juntament amb el con del tap.

3) Trencament per caiguda:

Les ampolles han d'estar dissenyades per suportar una caiguda des de l'estanteria del supermercat, en cas que es produís. La trencadissa es pot produir de dues maneres:

- ✓ Per la junta d'unió dels dos motllos



✓ Per un altre punt de l'ampolla

4) Deformació per compressió:

L'ampolla juntament amb la caixa de cartró han de suportar el pes de la resta del pallet que tenen a sobre.

5) Porus:

Durant el procés de formació de l'ampolla es poden produir forats en la superfície de l'ampolla per diversos raons, entre les quals podem trobar la contaminació de la mescla.

Ara es torna a utilitzar el mètode de RPN per prioritzar-los. En aquest cas els criteris els hem definit per tal de satisfer les necessitats de l'empresa.

1) Probabilitat:

Primer de tot s'ha utilitzat l'històric de dades dels sistemes de qualitat de la planta així com de les inspeccions periòdiques que es realitzen als supermercats de la zona per veure les condicions del producte abans de ser adquirit pel consumidor. Amb aquestes dades crearem un Anàlisi de Pareto per determinar el factor de probabilitat.

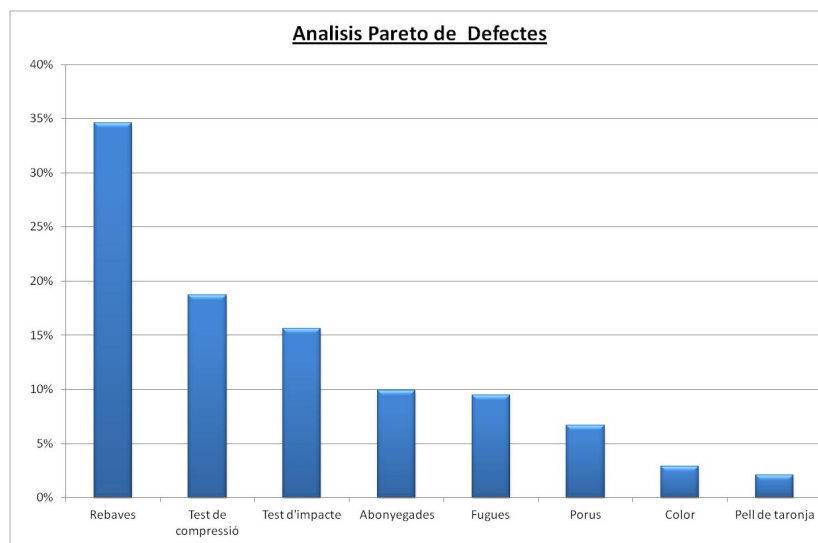


Fig. 3.4. Anàlisi de Pareto de recurrència de defectes

2) Severitat

Per aquest factor s'ha considerat l'impacte que causarien els diferents defectes de qualitat a tres nivells, involucrant les persones adients de l'empresa:



- ✓ Impacte a la línia d'envasat. Aquest era el més fàcil de determinar ja que les línies de producció es troben a uns 50 metres de distància i existeixen sistemes de comunicació entre ambdós mòduls així com la reunió diària de producció on es discuteixen tots els problemes de la cadena de suministre.
- ✓ Impacte als clients. En aquest cas es va posar en contacte amb el departament de *Customer service and Logistics* que es troba a les oficines centrals d'Espanya de l'empresa. Ells tenen els coneixements del procés de recepció de productes i distribució pels diferents canals arreu de l'estat.
- ✓ Impacte sobre els consumidors. Es va convidar a l'*Assistant Brand Manager* de la categoria a que vingues a la fàbrica per tal d'ajudar a l'equip en la valoració i per veure quin impacte podia tenir cada defecte en la intenció de compra així com a la imatge de la marca.

Defecte	Línea d'envasat	Clients	Consumidors
Pell de taronja	Nul	Nul	Baix impacte en la compra. Dificilment perceptible pel consumidor
Rebaves	Multiples parades	Mig - Pot dificultar la manipulació.	Impacte mig en la decisió de compra. Visible pel consumidor.
Color	Nul	Nul	Baix impacte en la compra. Dificilment perceptible pel consumidor
Abonyegades	Multiples parades	Mig - Pot dificultar la manipulació degut a l'estabilitat de l'ampolla	Impacte mig en la decisió de compra. El consumidor asumeix que l'ampolla pot haver-se caigut
Test de compressió	Important - Problemes de qualitat en el sistema de taponat	Molt Alt - Pot afectar a la estabilitat del pallet i provocar el colapse	Alt impacte en la decisió de compra. L'ampolla està deformada i en la majoria de casos acabarà trencat pel punt més dèbil.
Test d'impacte	Nul	Alt- Pot suposar problemes en la reposició. A més es un requeriment legal.	Alt impacte en la decisió de compra i a més és un requeriment legal. En el cas que una ampolla caigues i no aguantés, el consumidor dificilment tornaria a confiar en la marca
Fugues	Nul	Mig- Les ampolles tan sols poden fugir en la posició horitzontal, que es la menys probable en els clients.	Alt impacte en la decisió de compra. Es habitual apropar-se les ampolles a la roba per mirar el detall del preu o de l'etiqueta. A més en el transport amb el cotxe és habitual que les ampolles acain tombades. En el cas que una ampolla fugués, el consumidor dificilment tornaria a confiar en la marca
Porus	Mig- El líquid s'anirà perdent per tot el departament poden ocasionar problemes de seguretat i manteniment	Alt- El pallet arribarà al client en males condicions, podent provocar caigudes dels pallets	Important - El consumidor no comprara l'ampolla, però n'agafarà un altre ja que el defecte es visible.

Taula 3.2. Anàlisi de la severitat dels defectes de bufat

### 3) Detectabilitat

En aquest criteri es valorarà la facilitat de detectar aquest defecte abans que el producte surti de la iniat, bé per sistemes de detecció, per observació durant el procés de fabricació o bé per tal que les conseqüències siguin visibles (per exemple,



un forat a l'ampolla deixaria un rastre de líquid en la unitat d'envasat un cop plena). En aquest cas, alguns defectes es poden detectar directament a la unitat de bufat d'ampolles, a les línies d'envasat o bé en la carrega del camió. Un cop passa aquests filtres el producte anirà als clients i posteriorment als consumidors. La classificació dels defectes de qualitat quedarà de la manera següent:

Defecte	Línia d'envasat	Mètode de detecció existent
Pell de taronja	Baix	Practicament imperceptible a la velocitat de la línia
Rebaves	Alt	Provocarà parades en la línia. Hi ha sistemes de visió que permeten detectar-ho. Algunes concretes no les podrà detectar
Color	Baix	Practicament imperceptible a la velocitat de la línia
Abonyegades	Mig	Pot provocar parades. El defecte es visible
Test de compressió	Baix	Defecte no visible fins que es sotmes a pes prolongat
Caiguda	Baix	Defecte no visible fins que caigui una ampolla
Fugues	Baix	Defecte no visible, les fugues es produeixen amb el temps i l'ampolla ha d'estar en posició horitzontal o boca avall
Poros	Alt	Es veurà les restes de producte pel terra i màquines. A mesura que perdi líquid, es molt probable que provoqui alguna parada

Taula 3.3. Anàlisi de la detectabilitat dels defectes de bufat

Amb aquest anàlisi individual, ja podem crear la taula de prioritització que combinarà l'efecte dels tres criteris, la probabilitat, severitat i detectabilitat del defecte.

Defecte	Severitat	Probabilitat	Detecció	Factor RPN
Test d'impacte	10	7	10	700
Test de Compressió	9	7	10	630
Fugues	9	5	10	450
Rebaves	5	10	5	250
Abonyegades	5	5	5	125
Porus	7	3	3	63
Pell de taronja	1	1	10	10
Color	1	1	10	10

Taula 3.4. Anàlisi RPN dels defectes de bufat

En aquest projecte, varem prioritzar, es va centrar en les 4 primers problemes.

Per tal de lligar aquests defectes de qualitat amb els paràmetres del procés que els afecten, s'utilitzarà una eina que s'anomena QX Matrix. Aquesta matriu lliga els defectes de qualitat, amb les variables de procés i després amb els components o punts de transformació i els seus paràmetres.









A continuació es treballarà cadascun dels problemes esmentats en aquest apartat individualment. Començant pel més important, i un cop s'ha solucionat aquest es repetiran els passos següents 4 a 7, que es descriuen a continuació per cadascun dels problemes que es volen resoldre.

### 3.4. Portar el procés sota control

En aquest pas s'ha d'aconseguir tenir el sistema sota control amb totes les condicions predeterminades. Aquestes condicions normalment es poden agrupar en les següents categories.

- ✓ Mà d'obra
- ✓ Màquina
- ✓ Material
- ✓ Mètode

Aquest tipus d'anàlisi es coneix com a diagrama de Ishikawa o de les 4M, que denoten les inicials de les quatre categories. El problema que es vol estudiar s'escriurà a la dreta, i aleshores es llistaran les principals condicions que afecten al procés agrupades en les quatre categories que s'han mencionat més amunt. Per cadascuna d'aquestes condicions, s'afegiran els detalls que contribueixen a cada condició.

Un cop el procés s'ha portat sota control, s'ha de determinar si les característiques dels productes individuals aconsegueixen els requeriments de cadascuna de les especificacions del producte. Els límits d'aquestes especificacions es defineixen per un màxim, USL (*Upper specification limit*) i un mínim, LSL (*Lower specification limit*).

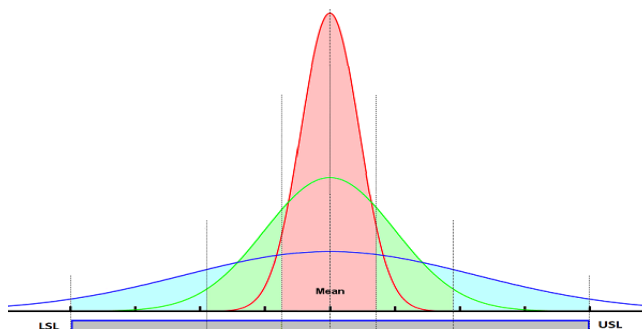


Fig. 3.6. Diferents distribucions de campana de Gauss



Si la variabilitat del producte actual és menor a l'ample de l'especificació (Corba Vermella i Verda de la gràfica inferior), el procés de fabricar el producte es considera apte. En el cas que la variabilitat sigui major que l'ample de l'especificació (corba Blava) el procés es considera com no apte.

En aquest darrer cas, en algun moment es produiran productes no conformes amb les especificacions, el que implicarà rebutjos o reproçès del producte. Amb la qual cosa, en un procés no apte i s'han de prendre accions correctives.

En el nostre cas, tindrem característiques del producte que mesurarem com a atribut i d'altres com a variables. Un atribut és una característica del producte que només es pot descriure de manera binària (per exemple: Producte conforme o Producte no conforme). Contraposat a això, existeixen les variables, que són dades que descriuen una característica del producte en un escala continua.

Tots els processos estan sotmesos a una variabilitat. En general, es distingeixen dos tipus de variabilitat:

- ✓ Per causes comuns
- ✓ Per causes assignables

Una causa comuna és una font de variabilitat que és inherent o natural deguda al procés. També es coneixen com a causes naturals o aleatòries. Per exemple, en el cas de la extrusió, les causes comuns podrien ser la temperatura ambient, l'humitat relativa, etc...

L'efecte d'una causa comú és típicament lleuger. Normalment aquestes causes influeixen totes les dades d'una manera similar, és a dir, són estables i el patró d'aquestes causes comunes és previsible.

En canvi, una causa assignable és una font de variabilitat que no és inherent al procés però que té una raó identificable. També es coneixen com a causes esporàdiques o especials. Exemples d'aquest tipus de causa en extrusió seria el desgast del cargol extrusor, per exemple.

En aquest cas, l'efecte d'una causa assignable pot ser important. En general una gran part de la variació total pot ésser atribuïda a una única causa assignable. Aquestes influeixen algunes o totes les dades de manera similar, ja que no són estables i el seu efecte és imprevisible.

Per tal de reduir la variabilitat del procés primer ens centrarem en la variabilitat deguda a causes assignables, ja que aquestes generalment tenen un efecte molt més important en la variabilitat total i també en general són més fàcil d'eliminar.



### 3.5 Implementació d'un pla de millora del procés

En aquest punt s'han de determinar quines són les millores a implementar per tal de millorar el procés reduint la variabilitat del producte, això voldrà dir la modificació d'alguna de les condicions afectant el procés (les 4 M's).

### 3.6 Recollida de dades y avaluació dels resultats

Un cop hem realitzat els canvis en el procés s'ha de recollir les dades per tal d'avaluar els resultats d'aquestes millores, i si s'escau repetir aquests passos fins que el procés sigui capaç, és a dir, fins que el producte assoleixi els requeriments de forma consolidada.

### 3.7 Validació i seguiment

Finalment es donaran per validats els paràmetres i variables que ens serviran per controlar el procés en continu, posant en marxa o actualitzant els sistemes de seguiment en continu per assegurar la continuïtat dels resultats obtinguts. En el cas que ens ocupa es van definir tres nivells diferents de seguiment dins de l'estratègia de control de processos:

- **Nivell 0:** Basat en alarmes en temps real que indicaran que es requereix una acció immediata per part de l'operador. Un exemple en el nostre cas seria si la pressió d'aire baixa sobtadament per sota d'un límit determinat.
- **Nivell 1:** Adquisició y anàlisi periòdica de dades de manera automàtica o introduïdes manualment per l'operador que indicaran la necessitat d'una intervenció a curt o mig termini. Per exemple la temperatura en una àrea determinada li costa cada cop més arribar a la temperatura de treball, pot indicar que hi ha un problema amb una resistència.
- **Nivell 2:** Realització de reports en base mensual o bimensual que indicaran la salut del sistema i la necessitat d'accions a llarg termini.

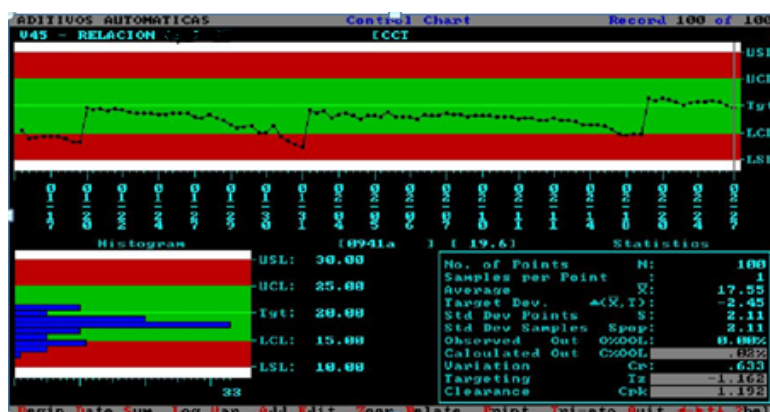


Fig. 3.7. Exemple de gràfic de control d'un paràmetre de qualitat



Dpto:	XXXXXX																					
Owner:	XXXXXX																					
<b>Diciembre'03 - REPORTE MENSUAL - SISTEMA MATERIAS PRIMAS</b>																						
<b>%COMPLIANCE CALIDAD MP:</b>															<b>88%</b>							
<b>% PROVEEDORES con Certificado de Analisis:</b>															<b>67%</b>							
<b>% PROVEEDORES con Certificado de Analisis completo:</b>															<b>67%</b>							
<b>Codigo</b>	<b>Materias Primas</b>	<b>Proveedor</b>	<b>Variables</b>	<b>Cr (Máx=0.5)</b>	<b>Cumple Cr?</b>																	
XXXXXXXXXX	Polietileno	XXXXXXXX	Densidad	0.40	Y	1 = Y; 0 = N																
XXXXXXXXXX	Polietileno	XXXXXXXX	Melt flow rate	1.78	N	1																
XXXXXXXXXX	Masterbatch blanco	XXXXXXXX	%Humedad	0.41	Y	0																
XXXXXXXXXX	Masterbatch blanco	XXXXXXXX	Densidad	0.04	Y	1																
XXXXXXXXXX	Masterbatch blanco	XXXXXXXX	TiO2	-0.06	Y	1																
XXXXXXXXXX	Masterbatch blanco	XXXXXXXX	Delta-L	0.15	Y	1																
XXXXXXXXXX	Masterbatch blanco	XXXXXXXX	Delta-a	0.28	Y	1																
XXXXXXXXXX	Masterbatch blanco	XXXXXXXX	Delta-b	0.12	Y	1																
																		<b>Total</b>	<b>8</b>			
																		<b>f =</b>	<b>7</b>			
																		<b>% =</b>	<b>87.5</b>			
<b>COMENTARIOS GENERALES:</b>																						
acción "urgente": Contactar con XXXXXXXX para asegurar que se reciben el 100% de los Certificados de Analisis																						

Fig. 3.8. Exemple de report de nivell 3 – Llarg termini

Un cop solucionat un problema i posats en marxa els sistemes èer prevenir aquest defecte un altre cop, aleshores es passarà a treballar i establir l'estratègia de control del següent problema que ja s'ha identificatr enteriorment, identificat.



## 4. APLICACIÓ ALS PRINCIPALS PROBLEMES DEL MÒDUL DE PRODUCCIÓ

### 4.1. Trencament de l'envàs al test de caiguda

En el aquest cas, tal com s'ha vist en els apartats anteriors, el principal problema a atacar era el trencament de l'envàs per la soldadura quan es realitzaven les proves de caiguda. Aquest requeriment, degut al risc que comporta el producte, és un requeriment legal, amb la qual cosa cada cop que el test falla es té que apartar el lot de producció anterior per realitzar més tests i separar les ampelles afectades.

Primer de tot, es va realitzar l'anàlisi 4M per tal d'assegurar que totes les condicions que afecten a la soldadura estaven sota control:

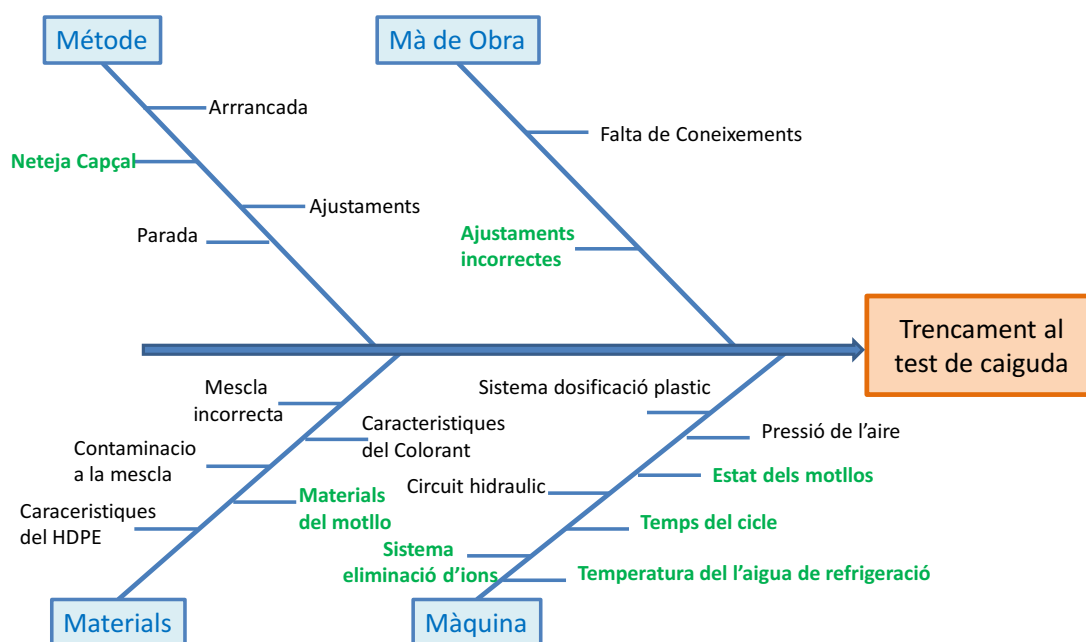


Fig. 4.1. Anàlisi de 4M per trencament de l'envàs al test de caiguda

Fent aquest anàlisi i comprovant totes les coses que poden influir en aquest mode de fallada (marcades en verd al diagrama), es va descartar les àrees que s'hi que estaven en condicions òptimes de treball i els paràmetres que estaven sota control i es va determinar que teníem que treballar en les següents àrees:

- ✓ Sistema de refrigeració



- i. Assegurar que el sistema estava en condicions bàsiques de funcionament. Es va sol·licitar un manteniment addicional i es varen solucionar els defectes que es van detectar. Addicionalment, donat que els equips eren bastant antics es va augmentar la freqüència del manteniment planificat i es va contractar un servei de manteniment periòdic amb el proveïdor per assegurar el bon funcionament.
  - ii. Determinar les temperatures màximes i mínimes que es tenen que assegurar en tot moment per un correcte funcionament del procés.
- ✓ Revisar el compliment dels paràmetres d'ajust del procés
    - i. Fer un estudi de cicle i comparar-ho amb les dades originals de disseny de la màquina per veure si hi havia alguna diferència.
    - ii. Comprovar les velocitats dels moviments del motllo.
  - ✓ Comprovar l'alineament del motllo i de les diferents parts de la màquina
  - ✓ Estandarditzar les eines i mètode de neteja del capçal.
  - ✓ Comprovar l'estat del motllo de bufat i les seves mesures crítiques del motllo vers a l'especificació.

Es varen realitzar totes les accions esmentades mes a dalt, i es van restaurar les condicions bàsiques en tots els components. En el cas del motllo, es va cridar un expert en motllos i ens va comentar que les mesures crítiques estaven encara dins d'especificacions mínimes, però bastant al limit i que a mes el motllo era bastant antiquat, ja que ara mateix es treballava amb materials de construcció diferents i amb reforçaments de coure a les zones crítiques que donaven un millor rendiment en el tall i la soldadura. La seva recomanació va ser d'invertir en nous motllos, però que primer provéssim si la resta de canvis realitzats eren suficients per eliminar els problemes que teníem, ja que els nous motllos seria una inversió molt important, al voltant de 200.000 Euros.

Arribats a aquest punt es va decidir fer dos accions en paral·lel. Primer de tot posar-nos en contacte amb el nostre proveïdor de motllos i demanar un disseny amb les recomanacions de l'expert i la seva valoració. Això trigaria un parell de setmanes, i en el cas que ho volguéssim tirar endavant hauríem de demanar el capital necessari a la matriu de la companyia, i fabricar-los. Tot el procés trigaria uns dos mesos per tenir el primer set de motllos. En paral·lel, com el motllo encara estava dins del rang d'especificacions original, es va decidir fer un estudi per veure si les ampelles encara patien del defecte esmentat o si amb els canvis que havíem realitzar havíem aconseguit reduir el nivell de defectes al nivell desitjat.



Donat que en aquest cas, el trencament de l'ampolla per la soldadura es d'un atribut i no pas d'una variables, es va decidir seguir fer una prova que es diu Cumulative acceptance Test o SPRT (Sequential Probability Ratio Test).

Aquesta eina considera el ratio de probabilitat com a una funció del nombre d'observacions. L'objectiu d'aquesta eina es determinar quina de les dues hipòtesis plantejades es la correcta amb el menor numero de mostres estadísticament acceptable. Per això defineix dos líndars, un líndar pel qual s'accepta la hipòtesi i un altre pel qual es rebutja. Mentre no es creui cap d'aquests líndars ens mantindrem en la zona d'indiferència i haurèm de prendre mes observacions per tal de determinar si la hipòtesi es certa o no. Això es pot visualitzar en el següent gràfic.

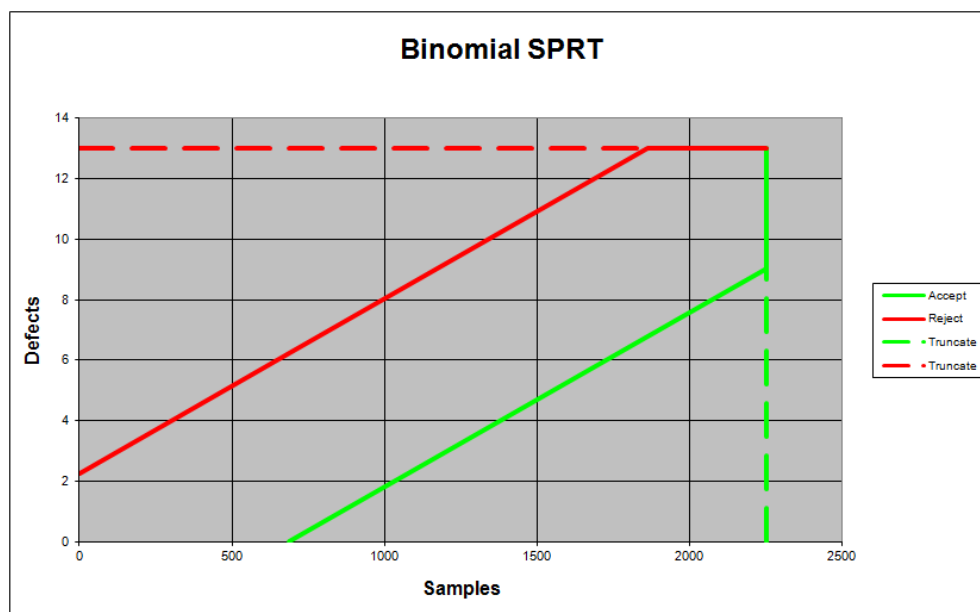


Fig 4.2. Gràfic de representació de resultats d'un test de SPRT

Quan la nostra gràfica amb dades reals d'observacions sobrepassi la línia verda, donarem la hipòtesi com a certa i si sobrepassa la vermella voldrà dir que no ha passat el test.

Ens varem marcar un objectiu en línia amb les expectatives de l'empresa a nivell de qualitat per aquests tests d'atributs. En concret el disseny de la prova era per aconseguir un objectiu de 4000ppm (0,4%) amb una confiança del 95%. Per aconseguir això havíem de testear 863 ampolles sense cap defecte, fins a 13 defectes en 2825 mostres. A continuació podem trobar els resultats de la prova.



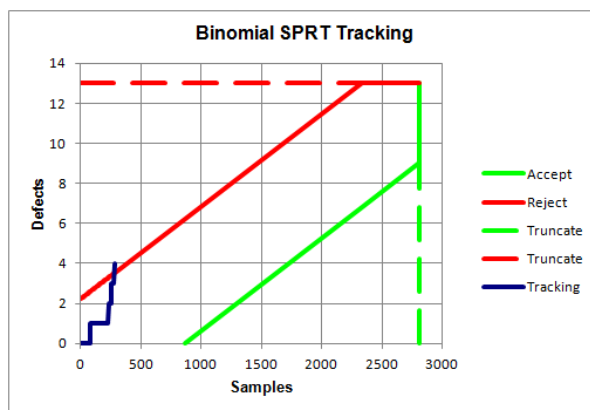


Fig 4.3. Gràfic de resultats del test SPRT inicial de trencament per caiguda

Com podem veure es va comprovar que no complia els mínims requeriments. El següent pas era fer una prova a la mateixa màquina amb un set de motllos nous per un dels bufadors i provar un altre cop si el procés havia millorat.

El procés de demanar els nous motllos va trigar al voltant dels 2 mesos previstos per, així que es va aparcar aquest problema en aquest punt i mentrestant es va continuar millorant els sistemes de la unitat i treballar en altres millores d'eficiència.

Un cop va arribar el primer set de motllos nous, es va fer la instal·lació i els ajustos pertinents a una de les màquines..

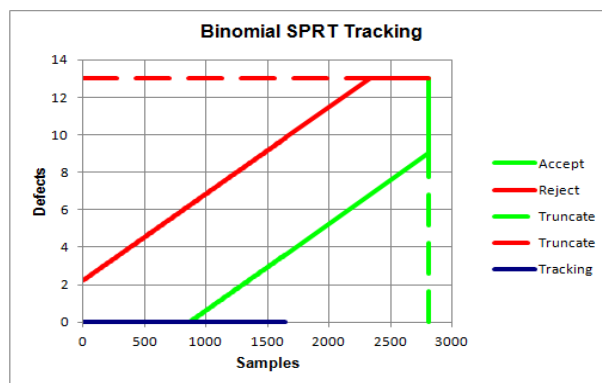


Fig 4.4. Gràfic de resultats del test SPRT de trencament per caiguda amb motllos nous

Com es pot comprovar a la gràfica, amb els motllos nous va passar la prova amb zero defectes. Com igualment ja havíem produït més ampolles del compte per si alguna fallava, es va continuar fent proves tot i ja haver complert amb la hipòtesi d'acceptació de la prova per assegurar-nos que la solució era robusta abans de fer una inversió tan important com canviar tots el motllos de la unitat. En concret varem arribar a simular el test per





aconseguir un objectiu de 2000 ppm (0,2%) amb un 95% de confiança, molt més agressiu que el que havíem dissenyat originalment.

Després d'aquesta prova es va tenir un període de validació d'un mes dels nous motllos i dels paràmetres d'ajust i variables de control que havíem determinat com a crítiques per evitar aquest problema, i en tot aquest període no va haver-hi cap problema de qualitat en relació amb la soldadura de l'envàs a la part inferior. Amb aquestes dades es va tirar endavant amb la millora a totes les màquines de la unitat.

En quant a l'estratègia de control es va implementar noves alarmes de "nivell 0" i gràfics de control de "Nivell 1" segons la descripció que he mencionat en l'apartat 3.7. En concret, en aquest cas es va monitoritzar en temps real i les tendències de paràmetres com:

- Temperatura de l'aigua de refrigeració a l'entrada del bufador
- Temps de tancament del motllo, tant en la fase de tancament ràpid com en la fase d'ajust fi en el tancament, un cop els motllos ja estan molt propers.
- Temps de pujada i baixada dels motllos, que determinaran la llargada de la mànega de plàstic
- Pressió al capçal de l'extrusor.
- Pressió d'aire e hidràulica del sistema.

Per facilitar aquesta informació es van implementar dues eines:

- Monitorització en continu a través d'un software específic per monitoritzar a l'ordinador les senyals de PLC (InTouch de Wonderware).

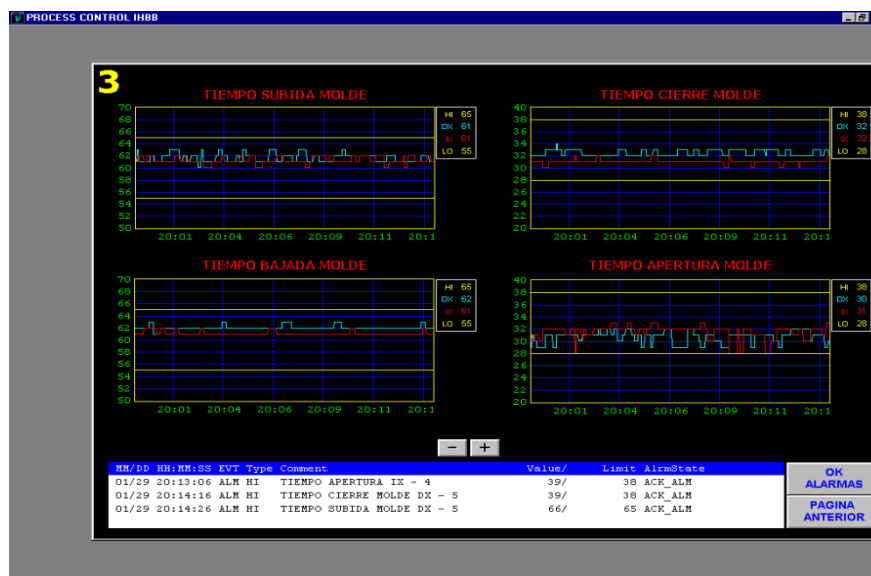


Fig 4.5. Pantalla de control i monitorització dels paràmetres crítics del bufador



- Quality windows per l'avaluació de tendències a mig termini, per exemple setmanalment.

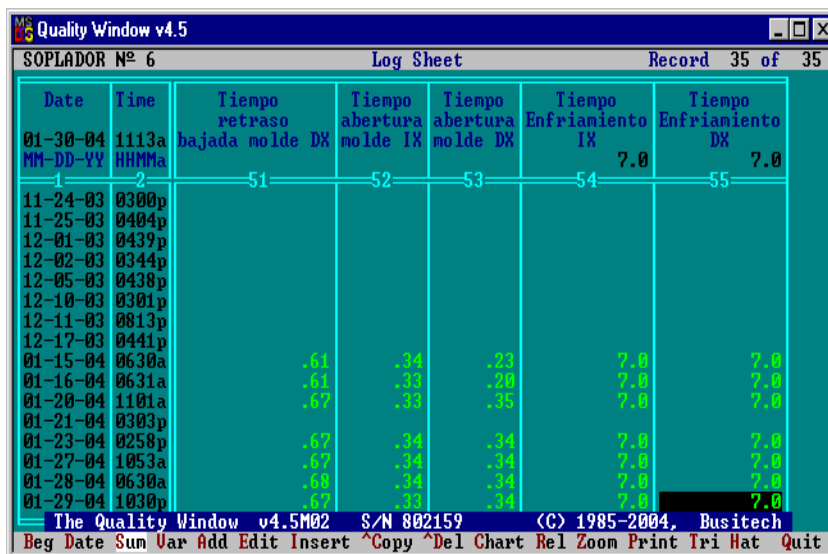
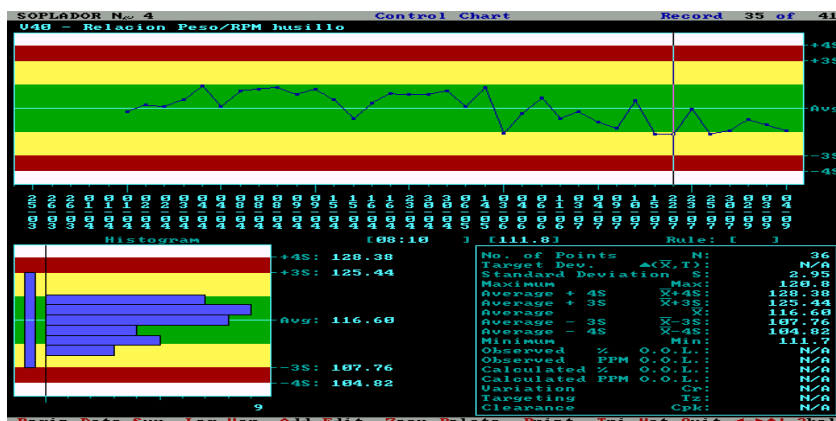


Fig 4.6. Pantalla de captura i introducció de dades en Quality Windows



Amb aquesta feina no tan sols es va poder eliminar el problema del trencament per la soldadura de la base de l'envàs, si no que també es va eliminar el problema de les fuites i de les rebaves com veurem a l'apartat següent.

## 4.2. Fuites pel coll de l'ampolla i rebaves.

En els dos casos estaven bàsicament relacionats amb els acabats del motllos, i pel que es va fer un disseny especial en les àrees on habitualment es quedaven aquestes rebaves sense tallar completament i a la part superior per l'acabat interior del coll. També es va trobar altres petites coses a nivell de pressió d'aire i temps de cicle en l'entrada dels



diferents elements mecànics per el bufat, acabat del coll i expulsió de les rebaves restants que es va corregir.

A continuació mostrem els anàlisi 4M's d'aquests dos modes de fallo, que eren el tercer principal i el quart respectivament, on he indicat en verd els components que influïen en aquests problemes.

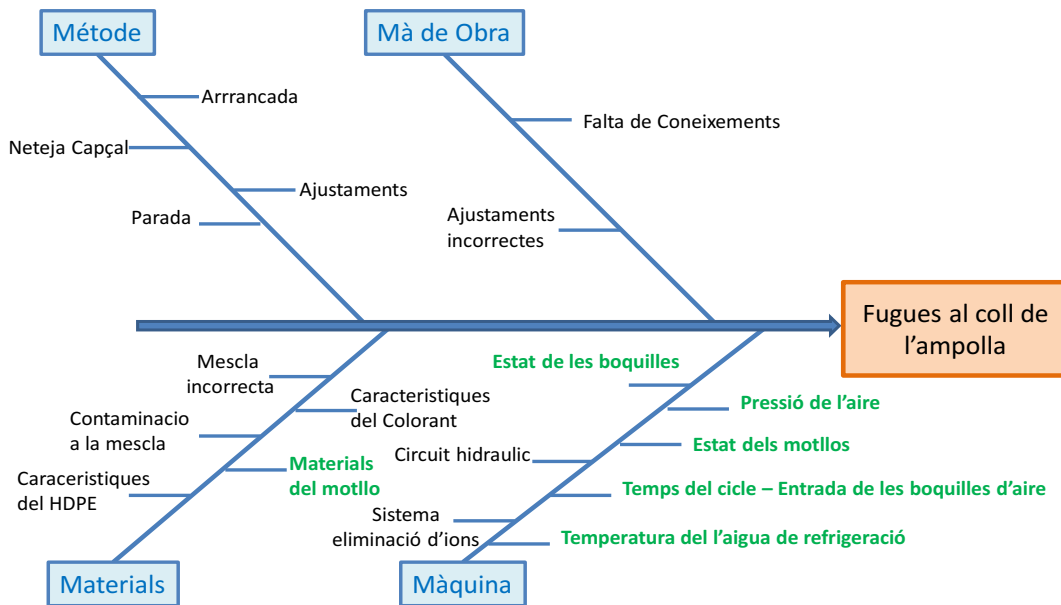


Fig. 4.8. Anàlisi de 4M per fuites de l'envàs pel coll

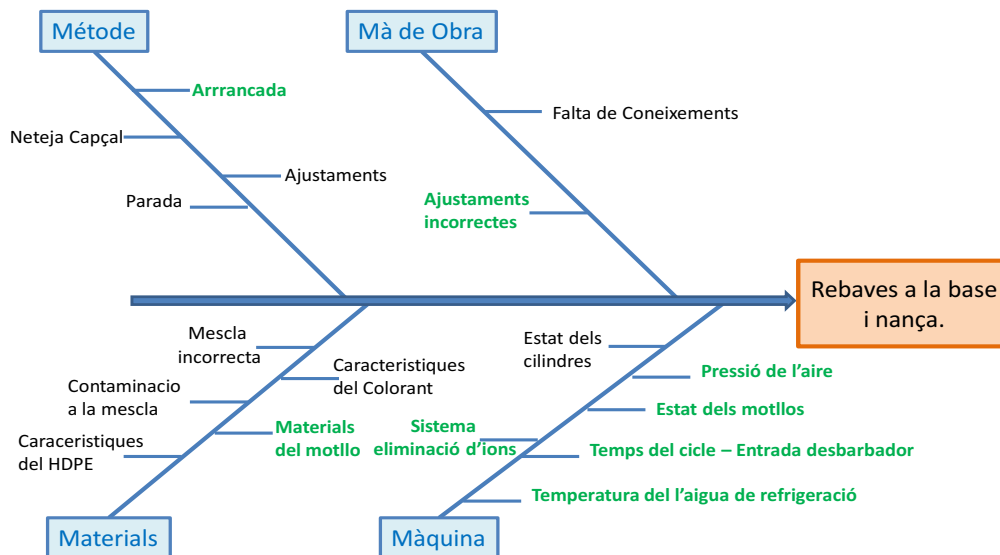


Fig. 4.9. Anàlisi de 4M per rebaves a l'envàs



### 4.3. Resistència a la compressió de les ampolles

L'altre problema important que ens quedava per treballar era la compressió dels envasos. A l'igual que a la resta de problemes es va començar per un anàlisi de les 4M's.

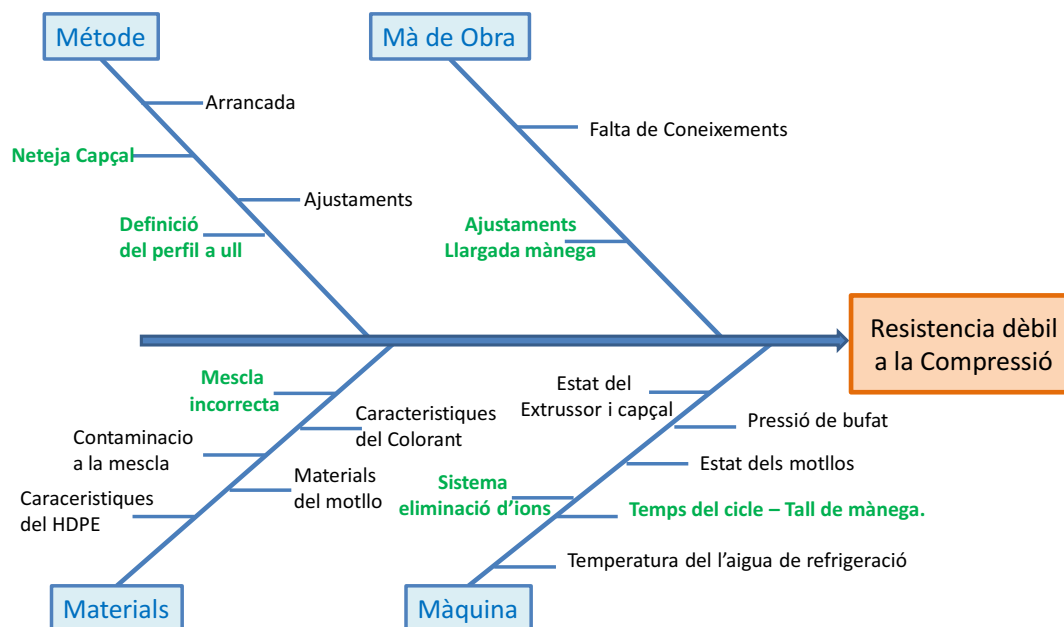


Fig. 4.10. Anàlisi 4M Per dèbil resistència a la compressió.

Amb aquest primer anàlisi, es va treure un pla d'acció per millorar assegurar i tenir sota control tot el que afecta a la determinació del gruix de plàstic en cada punt de l'ampolla:

- 1) Capçal extrusor → Es el sistema que controlant la seva apertura donarà el perfil determinat al plàstic en cada punt de la seva llargada.
  - i. Neteja a fons del sistema per portar-ho a condicions ideals.
  - ii. Augmentar neteja en freqüència torn, o quan hi hagi una parada de la màquina de més de 30 minuts, ja que les restes de plàstic es poden recremar en aquesta àrea.
- 2) Sistema de eliminació d'electricitat estàtica → Assegura que les mànegues de plàstic baixen verticalment i no es desvien per efectes de l'estàtica present en el plàstic en aquest punt.
  - i. Posada en funcionament, ja que algunes màquines estaven parades.
  - ii. Reparació dels mòduls que estaven espatllats.
- 3) Ajustar els temps de cicle de tallat i extracció de la mànega de plàstic.



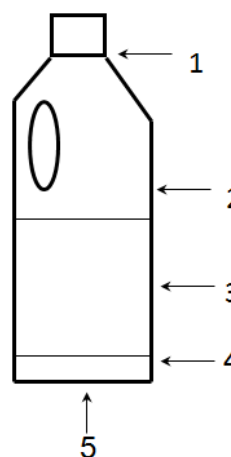
- 4) Assegurar una mescla homogènia de material i evitar grans variacions en el % de reciclatge, ja que això afectarà a la longitud de la mànega de plàstic i consegüentment al seu perfil i finalment, a la resistència a la compressió de l'envàs.

Amb aquestes millores es va aconseguir reduir la variabilitat entre ampolles, però tot i això, el resultat mitjà obtingut encara estava per sota de l'objectiu, així que tot i tenir menys variabilitat i havia un risc de produir productes no conformes.

Descripció	LSL	TARGET	USL	Media	Sigma	Defectos Calculados (ppm)	ppm	
							Low Side	High Side
Test de Compresion	21,0	23,0	25,0	22,30	0,62	18013	18007	7

Taula 4.1. Càlcul inicial de defectes per compressió

En aquest punt, es va decidir com poder millorar el disseny de l'ampolla per tal de mantenir la mateixa variabilitat i alhora, augmentar la compressió mitjana de les ampolles. Per fer això, el primer que es va fer es fer un anàlisi de dades, en concret es va agafar ampolles amb diferents comportaments en quant a compressió, les es va tallar per la meitat i es va mesurar el gruix de la paret en cadascun dels punts crítics (coll, base, panel d'etiquetat, espatlla,..), tal com es pot veure en l'esquema i la taula següent:



Point	THICKNESS					TOP LOAD
	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	
	0,70	0,43	0,39	0,45	1,40	22,70
	0,70	0,43	0,36	0,45	1,20	20,20
	0,68	0,47	0,43	0,51	1,10	20,00
	0,64	0,49	0,42	0,57	1,20	21,40
	0,70	0,47	0,37	0,53	1,10	20,50
	0,66	0,46	0,40	0,56	1,40	20,00

Taula 4.2. Anàlisi de gruixos de paret i compressió.

Amb totes aquestes dades, es va involucrar al departament de modelització i simulació d'Enginyeria de l'empresa i els hi es va demanar que fessin un estudi de deformació de l'ampolla i ens recomanessin un perfil més adequat. Donat que l'objectiu era no variar el pes de l'ampolla, ja que suposaria uns costos molt importants, per tal d'augmentar el gruix en la part més feble es va haver de redistribuir el plàstic en d'altres parts de l'ampolla. A més, tenint en compte que si es treia massa material del coll i de la base de l'ampolla això ens empitjoraria el problema de fuites i de test de caiguda.



El perfil inicial de l'ampolla és el següent, on el punt zero és la base de l'ampolla i el punt 500 al gràfic és el coll de l'ampolla:

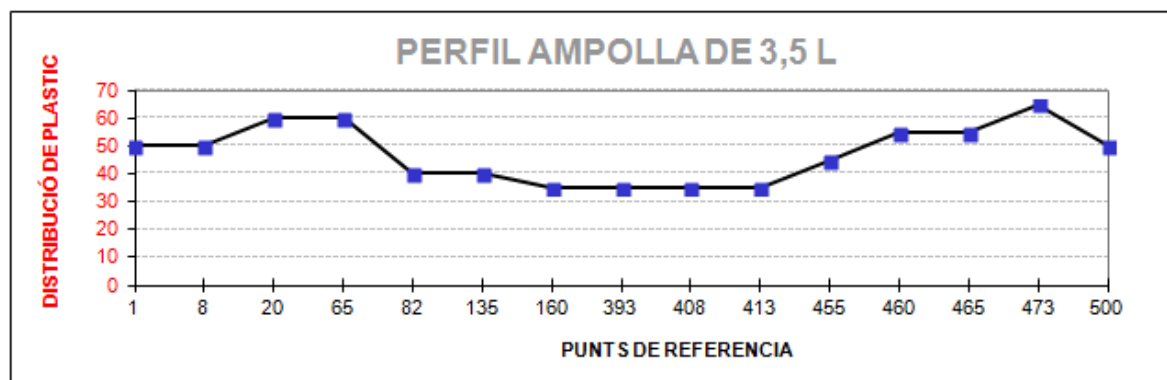


Fig. 4.11. Dades del perfil inicial de l'ampolla a la recepta del bufador

La modelització de forces sobre l'ampolla amb el pes determinat, mostra el següent gràfic:

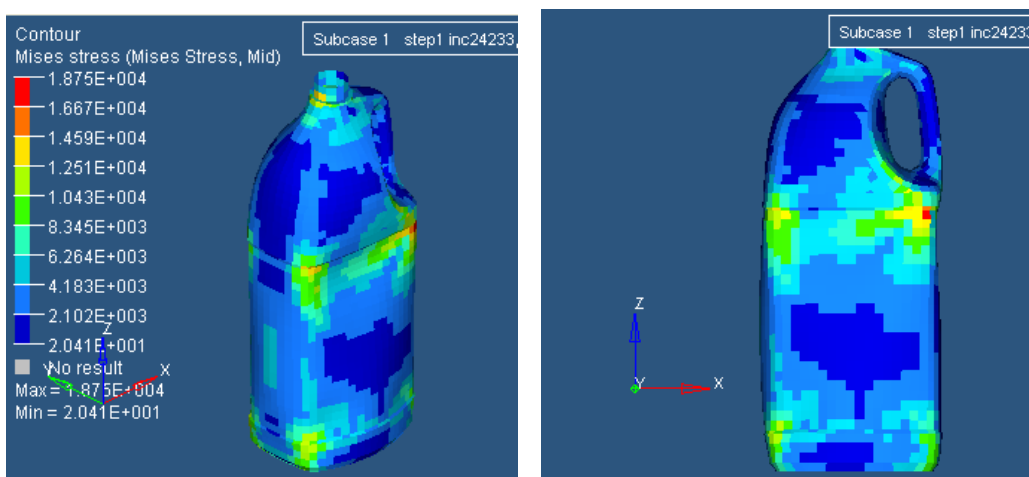


Fig. 4.12. Representació gràfica de les forces sobre l'ampolla original

Com es pot veure la part més dèbil de l'ampolla es troba just al principi del panel on s'aplica l'etiqueta. Per aquí es pot veure que cedirà l'ampolla i, normalment, es trencarà el plàstic perdent el seu contingut. Per tant, la idea seria redistribuir el plàstic de manera que els punts que suporten més estrès siguin aquells amb més massa, i per tant, triguin molt més en deformar-se. El model va donar un perfil "teòric" com el següent:



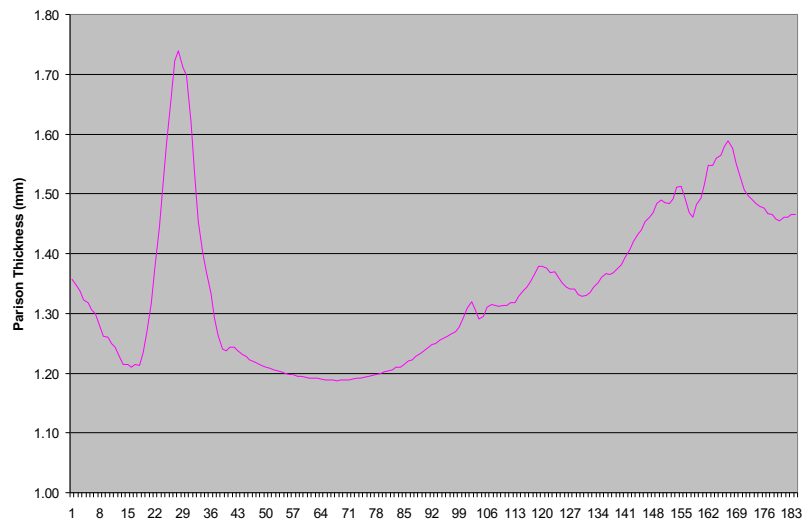


Fig. 4.13. Perfil teòric ideal de l'ampolla segons el software de modelització

I una distribució de forces que concentrava l'estrès a la part superior de l'ampolla que és la més resistent.

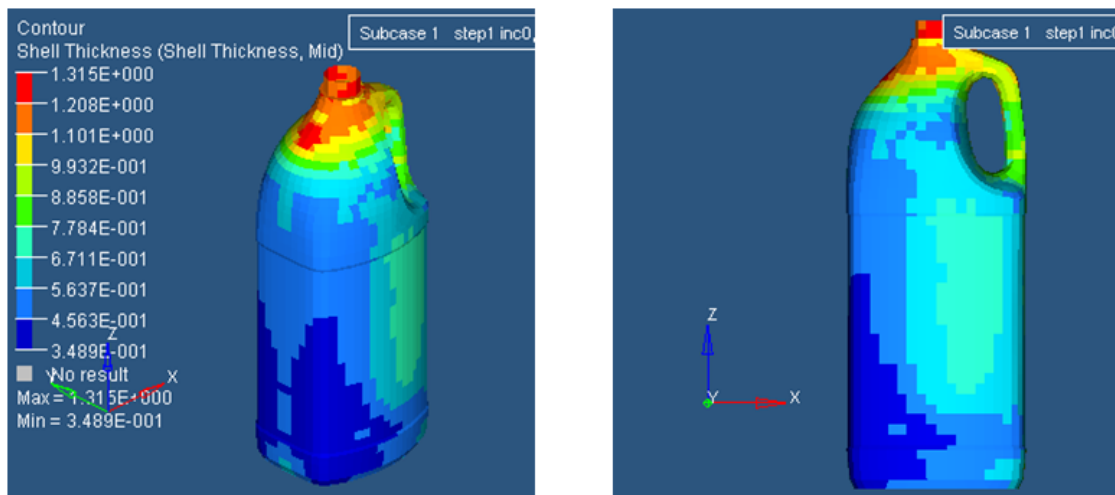


Fig. 4.14. Representació gràfica de les forces sobre l'ampolla ideal

Tot i que aquest seria el perfil ideal, la màquina objecte d'estudi no pot fer canvis tan precisos i continuats del l'extrusor, per tant es va haver de determinar un perfil que s'aproximés al teòric però que la màquina fos capaç de moldejar.



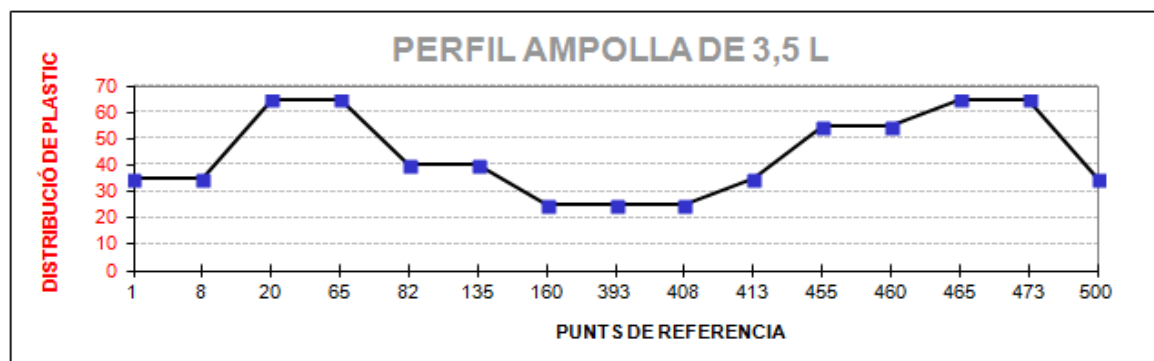


Fig. 4.14. Noves dades del perfil inicial de l'ampolla a la recepta del bufador

Amb aquest perfil es va aleshores decidir repetir la prova de variabilitat completa, amb els següents resultats a la Taula 4.3.

Descripció	LSL	TARGET	USL	Media	Sigma	Defectos Calculados (ppm)	ppm	
							Low Side	High Side
Test de Compresion	21,0	23,0	25,0	23,40	0,60	3862	32	3830

Taula 4.3. Càlcul de defectes per compressió amb nou perfil

Com podem comprovar els resultats van ser satisfactoris, i els defectes calculats que surten estan per la part alta, és a dir, l'ampolla era més resistent que l'objectiu de les especificacions. Tenint en compte això, en el futur es podria mirar de reduir el gramatge de l'ampolla, però en aquest moment es preferia assegurar la qualitat. Un cop es va realitzar aquesta prova, es va voler validar els resultats fent un *shipping i storage test*. Aquest test consistia en:

- ✓ Produir 24 pallets de producte
- ✓ Carregar-los i enviar-los a un magatzem extern durant 3 mesos
- ✓ Fer inspeccions al mes, dos mesos i tres mesos

Al final dels tres mesos els pallets estaven intactes i no hi havia mostres de líquid, per tant es podia considerar que el canvi de perfil de l'ampolla havia estat satisfactori.





## 5. COMPROVACIÓ DE RESULTATS

Un cop completades les millores identificades durant la implementació de l'estratègia de control de processos i havent establert els sistemes de control per assegurar la sostenibilitat dels resultats a llarg termini, en aquest capítol s'analitzaran els resultats en cada una de les àrees que ens havíem marcat com a objectius. En les tres àrees d'anàlisi, es considera la mitjana dels tres mesos posteriors a la finalització del projecte.

### 5.1. Resultats de Qualitat

A la taula següent es presenten el resultats de qualitat un cop han estat implementades i validades les diferents millores que s'han descrit en aquest projecte.

		Defectes Ponderats per volum	1055 ppm				
		Defectes Totals	12482 ppm				
Equipo	Descripcion	Nº Muestras	Defectos Calculados (ppm)	Defectos observados (ppm)	Defectos Totales (ppm)	ppm	ppm
						Low Side	High Side
Soplado	Apariencia	11930	0	1006	1006	0	0
	Fugas	11930	0	0	0	0	0
	Test de Caída	11930	0	0	0	0	0
	Test de Compresion	3977	1819	0	1819	6	1812
	Peso	11930	136	0	136	4	132
	Espesores	3977	9521	0	9521	208	9313

Taula 5.1. Resum càlcul de defectes de qualitat després de millores

Es pot apreciar una disminució significativa dels defectes en tots els atributs i variables, i no només en els quatre problemes de qualitat que hem treballat directament. Això es deu a que molts dels paràmetres o components que s'han deixat sota control amb aquesta feina tenen un impacte directe o indirecte a la resta de defectes, així com la reducció de parades dels bufadors. Les màquines treballen molt millor quan estan en una fase estable, per tant, la disminució de parades i consegüentment en nombre d'arrancades té un efecte favorable sobre tots els paràmetres de qualitat de la màquina.

En total el nombre de defectes després de les intervencions realitzades s'ha reduït en un 93,6%, de 193.582 ppm a 12.482 ppm (ponderat per volum s'ha reduït de 22.766 ppm a 1.055 ppm). També hi ha esdevingut un efecte positiu en la reducció de parades de l'unitat d'envasat ja que el nombre d'ampolles amb defectes que arriben pel seu processament és molt menor, especialment aquelles que tenen problemes de rebaves, que causaven problemes a les omplidores de líquid.



## 5.2. Resultats d'eficiència

En l'àrea d'eficiència es comprova una millora substancial en el temps de parada no planificada, la pèrdua en arrancades de les màquines i en el temps perdut per defectes de qualitat

<b>Eficiència Global dels Equips (EGE)</b>		<b>87,5%</b>	
<b>PERDIDAS POR PARADAS NO PLANIFICADAS</b>	<b>4,85%</b>	<b>PERDUES PER DEFECTES</b>	<b>1,87%</b>
Sistema d'alimentació	0,81%	Test Caiguda	0,00%
Extrusora	1,12%	Compressió	0,00%
Formació d'ampolles	0,55%	Aparença	0,41%
Refrigeració i expulsió de rebaves	0,69%	Fugues pel Coll	0,00%
Sistema de Detecció de Porus	0,33%	Pes	0,44%
Sistemes d'utilitats (Refrigeració Aigua / Aire comprimit)	0,99%	Altres	1,02%
Sistema hidràulic	0,36%		
<b>PERDUES PER PREPARACIO D'EQUIPS</b>	<b>4,93%</b>	<b>PERDUES PER OPERACIO</b>	<b>0,82%</b>
Arrancades i parades setmanals	1,67%		0,21%
Arrancades despres de Parades no planificades	1,81%		0,18%
Arrancades despres de Parades planificades	1,45%		0,43%

Taula 5.2. Resum càlcul de pèrdues d'EGE després de millores

## 5.3. Resultats de costos i productivitat

Finalment, s'avaluen com aquesta millora dels resultats de qualitat i eficiència de la unitat de fabricació d'envasos té un impacte directe en el cost de manufactura i la productivitat.

Les mermes, gràcies a la reducció d'envasos defectuosos i al nombre d'arrancades i parades de cada bufador, s'han reduït en un 50% aproximadament.

El nombre d'incidents de qualitat que impliquen una revisió del producte fabricat, la separació del producte dolent per la seva destrucció i el reprocessament del producte bo per enviar-ho al mercat, també s'ha vist reduït considerablement. En concret, no hi ha hagut cap bloqueig de producte final per no passar el test de caiguda, de fuites o de compressió de les ampolles. Amb la qual cosa podem determinar que en els problemes que hem treballat s'ha aconseguit eliminar el 100% d'aquesta pèrdua.

Finalment, s'ha fet un anàlisi de la carrega de feina dels tres operadors per torn amb totes les millores realitzades, la disminució de tests de qualitat i la millora de l'eficiència. A continuació es mostra l'anàlisi realitzat amb un gràfic on indica les feines de cada operador abans i després del projecte.





Fig. 5.1. Representació millora càrrega de feina equip operacions després de les millores

Es pot observar, que com s'esperava, la càrrega de feina dels tres operadors s'ha reduït considerablement, així que l'empresa pot optar per reduir l'operador que s'encarregava de les feines de qualitat i integrar aquestes tasques restants a la feina dels altres dos operadors. Com es comenta més endavant, aquesta decisió té implicacions en les relacions laborals entre l'empresa i els empleats, per la qual cosa es deixa la decisió i el temps d'implementació dels canvis a voluntat del cap de departament i del departament de Recursos Humans de la fàbrica, però es clarament viable des del punt de vista de tasques / càrrega de feina.



## 6. ESTUDI ECONÒMIC DEL PROJECTE

En aquest apartat s'avaluarà l'inversió necessària per aquest projecte, incloent els canvis de motllo que es va haver de fer per eliminar alguns dels problemes, i s'analitzarà la viabilitat econòmica del projecte.

### 6.1. Viabilitat econòmica

La prestació de serveis de generació i desenvolupament de projectes empresarials sota l'activitat capital-risc, requereix, entre d'altres coses, un anàlisi de viabilitat.

Per la valoració econòmica s'ha optat per una vida útil del projecte de 3 anys i una inflació d'un 3% anual. Amb aquest paràmetres, s'analitzaran el VAN (Valor Actual Net), TIR (taxa interna de rendibilitat) i el període de retorn de la inversió efectuada.

Es realitza un anàlisi amb l'equip de Finances en base a l'estalvi en costos de personal, energia i reducció de mermes del procés. En concret:

- Si s'assoleixen els objectius del projecte, l'empresa reduirà la persona que s'encarrega de les inspeccions de qualitat en cada torn i integrarà aquestes feines en les tasques dels altres dos operaris de producció. El cost total de companyia de cada operador està situat en uns 40.000€ anuals, és a dir un estalvi de 120.000 €/any.
- Reducció del les mermes de plàstic en el procés de fabricació d'un 30%: 45.000 €/any.
- Reducció d'un 80% dels incidents de qualitat relacionats amb els problemes analitzats (Test de caiguda, Fuites, Pell de taronja i rebaves): 72.000 €/any.
- Reducció d'energia: Com no hi ha una manera d'estimar-ho en el moment de la implementació, i es considera que serà una quantitat menor comparada amb la resta de partides es considera negligible per a l'efecte d'aquest estudi.



Per una altra banda, la inversió necessària per aquest projecte ha sigut:

- Nous motllos pels bufadors: 200.000 Euros.
- Cost de realització del projecte segons la taula següent:

PRESSUPOST (Euros)				
Partida	Concepte	Unitats	Cost / unitat	Cost Total
<b>Cost de Personal</b>				
	1 Process Engineer (9 mesos)	9	5833,333333	52500
	1 Operari expert en la tecnologia (9 mesos)	9	3333	30000
<b>Despeses de Viatges</b>				
	Viatge a una fabrica del grup	1	2500	2500
	Viatge al proveïdor de Plastic	1	1500	1500
<b>Entrenaments</b>				
	Entrenament de Motllos	1	1200	1200
	Curs de formació en Utilitats (Aire / refrigeracio)	1	750	750
<b>Altres costos de departament de l'empresa</b>				
	Simulació de Perfils	1	1000	1000
<b>Hardware / software</b>				
	Ordinador	1	1000	1000
	Llicencia QW 4.0	1	650	650
	Llicencia InTouch	1	300	300
<b>Cost de material durant les proves</b>				
	Rebutjos (5000 Ampolles)	5000	0,07	333
	Mermes (2000 Kg)	2000	0,9	1800
<b>Total</b>				<b>93533</b>

Taula 6.1. Resum pressupost projecte

En la partida de cost de personal he considerat el meu temps com si fos el d'un Enginyer de Processos, per tal de tenir un cost real que es pugui extrapolar a qualsevol departament de l'empresa.

Pel càlcul del VAN, s'ha considerat un cost del capital d'un 6%.

TIR	53%
VAN	284.499 €
Payout	1,36

Taula 6.2. Indicadors Financers del projecte



Com podem veure el VAN obtingut al final de l'horitzó d'aquest estudi és de 284.500 Euros. La TIR és del 53% i el retorn de la inversió s'aconsegueix en 16 mesos, per tant podem concloure que segons els requeriments de rendibilitat de l'empresa, és un projecte molt interessant.



## 7. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL Y SÒCIO-ECONÒMIC

En aquest capítol s'analitzen els impactes ambientals i socioeconòmic del present projecte.

### 7.1. Impacte mediambiental

La millora dels resultats de qualitat de la unitat de fabricació d'envasos plàstics suposa directament una reducció molt important de les mermes del procés. En el cas d'ampolles reciclables a la unitat, com es redueix el nombre de rebutjos, directament es reduirà el consum elèctric dels equips de trituració i l'energia necessària per fondre el plàstic de nou.

En el cas de residus plàstics que no es poden reciclar a la unitat i que s'envien a una empresa especialitzada (per exemple les mànegues de plàstic que es generen en les arrancades i parades de cada bufador) suposa una reducció del nombre de contenidors que s'han d'enviar anualment a tractar, per tant reducció de CO<sub>2</sub> dels camions, combustible i l'energia necessària en el procés de transformació del proveïdor de serveis de reciclatge.

A més, la disminució general de les parades implica una reducció de las arrancades de tots los motors, resistències i d'altres equips de la unitat per tant ,una disminució del consum elèctric.

### 7.2. Impacte socioeconòmic

Un factor important i molt positiu és la reducció de l'esforç físic necessari per part del personal que opera las línies. Això es deu a la disminució de les intervencions necessàries a les màquines així com a la reducció d'inspeccions de producte, ja que una part d'aquestes ha estat substituïda pel control de tendències i paràmetres des dels panells de control i softwares especialitzats.

Un altre impacte important, i que s'ha de tenir en compte quan s'inicia la implementació d'estratègies de millora de processos, que poden portar a la reducció de personal a través de la millora de l'eficiència del procés productiu i la reducció de la carrega de treball; és com s'afrontarà aquesta situació des del punt de vista de Recursos Humans. En general, l'empresa afrontarà aquestes situacions des d'una perspectiva global de la



fàbrica, i sempre que hi hagi l'oportunitat buscarà la reubicació del personal a un altre departament o valorar si hi ha persones que poguessin estar interessades en jubilacions anticipades, de manera que els seus empleats valorin de manera positiva la millora de productivitat en qualsevol activitat que fan i s'inclinin a participar en elles.





## 8. CONCLUSIONS

Aquest estudi ha tingut com a objectius principals la millora dels resultats de qualitat, la reducció de mermes i la millora de l'eficiència i la productivitat d'una unitat de fabricació d'envasos plàstics en una empresa del sector de productes de gran consum.

En primer lloc, s'ha basat en l'anàlisi de la tecnologia utilitzada i del procés productiu per tal de dissenyar el pla d'implementació d'una estratègia de control de processos i l'anàlisi dels principals problemes de qualitat que històricament venien significants un alt cost per l'empresa, tant en la inversió de personal com en la generació de pèrdues de materials i el reciclatge dels productes defectuosos.

En segon lloc, s'han utilitzat les eines d'anàlisi i resolució de problemes pertinents per trobar la causa bàsica dels problemes, i s'han definit i executat les millores més convenientes per eradicar aquests problemes. També s'han definit per a cada problema quines són les variables del procés que teníem que passar a controlar per tal de reduir la variabilitat i prevenir l'aparició de defectes i crear plans de seguiment i de millora en continu per tal d'assegurar la sostenibilitat dels resultats obtinguts.

Un cop implementada l'estratègia de control de processos, així com totes les millores corresponents, s'analitzen els resultats obtinguts i es conclou que la quantitat de defectes, mesurats en ppm, es redueix dràsticament, assolint el principal objectiu que ens havíem marcat. Amb aquesta millora de la qualitat del producte i la reducció de la variabilitat del procés, s'aconsegueix donar una estabilitat major al procés productiu, reduint les mermes de producció, millorant l'eficiència de les màquines i reduint considerablement la càrrega de treball de l'equip operacional. Amb això s'aconsegueix la reducció de l'operador que s'encarregava en cada torn de fer tots els controls de qualitat i la càrrega de feina restant en l'àrea d'inspeccions de qualitat s'integra en la feina dels dos operaris restants en cada torn.

L'estudi de viabilitat econòmica del projecte mostra una bona rendibilitat. En concret es preveu una recuperació de la inversió en menys de 1,6 anys i es redueixen significativament els costos de manufactura del departament.

Tal com es comenta al principi, tot i la gran millora aconseguida, aquestes estratègies de millora de la qualitat suposen un canvi cultural i es important no perdre el focus un cop s'han assolit els objectius desitjats, per tal de continuar el procés de millora en continu i no perdre allò que ja hem aconseguit. En aquest sentit, s'aconsella continuar amb les revisions dels diferents nivells de control que hem establert (Nivell 0, 1 i 2) en base diària, setmanal i mensual respectivament, per tal d'identificar tendències que indiquin un empitjorament de la qualitat.



## 9. BIBLIOGRAFIA

En aquest capítol es trobaran les referències bibliogràfiques que hem citat al projecte i la bibliografia complementaria, que no han estat citades directament a la memòria però que poden resultar d'interès per la relació amb la temàtica del projecte.

### 9.1. Referències bibliogràfiques

- [1] Font: dades internes de l'empresa, estudis y anàlisis de caràcter intern, metodologies internes de treball, documents interns de procediments, coneixements adquirits per l'experiència en el sector, pel contacte directe amb els operaris y personal de la fàbrica.
- [2] Dades i resultats extrets dels sistemes de recollida de dades de l'empresa, (Quality Windows i altres bases de dades creades ad hoc per la unitat)
- [3] Composició del plàstic. [<http://cric.pangea.org/cast/articulos/detergentes.html>]. Data de consulta: 20/11/2005.

### 9.2. Bibliografia complementaria

- [5] A. Prat, X. Tort, M. Llabrés, P. Grima, L. Pozueta (1997). *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad*. Edicions UPC. Barcelona.
- [6] K. Magnusson, D. Kroslid, B. Bergman, E. Barba (2005). *Seis Sigma. Una estratègia pragmática*. Ediciones Gestión 2000. Barcelona.
- [7] Gestión de la calidad y herramientas y métodos de calidad. [<http://www.aiteco.com/calidad>]. Fecha de consulta: 02/12/2005.

