

Resum

Des del mes de Gener del 2008 i fins al Juliol del mateix any vaig estar com a enginyer de processos al Laboratori de tecnologies avançades de la producció de la Fundació Privada Centre CIM. Les tasques que vaig desenvolupar durant aquest període van consistir en coordinar equips de millora contínua per tal d'implantar sistemes i metodologies de treball que permetessin fer les instal·lacions més eficients i productives.

La necessitat d'aquesta implantació va néixer de l'increment de la demanda tant en l'àrea de prototipatge ràpid com en la de mecanitzat, això feia necessari millorar l'eficiència en aquests equips, a nivell de disponibilitat de la màquina, qualitat del producte i rendiment de les instal·lacions. Es va veure que en molts punts existia potencial de millora i es va decidir impulsar la detecció i explotació d'aquest potencial mitjançant la figura del coordinador d'equips de millora en col·laboració amb tot el personal del Laboratori.

En la primera part de la memòria es presenta la Fundació CIM, el Laboratori de tecnologies avançades de la producció i l'estructura i organització d'aquest.

En la segona part es descriu com funciona el sistema de millora contínua del Laboratori: objectius, participants i metodologia.

Finalment, s'exposa amb detall dues de les millores que s'han dut a terme: els motius que han fet necessària la implantació de la millora, la metodologia emprada per realitzar-la i els resultats obtinguts.



Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. INTRODUCCIÓ	5
1.1. Objectius del projecte.....	5
1.2. Abast del projecte	5
2. ENTORN DEL PROJECTE	7
2.1. Presentació de la FCIM.....	7
2.2. El Laboratori de Tecnologies de la Producció	10
2.2.1. Organització del Laboratori.....	10
3. LA MILLORA CONTÍNUA AL LABORATORI	11
3.1. Introducció.....	11
3.2. La millora contínua diària	12
3.3. Els Plans de Millora Contínua.....	12
3.3.1. Detecció de millores.....	13
3.3.2. Anàlisi de prioritats.....	14
3.3.3. Definició de l'equip de treball	14
3.3.4. Definició del Pla Millora.....	15
3.3.5. Realització del pla.....	15
4. IMPLANTACIÓ DE LES MILLORES	17
4.1. Reducció del temps de canvi de resina de la màquina SLA 7000 (SMED) 19	
4.1.1. Objectius.....	22
4.1.2. Anàlisi de la situació inicial.....	22
4.1.3. Metodologia emprada	23
4.1.4. Anàlisi d'alternatives	36
4.1.5. Definició de la nova organització	37
4.2. Determinació de les condicions de treball òptimes de la màquina de SLS (Disseny d'experiments).....	39
4.2.1. Objectius.....	40
4.2.2. Anàlisi de la situació inicial.....	40
4.2.3. Metodologia emprada	45
4.2.4. Anàlisi d'alternatives	64
4.2.5. Definició de la nova organització	65



5. ANÀLISI ECONÒMIC DEL PROJECTE	67
5.1. Estudi de costos derivats.....	67
5.1.1. Costos d'enginyeria	67
5.1.2. Costos de fabricació	69
5.2. Estimació de despeses d'implantació i d'estalvis.....	69
5.2.1. Reducció del temps de canvi de resina	69
5.2.2. Implantació de millores al sinteritzat làser	70
5.3. Anàlisi de viabilitat econòmica.....	71
5.3.1. Criteris d'avaluació.....	71
5.3.2. Quantificadors de viabilitat econòmica	72
5.3.3. Anàlisi de viabilitat del procés de canvi de resina.....	72
5.3.4. Anàlisi de viabilitat de l'optimització del procés de sinteritzat	74
CONCLUSIONS	77
AGRAÏMENTS	79
BIBLIOGRAFIA	81
Referències bibliogràfiques.....	81
Bibliografia complementària.....	81
ANNEX A: PROCEDIMENT DE CANVI DE RESINA.	83
ANNEX B: CARACTERÍSTIQUES SLS	85
ANNEX C: PROCEDIMENT NETEJA MÀQUINA SLS	91
ANNEX D: FITXA RECOLLIDA RESULTATS DOE	97
ANNEX E: MATRIU DISSENY DOE I RESULTATS	99



1. Introducció

1.1. Objectius del projecte

El present projecte té per objectiu millorar l'eficiència i la productivitat de les instal·lacions del laboratori de tecnologies avançades de la producció de la Fundació Privada Centre CIM, per poder-ho realitzar es va decidir impulsar la implantació de metodologies de treball que afavorissin la millora continua.

Un altre objectiu, que deriva del primer, és la necessitat d'implantar una manera de treballar basada en els principis de la millora continua, cercles de millora (o cicle PDCA). Per implantar aquesta metodologia de treball es va crear la figura del coordinador d'equips de millora, aquest tenia com a missió detectar els punts on existia el potencial de millora, determinar la prioritat en cada cas i crear i coordinar l'equip de treball en el procés d'implantació de les millores.

1.2. Abast del projecte

El laboratori de tecnologies avançades de la producció de la Fundació Privada Centre CIM esta estructurat en quatre àrees:

- Processos
- Metrologia
- Prototipatge
- Disseny i desenvolupament

Aquest treball es centra, en la implantació de millores a l'àrea de prototipatge, ja que aquesta en el moment de la realització del projecte era la que presentava més potencial de millora i en la qual l'impacte de les millores podia ser més important degut a l'increment de la demanda en aquest servei.

Tot i això la definició de les metodologies de treball es va fer extensible a les quatre àrees que formen el taller de la FCIM.



2. Entorn del projecte

2.1. Presentació de la FCIM

La Fundació CIM va ser creada el 2005, culminant el procés de transformació del Centre CIM. Aquest centre va ser fundat al 1990 per la UPC i l'ICT (Institut Català de Tecnologia) amb la missió d'ajudar a les empreses i professionals a incrementar la seva capacitat tecnològica i d'innovació, en l'àmbit de les Tecnologies de la Producció.

La seva evolució creixent al llarg de tots aquests anys, i la necessitat de poder projectar-se cap al futur, varen portar a la necessitat de dotar-lo de personalitat jurídica pròpia. Així doncs, actualment el Centre CIM és una Fundació sense ànim de lucre constituïda sota la Llei de Fundacions 5/2001 de 2 de maig, al servei dels professionals, les empreses i les institucions.

El patronat de la Fundació CIM està integrat per diverses institucions, entre les quals es troben la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i el Col·legi Oficial d'Enginyers Industrials de Catalunya (COEIC). Les seves dependències es troben integrades en el Parc Tecnològic de Barcelona de la UPC. ^[1]

La Fundació Centre CIM, situada en el Parc Tecnològic de Barcelona, és reconeguda com un centre de referència en l'àmbit de les Tecnologies de la Producció, desenvolupant projectes de transferència de tecnologia, recerca i activitats de formació per a l'entorn industrial.

Entre els objectius de la Fundació destaquen:

1. Fomentar la investigació científica, el desenvolupament tecnològic i la innovació.
2. Oferir serveis tecnològics de control, electrònica i gestió integrada al sector industrial.
3. Complementar la formació tècnica dels professionals mitjançant el desenvolupament de programes formatius específics.



Per tal d'assolir aquests objectius la FCIM està estructurada en quatre grans àrees de coneixement:

1. **Àrea d'investigació:** Realitza i gestiona projectes d'investigació, desenvolupament i innovació tecnològica, tant propis com en col·laboració amb empreses, universitats i altres centres tecnològics.
2. **Àrea de formació:** S'encarrega de la realització dels cursos de postgrau, de formació continua i ocupacional i d'especialització, dirigits a professionals que treballen en els departaments d'enginyeria i gestió de la producció.
3. **Àrea de transferència i explotació dels resultats de la R+D+I:** S'encarrega de la protecció legal i l'explotació dels resultats dels projectes de la Fundació CIM, així com de la transferència de tecnologia i la creació i recolzament a les empreses de base tecnològica.
4. **Àrea de desenvolupament:** Realitza serveis específics i d'assessorament tecnològic a empreses. Entre els serveis que s'ofereixen destaquen:
 - *Serveis avançats de metrologia:* Informes dimensionals mitjançant una màquina de mesura per coordenades, digitalització per realitzar enginyeria inversa, mesures de rugositat, verificació de perfils, mesures d'arrodoniment i interferometria làser.
 - *Fabricació de peces:* Prototips, sèries curtes, presèries, peces de precisió, operacions de rectificat, electroerosió i disseny i fabricació d'utilitatges.
 - *Rapid prototyping:* Sinteritzat selectiu per làser (SLS) i Estereolitografia (SLA).
 - *Desenvolupament de sistemes de control i automatització:* Disseny, selecció d'equipament, configuració i programació avançada de PLC's, xarxes industrials, SCADA's, robots,... Tant per nous equips industrials com per millorar els ja existents.
 - *Disseny i fabricació de circuits electrònics:* Prototips de laboratori, producte industrialitzable, redisseny i millora de producte, gestió de proves EMI.



A la figura 2.1 es pot veure l'estructura del Centre descrita anteriorment:

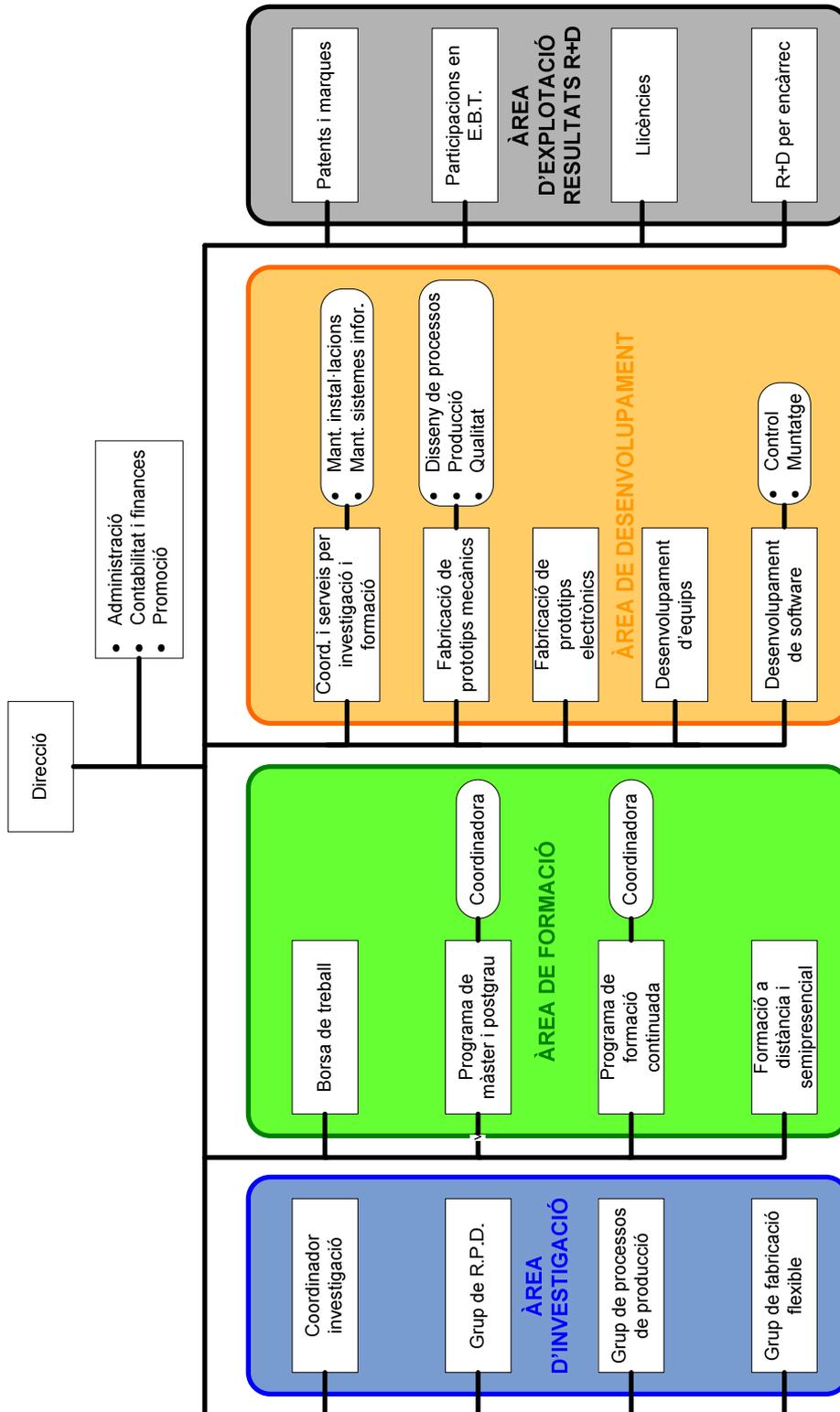


Figura 2.1. Organigrama de la Fundació Privada Centre CIM.



2.2. El Laboratori de Tecnologies de la Producció

El laboratori de tecnologies avançades de la producció de la Fundació Privada Centre CIM disposa d'un capital humà i tecnològic que li permet oferir un ampli ventall de serveis de qualitat, tant a les empreses que no disposen de la tecnologia necessària com a centres universitaris i d'investigació per desenvolupar projectes de recerca dins de l'àmbit de les tecnologies avançades de la producció.

2.2.1. Organització del Laboratori

Per tal de poder oferir els serveis esmentats anteriorment, el laboratori de tecnologies avançades de la producció s'estructura en quatre àrees:

- **Àrea de processos:** Emet les ordres de fabricació, gestiona les matèries primeres i col·labora amb l'àrea de disseny i desenvolupament en la realització de projectes. En aquesta àrea hi ha la persona encarregada de coordinar els equips de millora.
- **Àrea de metrologia:** Realització d'informes dimensionals mitjançant una màquina de mesura per coordenades, digitalització de superfícies per a la posterior realització enginyeria inversa, mesures de rugositat, verificació de perfils, mesures d'arrodoniment i interferometria làser.
- **Àrea de prototipatge:** S'encarrega de tot el que fa referència al Rapid Prototyping, ofertar prototips, preparar les plataformes, la màquina, descarregar la màquina i preparar els prototips per enviar-los als clients.
- **Àrea de disseny i desenvolupament:** Realització de nous equips industrials, millora dels ja existents, disseny de prototips de laboratori i producte industrialitzable.

El responsable del laboratori és l'encarregat de coordinar aquestes quatre àrees per tal de treure el màxim rendiment a les instal·lacions.



3. La millora contínua al Laboratori

3.1. Introducció

Al Laboratori de Tecnologies de la Producció de la FCIM la millora contínua s'entén com totes aquelles accions encaminades a millorar la productivitat i l'eficiència dels equips, reduint així els costos derivats de les activitats de producció, ja sigui disminuint la no qualitat o optimitzant els recursos necessaris del propi procés de fabricació. Aquests mecanismes de millora contínua es van començar a implantar de forma sistemàtica al taller de la Fundació a partir del Febrer del 2008.

Un dels objectius que es persegueix amb la implantació de la millora contínua, és augmentar la l'eficiència de les instal·lacions implantant els cercles de millora, seguint la metodologia PDCA (Plan-Do-Check-Act). A la figura 3.1 es poden observar els passos que cal seguir a l'hora d'aplicar-la:

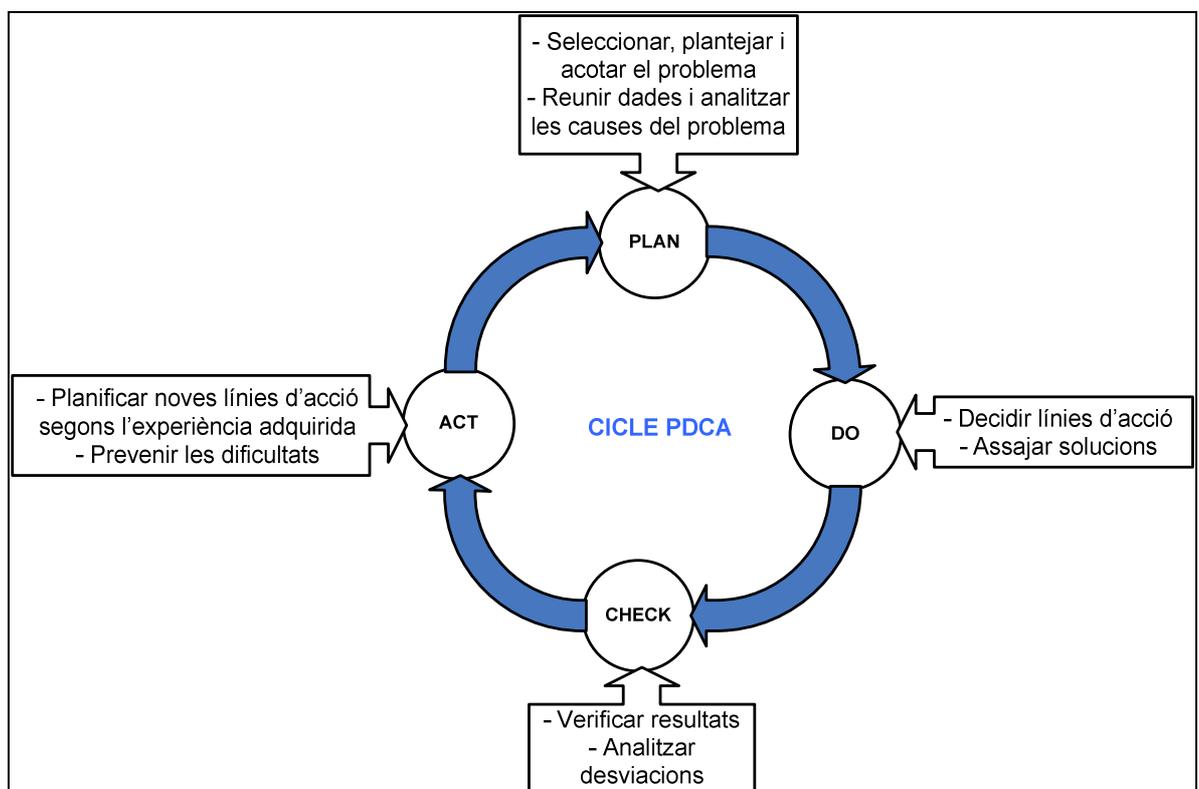


Figura 3.1. Cicle PDCA o Roda de Deming



A l'hora d'implantar els sistemes de millora es distingeix entre les següents dues tipologies:

- Millora contínua diària
- Plans de millora contínua

3.2. La millora contínua diària

Aquesta consisteix en detectar les petites millores que es poden aplicar en els processos que es porten a terme en el laboratori del centre estant en contacte amb les persones que els realitzen, ja sigui recollint les seves suggerències o detectant possibles punts de millora a partir de l'observació i l'anàlisi de les seves tasques.

Una vegada detectat una possible millora aquesta és proposada al coordinador dels equips de millora que s'encarrega d'avaluar la necessitat de la implantació de la millora i l'impacte que tindrà en el funcionament global del laboratori. Si es valora que pot suposar una millora substancial és proposada al responsable del laboratori que decideix la seva implantació.

La millora continua a diari representa un input molt important a l'hora de detectar els punts de millora, un elevat percentatge dels canvis que es realitzen en el laboratori son detectats per aquest sistema. Totes aquestes propostes de millora son comparades amb les necessitats que s'han detectat i segons l'impacte que suposin i els recursos que siguin necessaris per implantar-les son realitzades al moment o arxivades per a posteriors implantacions.

3.3. Els Plans de Millora Contínua

Els Plans de Millora Contínua són programes més llargs, que tenen la intenció de transformar de manera més profunda el funcionament i la forma de treballar de l'àrea a la qual s'apliquen. La seva implantació comporta una major planificació i una implicació més forta en tots els nivells.

Els passos que s'han seguit a la FCIM per tal de definir els Plans de Millora son els següents:



- Detecció de millores
- Anàlisi de prioritats
- Definició de l'equip de treball
- Definició del pla
- Realització del pla

Per a realitzar l'avaluació econòmica d'aquests Plans de Millora Contínua s'agafa un període de 12 mesos, ja que es suposa que al ser inversions poc importants el seu període de retorn serà inferior a l'any.

3.3.1. Detecció de millores

En el primer pas es realitza un anàlisi de la situació actual i, a partir d'aquest, determinar quines possibilitats de millora existeixen i definir un ordre de prioritat al portar-les a terme.

Les possibilitats de millora es detecten a través de l'anàlisi de l'eficiència de les instal·lacions avaluant les principals pèrdues que poden presentar:

- Averies
- Esperes logístiques
- Microaturades
- Velocitat reduïda dels equips
- Rebuig
- Retreball

L'anàlisi es complementa amb la informació que s'extreu de les observacions que s'efectuen diàriament en el lloc de treball i de les aportacions dels operaris.



3.3.2. Anàlisi de prioritats

Una vegada localitzades les possibilitats de millora es procedeix a determinar quines d'elles son prioritàries. Aquest estudi el realitzen el coordinador dels equips de millora amb la supervisió del responsable del laboratori.

Per determinar les prioritats en el moment d'implantar les millores es tenen en compte els següents criteris:

- Impacte actual en les instal·lacions
- Efecte estimat de la millora a implantar

Un cop establert l'ordre de prioritats, segons els criteris descrits anteriorment, es forma un equip de treball per definir el Pla de Millora, coordinar-lo i portar-lo a terme.

3.3.3. Definició de l'equip de treball

L'equip de treball és proposat pel coordinador dels equips de millora i, normalment està estructurat de la següent manera:

- **Coordinador:** Té la tasca de dinamitzar i coordinar l'equip de treball, així com la responsabilitat de fer un seguiment del Pla de Millora. Aquest paper el desenvolupa el coordinador dels equips de millora.
- **Operari:** Aporta informació sobre les diferents problemàtiques existents, les que poden aparèixer a l'aplicar les millores és la persona que millor coneix les màquines. És molt important que entengui i comparteixi el motiu d'aplicació del Pla de Millora, ja que la major part de les vegades serà la persona que posarà a la pràctica, o es veurà afectada més directament, pel que s'hagi acordat durant la realització del Pla.
- **Tècnic:** Té la responsabilitat de determinar si les millores proposades són realitzables amb els mitjans disponibles i pot aportar nous punts de vista en les solucions proposades.

L'equip de treball normalment esta format pel coordinador, un operari i un tècnic. Si la dimensió de la millora a realitzar ho justifica, aquest es pot ampliar en els camps en que es consideri necessari.

Les reunions de l'equip i el treball que realitza cada membre per a preparar-les es fa dins l'horari laboral en hores destinades a aquest fi.



3.3.4. Definició del Pla Millora

Es defineix quins seran els objectius a assolir, com es portarà a terme la implantació de les millores i com es valorarà la seva consecució. Es realitza seguint les fases que s'indiquen a continuació:

- **Anàlisi de la situació actual:** És molt important realitzar aquest anàlisi per tal de poder avaluar posteriorment l'efectivitat de les millores implantades.
- **Definició dels objectius:** En aquest punt es defineix de forma quantitativa el grau de millora que es vol assolir.
- **Proposta de solucions:** En aquest moment es proposen les diferents solucions possibles, es decideix quina d'elles és més viable i es defineix com s'implantarà.

3.3.5. Realització del pla

Una vegada definit el marc en el qual es desenvoluparà el Pla de millora i l'equip de treball, es passa la realització del Pla. Aquest es desenvolupa en les següents etapes:

- **Realització d'accions:** Una vegada s'ha decidit quina solució es vol implantar es procedeix a efectuar-la.
- **Definició dels primers estàndards:** Segons el que s'ha decidit en el punt anterior es defineixen els primers estàndards de treball.
- **Anàlisi dels resultats obtinguts:** És en aquest punt en el que s'avaluen els resultats de la implantació del Pla de Millora i es determina l'efectivitat d'aquest i la necessitat de realitzar accions preventives o correctives en el procés.
- **Aplicació d'accions correctives i/o preventives:** Es realitzen les accions que s'ha decidit en el punt anterior.
- **Definició de nous estàndards:** En funció del resultat de l'aplicació de les mesures preventives i/o correctives es revisen i modifiquen els estàndards inicials.



Les etapes que es realitzen per a efectuar els Plans de millora s'adeqüen perfectament a la metodologia PDCA descrita anteriorment. L'esquema, que es pot observar a la figura 3.2, mostra de manera més concreta la metodologia aplicada en el Laboratori de la FCIM.

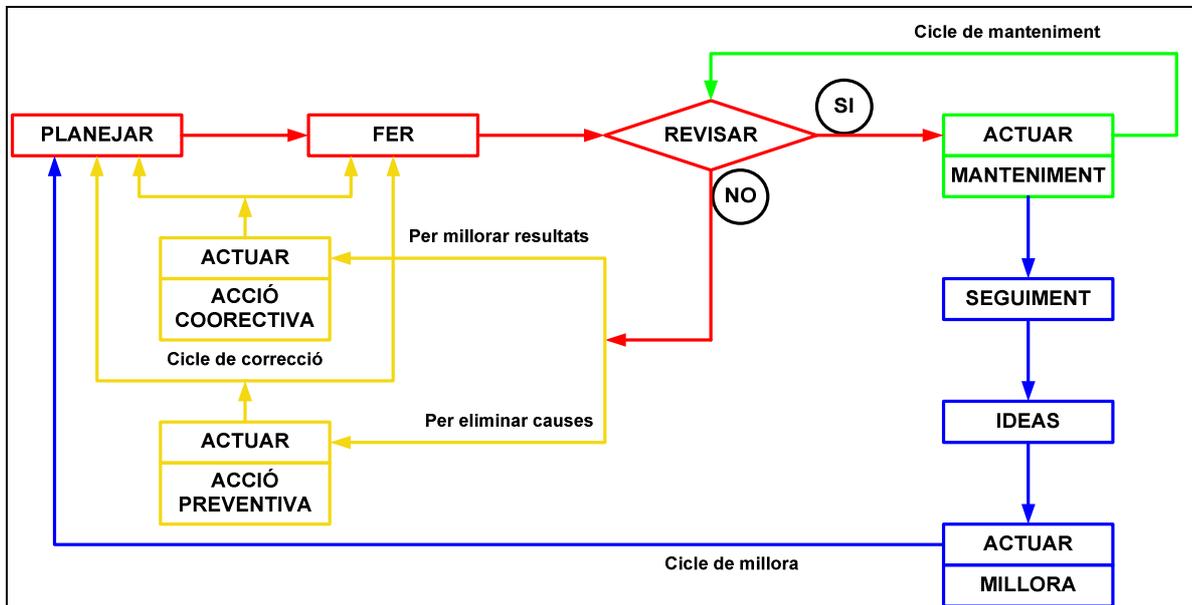


Figura 3.2. Ampliació del Cicle PDCA proposada pel Dr. Miyauchi



4. Implantació de les millores

Des del Febrer del 2008, en el Laboratori de tecnologies avançades de la producció de la FCIM, s'ha decidit desenvolupar i implantar diferents sistemes de millora continua a partir de la realització de Plans de Millora per tal de millorar l'eficiència de les instal·lacions del Centre.

El primer que es va fer va ser analitzar la situació en la que es trobava el laboratori de tecnologies avançades de la producció. Per realitzar aquest anàlisi preliminar es va dividir el laboratori en quatre àrees:

- Àrea de processos
- Àrea de metrologia
- Àrea de prototipatge
- Àrea de disseny i desenvolupament

A l'**àrea de processos** no es van determinar punts importants de millora, ja que la gestió de les ordres de fabricació i les matèries primeres estava molt optimitzada. Si que es va veure que des de l'àrea de processos es podia intervenir en les millores en altres àrees definint correctament paràmetres i mètodes de treball.

Pel que fa a l'**àrea de metrologia** no es va detectar que hi hagués un potencial de millora important en cap de les pràctiques que si realitzaven. A més, el baix volum de serveis que s'efectua en aquesta àrea no justifica la inversió que suposaria implantar-hi millores.

L'**àrea de prototipatge** es va analitzar dividint-la en dos grups: mecanitzat i rapid prototyping. Es va observar que en l'àrea de mecanitzat hi havia potencial de millora en l'àmbit del canvi ràpid d'utilatge, ja que la majoria de les comandes eren per peça única. D'altra banda la saturació en aquesta secció no justificava la inversió que s'hauria d'haver realitzat per instal·lar sistemes de canvi ràpid d'utilatge.



En l'àrea de rapid prototyping es va observar que el principal problema era la saturació dels 2 equips formaven aquesta secció. Es va veure que el potencial de millora en aquests equips era molt important i l'impacte que podia suposar-hi una millora podia ser molt significatiu.

A l'**àrea de disseny i desenvolupament**, de la mateixa manera que a la de processos, no es van determinar punts de millora significatius.

Una vegada analitzades les 4 àrees del Laboratori es va decidir implantar les millores en l'àrea de prototipatge, concretament als equips de rapid prototyping ja que eren els que presentaven un major potencial de millora i en els quals una millora podia suposar un major impacte en el laboratori.

En els apartats que segueixen es descriu la implantació d'aquestes millores i la metodologia emprada. Així com l'avaluació dels resultats obtinguts tant a nivell qualitatiu com econòmic.

Els exemples que s'exposen fan referència a millores implantades en els serveis de prototipatge ràpid que ofereix la FCIM a les empreses.

Aquests permeten la obtenció directe de models i prototips a partir de fitxers 3D generats per sistemes CAD de manera ràpida i econòmica.

La primera millora que s'explica es va realitzar a la màquina d'estereolitografia i consistia en optimitzar el procés de canvi de resina, per tal de reduir-ne el temps.

Per realitzar aquesta millora es va aplicar la metodologia SMED (Single Minute Exchange of Die). Amb la implantació d'aquesta millora es pretenia augmentar la disponibilitat de la instal·lació reduint els temps de preparació de la màquina.

La següent millora que es descriu es va efectuar a la màquina de sinteritzat de pols de poliamida i consistia en trobar un procés més robust per reduir l'elevat rebuig de la instal·lació.

L'eina emprada per millorar el procés va ser la realització d'un disseny d'experiments per tal de determinar les condicions òptimes de treball de la màquina i reduir d'aquesta manera la repetició de peces defectuoses i el retorn d'aquestes per part dels clients augmentant d'aquesta manera l'eficiència de la instal·lació.



4.1. Reducció del temps de canvi de resina de la màquina SLA 7000 (SMED)

Dins els serveis de prototipatge ràpid que s'ofereixen a la Fundació CIM hi ha el d'estereolitografia o SLA (Stereolithography Apparatus). Aquest permet obtenir, de forma ràpida, prototips amb bones prestacions dimensionals i una molt bona qualitat pel que fa a l'aspecte.

Les peces realitzades amb aquest sistema de prototipatge són més fràgils que les realitzades per sintertitzat de pols de poliamida, però presenten millor aspecte, a la figura 4.1 es pot observar un prototip realitzar per estereolitografia.

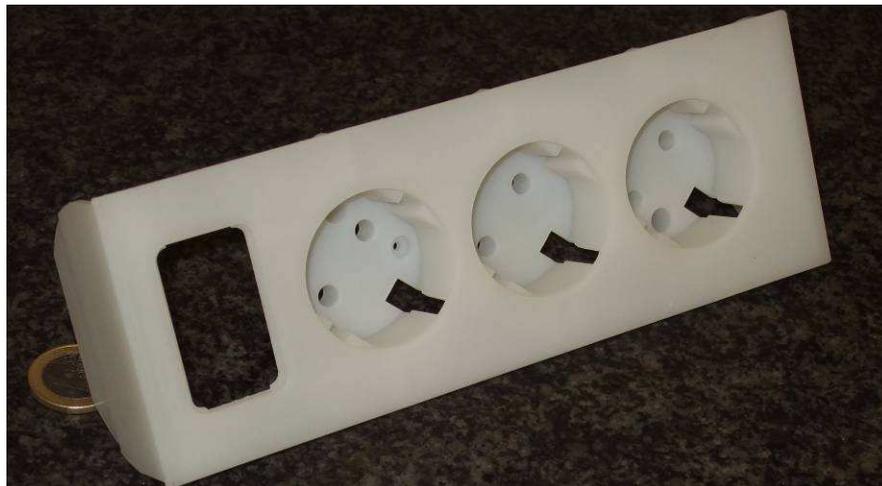


Figura 4.1. Base d'endoll realitzada amb SLA.

El procés d'estereolitografia consta de les següents fases:

- S'omple una cubeta de resina foto polimèrica i es deixa reposar fins a assegurar que a la superfície no hi ha bombolles.
- Posteriorment la plataforma sobre la qual es realitzarà el prototip puja fins a la superfície i baixa unes dècimes, llavors el recoater va d'una banda a l'altre de la cubeta per tal de deixar la superfície llisa.



- Llavors es desencadena el procés de polimerització mitjançant la incidència d'un làser UV, de pocs miliWatts, sobre la resina. El làser representa un tall en dues dimensions de la peça sobre la resina líquida solidificant-ne la capa superficial (0.15mm). A la figura 4.2 es pot observar com polimeritza una d'aquestes capes.

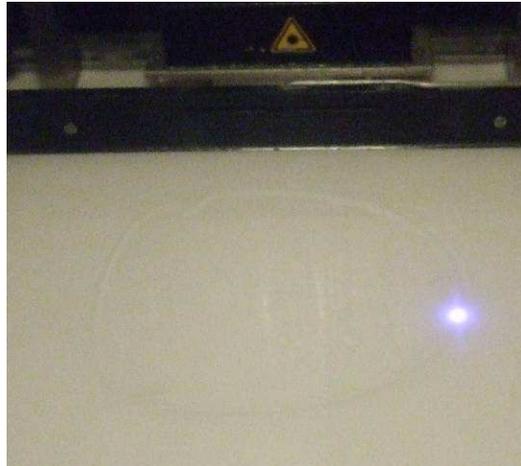


Figura 4.2. Polimerització de la resina.

- Una vegada realitzada una capa la plataforma descendeix 0.15mm fins que la resina cobreix la capa anterior i torna a passar el recoater per deixar la superfície uniforme.

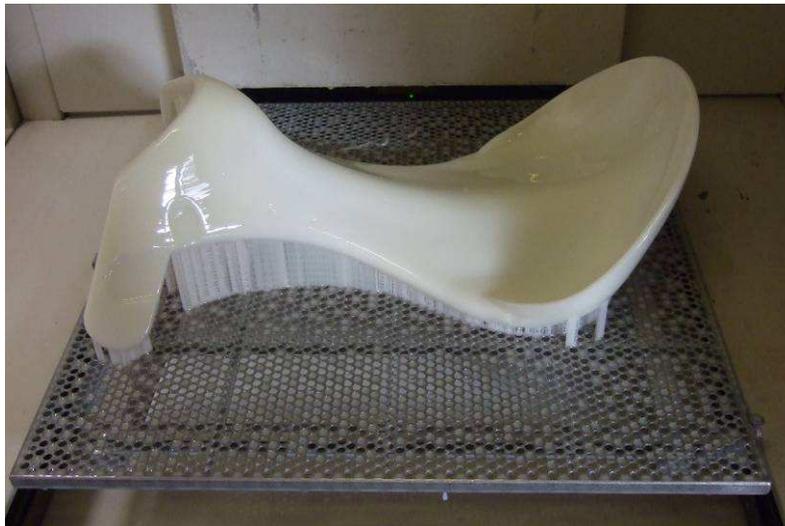


Figura 4.3. Prototip una vegada finalitzada la construcció.



Aquest procés de solidificació de la resina es va repetint fins a obtenir, per capes, la peça desitjada. Una vegada finalitzat el procés la plataforma ascendeix traient a la superfície el prototip (figura 4.3).

Per acabar de realitzar una perfecte solidificació de la resina es realitza un procés de post curat en un forn de llum ultraviolada.

Aquest procés es pot realitzar amb diferents classes de resina segons els requeriments, tant visuals com funcionals, del client. La màquina que hi ha al laboratori de la Fundació CIM pot treballar amb els següents tipus de resina:

- Resina epoxi translúcida/transparent.
- Resina epoxi translúcida àmbar.
- Resina DSM Somos 9120 (opaca, blanca, robusta, bon acabat en ambdues cares).

A la figura 4.4 es pot observar un esquema d'una màquina d'estereolitografia, en el qual es poden observar els seus principals elements.

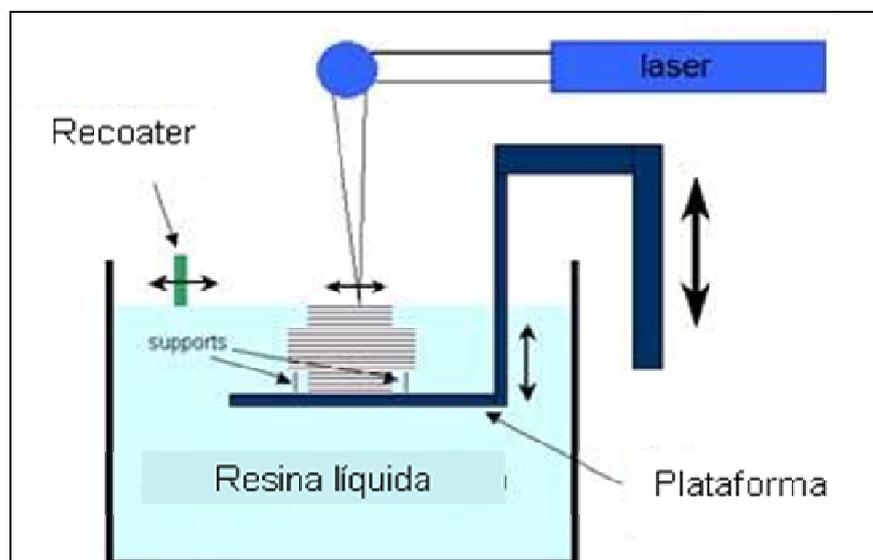


Figura 4.4. Esquema d'una màquina d'estereolitografia.



4.1.1. Objectius

El principal problema que apareix a l'oferir aquest servei és causat per l'elevat temps de preparació i de canvi entre els diferents tipus de resina. Això fa que per comandes de prototips en tipus de resines poc habituals (la que s'usa normalment és Resina DSM Somos 9120), o bé s'hagi de descartar la seva realització o augmenti el cost de la peça i el plaç d'entrega sigui més elevat de l'habitual.

Actualment per donar una resposta ràpida a les necessitats dels clients es subcontracta el servei per un cost aproximat de 750€/mes.

Per tal de disminuir el temps emprat en el canvi de resina, i així millorar el servei ofert als clients i la competitivitat del servei, es va decidir d'aplicar la metodologia SMED per reduir el temps de canvi de dipòsit i sobretot el de màquina parada, per tal de ser més flexibles davant la demanda dels clients i no haver de realitzar la subcontractació del servei.

4.1.2. Anàlisi de la situació inicial

Inicialment, cada vegada que s'havia de realitzar un canvi de resina la màquina de SLA havia de romandre 4 hores parada. Els passos que es seguien per tal de realitzar el canvi, una vegada aturada la màquina, eren els següents:

- Baixar el dipòsit de resina fins a posició.
- Treure la tapa frontal de la màquina.
- Extreure el dipòsit de resina que hi ha a la màquina (dipòsit A), tapar-lo i guardar-lo en el magatzem (figura 4.5).
- Agafar el dipòsit B del magatzem i portar-lo a la sala on hi ha la màquina d'estereolitografia.
- Anar al magatzem a buscar els recipients per guardar la resina del dipòsit B.
- Buidar el dipòsit B de resina i guardar-la en els recipients adequats i identificats per aquest fi i tornar-los al magatzem.



- Netejar el dipòsit B de restes de la resina que contenia.
- Anar al magatzem a buscar els recipients amb la nova resina pel dipòsit B, abocar-la al dipòsit i tornar els recipients al magatzem.
- Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA.
- Col·locar la tapa frontal de la màquina.
- Pujar el dipòsit de resina fins a la seva situació de treball.



Figura 4.5. Extracció del dipòsit de resina de la màquina de SLA.

Per poder efectuar totes aquestes operacions era necessari que la màquina d'estereolitografia estigués aturada aproximadament 4 hores i que dos operaris efectuassin les tasques corresponents.

4.1.3. Metodologia emprada

La metodologia que es va utilitzar per reduir el temps de canvi de resina a la màquina de SLA és el que es coneix com a SMED (Single Minute Exchange of Die).



L'objectiu d'aquesta és reduir els temps de canvi, i així poder efectuar els canvis de resina més sovint i amb un menor cost augmentant així la capacitat de les instal·lacions de Rapid Prototyping.

Es va aplicar seguint els següents passos:

- Observació de la manera d'operar inicial (Etapa preliminar).
- Classificació de les operacions en internes i externes (1^{era} etapa).
- Passar les operacions internes a externes (2^{ona} etapa).
- Millorar les operacions de preparació (3^{era} etapa).

Com a operacions internes s'entenen totes aquelles que es realitzen amb la màquina parada, sense produir.

Les externes son les que s'efectuen amb la màquina en marxa, durant la producció.

4.1.3.1. Observació de la manera d'operar actual

Aquesta primera fase es pot considerar com un pas previ a l'aplicació de la metodologia SMED.

Per tal de determinar les operacions que es realitzaven en el procés de canvi de resina i la manera com es duïen a terme es va realitzar una gravació amb vídeo que es va analitzar posteriorment.

L'equip encarregat de l'anàlisi del procés estava format per els operaris encarregats de realitzar el canvi (2 operaris) i pel coordinador dels equips de millora.

Les operacions que es van determinar i els temps emprats en la realització del canvi del dipòsit de resina es poden observar a la taula 4.1. També es pot veure el diagrama de Gantt corresponent a la figura 4.6.



De l'anàlisi de la taula 4.1 es pot concloure que el temps de canvi de dipòsit es pot realitzar amb menys temps del que es realitza actualment, evitant la realització de les operacions 1, 2 i 3 (3.5min).

Aquestes s'efectuen perquè el dipòsit no està a la posició correcta en el moment d'iniciar el procés, això es pot evitar estandarditzant-lo de tal manera que l'operari que ha d'efectuar el canvi sàpiga en tot moment quines operacions ha d'efectuar i com i no hagi de repetir operacions.

	OPERACIÓ	OPERARIS	TEMPS (min)
1	Treure la tapa frontal de la màquina	1	2
2	Veure que el dipòsit de resina no està a la posició correcta	1	0,5
3	Tornar a col·locar la tapa frontal de la màquina	1	1
4	Col·locar el dipòsit a la posició correcta	1	1
5	Treure la tapa frontal de la màquina	1	2
6	Forçar la senyal de tapa col·locada	1	0,5
7	Treure el calaix	1	0,5
8	Baixar el dipòsit de resina	1	2
9	Extreure el dipòsit A	2	1,5
10	Anar a buscar la tapa del dipòsit A al magatzem	1	2
11	Tapar el dipòsit A	1	0,5
12	Portar el dipòsit A al magatzem	2	7
13	Netejar les restes de resina de la plataforma	1	4
14	Agafar el dipòsit B del magatzem	1	8
15	Anar al magatzem a buscar els recipients per guardar la resina	2	13
16	Buidar la resina del dipòsit B als recipients	2	60
17	Portar els recipients amb resina al magatzem	2	15
18	Netejar el dipòsit B de restes de resina	2	45
19	Col·locar paper a les juntes del dipòsit	2	5
20	Agafar els bidons de resina nova	2	16
21	Omplir de resina el dipòsit B	2	45
22	Tornar els recipients buits al magatzem	2	14
23	Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA	2	15
24	Pujar el dipòsit	1	2
25	Col·locar el calaix a sota el dipòsit	1	0,5
26	Col·locar la tapa frontal de la màquina	1	2
27	Pujar el dipòsit de resina fins a la seva ubicació de treball	1	1
28	Passar el recoater per eliminar les bombolles de la superfície	1	1
	TOTAL		267

Taula 4.1. Determinació de les operacions realitzades en el procés de canvi de dipòsit.



Observant el diagrama de Gantt del procés inicial (figura 4.6) es pot deduir que amb la replanificació de tasques es pot aconseguir reduir considerablement el temps de màquina parada.

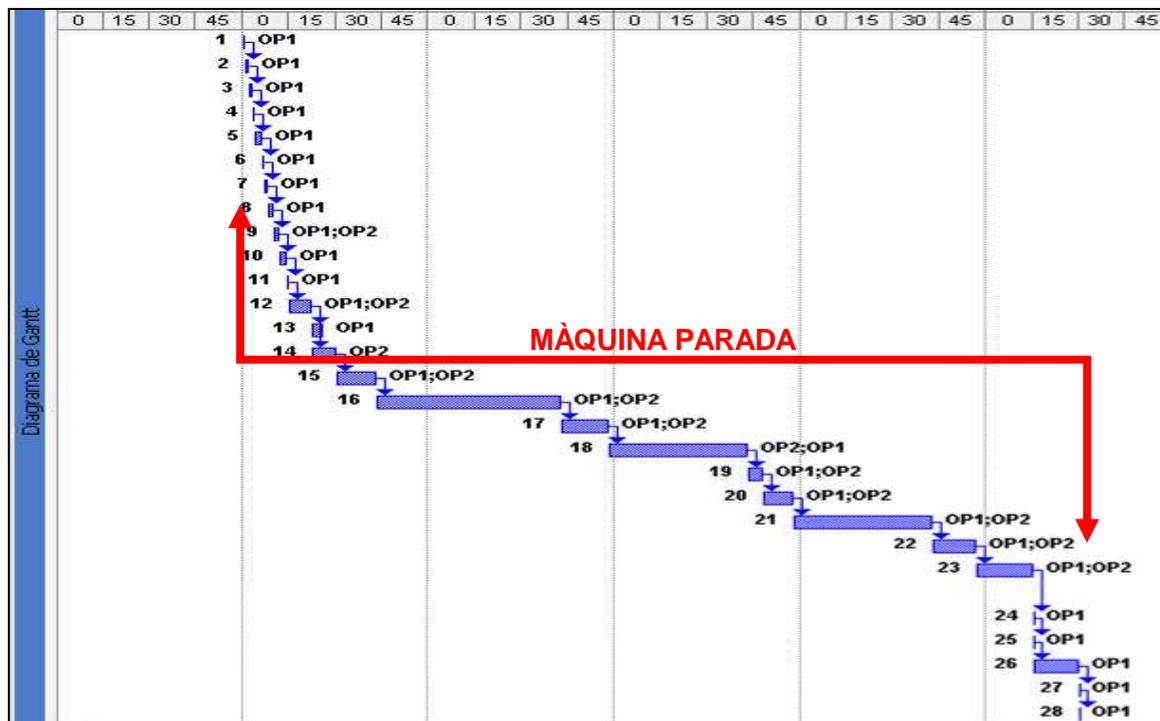


Figura 4.6. Diagrama de Gantt del procés de canvi de dipòsit.

En total amb la manera de treballar actual el temps de màquina parada per realitzar el canvi de dipòsit és de 4.45 hores.

4.1.3.2. Classificació de les operacions en internes i externes

En aquesta etapa es tracta de diferenciar les operacions que es realitzen durant el procés en internes o externes.

L'equip de treball va classificar les operacions en internes o externes segons es realitzaven en el moment d'efectuar l'anàlisi.

Es va diferenciar quines d'aquestes era inevitable fer-les amb la màquina aturada i quines es podien realitzar amb la màquina en marxa. A la taula 4.2 es pot observar el resultat d'aquesta classificació.



OPERACIÓ		Actual	Ideal
1	Comprobar que el dipòsit està a la posició correcta	Interna	Interna
2	Col·locar el dipòsit a la posició correcta	Interna	Interna
3	Treure la tapa frontal de la màquina	Interna	Interna
4	Forçar la senyal de tapa col·locada	Interna	Interna
5	Treure el calaix	Interna	Interna
6	Baixar el dipòsit de resina	Interna	Interna
7	Extreure el dipòsit A	Interna	Interna
8	Anar a buscar la tapa del dipòsit A al magatzem	Interna	Externa
9	Tapar el dipòsit A	Interna	Externa
10	Portar el dipòsit A al magatzem	Interna	Externa
11	Netejar les restes de resina de la plataforma	Interna	Interna
12	Agafar el dipòsit B del magatzem	Interna	Externa
13	Anar al magatzem a buscar els recipients per guardar la resina	Interna	Externa
14	Buidar la resina del dipòsit B als recipients	Interna	Externa
15	Portar els recipients amb resina al magatzem	Interna	Externa
16	Netejar el dipòsit B de restes de resina	Interna	Externa
17	Col·locar paper a les juntes del dipòsit	Interna	Externa
18	Agafar els bidons de resina nova	Interna	Externa
19	Omplir de resina el dipòsit B	Interna	Externa
20	Tornar el recipients buits al magatzem	Interna	Externa
21	Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA	Interna	Interna
22	Pujar el dipòsit	Interna	Interna
23	Col·locar el calaix a sota el dipòsit	Interna	Interna
24	Col·locar la tapa frontal de la màquina	Interna	Interna
25	Pujar el dipòsit de resina fins a la seva ubicació de treball	Interna	Interna
26	Passar el recoater per eliminar les bombolles de la superfície	Interna	Interna

Taula 4.2. Classificació de les operacions en internes o externes.

A la taula 4.2 es pot observar que el 46% de les operacions de canvi de dipòsit es poden realitzar amb la màquina en marxa.

Fins el moment es realitzaven totes aturant la producció. Aquest fet suposa que dels 267 minuts que estava la màquina parada només era necessari que ho estigués 34 minuts, la resta d'operacions es podien realitzar amb la màquina en marxa.

4.1.3.3. Passar les operacions internes a externes

En aquesta fase es van reprogramar totes les operacions per tal de parar la màquina de SLA només quan s'haguessin de realitzar les operacions classificades com a internes.



La nova operativa es va determinar amb l'equip de treball una vegada especificades totes les tasques a realitzar i la tipologia d'aquestes.

Per tal d'assignar els recursos necessaris a cada tasca es va observar la forma d'operar inicial i es van qüestionar els diferents passos que es seguien, la necessitat de recursos en cada un d'ells i l'ordre d'aquests.

Els canvis més significatius van afectar a l'ordre de les operacions. Inicialment es parava la màquina i a continuació es realitzaven totes les operacions independentment de que fossin internes o externes.

Es va determinar que per poder efectuar el canvi el primer que s'havia de fer era tenir preparat el dipòsit B amb la resina nova, això va provocar que totes els passos de preparació d'aquest es realitzessin amb la màquina en marxa i abans de qualsevol dels altres.

Les operacions són les següents:

- Agafar el dipòsit B del magatzem.
- Agafar del magatzem els recipients per guardar resina.
- Buidar la resina del dipòsit B als recipients.
- Netejar el dipòsit B de les restes de resina.
- Col·locar paper a les juntes del dipòsit.
- Agafar el bidons de resina nova.
- Omplir de resina el dipòsit B.

Amb aquesta nova planificació de les activitats es va aconseguir reduir el temps de màquina parada en 195,5 minuts. Però encara dels 71,5 minuts que estava la màquina parada n'hi havia 37,5 que corresponien a les següents operacions externes:

- Agafar la tapa del dipòsit a del magatzem.
- Tapar el dipòsit A.



- Portar el dipòsit A al magatzem.
- Tornar els recipients buits al magatzem
- Tornar els bidons amb resina vella al magatzem

Aquestes es va decidir realitzar-les en paral·lel amb les internes, per tal de poder reduir el temps total de canvi de dipòsit.

L'operació de tornar els bidons amb resina vella al magatzem es va solapar amb la d'anar a buscar els bidons de resina nova.

Una vegada definit el nou ordre de realització de tasques es va analitzar quines d'elles es podien realitzar o iniciar en paral·lel i quins recursos eren necessaris en cada una.

Per exemple, es va determinar que per a fer la tasca 26 no era necessària la presència de dos operaris i que mentre un portava el dipòsit A al magatzem l'altre podia deixar la màquina a punt.

D'aquest estudi en va sortir la planificació que s'observa a la taula 4.3 (a i b), les operacions marcades en blau son internes.

	OPERACIÓ	TEMPS (min)	PRECEDENT	OPERARIS
1	Agafar el dipòsit B del magatzem	8		OP2
2	Anar al magatzem a buscar els recipients per guardar la resina	8		OP1
3	Anar al magatzem a buscar els recipients per guardar la resina	9	1;2	OP1;OP2
4	Buidar la resina del dipòsit B als recipients	60	3	OP1;OP2
5	Col·locar paper a les juntes del dipòsit	5	4	OP2
6	Netejar el dipòsit B de les restes de resina	5	4	OP1
7	Netejar el dipòsit B de restes de resina	43	6;5	OP1;OP2
8	Agafar els bidons de resina nova/Tornar els de resina vella	15	7	OP1;OP2
9	Omplir de resina el dipòsit B	45	8	OP1;OP2
10	Comprobar que el dipòsit està a la posició correcta	1	9	OP1
11	Col·locar el dipòsit a la posició correcta	1	10	OP1
12	Treure la tapa frontal de la màquina	2	11	OP1
13	Forçar la senyal de tapa col·locada	0,5	12	OP1
14	Treure el calaix	0,5	13	OP1
15	Baixar el dipòsit de resina	2	14	OP1

Taula 4.3a. Nova planificació de les operacions de canvi de dipòsit.



OPERACIÓ	TEMPS (min)	PRECEDENT	OPERARIS
16 Tomar els recipients buits al magatzem	7	9	OP2
17 Extreure el dipòsit A	1,5	15;16	OP1;OP2
18 Netejar les restes de resina de la plataforma	4	17	OP2
19 Anar a buscar la tapa del dipòsit A al magatzem	2	17	OP1
20 Tapar el dipòsit A	0,5	19	OP1
21 Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA	15	18;20	OP1;OP2
22 Pujar el dipòsit	2	21	OP1
23 Col·locar el calaix a sota el dipòsit	0,5	22	OP1
24 Col·locar la tapa frontal de la màquina	2	23	OP1
25 Pujar el dipòsit de resina fins a la seva ubicació de treball	1	24	OP1
26 Passar el recoater per eliminar les bombolles de la superfície	1	25	OP1
27 Portar el dipòsit A al magatzem	7	21	OP2
28 Tomar els recipients buits al magatzem	10	26;27	OP1;OP2
TOTAL	229		

Taula 4.3b. Nova planificació de les operacions de canvi de dipòsit.

La nova organització de tasques permet passar de 267 minuts de temps de canvi total a 229 minuts, d'aquests 34 son amb la màquina parada. Anteriorment la màquina estava aturada durant els 267 minuts que durava la operació de canvi de dipòsit. Aquesta reducció de temps es va aconseguir distribuint les tasques i els recursos de la manera que es pot observar a la figura 4.7.

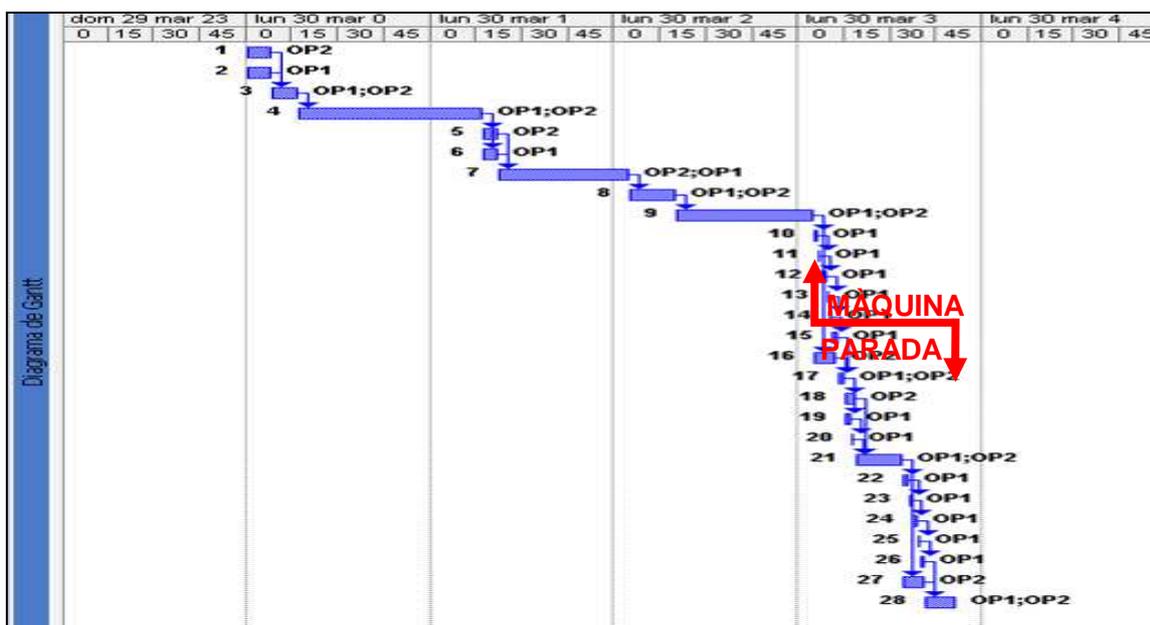


Figura 4.7. Diagrama de Gantt de la nova planificació pel canvi de dipòsit.



4.1.3.4. Millorar les operacions de preparació

La nova planificació de les operacions de canvi de dipòsit va permetre reduir considerablement el temps de màquina parada, però el temps total de canvi de resina seguia sent molt elevat i requeria de dos operaris per a poder realitzar les tasques descrites en el temps programat.

Per tal de reduir el màxim possible aquest es van identificar les tasques que necessitaven més temps i es va determinar la possibilitat de reduir-lo. Aquestes son les que es citen a continuació:

- Anar a buscar els recipients per guardar la resina: 17 minuts
- Buidar la resina del dipòsit B als recipients: 60 minuts
- Netejar el dipòsit B de les restes de resina: 48 minuts
- Agafar els bidons de resina nova/tornar els de resina vella: 15 minuts
- Omplir de resina el dipòsit B: 45 minuts
- Tornar els recipients buits al magatzem: 17 minuts
- Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA: 15 minuts

Per poder reduir el temps total de canvi de resina l'equip de treball va analitzar la manera de realitzar aquestes operacions i es va estudiar quina era la problemàtica que feia que aquestes requerissin un temps de realització tant elevat.

En els apartats que hi ha a continuació s'analitzen les causes d'aquests temps d'execució tant elevats en les tasques descrites anteriorment i les propostes que va fer l'equip de treball per tal de reduir-lo.

- **Anar a buscar/tornar els recipients de resina al magatzem.** En aquest punt es va observar que les tres vegades que els operaris anaven al magatzem per agafar o tornar els recipients on s'emmagatzema la resina, en total tardaven 49 minuts,



gastaven la major part del temps realitzant viatges amb dos recipients en cada un d'ells.

L'equip de treball va proposar una nova ubicació per els recipients que permetés el moviment d'aquests amb una transpaleta de manera que amb un únic viatge es poguessin tenir disponibles tots els recipients.

Es va estimar que la implantació d'aquesta millora suposaria una reducció d'aproximadament 25 minuts en el temps total de canvi de dipòsit i que només seria necessari un operari.

- **Buidar la resina del dipòsit B als recipients.** Analitzant aquesta tasca es va determinar que existien diferents factors que dificultaven la realització d'aquesta en menys temps. Els principals problemes que es van identificar:

- a) *La resina s'havia d'emmagatzemar en els mateixos recipients d'origen.* Aquests eren de 9 litres i per tant era necessari fer-ne servir 28 aproximadament per poder-hi posar tota la resina que contenia el dipòsit de la màquina.

A més el forat d'entrada era petit fet que impedia omplir el recipient més ràpidament.

En aquest punt no es va trobar cap solució que pogués resoldre el problema, ja que era necessari guardar la resina en els seus recipients d'origen per tal de que no es malmetés i pogués tornar a ser usada en posteriors produccions.

- b) *Poc cabal de l'aixeta de buidat.* Aquesta no permetia extreure la resina del dipòsit més ràpidament (veure figura 4.8).

Per solucionar aquest problema es va proposar fer servir una bomba manual connectada a l'aixeta de buidat i així augmentar el cabal de resina que es treia del dipòsit i entrava als recipients de manera que aquests es poguessin omplir més ràpidament.





Figura 4.8. Aixeta de buidat del dipòsit de resina.

- c) *La resina s'havia de filtrar abans de ser emmagatzemada.* En el moment de realitzar l'estudi es filtrava la resina amb un filtre col·locat al forat d'entrada dels recipients. Això provocava que cada vegada que s'havia de col·locar un nou recipient també s'havia de canviar el filtre.

Es va proposar col·locar un filtre a l'entrada del conducte de sortida de resina del dipòsit, així el filtre no s'hauria de canviar cada vegada que es volgués omplir un recipient nou i només se n'hauria de col·locar un nou a l'aixeta del dipòsit.

Es va estimar que l'aplicació d'aquestes mesures reduiria el temps de l'operació en aproximadament 25 minuts.

- **Netejar del dipòsit B les restes de resina.** El principal problema que presentava aquesta operació era l'eliminació de restes de resina adherides a la paret del dipòsit, aquestes eren eliminades de forma manual per els operaris amb rasquetes.

La solució plantejada per l'equip de treball consistia en realitzar la neteja amb un equip de neteja d'alta pressió (tipus Karcher) aquest permetria eliminar les restes de resina més ràpidament i amb la participació d'un sol operari, es va estimar que el temps emprat es reduiria en 25 minuts aproximadament.



- **Omplir de resina el dipòsit B.** En aquesta operació s'havien d'agafar els 28 recipients de resina (9 litres cadascun), sacsejar-los per barrejar correctament el seu contingut, treure el tap i el precinte i buidar la resina al dipòsit (figura 4.9). Això suposava un total de 45 minuts.

Es va proposar parlar amb el proveïdor dels recipients de resina per veure si podia subministrar-los amb un major volum, no més de 15 litres ja que havien de ser manejables per els operaris.

Aquesta mesura permetria passar de 28 a 17 recipients i per tant els operaris podrien reduir el nombre d'operacions a realitzar, es va estimar que es podria reduir el temps de la operació en 10 minuts.



Figura 4.9. Emplenat del dipòsit amb la nova resina.

- **Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA.** El motiu pel qual es tardava 15 minuts en realitzar l'operació era que els operaris havien de col·locar de manera manual els suports del dipòsit en els cilindres que el desplaçaven a l'alçada correcta de la forma que s'observa a la figura 4.10.

La solució proposada per l'equip de treball contemplava l'ús d'unes guies que portessin el dipòsit a posició per tal de que els cilindres al pujar elevessin el dipòsit fins a la seva posició de treball. Es va estimar que es reduiria el temps de l'operació en 10 minuts.





Figura 4.10. Suports del dipòsit i cilindres.

L'aplicació de totes les mesures descrites anteriorment suposaria que el temps total de canvi de dipòsit fos de 128 minuts i el temps de màquina parada de 24 minuts. A la taula 4.4 es pot observar com funcionaria aquesta nova planificació.

OPERACIÓ	TEMPS (min)	PRECEDENT	OPERARIS
1 Agafar el dipòsit B del magatzem	8		OP2
2 Anar al magatzem a buscar els recipients per guardar la resina	3		OP1
3 Buidar la resina del dipòsit B als recipients	35	1;2	OP1;OP2
4 Col·locar paper a les juntes del dipòsit	5	3	OP2
5 Netejar el dipòsit B de les restes de resina	23	3	OP1
6 Agafar els bidons de resina nova/Tornar els de resina vella	10	4	OP2
7 Omplir de resina el dipòsit B	35	5;6	OP1;OP2
8 Comprobar que el dipòsit està a la posició correcta	1	7	OP1
9 Col·locar el dipòsit a la posició correcta	1	8	OP1
10 Treure la tapa frontal de la màquina	2	9	OP1
11 Forçar la senyal de tapa col·locada	0,5	10	OP1
12 Treure el calaix	0,5	11	OP1
13 Baixar el dipòsit de resina	2	12	OP1
14 Posar els recipients buits a la paleta	7	7	OP2
15 Extreure el dipòsit A	1,5	14;13	OP1;OP2
16 Netejar les restes de resina de la plataforma	4	15	OP2
17 Anar a buscar la tapa del dipòsit A al magatzem	2	15	OP1
18 Tapar el dipòsit A	0,5	17	OP1
19 Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA	5	16;18	OP1;OP2
20 Pujar el dipòsit	2	19	OP1
21 Col·locar el calaix a sota el dipòsit	0,5	20	OP1
22 Col·locar la tapa frontal de la màquina	2	21	OP1
23 Pujar el dipòsit de resina fins a la seva ubicació de treball	1	22	OP1
24 Passar el recoater per eliminar les bombolles de la superfície	1	23	OP1
25 Portar el dipòsit A al magatzem	7	19	OP2
26 Tornar els recipients buits al magatzem	3	24	OP1
TOTAL	128		

Taula 4.4. Nova planificació després de millorar les operacions de preparació.



4.1.4. Anàlisi d'alternatives

- Opció A: Implantar les millores que suposen un canvi metodològic (cost 0)

Aquestes son totes les derivades dels tres primers passos de l'aplicació de la metodologia SMED i de la quarta fase només s'implantaria la millora en el transport dels bidons de resina.

Si es decidís implantar aquesta opció el temps total de canvi de resina seria de 208 minuts i el temps de màquina parada de 34 minuts.

- Opció B: Implantar totes les millores

Aquesta opció contemplaria la implantació de totes les millores descrites en les quatre fases i suposaria un temps total de canvi de resina de 128 minuts amb 24 minuts de màquina parada.

A la taula 4.5 s'analitzen els principals punts a favor i en contra de cada una de les alternatives que s'han plantejat.

	+	-
Opció A	Cost mínim pel Centre	No s'optimitza al màxim el procés de canvi
	El risc de la implantació és mínim	
	Reducció progressiva del temps de canvi segons efectivitat de les mesures ja implantades	
Opció B	Optimització màxima dels recursos	Elevat cost d'implantació

Taula 4.5. Anàlisi de les dues alternatives.



4.1.5. Definició de la nova organització

Una vegada analitzats els punts positius i negatius de les dues opcions (A i B) es va optar per implantar la opció A, ja que no suposava un cost d'implantació elevat i el risc era menor per a la FCIM. A més, en el cas de ser necessari reduir més el temps de canvi sempre es podien implantar les mesures que havien quedat pendents.

Amb l'aplicació de totes les mesures contemplades en l'opció A la manera d'operar final va quedar com es mostra a la taula 4.5.

OPERACIÓ	TEMPS (min)	PRECEDENT	OPERARIS
1 Agafar el dipòsit B del magatzem	8		OP2
2 Anar al magatzem a buscar els recipients per guardar la resina	3		OP1
3 Buidar la resina del dipòsit B als recipients	60	1;2	OP1;OP2
4 Col·locar paper a les juntes del dipòsit	5	3	OP2
5 Netejar el dipòsit B de les restes de resina	5	3	OP1
6 Netejar el dipòsit B de restes de resina	43	4;5	OP1;OP2
7 Agafar els bidons de resina nova/Tornar els de resina vella	10	6	OP2
8 Omplir de resina el dipòsit B	45	7	OP1;OP2
9 Comprobar que el dipòsit està a la posició correcta	1	8	OP1
10 Col·locar el dipòsit a la posició correcta	1	9	OP1
11 Treure la tapa frontal de la màquina	2	10	OP1
12 Forçar la senyal de tapa col·locada	0,5	11	OP1
13 Treure el calaix	0,5	12	OP1
14 Baixar el dipòsit de resina	2	13	OP1
15 Posar els recipients buits a la paleta	7	8	OP2
16 Extreure el dipòsit A	1,5	14;15	OP1;OP2
17 Netejar les restes de resina de la plataforma	4	16	OP2
18 Anar a buscar la tapa del dipòsit A al magatzem	2	16	OP1
19 Tapar el dipòsit A	0,5	18	OP1
20 Col·locar el dipòsit B a la màquina de SLA	15	17;19	OP1;OP2
21 Pujar el dipòsit	2	20	OP1
22 Col·locar el calaix a sota el dipòsit	0,5	21	OP1
23 Col·locar la tapa frontal de la màquina	2	22	OP1
24 Pujar el dipòsit de resina fins a la seva ubicació de treball	1	23	OP1
25 Passar el recoater per eliminar les bombolles de la superfície	1	24	OP1
26 Portar el dipòsit A al magatzem	7	20	OP2
27 Tornar els recipients buits al magatzem	3	25	OP1
TOTAL	208		

Taula 4.6. Organització final en el procés de canvi de dipòsit de la màquina de SLA

Com es pot observar a la taula 4.5 es va passar d'un temps total de canvi de dipòsit de 267 minuts, tots ells amb la màquina aturada, a un de 208 minuts, només 34 dels quals eren amb la màquina aturada.



Es va decidir que es realitzarien avaluacions trimestrals de l'efecte de les millores a la instal·lació i en funció de l'impacte real que tingués la nova definició del procés s'implantarien de manera progressiva les millores que quedaven pendents. Si s'observés que amb les mesures definides no s'obtenia el resultat esperat es revisaria el procediment en busca de nous punts de millora.

En el cas d'haver d'implantar les mesures descrites anteriorment es va acordar realitzar-ho en el següent ordre:

- **Col·locar guies per facilitar la col·locació del dipòsit a la màquina de SLA.**
Aquesta mesura redueix el temps de màquina parada, per tant és prioritària abans que qualsevol de les altres que redueixen, únicament, el temps total de canvi de dipòsit.
- **Netejar amb un equip de neteja d'alta pressió les restes de resina del dipòsit.**
L'aplicació d'aquesta mesura permetia reduir el temps de l'operació en 25 minuts i els recursos necessaris passaven de 2 a 1 operari.

De les tres accions que faltaven per realitzar és la que permet reduir més els recursos necessaris per realitzar l'operació.

- **Col·locar un filtre a la sortida del dipòsit i bombejar la resina cap als recipients.** Realitzant aquesta millora es va estimar que es podria reduir el temps total de canvi de dipòsit en 25 minuts.
- **Modificar els bidons de resina per reduir el nombre d'operacions de buidat.**
Aplicant aquesta solució es podia reduir en 10 minuts el temps total de l'operació.

A l'annex A es pot veure el nou procediment de treball quan s'efectua el canvi de dipòsit de resina a la màquina d'estereolitografia.



4.2. Determinació de les condicions de treball òptimes de la màquina de SLS (Disseny d'experiments)

Un dels serveis que la FCIM ofereix a les empreses és el de prototipatge ràpid mitjançant sinteritzat per làser de pols de poliamida (Selective Laser Sintering; SLS).

El sinteritzat de pols de poliamida permet obtenir prototips i peces funcionals en molt poc temps i amb una alta qualitat dimensional i funcional.

El procés de sinteritzat de pols de poliamida consta de les següents fases:

- Inicialment s'aporta una capa de material sobre la cubeta de la zona peça mitjançant el rodet (recoater), aquest garanteix la planitud de la capa. El gruix d'aquesta sòl oscil·lar entre els 0.10 – 0.15mm.
- Una vegada realitzada la capa de material a la zona peça, es procedeix a escalfar la cambra de procés fins a una temperatura pròxima a la de fusió de la poliamida (175-190° C).
- Assolida la temperatura a la cambra de procés es procedeix a sinteritzar la pols mitjançant un làser. Aquest és focalitzat sobre la cubeta de la zona de construcció de la peça i va realitzant la geometria establerta pel software de control gràcies a un sistema de miralls.

La pols, al rebre l'energia procedent del làser, arriba a la temperatura de sinteritzat fet que garanteix l'adherència entre partícules.

- Una vegada sinteritzada una capa, la plataforma de la cubeta de la zona peça descendeix (normalment entre 0.10 i 0.15mm, segons el que s'hagi definit en el software) i el rodet aporta una nova capa de material.

Els dos últims punts d'aquest procés es repeteixen el nombre de vegades que sigui necessari fins a obtenir la peça desitjada.

Aquesta tècnica permet obtenir peces en 3 dimensions a partir de la unió de talls en dues dimensions.



4.2.1. Objectius

A l'oferir aquest servei s'ha observat que el 20% d'aquests prototips s'havien de repetir a causa de defectes importants (deformacions, falta de material, capes no cohesionades,...) que no permetien complir amb les especificacions del client.

Això suposa un cost, tan a nivell econòmic com d'imatge de cara al client. A la figura 4.11 es pot observar una peça defectuosa per falta de material.



Figura 4.11. Prototip de xassís realitzat amb SLS

Amb la intenció de minimitzar aquest problema s'ha realitzat un disseny d'experiments per determinar les condicions òptimes de treball de la màquina, i fer el procés el més estable i robust possible, aconseguint d'aquesta manera uns resultats que compleixin amb les necessitats i exigències dels clients, reduint així el retorn de prototips i la repetició de peces defectuoses.

4.2.2. Anàlisi de la situació inicial

Cada vegada que s'havien de realitzar prototips les condicions de treball de la màquina de SLS es determinaven a partir del coneixement que tenien els tècnics del Centre en la utilització d'aquesta tecnologia, tenint en compte les recomanacions del fabricant de la màquina i les limitacions de la matèria primera (pols de poliamida) indicades pel proveïdor (es poden consultar a l'annex B).



Això feia que en prototips amb una geometria senzilla (superfícies planes, peces amb parets de gruix constant,...) o amb poc volum el resultat final fos el desitjat. El problema sorgia quan es tractava de realitzar peces amb una major complexitat com la que es pot veure a la figura 4.12.

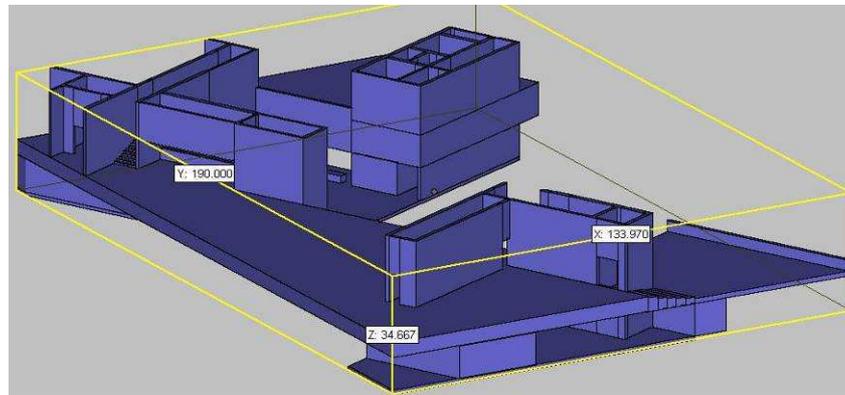


Figura 4.12. Disseny d'un prototip realitzat a la màquina de SLS.

En aquesta es pot observar com la complexa geometria del prototip i el fet de no tenir un gruix de paret constant pot ocasionar deformacions importants a la peça a causa de les diferents velocitats de refredament en una part i a l'altra.

A la figura 4.13 es pot observar la distribució que tenen els diferents prototips a la plataforma de la màquina i les grans diferències de mida i geometria que hi ha entre ells.

Aquest fet que mostra la necessitat de determinar unes condicions de treball de la màquina que facin que el procés sigui robust, que serveixi per tot tipus de peces amb un resultat final satisfactori per totes elles.

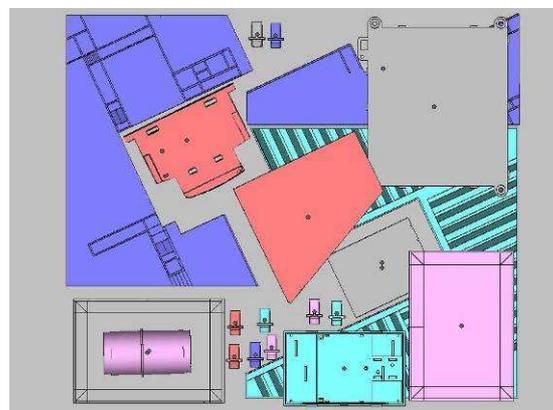


Figura 4.13. Vista superior d'una construcció.



El primer que es va fer va ser recollir dades durant 2 setmanes per determinar el nivell de rebuig abans de la implantació de les millores i les causes que el provocaven.

Analitzant les dades recollides juntament amb l'operari responsable de la preparació de la màquina i el tècnic de la secció de prototipatge es va determinar que hi havia quatre causes que produïen un 20% de rebuig.

A la figura 4.14 es pot observar el diagrama amb les causes que provoquen el rebuig.

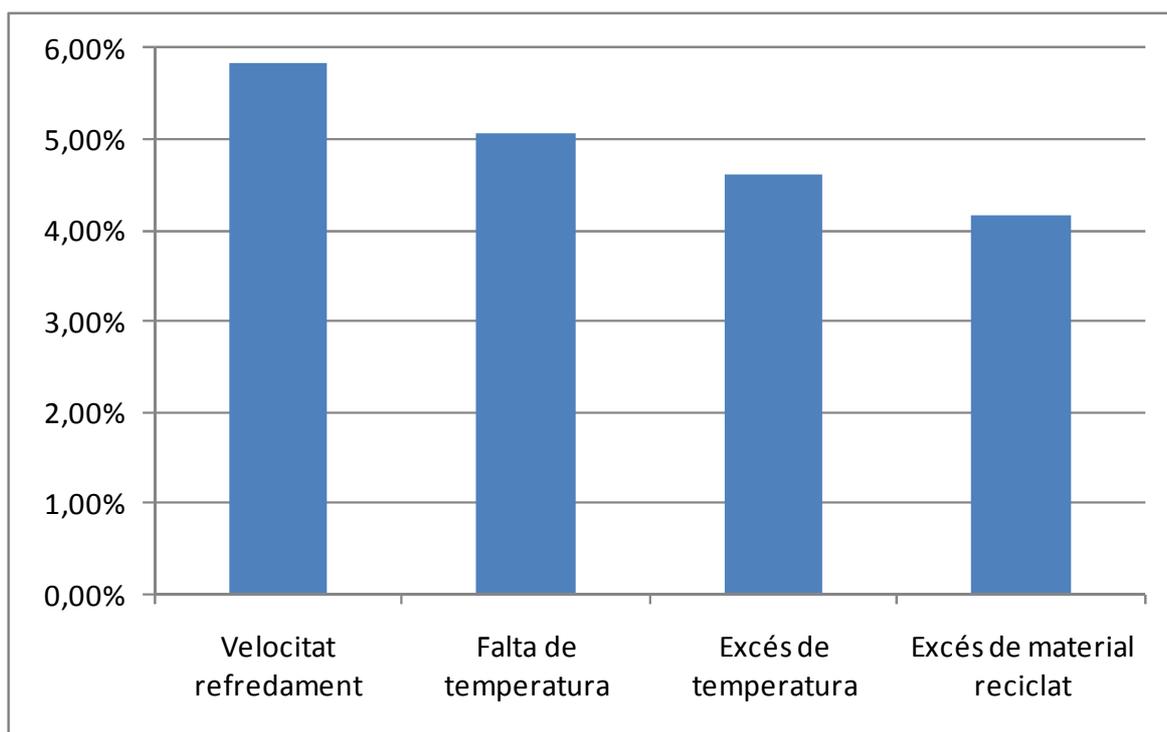


Figura 4.14. Principals defectes en el sinteritzat de pols de poliamida.

En els següents punts es descriu l'aspecte i la causa dels principals motius de rebuig que apareixien en els prototips realitzats al Centre CIM.



- **Excés de temperatura:** A la figura 4.15 es pot observar l'aspecte d'un prototip que ha estat realitzat amb una temperatura massa elevada.

Aquest excés de temperatura provoca que la poliamida situada en les zones properes a la peça polimeritzi, quedant adherida a aquesta i fent que la peça final no tingui l'aspecte desitjat.



Figura 4.15. Defecte per excés de temperatura.

- **Falta de temperatura:** A la següent figura es pot observar un defecte provocat per falta de temperatura durant el procés de fabricació del prototip. La falta de temperatura fa que la pols de poliamida no polimeritzi correctament i que les diferents capes no quedin soldades entre si.



Figura 4.16. Defecte per falta de temperatura.



- **Velocitat de refredament excessiva:** Si la velocitat de refredament de la peça és excessiva aquesta queda deformatada, a la figura 4.17 es pot observar l'aspecte que tenen els prototips afectats per aquest defecte.

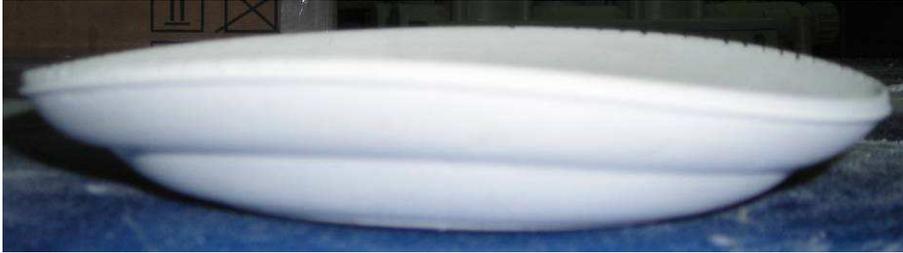


Figura 4.17. Defecte per excés de velocitat de refredament.

- **Excés de material reciclat:** Els defectes causats per la fabricació de peces amb un percentatge excessiu de material reciclat provoca que aquestes no presentin bona cohesió entre les diferents capes que les formen tenint l'aspecte que es pot observar a la figura 4.18.

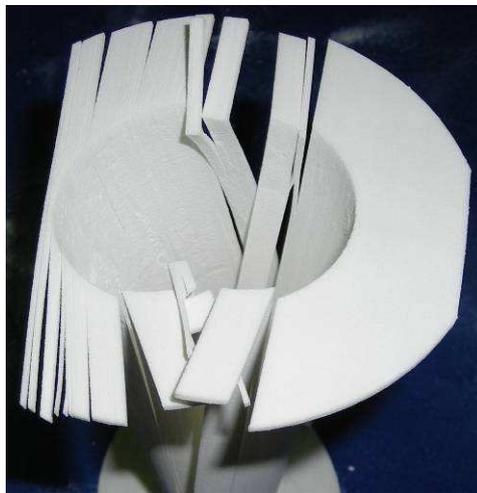


Figura 4.18. Defecte per excés de material reciclat.

Com es pot observar a les figures 4.15 a 4.18 qualsevol prototip que presenti algun dels defectes descrits anteriorment queda immediatament descartat per ser entregat al client havent de tornar a ser fabricat.



4.2.3. Metodologia emprada

La metodologia emprada per tal de determinar les condicions òptimes de treball de la màquina de SLS es va dividir en 4 parts:

- Estandardització del procés de preparació de la màquina
- Determinació dels inputs i outputs
- Realització del disseny d'experiments
- Anàlisi dels resultats

4.2.3.1. Estandardització del procés de preparació de la màquina

El primer pas que es va realitzar amb l'equip de treball va consistir en l'estandardització del procés de neteja i preparació de la màquina que es realitza entre una construcció i la següent.

Aquesta estandardització es va portar a terme amb la finalitat d'eliminar possibles variables externes que poguessin afectar els resultats del disseny d'experiments.

Per tal de fer el procés de neteja i preparació el més robust possible es van analitzar les diferents operacions que el formaven, es va determinar la millor manera de realitzar-les i es va estandarditzar el procés.

Una vegada definit el procés de neteja es va procedir a efectuar la documentació necessària perquè qualsevol persona que hagués de fer ús de la màquina pogués fer-ho seguint el mateix procediment i així eliminar variables que poguessin confondre a l'hora de realitzar el disseny d'experiments.

Aquesta documentació, que es pot consultar a l'annex C, es revisa contínuament per tal de determinar aspectes a millorar que permetin fer el procés de neteja i preparació de la màquina més robust i eficient.

A la figura 4.19 es pot observar com es va aplicar aquesta metodologia en el procés d'estandardització de neteja de la màquina de sinteritzat de pols de poliamida.



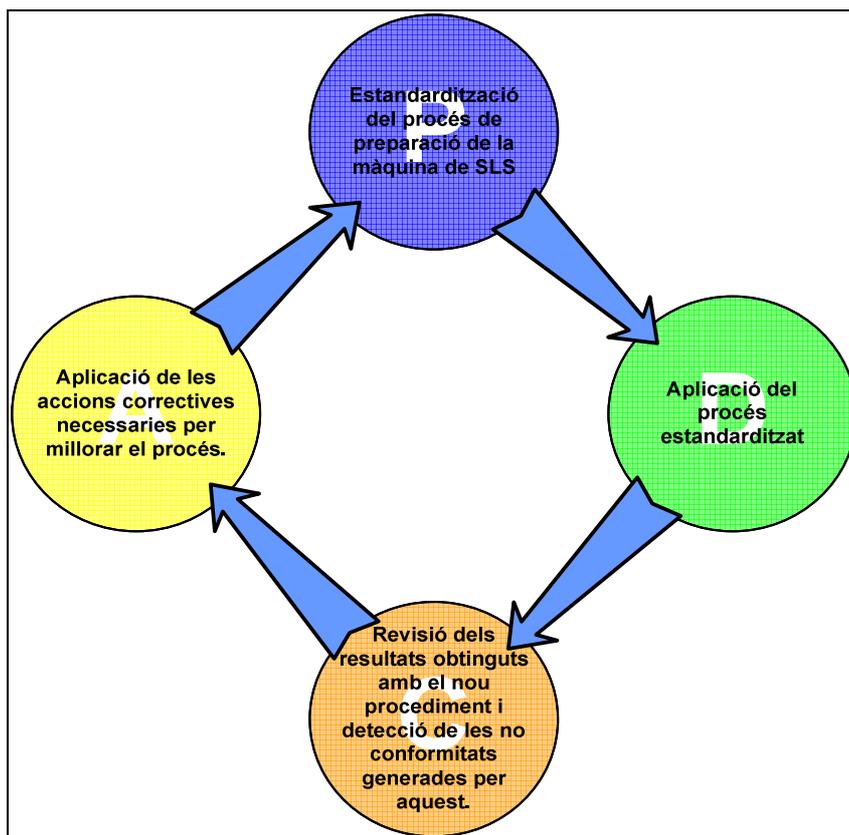


Figura 4.19. Aplicación del Ciclo de Deming al proceso de preparación de la máquina de SLS.

Un ejemplo de la aplicación de esta metodología se dio en la limpieza del rodete (recoater). Se vio que el producto que se usaba para limpiar su superficie afectaba en gran medida al resultado final.

Inicialmente se aplicaba KH7 sobre la superficie del rodete y se fregaba suavemente con papel, pero se observó que en algunos casos quedaba una pequeña película de líquido que favorecía la adherencia de la pols a la superficie del rodete y perjudicaba la aportación de pols a las nuevas capas durante el funcionamiento de la máquina.

Para solucionar este problema se decidió realizar la limpieza con isopropanol, ya que este producto también se usaba para limpiar otros elementos más delicados (como la lente del láser) sin problemas, y se consiguió eliminar la adherencia de pols a la superficie del rodete una vez determinada la eficiencia de la nueva medida se modificó el procedimiento para limpiar y preparar la máquina.



4.2.3.2. Determinació dels inputs i outputs

El següent pas va consistir en la definició de les variables que afecten al procés (inputs) i les variables de control (outputs).

- **Inputs:**

Per tal de definir les variables independents es van prendre tots aquells paràmetres que pot controlar l'operari, ja fos a l'hora de preparar la construcció (preparació del material, temps d'escalfament de la màquina,...) o en el moment d'executar-la (potència del làser, temperatura de la màquina,...). Les variables que es van identificar son les següents:

- Temperatura de la zona peça
- Temperatura dels laterals
- Potència del làser
- Temps d'escalfament
- Temps de refredament
- Quantitat de material nou
- Temps de mescla
- Quantitat de material sobrant

De les diferents variables definides es va decidir fixar:

- **El temps de mescla del material en 30 minuts.** Es va considerar que era suficient per tal d'aconseguir una mescla homogènia independentment de la quantitat de material.
- **Excedent de material de 3mm a la part superior i inferior de la construcció.** Per tal de tenir la seguretat de que no faltaria material en els components situats a la part superior i inferior de la construcció.



Aquests paràmetres es van fixar seguint les indicacions dels operadors de la màquina i tenint en compte com s'havia observat que afectaven al resultat final.

Per la resta de variables es van fixar els següents nivells per tal de poder realitzar el disseny d'experiments:

- **Temperatura de la zona peça:** Aquest paràmetre defineix la temperatura de la zona a la qual es realitza la construcció. A més temperatura més degradació del material no sinteritzat i major cohesió entre capes.

Nivell alt: 150° C

Nivell baix: 148° C

- **Temperatura dels laterals:** Aquest paràmetre indica la temperatura de les zones d'aportació de material a la zona peça. A més temperatura més degradació del material no sinteritzat i major cohesió entre capes.

Nivell alt: 135°C

Nivell baix: 130° C

- **Potència del làser:** Aquest indica la potència del làser durant la construcció. A més potència més velocitat a l'hora de realitzar la construcció.

Nivell alt: 48W

Nivell baix: 42W

- **Temps d'escalfament:** Indica el temps que es deixa passar des de que es té la màquina preparada, i a la temperatura desitjada, fins que s'inicia el procés de construcció. A més temps d'escalfament més homogeneïtat en la temperatura del material.

Nivell alt: 120 min

Nivell baix: 30 min



- **Temps de refredament:** És el temps que es deixa passar des de que finalitza la construcció fins que l'operari comença a netejar les peces separant-les del material que les envolta.

Nivell alt: 50% del temps de la construcció

Nivell baix: 30% del temps de la construcció

- **Quantitat de material nou:** Indica la quantitat de material nou que s'aporta a la mescla que s'usa per realitzar la construcció.

Nivell alt: 50% de la mescla

Nivell baix: 30% de la mescla

Els nivells dels diferents paràmetres s'han fixat tenint en compte les propietats del material emprat i les característiques de la màquina.

També s'ha tingut en compte l'experiència adquirida per els tècnics operadors de la màquina, ja que alguns dels paràmetres no venen definits ni per les característiques del material ni per la màquina, però si que s'havia observat que tenien un efecte significatiu sobre el resultat final.

Aquests paràmetres son el temps d'escalfament, el temps de refredament i la quantitat de material nou.

En el cas del temps d'escalfament s'havia observat una tendència a millorar l'aspecte final de la construcció quan aquest era major.

Pel que fa al temps de refredament s'havia vist que les peces estaven menys deformades quan havien tingut un temps de refredament elevat (o més concretament una corba de refredament amb un pendent molt suau).

No s'havia pogut determinar amb certesa quin efecte produïa la quantitat de material nou en la peça final, però s'havia observat que quan el 100% de la mescla era material nou la peça presentava un millor aspecte.



- **Outputs:**

Com a variables de control es van prendre aquelles que el client requereix per tal d'obtenir un producte satisfactori, aquestes son: aspecte i deformació del prototip. Per poder determinar com afectaven els inputs a les variables de control es van realitzar unes provetes, com la que es pot observar a la figura 4.19.

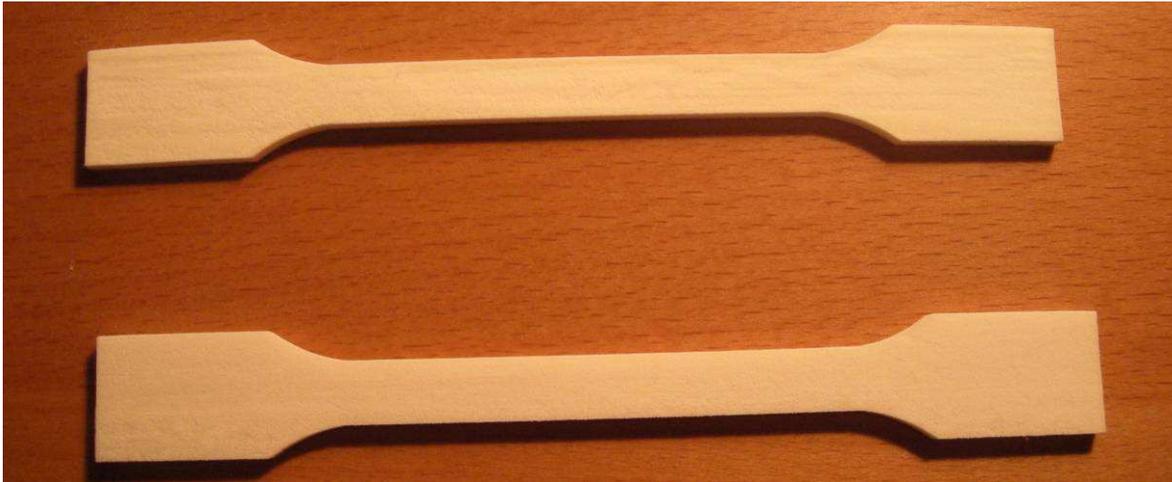


Figura 4.19. Provetes per realitzar el disseny d'experiments.

Per a la variable aspecte es va determinar una variable qualitativa i per a la deformació una de quantitativa.

- **Aspecte:** de 1 a 5 (1 és el nivell menys satisfactori d'aspecte de la peça i 5 és el màxim). En la valoració d'aquesta variable es van tenir en compte diferents indicadors: aspecte visual, tacte, color i adherència de la pols.
- **Deformació:** es va mesurar la fletxa amb un peu de rei i es va anotar el seu valor per a cada proveta. Es va determinar que per la geometria de les provetes el valor més significatiu de deformació l'indicaria aquesta cota.

Els resultats de les diferents mesures i valoracions de l'aspecte de les provetes es van anotar a la fitxa de control desenvolupada per avaluar els resultats del DOE (Annex D). Les provetes van ser avaluades per 3 persones del Centre que pertanyien a diferents arees (investigació, formació i desenvolupament)



4.2.3.3. Realització del disseny d'experiments

Una vegada determinats els inputs es va decidir realitzar un disseny d'experiments fraccional (2^{6-2}_{IV}) amb dues rèpliques, per tant es van realitzar un total de 32 experiments.

Si s'hagués realitzat un disseny d'experiments 2^6 amb dues rèpliques en lloc del fraccional s'haurien d'haver realitzat un total de 128 experiments.

Al realitzar un disseny d'experiments fraccional 2^{6-2}_{IV} suposa que la resolució del DOE passa a ser de grau IV. Per tant, en comptes de veure els següents efectes, que serien el resultat de realitzar el DOE complet:

- 6 efectes principals
- 15 interaccions de 2 factors
- 21 interaccions de 3 factors
- 15 interaccions de 4 factors
- 6 interaccions de 5 factors
- 1 interacció de 6 factors

Es veuran els 6 efectes principals i 10 interaccions de 2 factors. Per tant, es podrien confondre:

- Interaccions de 2 factors amb altres de 2 factors
- Interaccions de 3 amb els efectes principals.

La matriu de disseny del DOE, així com els resultats obtinguts en la realització del mateix es poden veure a l'annex E.

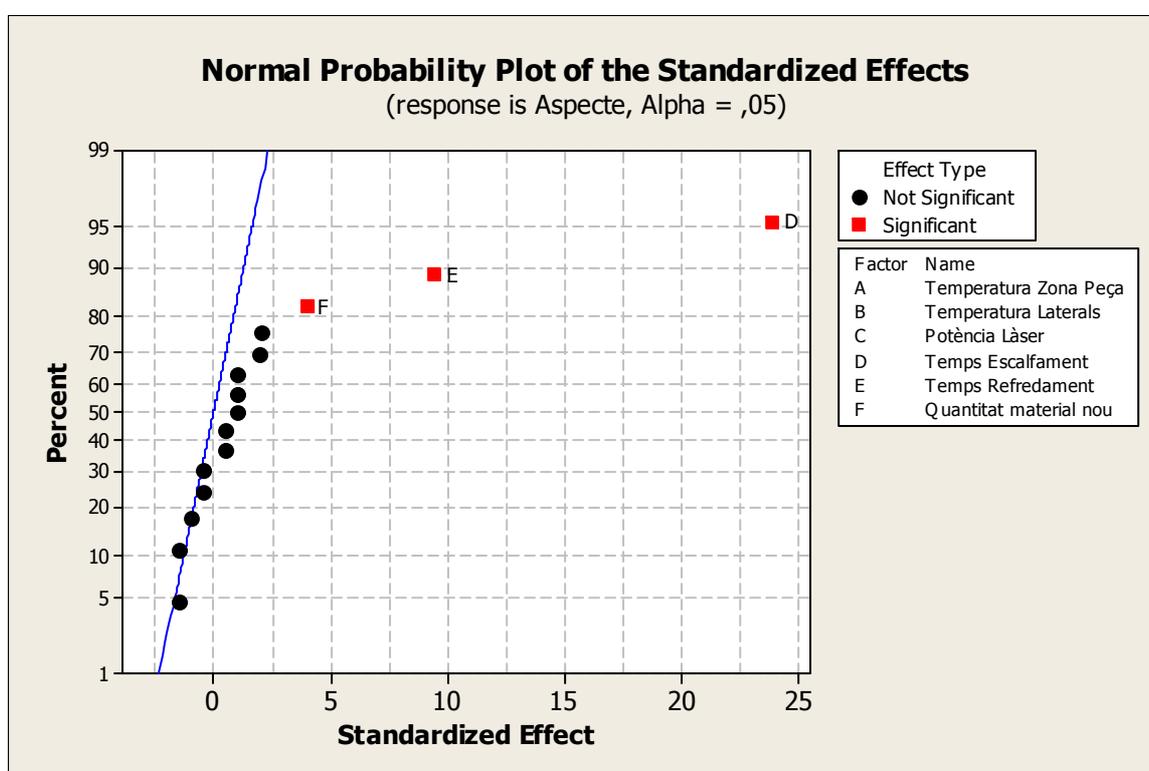


4.2.3.4. Anàlisi dels resultats

- **Aspecte:**

En el gràfic 4.1 es pot observar la representació en paper probabilitístic normal (ppn) dels efectes per a la variable de sortida Aspecte.

En aquest es pot observar que els efectes significatius són el temps d'escalfament de la màquina, el temps de refredament de la peça una vegada finalitzada la construcció i la quantitat de material nou aportat a la mescla.



Gràfic 4.1. Representació en ppn dels efectes significatius per la variable Aspecte.

Tots els efectes significatius són variables principals i milloren l'aspecte del prototip quan prenen el nivell alt definit anteriorment. Com es pot observar en el gràfic no hi ha interaccions significatives entre variables que afectin a la variable Aspecte.



A la taula 4.7 es poden observar els resultats de l'anàlisi de significació dels efectes que dona el MINITAB. D'aquests es pot deduir que les variables temps d'escalfament, temps de refredament i quantitat de material nou son significatives tal i com s'ha observat en la representació en ppn dels efectes.

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2,9797	0,041880	71,15	0,000
Temperatura Zona Peça	-0,1244	-0,0622	0,041880	-1,48	0,157
Temperatura Laterals	0,0831	0,0416	0,041880	0,99	0,336
Potència Làser	-0,0844	-0,0422	0,041880	-1,01	0,329
Temps Escalfament	1,9994	0,9997	0,041880	23,87	0,000
Temps Refredament	0,7906	0,3953	0,041880	9,44	0,000
Quantitat material nou	0,3344	0,1672	0,041880	3,99	0,001
Temperatura Zona Peça*Temperatura Laterals	0,0844	0,0422	0,041880	1,01	0,329
Temperatura Zona Peça*Potència Làser	0,1669	0,0834	0,041880	1,99	0,064
Temperatura Zona Peça*Temps Escalfament	0,0831	0,0416	0,041880	0,99	0,336
Temperatura Zona Peça*Temps Refredament	-0,0406	-0,0203	0,041880	-0,49	0,634
Temperatura Zona Peça*Quantitat material nou	0,1681	0,0841	0,041880	2,01	0,062
Temperatura Laterals*Temps Escalfament	0,0431	0,0216	0,041880	0,51	0,614
Temperatura Laterals*Quantitat material nou	-0,1244	-0,0622	0,041880	-1,48	0,157
Temp. Zona Peça* Temp. Laterals*Temps Escalfament	0,0419	0,0209	0,041880	0,50	0,624
Temp. Zona Peça*Temp. Laterals*Quantitat material nou	-0,0406	-0,0203	0,041880	-0,49	0,634

Taula 4.7. Anàlisi de significació dels efectes per la variable Aspecte

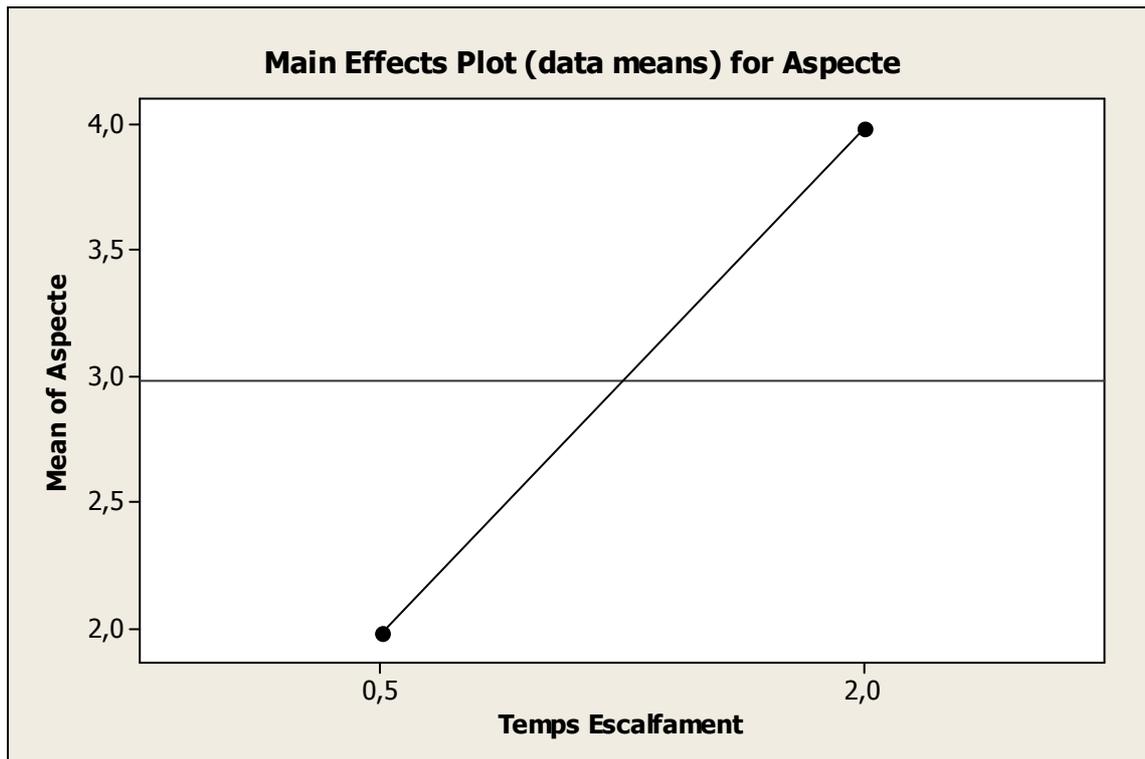
En els punts següents es realitza un estudi més detallat de com afecten les variables principals en el resultat final.

- Temps d'escalfament

En el gràfic 4.2 es pot veure com el fet de tenir l'efecte principal temps d'escalfament a nivell alt o baix fa canviar de manera molt significativa el valor de la variable Aspecte obtenint valors de 2 en el seu nivell baix (30 minuts d'escalfament) i de 4 en el seu nivell alt (120 minuts d'escalfament).

Aquesta diferència en el resultat final entre el nivell alt i baix del temps d'escalfament de la mescla s'explica perquè amb un major temps d'escalfament de la mescla, abans d'iniciar la sinterització de la pols de poliamida, s'aconsegueix una temperatura més homogènia en tot el material.





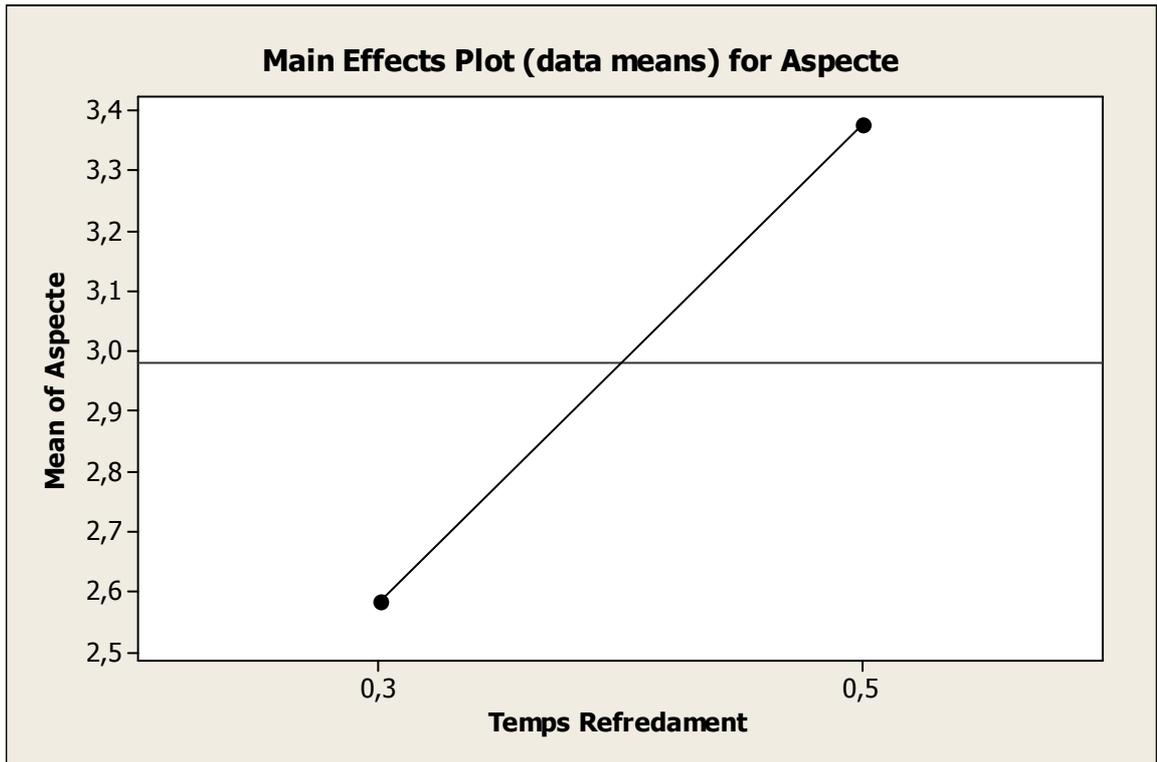
Gràfic 4.2. Efecte principal temps d'escalfament per la variable Aspecte.

Així la posterior sinterització de la poliamida no presenta diferències significatives en les diferents parts de la peça i aquesta presenta bona cohesió en tots els seus punts.

- Temps de refredament

Com es mostra en el gràfic 4.3, l'efecte principal temps de refredament millora la qualitat final de la variable Aspecte al prendre el seu nivell alt. Aquesta millora en l'aspecte final de la peça es deu a un refredament més lent i suau, i per tant més homogeni, de tots els punts de la mateixa, afavorint el correcte curat de la poliamida que conforma el prototip i evitant l'aparició de tensions internes que la deformarien.





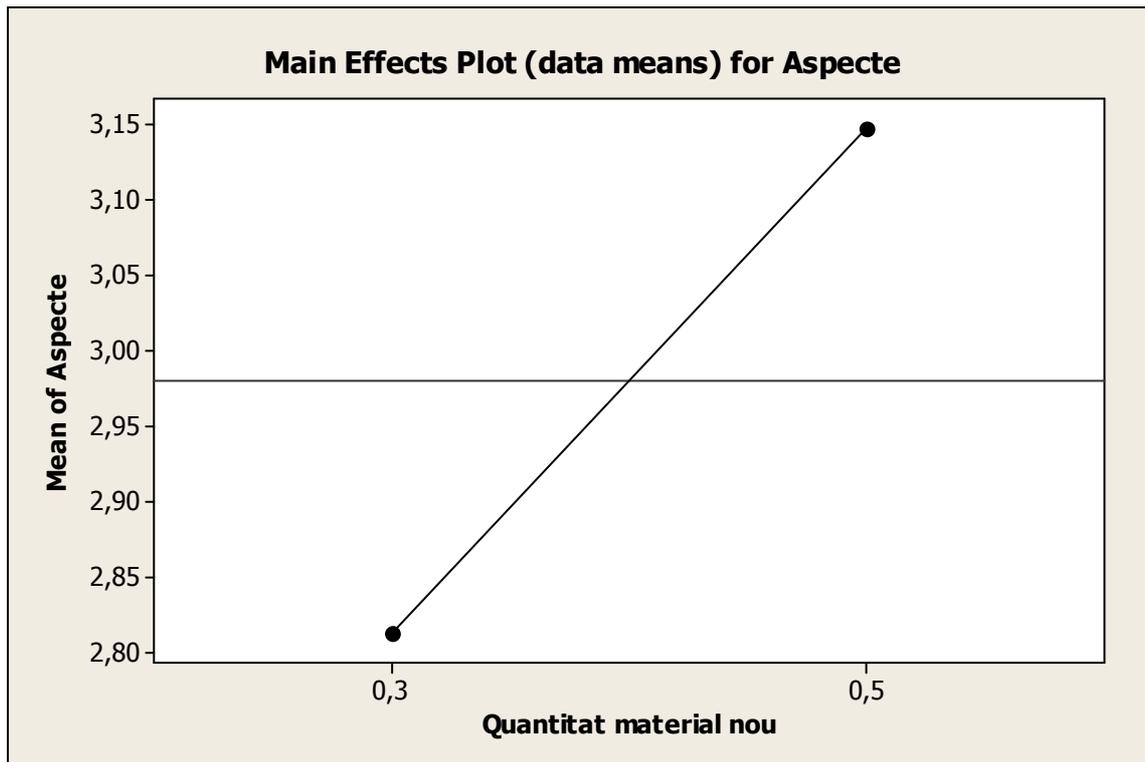
Gràfic 4.3. Efecte principal temps de refredament per la variable Aspecte.

- **Quantitat de material nou**

La quantitat de material nou afecta de manera significativa a l'aspecte de la peça, tal i com es pot observar en el gràfic 4.4, a l'augmentar el percentatge de material nou a la mescla també s'augmenta la qualitat final del prototip. Aquesta millora és deguda a que com més elevat és el percentatge de material reciclat a la mescla més degradat està aquest, i per tant majors son les dificultats que té per sinteritzar. També s'ha observat que com major és la quantitat de material reciclat la peça final presenta un color més groguenc.

Malgrat haver obtingut, amb l'estudi realitzat amb el MINITAB 14, que el percentatge de material nou aportat a la mescla és un efecte significatiu aquest no és un resultat conclouent, ja que l'efecte de passar del nivell alt al baix és de 0.33. Analitzant les dades recollides, la desviació estàndard màxima entre les observacions preses per diferents persones és de 0.58, per tant aquesta variació pot ser causada per una diferència de criteri entre els avaluadors.





Gràfic 4.4. Efecte principal quantitat de material nou per la variable Aspecte.

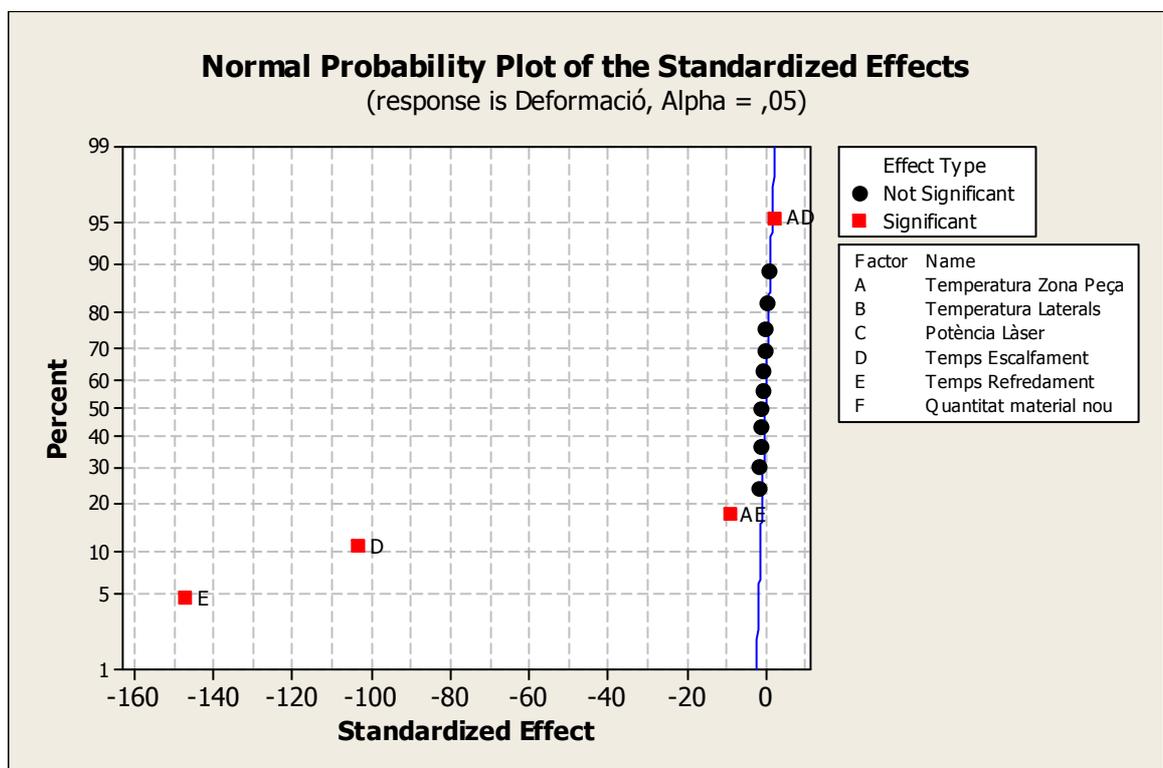
D'altra banda cal deixar clar que tot i no ser un resultat conclouent és indicatiu d'un fet que ja s'havia observat prèviament a la realització del DOE: a més percentatge de material reciclat pitjor aspecte té el prototip. Aquest punt deixa oberta la possibilitat de fins a quin percentatge de material reciclat es pot arribar sense afectar al resultat final, ja que amb els nivells definits per a la realització d'aquest DOE no s'han pogut extreure conclusions definitives.



- **Deformació:**

En el gràfic 4.5 es pot observar la representació en paper probabilitístic normal (ppn) dels efectes per a la variable de sortida Deformació.

En aquest cas es pot observar que els efectes significatius són els efectes principals: temps d'escalfament de la màquina i temps de refredament de la peça una vegada finalitzada la construcció, i les interaccions: temperatura de la zona peça amb temps de refredament i temperatura de la zona peça amb temps d'escalfament.



Gràfic 4.5. Representació en ppn dels efectes significatius per la variable Deformació.

A diferència del que s'ha pogut observar en l'anàlisi de la variable resposta Aspecte, en aquest cas també apareixen com a significatives dues interaccions de dos efectes. Al ser un disseny d'experiments fraccional les interaccions de dos factors es confonen entre si.

En aquest cas la interacció entre la temperatura de la zona peça i el temps d'escalfament es pot confondre amb la interacció entre el temps de refredament i la quantitat de material



nou. També es poden confondre les interaccions entre la temperatura de la zona peça i el temps de refredament amb la temperatura dels laterals i la potència del làser.

En el primer dels dos casos s'analitzaran les dues interaccions al no haver-hi cap raonament tècnic que justifiqui que una de les dues pot afectar a la deformació de la proveta de manera més significativa que l'altre.

En el segon cas es pot descartar com a significativa la interacció entre la temperatura dels laterals i la potència del làser, ja que cap d'aquestes dues variables pot tenir a veure amb la deformació de la proveta.

La temperatura dels laterals indica a quina temperatura es realitza l'aportació a la plataforma central de la màquina on aquesta pols de poliamida serà escalfada a una temperatura superior i la potència del làser defineix la velocitat a la qual es realitza la proveta. Pel coneixement de la màquina i del procés es va descartar que aquestes dues variables poguessin afectar sobre la deformació de la proveta.

A la taula 4.8 es poden observar els resultats de l'anàlisi de significació dels efectes per la variable deformació que dona el MINITAB. D'aquests es pot deduir que els efectes principals temps d'escalfament i temps de refredament i les interaccions temperatura zona peça - temps de refredament i temperatura zona peça - temps escalfament son significatives tal i com s'ha observat en la representació en ppn dels efectes.

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1,0863	0,003977	273,10	0,000
Temperatura Zona Peça	-0,0062	-0,0031	0,003977	-0,79	0,444
Temperatura Laterals	0,0050	0,0025	0,003977	0,63	0,539
Potència Làser	0,0025	0,0013	0,003977	0,31	0,757
Temps Escalfament	-0,8212	-0,4106	0,003977	-103,24	0,000
Temps Refredament	-1,1688	-0,5844	0,003977	-146,92	0,000
Quantitat material nou	-0,0137	-0,0069	0,003977	-1,73	0,103
Temperatura Zona Peça*Temperatura Laterals	-0,0063	-0,0031	0,003977	-0,79	0,444
Temperatura Zona Peça*Potència Làser	-0,0113	-0,0056	0,003977	-1,41	0,176
Temperatura Zona Peça*Temps Escalfament	0,0200	0,0100	0,003977	2,51	0,023
Temperatura Zona Peça*Temps Refredament	-0,0725	-0,0363	0,003977	-9,11	0,000
Temperatura Zona Peça*Quantitat material nou	-0,0100	-0,0050	0,003977	-1,26	0,227
Temperatura Laterals*Temps Escalfament	-0,0038	-0,0019	0,003977	-0,47	0,644
Temperatura Laterals*Quantitat material nou	-0,0088	-0,0044	0,003977	-1,10	0,288
Temp. Zona Peça*Temp. Laterals*Temps Escalfament	-0,0150	-0,0075	0,003977	-1,89	0,078
Temp. Zona Peça*Temp. Laterals*Quantitat material nou	-0,0025	-0,0012	0,003977	-0,31	0,757

Taula 4.8. Anàlisi de significació dels efectes per la variable Deformació

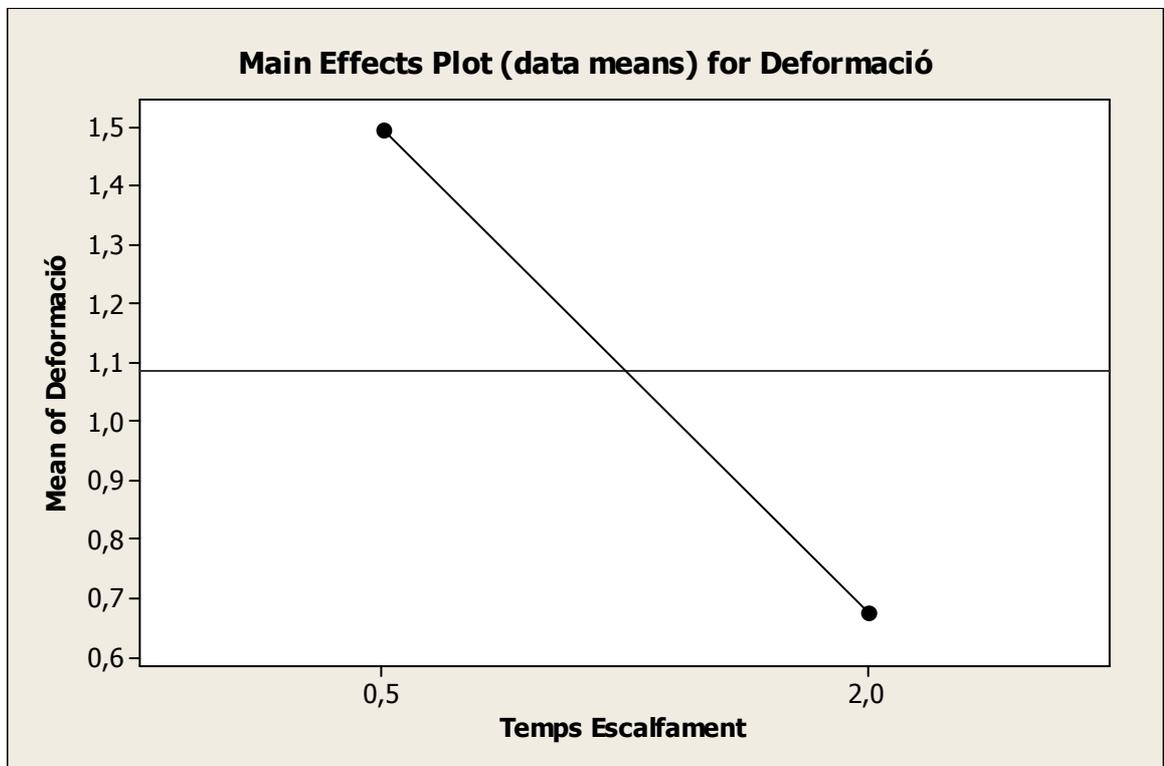


A continuació s'analitzen amb més detall, tant els efectes principals com les interaccions que han resultat significatives.

- **Temps d'escalfament**

En el gràfic que es mostra a continuació es pot veure l'efecte del temps d'escalfament sobre la variable Deformació.

En aquest es pot observar que al passar del nivell baix a l'alt la deformació de la peça es redueix en 0.82mm.



Gràfic 4.6. Efecte principal temps d'escalfament per la variable Deformació.

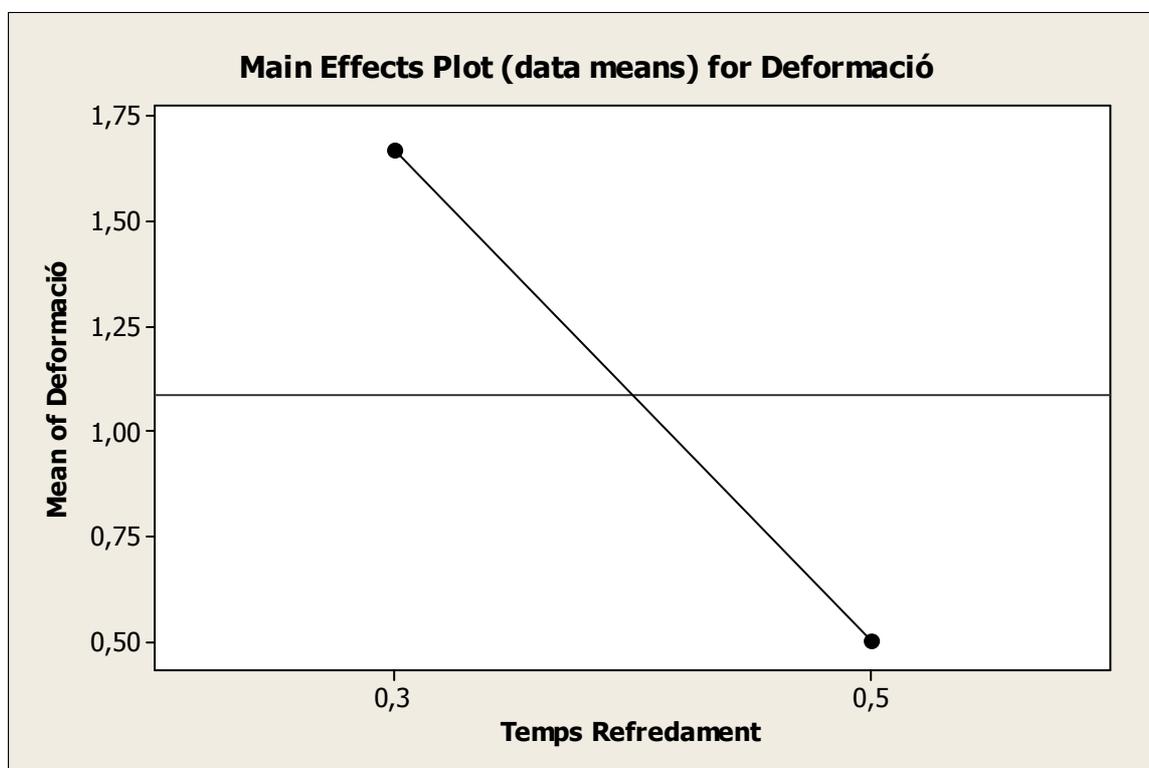
Això s'explica perquè a l'augmentar el temps d'escalfament de la mescla, previ a la sinterització de la poliamida, s'aconsegueix una temperatura més homogènia i per tant aquesta sinteritza de forma similar en tots als seus punts a l'aplicar-hi calor amb el làser.



Així s'afavoreix la cohesió entre les diferents capes i s'evita l'existència de tensions internes entre els diferents punts de la peça evitant-ne la seva deformació.

- Temps de refredament

En el gràfic 4.7 es mostra com l'efecte principal temps de refredament influeix en la variable de sortida Deformació, redueix en 1.17mm la fletxa del prototip quan es passa del seu nivell baix (30% del temps de durada de la construcció) al seu nivell alt (50% del temps de durada de la construcció).



Gràfic 4.7. Efecte principal temps de refredament per la variable Deformació.

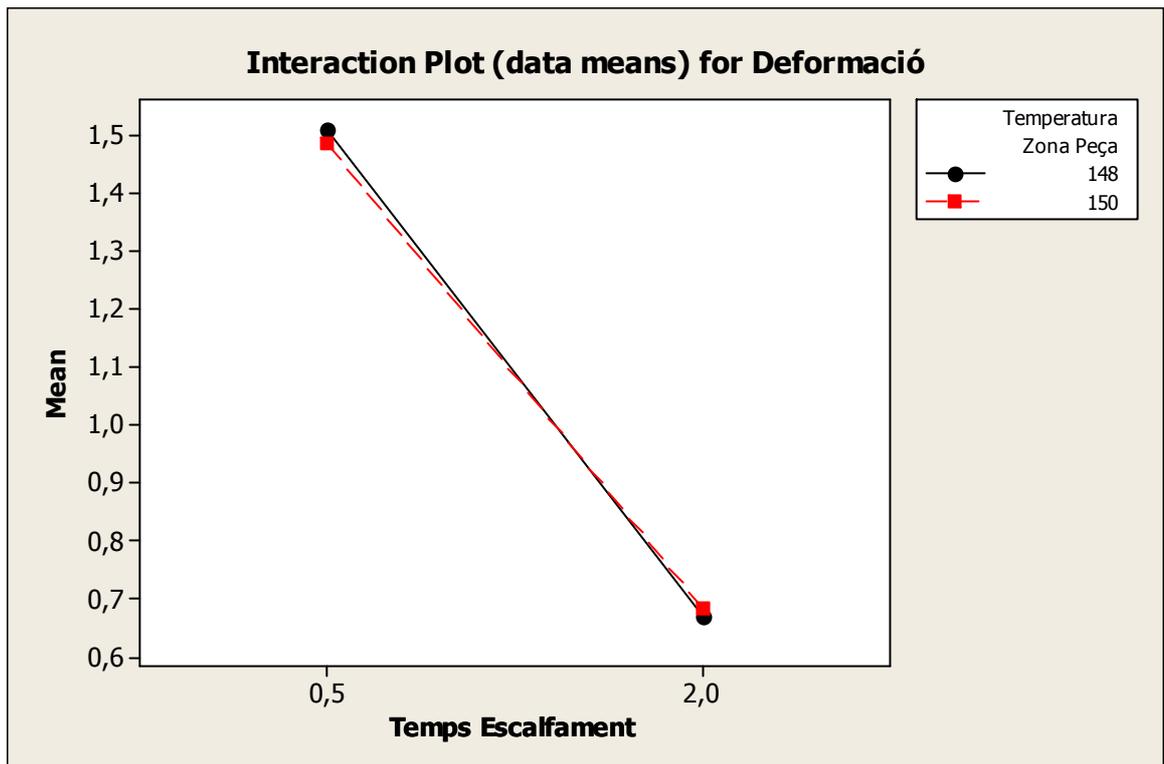
Aquesta millora en la deformació de la peça és causada perquè la velocitat de refredament és més lenta i fa que el prototip es refredi de forma més homogènia, evitant l'aparició de tensions internes entre els diferents punts de la peça fet que originaria les deformacions.



- Temperatura de la zona peça – Temps d'escalfament

En el següent gràfic es pot observar com afecta la interacció entre les variables temperatura de la zona peça i temps d'escalfament sobre l'output Deformació de la peça. En aquest es pot veure que la deformació de la proveta es veu afectada en gran mesura pel temps d'escalfament de la mescla abans d'iniciar la construcció tal com s'ha descrit anteriorment.

També es pot intuir una lleugera relació entre el temps d'escalfament i la temperatura de la zona peça: a major temperatura de la zona peça menys diferència al passar de 0.5 a 2 hores de temps d'escalfament, 0.80mm a 150° C i 0.84mm a 148° C. Aquesta diferència s'explica perquè a major temperatura de la zona peça més propera esta la pols de poliamida de la seva temperatura de fusió en tots els punts, en canvi a una temperatura menor es necessita més temps per fer arribar tot el material a una temperatura propera a la de fusió.



Gràfic 4.8. Interacció entre les variables temperatura zona peça i temps d'escalfament

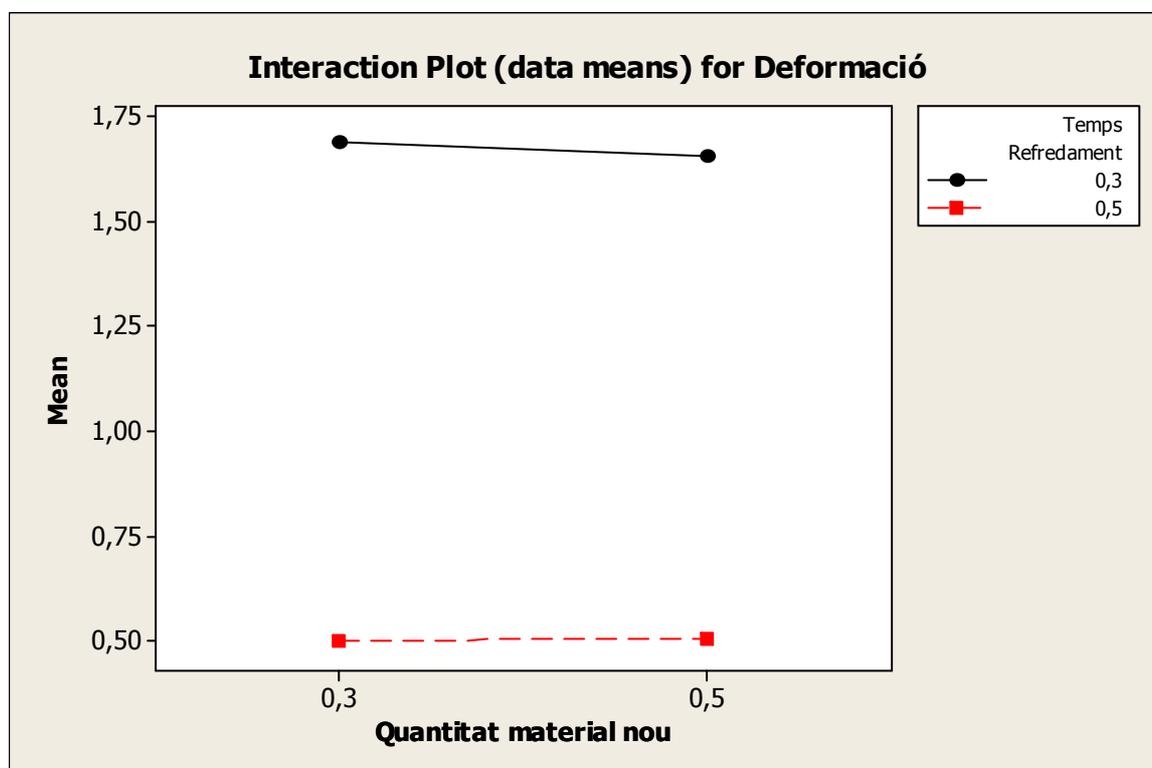


En el gràfic 4.8 es pot observar que per un temps d'escalfament de dues hores la deformació del prototip és gairebé idèntica amb indiferència de la temperatura, això és degut a que amb aquest temps la temperatura del material és completament homogènia i les diferències de temperatura no son significatives.

Cal destacar que el resultat obtingut en l'estudi d'aquesta interacció no es pot considerar significatiu, ja que gairebé tot l'efecte que es produeix sobre la variable resposta està determinat pel temps d'escalfament de la mescla i l'aportació de la temperatura de la zona peça només permet determinar una tendència que caldria estudiar amb més profunditat.

- Temps de refredament – Quantitat de material nou

En el gràfic que es mostra a continuació es pot observar com afecta la interacció entre les variables temps de refredament i quantitat de material nou en l'output Deformació de la peça. En aquest es pot veure que la deformació de la proveta es veu afectada en gran mesura pel temps de refredament una vegada finalitzada la construcció.



Gràfic 4.9. Interacció entre les variables temps de refredament i quantitat de material nou

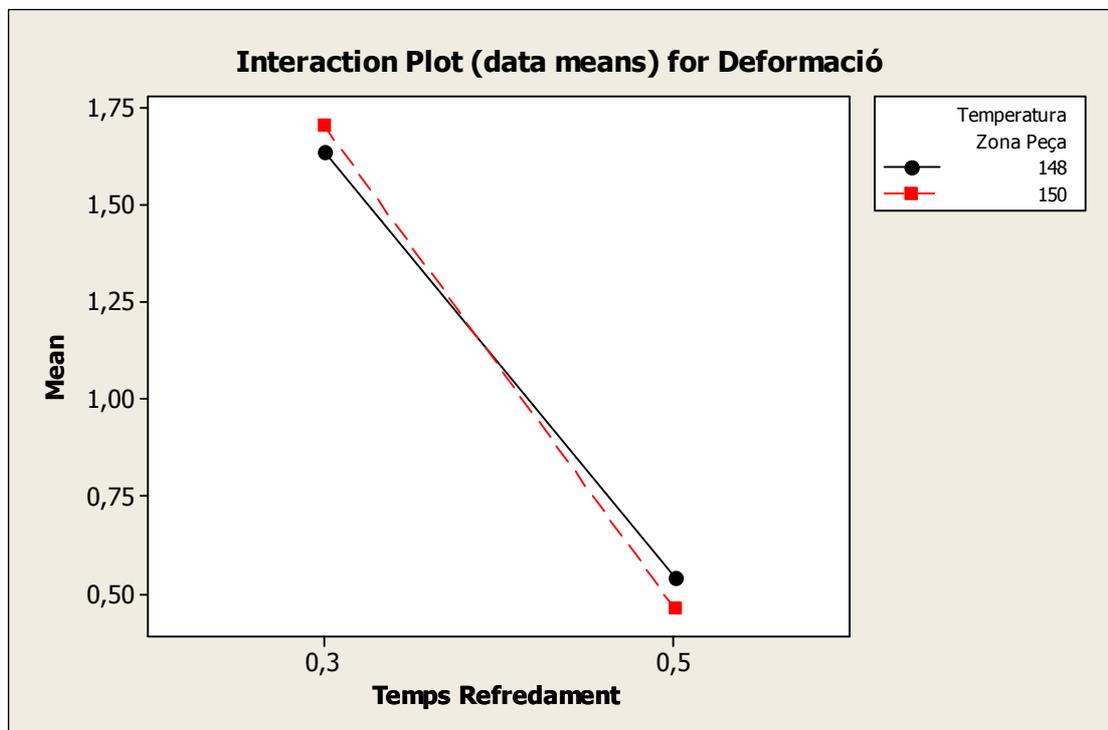


En el gràfic es pot observar que per un temps de refredament igual al 50% del temps emprat en realitzar la construcció la deformació de la proveta no es veu afectada per la quantitat de material nou i és menor que si el temps de refredament fos del 30%. En canvi, es veu que per un temps de refredament del 30% la deformació és menor amb un major percentatge de material nou aportat a la mescla.

Cal destacar, de la mateixa manera que amb la interacció anterior, que el resultat obtingut en aquest estudi no es pot considerar significatiu, ja que gairebé tot l'efecte que es produeix sobre la variable resposta està determinat pel temps de refredament.

- Temperatura de la zona peça – Temps de refredament

En el gràfic 4.9 es pot veure l'efecte de la interacció entre les variables temperatura de la zona peça i temps de refredament sobre la variable de sortida Deformació de la peça. De la mateixa manera que en l'apartat anterior, es pot observar que la deformació de la proveta es veu afectada en gran mesura per un efecte principal, en aquest cas, el temps de refredament.



Gràfic 4.10. Interacció entre les variables temperatura zona peça i temps de refredament



Observant el gràfic es pot deduir que a major temperatura de la zona peça més significatiu és l'efecte del temps de refredament. A 150° C l'efecte del temps de refredament sobre la variable deformació és de 1.24mm i a 148° C és de 1.10mm.

Aquest efecte s'explica perquè a major temperatura de la zona peça més temps es necessita per refredar de forma progressiva i amb una corba de refredament més suau la proveta evitant l'aparició de tensions internes que la deformin.

4.2.4. Anàlisi d'alternatives

Analitzant els resultats del DOE es podien ajustar els paràmetres de l'equip de sinteritzat segons es volgués optimitzar la qualitat de la peça final (opció A) o minimitzar el cost de fabricació dels prototips (opció B).

A la taula 4.9 es poden observar els punts positius i negatius de cada una de les dues opcions plantejades.

	+	-
Opció A	Procés més robust	Cost per peça més elevat que opció B
	Menor rebuig que en situació inicial	
	Compleix amb els objectius plantejats	
Opció B	Menor cost per peça que opció A	No compleix amb els objectius plantejats
		Possible augment del rebuig que amb situació inicial

Taula 4.9. Punts forts i febles de les dues alternatives proposades.



4.2.5. Definició de la nova organització

Una vegada analitzats els punts forts i febles de cada una de les solucions finals plantejades es decidí realitzar la implantació de la opció A. Per tal de realitzar-ho es van definir els següents paràmetres com a òptims per al procés de sinteritzat de pols de poliamida per làser.

- **Temperatura de la zona peça:** Es va observar que afectava a la deformació de la proveta quan interaccionava amb el temps d'escalfament de la zona peça i el de refredament una vegada finalitzada la construcció.

Nivell alt: 150° C. Redueix la deformació de la proveta amb un valor del temps de refredament del 50% del temps de la construcció.

Nivell baix: 148° C. Redueix la deformació de la proveta quan el temps d'escalfament de la mescla és de 2 hores. Aquesta interacció es va considerar dubtosa durant l'estudi dels diferents efectes significatius degut a la poca influència que semblava tenir en el resultat final.

Es va prendre com a òptim el nivell alt. Malgrat no ser molt significativa cap de les dues interaccions en l'anàlisi amb el MINITAB, ho resultava més quan interaccionava amb el temps de refredament i en aquesta interacció el valor que optimitzava la resposta era amb una temperatura de 150° C.

- **Temperatura dels laterals:** Es va observar que aquesta variable no afectava de forma significativa a cap de les dues variables de control. Es va decidir prendre com a òptima la temperatura dels laterals a 130° C, ja que d'aquesta manera la degradació de la pols de poliamida no sinteritzada era menor.
- **Potència del làser:** El paràmetre de potència del làser no es detecta que afectés de manera significativa als outputs, per tant es va prendre com a òptim el nivell alt (48W). Es va escollir perquè a major potència del làser menor és el temps necessari per a realitzar les peces.



- **Temps d'escalfament:** En l'anàlisi dels resultats obtinguts en el DOE es va determinar que afectava de manera significativa a les dues variables de control. En ambdós casos es va determinar que millorava la resposta de la variable de sortida quan prenia el seu nivell alt (120 minuts de temps d'escalfament de la zona peça).
- **Temps de refredament:** Es va determinar que aquest paràmetre millorava tant l'aspecte de la peça com la deformació en prendre el seu nivell alt (50% del temps de construcció de la peça), per tant es va prendre aquest nivell com a òptim.
- **Quantitat de material nou:** Analitzant els resultats obtinguts en el disseny d'experiments es va determinar que aquesta variable millorava l'aspecte de la proveta quan estava en el seu nivell alt (50% de material nou).

Es va concloure que el resultat en l'anàlisi d'aquesta variable no era definitiu, ja que l'efecte que causava a la variable de sortida Aspecte no era prou significatiu. De totes maneres es va prendre com a valor òptim el nivell alt de a l'espera de realitzar altres estudis que determinin quin és el percentatge òptim de material reciclat.

A la taula 4.10 es mostren els valors que s'han considerat òptims per obtenir un millor aspecte i una menor deformació en els prototips realitzats a la màquina de SLS del laboratori de tecnologies avançades de la producció de la FCIM.

Input	Valor òptim
Temperatura de la zona peça	150° C
Temperatura dels laterals	130° C
Potència del làser	48W
Temps d'escalfament	2 hores
Temps de refredament	50% del temps de la construcció
Quantitat de material nou	50% de la mescla

Taula 4.10. Valors òptims de treball per a la màquina Vanguard HS de la FCIM.



5. Anàlisi econòmic del projecte

En aquest apartat es realitza l'estudi econòmic del desenvolupament i la implantació de les millores descrites anteriorment.

L'estudi es divideix en tres apartats.

- En el primer s'han analitzat els costos derivats del desenvolupament del projecte.
- En segon lloc s'han analitzat els costos derivats de la implantació de les millores i s'han estimat els estalvis que es produiran amb la implantació de les millores desenvolupades en el projecte.
- Finalment s'ha realitzat un estudi de viabilitat econòmica utilitzant els resultats de l'estudi de costos derivats i l'estimació dels beneficis i costos resultants de la implantació de les millores.

En tots els apartats es diferencia entre els costos de la reducció del temps de canvi de resina i els de l'optimització del procés de sinteritzat per làser.

5.1. Estudi de costos derivats

L'estudi de costos derivats es divideix en dos apartats:

- Costos d'enginyeria
- Costos de fabricació

5.1.1. Costos d'enginyeria

En aquest apartat es reflexa el cost de les hores dedicades al desenvolupament del projecte. Les hores es dividiran en les diferents fases del projecte i el seu cost es distribuirà de la següent manera:



- Coordinador sistemes de millora: 6€/h
- Tècnic: 35€/h
- Operari: 25€/h

A la taula 5.1 es poden observar els costos d'enginyeria per reduir el temps de canvi de resina a la màquina d'esterolitografia.

Activitat	Recursos	Hores	Quantitat	Preu/hora (€/h)	Subtotal
Anàlisi de la situació inicial	Coordinador sistemes millora	80,00	1	6,00	480,00 €
	Tècnic	10,00	1	35,00	350,00 €
	Operari	4,00	2	25,00	200,00 €
Aplicació de la metodologia SMED	Coordinador sistemes millora	45,00	1	6,00	270,00 €
	Tècnic	3,00	1	35,00	105,00 €
	Operari	13,00	2	25,00	650,00 €
Determinació manera d'operar inicial	Coordinador sistemes millora	10,00	1	6,00	60,00 €
	Tècnic	1,00	1	35,00	35,00 €
	Operari	8,00	2	25,00	400,00 €
Classificació de les operacions	Coordinador sistemes millora	5,00	1	6,00	30,00 €
	Operari	1,00	2	25,00	50,00 €
Nova classificació de les operacions	Coordinador sistemes millora	10,00	1	6,00	60,00 €
	Tècnic	1,00	1	35,00	35,00 €
	Operari	2,00	2	25,00	100,00 €
Millora de les operacions	Coordinador sistemes millora	20,00	1	6,00	120,00 €
	Tècnic	1,00	1	35,00	35,00 €
	Operari	2,00	2	25,00	100,00 €
Definició nous estàndards	Coordinador sistemes millora	50,00	1	6,00	300,00 €
TOTAL					2.355,00 €

Taula 5.1. Costos totals d'enginyeria per reduir el temps de canvi de resina.

A la taula 5.2 es pot observar el cost total de l'enginyeria del projecte per a la realització del DOE.



Activitat	Recursos	Hores	Preu/hora (€/h)	Subtotal
Anàlisi de la situació inicial	Coordinador sistemes millora	100,00	6,00	600,00 €
	Tècnic	4,00	35,00	140,00 €
	Operari	8,00	25,00	200,00 €
Estandarització procés preparació	Coordinador sistemes millora	30,00	6,00	180,00 €
	Operari	5,00	25,00	125,00 €
Determinació inputs/outputs	Coordinador sistemes millora	15,00	6,00	90,00 €
	Operari	5,00	25,00	125,00 €
	Tècnic	2,00	35,00	70,00 €
Preparació DOE	Coordinador sistemes millora	50,00	6,00	300,00 €
Realització DOE	Coordinador sistemes millora	100,00	6,00	600,00 €
Anàlisi resultats DOE	Coordinador sistemes millora	100,00	6,00	600,00 €
	Operari	4,00	25,00	100,00 €
	Tècnic	2,00	35,00	70,00 €
Definició nous estàndards	Coordinador sistemes millora	80,00	6,00	480,00 €
	Operari	5,00	25,00	125,00 €
	Tècnic	2,00	35,00	70,00 €
TOTAL				3.875,00 €

Taula 5.2. Costos totals de l'enginyeria del projecte per a la realització del DOE.

5.1.2. Costos de fabricació

En aquest punt només s'han tingut en compte les despeses originades per realitzar el DOE, que únicament són el cost de fabricació de les provetes (Taula 5.3).

Recurs	Quantitat	Preu unitat (€/unitat)	Total
Provetes de SLS	32	50,00	1.600,00 €

Taula 5.3. Costos de fabricació de les provetes de SLS.

5.2. Estimació de despeses d'implantació i d'estalvis

5.2.1. Reducció del temps de canvi de resina

Per fer l'estimació de les despeses i estalvis que es deriven de la realització del projecte s'han tingut en compte que abans de la implantació de les millores es gastaven:



- 750€/mes per subcontractar la realització de prototips amb altres classes de resina.

També s'ha considerat que degut a la implantació es deixarà de subcontractar el servei, i per tant el cost resultant de realitzar els prototips a les instal·lacions de la FCIM serà de:

- 330,83€/mes. Cost de fer el canvi de resina.

5.2.2. Implantació de millores al sinteritzat làser

Per fer l'estimació de les despeses i estalvis que resulten de la realització del projecte s'han tingut en compte com a punt de partida les dades calculades en base els resultats de l'any anterior (Taula 5.4):

Situació inicial		
Facturació mensual		10.000,00 €
Material	10%	1.000,00 €
Desgast làser	20%	2.000,00 €
Rebuig inicial	20%	2.000,00 €
Mà d'obra	15%	1.500,00 €
Valor afegit	35%	3.500,00 €

Taula 5.4. Dades de partida pel càlcul de les despeses i estalvis

S'ha considerat que amb la implantació de les millores es reduirà el rebuig en un 15% i s'augmentarà el consum de material en un 6.67% (al passar d'un 30% de material nou per construcció a un 50%), a la Taula 5.5 es pot observar el resultat de la implantació de les millores.



Situació Final		
Facturació mensual		10.000,00 €
Material	16,67%	1.667,00 €
Desgast làser	20,00%	2.000,00 €
Rebuig final	5,00%	500,00 €
Mà d'obra	15,00%	1.500,00 €
Valor afegit	43,33%	4.333,00 €

Taula 5.5. Dades estimades després de la implantació de les millores

A la taula 5.6 es pot observar com es distribueixen entre les diferents partides els 1.500€ d'estalvi al passar d'un 20% a un 5% de rebuig.

	Situació inicial		Situació Final		Estalvis
Rebuig mensual	2.000,00 €		500,00 €		1.500,00 €
Material	10,00%	200,00 €	16,67%	83,35 €	116,65 €
Desgast làser	20,00%	400,00 €	20,00%	100,00 €	300,00 €
Mà d'obra	15,00%	300,00 €	15,00%	75,00 €	225,00 €
Valor afegit	55,00%	1.100,00 €	48,33%	241,65 €	858,35 €

Taula 5.6. Estalvis derivats de la implantació de les millores.

També s'ha considerat que al disminuir el rebuig es millorarà el servei als clients i es reduirà la taxa de pèrdua de clients mensual, passarà d'un 10% a un 5% de la facturació total. Per tant s'augmentarà la facturació mensual en 175€.

5.3. Anàlisi de viabilitat econòmica

5.3.1. Criteris d'avaluació

Per a realitzar l'estudi econòmic, a efecte de calcular els fluxos de caixa originats per la inversió, s'ha tingut en compte:



- Els costos derivats del desenvolupament del projecte (inversió inicial).
- Els costos resultants de la implantació de les millores.
- Els beneficis produïts per la implantació de les millores.

5.3.2. Quantificadors de viabilitat econòmica

Per a poder determinar la viabilitat econòmica del projecte, s'han utilitzat els tres indicadors econòmics que es citen a continuació:

- **VAN (Valor Actual Net):** Pretén determinar el rendiment econòmic global de la inversió, i es realitza actualitzant el moviment de fons al mateix punt. Indica la rendibilitat del projecte.
- **TIR (Taxa de Rendibilitat Interna):** Aquest indicador determina quin és el màxim interès que s'ha de tenir perquè la inversió sigui rentable i troba la taxa d'interès que dona la inversió analitzada. S'utilitza per avaluar la inversió en front d'altres possibles.
- **Payback (o període de retorn):** Indica el temps necessari per a que la inversió inicial comenci a donar beneficis.

Per realitzar els càlculs del VAN de cada implantació s'ha agafat una taxa d'actualització de 0,7% mensual (8% anual) i s'ha pres el període d'un any per analitzar la viabilitat de les inversions, es considera que per projectes d'aquesta entitat amb un any n'hi haurà suficient per veure l'impacte que suposaran.

5.3.3. Anàlisi de viabilitat del procés de canvi de resina

A la taula següent es poden veure els fluxos de caixa per al primer any des de la implantació del projecte.



	abr-08	may-08	jun-08	jul-08	ago-08	sep-08	oct-08
Despesa inicial projecte	-2.355,00						
Estalvis mensuals		750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00
Estalvi subcontractació		750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00
Costos mensuals		-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83
Cost canvi resina		-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83
CashFlow	-2.355,00	419,17	419,17	419,17	419,17	419,17	419,17
CashFlow Actualitzat	-2.355,00	416,25	413,36	410,49	407,63	404,80	401,99
CashFlow Acumulat	-2.355,00	-1.938,75	-1.525,39	-1.114,90	-707,27	-302,47	99,51

	nov-08	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09
Despesa inicial projecte						
Estalvis mensuals	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00
Estalvi subcontractació	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00
Costos mensuals	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83
Cost canvi resina	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83	-330,83
CashFlow	419,17	419,17	419,17	419,17	419,17	419,17
CashFlow Actualitzat	399,19	396,42	393,66	390,92	388,21	385,51
CashFlow Acumulat	498,71	895,12	1.288,78	1.679,71	2.067,91	2.453,42

Taula 5.8. Anàlisi de viabilitat del procés de canvi de resina

A partir d'aquests fluxos de caixa s'han calculat els següents indicadors de viabilitat econòmica del projecte:

- **VAN:** 2.453,42€

Al cap d'un any d'haver realitzat la inversió la FCIM obtindrà un benefici de 2.453€ derivats dels estalvis resultants de la reducció del temps de canvi de resina.

- **TIR:** 14%

La taxa de rendibilitat del projecte és del 14%, per tant és un projecte rentable ja que dóna un major interès que el que s'obtidria tenint la mateixa quantitat invertida en qualsevol banc.

- **Payback:** 6,7 mesos



Analitzant els indicadors de viabilitat econòmica es pot determinar que el projecte és econòmicament beneficiós pel Centre, ja que per una inversió inicial de 2.355€ s'obtidran uns beneficis de 2.453€ en el període d'1 any. També es pot veure que la inversió inicial es recupera en un període de temps molt curt 6,7 mesos.

5.3.4. Anàlisi de viabilitat de l'optimització del procés de sinteritzat

A la taula 5.7 es poden veure els fluxos de caixa calculats per els primers 12 mesos des de la implantació de les millores al Laboratori de la FCIM.

	abr-08	may-08	jun-08	jul-08	ago-08	sep-08	oct-08
Despesa inicial projecte	-5.475,00						
Desenvolupament projecte	-3.875,00						
Fabricació provetes	-1.600,00						
Inc. facturació mensual		175,00	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00
Estalvis mensuals		1.500,20	1.500,20	1.500,20	1.500,20	1.500,20	1.500,20
Estalvi desgast làser		300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Estalvi consum material		117,00	117,00	117,00	117,00	117,00	117,00
Estalvi mà d'obra		225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00
Guany valor afegit		858,20	858,20	858,20	858,20	858,20	858,20
Costos mensuals		-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00
Augment consum material		-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00
CashFlow	-5.475,00	1.008,20	1.008,20	1.008,20	1.008,20	1.008,20	1.008,20
CashFlow Actualitzat	-5.475,00	1.001,19	994,23	987,32	980,46	973,64	966,87
CashFlow Acumulat	-5.475,00	-4.473,81	-3.479,58	-2.492,26	-1.511,80	-538,16	428,72

	nov-08	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09
Despesa inicial projecte						
Desenvolupament projecte						
Fabricació provetes						
Inc. facturació mensual	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00	175,00
Estalvis mensuals	1.500,20	1.500,20	1.500,20	1.500,20	1.500,20	1.500,20
Estalvi desgast làser	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Estalvi consum material	117,00	117,00	117,00	117,00	117,00	117,00
Estalvi mà d'obra	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00
Guany valor afegit	858,20	858,20	858,20	858,20	858,20	858,20
Costos mensuals	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00
Augment consum material	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00	-667,00
CashFlow	1.008,20	1.008,20	1.008,20	1.008,20	1.008,20	1.008,20
CashFlow Actualitzat	960,15	953,48	946,85	940,27	933,73	927,24
CashFlow Acumulat	1.388,87	2.342,35	3.289,20	4.229,47	5.163,20	6.090,44

Taula 5.7. Anàlisi de viabilitat de l'optimització del procés de sinteritzat.



A partir d'aquests fluxos de caixa s'han calculat els següents indicadors de viabilitat econòmica del projecte:

- **VAN:** 6.090,44€.

Al cap d'un any d'haver realitzat la inversió la Fundació Privada Centre CIM haurà obtingut un benefici de 6.090€ derivats dels estalvis resultants de la implantació de la millora.

- **TIR:** 15%.

La taxa de rendibilitat del projecte és del 15%, per tant és un projecte rentable ja que dóna un major interès que el que s'obtidria tenint la mateixa quantitat invertida en qualsevol banc.

- **Payback:** 6,5 mesos.

Analitzant els indicadors de viabilitat econòmica es pot determinar que el projecte és econòmicament beneficiós pel Centre, ja que per una inversió inicial de 5.475€ s'obtidran uns beneficis de 6.090€ en el període d'1 any. També es pot veure que la inversió inicial es recupera en un període de temps molt curt 6,5 mesos.



Conclusions

Els objectius plantejats a l'iniciar el projecte consistien en millorar l'eficiència i la productivitat de les instal·lacions del laboratori de tecnologies avançades de la producció de la FCIM mitjançant la implantació de metodologies de millora contínua.

Analitzant els resultats obtinguts en la realització del projecte es pot concloure que s'han aconseguit els objectius del projecte en les dues àrees en les quals s'han implementat les millores.

A la secció de sinteritzat de pols de poliamida s'han aplicat diferents eines de millora contínua (estandarització de processos, disseny d'experiments, cercles de millora,...) i s'ha millorat l'eficiència reduint el rebuig.

A la d'estereolitografia s'ha aconseguit millorar l'eficiència de la instal·lació augmentant-ne la disponibilitat, gràcies a l'aplicació de la metodologia SMED.

Amb la realització d'aquest projecte també s'ha assolit un dels objectius de la FCIM: millorar la productivitat de les empreses del sector industrial convertint el present projecte en estratègic pel Centre.

El fet d'haver realitzat amb èxit el present projecte ha creat un precedent positiu, en el si de la Fundació, de treballar seguint metodologies de millora contínua i amb equips de millora.

D'altra banda també cal destacar que amb l'aplicació d'aquestes millores s'ha aconseguit revertir una situació que podria haver acabat portant a un conflicte tant amb operaris com clients degut als problemes de qualitat que es tenien en una de les línies i de disponibilitat a l'altre.



Agraïments

A la Fundació Privada Centre CIM, i especialment a Roger Uceda, per l'ajuda i suport que m'han donat durant la realització del present projecte.



Bibliografia

Referències bibliogràfiques

[1] <http://www.fundaciocim.org/>

Bibliografia complementària

- Definició dels Plans de Millora Contínua

Elaboració de plans estratègics. Aplicació a cooperatives i PIMES. Col·lecció de guies d'innovació i desenvolupament empresarial. CIDEM, 2006

- Aplicació de la metodologia SMED

Canvi ràpid d'utilitatges (SMED). Eines de progrés. Guies i eines de suport a la innovació. CIDEM, 2004.

- Realització del Disseny d'experiments

A. PRAT BARTÉS, X. TORT-MARTORELL LLABRÉS, P. GRIMA CINTAS, L. POZUETA FERNÁNDEZ, I. SOLÉ VIDAL; *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad*; Ed. UPC, 1997.



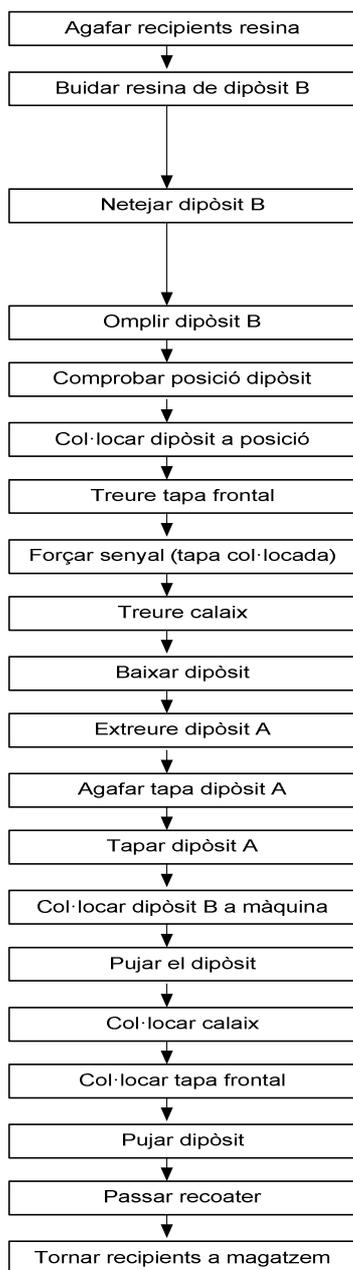
Annex A: Procediment de canvi de resina.



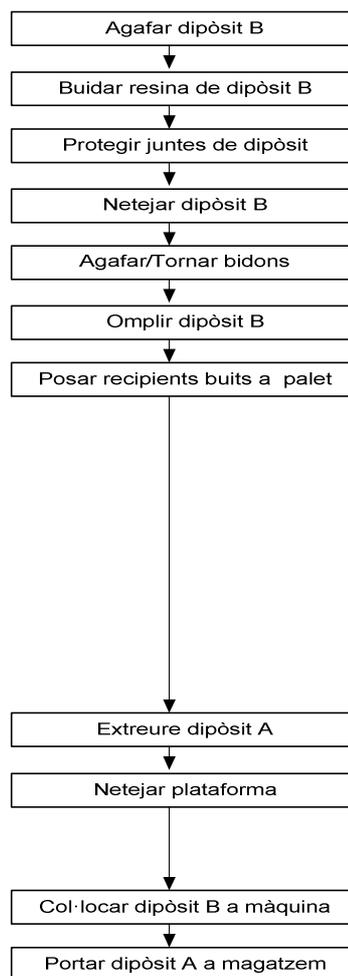
FUNDACIÓ cim PROCEDIMENT DE CANVI DE RESINA

TALLER		MÀQUINA/ES: SLA 7000	CÈL·LULA/ÀREA: TALLER	
Realitzat per:	Revisat/aprovat:	Tasca a realitzar per:	Data:	29/04/2008
Pau Serra	Roger Uceda	OPERARI	Edició: 1	Fulla: 1

OPERARI 1



OPERARI 2



Annex B: Característiques SLS



Hoja de datos de seguridad de los materiales

Página 1 de 4

I. PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA

Nombres del producto/Nombres comerciales: **Material de poliamida (PA) Accura® DuraForm™**

Familia química: Compuesto de poliamida (nilón)
 Uso del producto: Material para sistemas SLS® (sinterización láser selectiva)
 Fabricante:

Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos (HMIS):
 (Grado de riesgo: 0 = bajo, 4 = extremo):
 Salud **1**
 Inflamabilidad **0**
 Riesgos físicos **0 (Ninguno)**
Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA):
 Mezcla, no clasificada



	En EE.UU./Canadá	En Europa
Contacto del fabricante	3D Systems, Inc. 26081 Avenue Hall Valencia, CA 91355, EE.UU.	3D Systems GmbH Guerickeweg 9 Darmstadt, Alemania
Para más información:	Teléfono: (970) 257.4700 Gratis: (800) 793.3669	Teléfono: +49 (0) 6151 357-357 Fax: +49 (0) 6151 357-111
Emergencia:	800.424.9300 (Chemtrec)	703.527.3887 (Chemtrec EE.UU.)

II. INFORMACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN

Identidad química	Concentración	Clasificación según UE	
		Símbolo	Fase R
Polvo de poliamida	100%	Xi*	R36

* Este material no está enumerado en el Anexo 1 de la Directiva 88/379/EEC. Se ha clasificado el material de acuerdo con el método convencional, basándose en información que surge de materiales similares.

Clasificación según OSHA: Irritante

III. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

¡ADVERTENCIA! CAUSA IRRITACIÓN OCULAR. EVITAR EL CONTACTO CON LOS OJOS. UTILIZAR CON VENTILACIÓN ADECUADA. LAVARSE MUY BIEN DESPUÉS DE MANIPULAR.

EXCLUSIVAMENTE PARA USO INDUSTRIAL.

Efectos potenciales en la salud

- OJOS:** Causa irritación que consta de enrojecimiento, hinchazón y dolor. Puede causar conjuntivitis con una exposición repetida.
- PIEL:** Puede causar una ligera irritación que consta de enrojecimiento reversible, hinchazón y/o dolor.
- INHALACIÓN:** La inhalación de concentraciones altas de partículas o polvo puede causar irritación respiratoria y nasal ligera, tos y dificultad al respirar.
- INGESTIÓN:** La ingestión de cantidades grandes puede causar náuseas, diarrea y/o dolor estomacal e irritación gastrointestinal.
- CRÓNICOS:** Una exposición prolongada o repetida puede causar una irritación más grave.

CONDICIONES MÉDICAS AGRAVADAS POR LA EXPOSICIÓN:
 Puede agravar una dermatitis o condición respiratoria existentes.

EFFECTOS POTENCIALES EN EL MEDIO AMBIENTE: No se conoce.



Hoja de datos de seguridad de los materiales

Página 2 de 4

IV. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con la piel: Lavar las zonas de piel afectadas muy bien con jabón y agua. Consultar con un médico si continúa la irritación.
 Contacto con los ojos: Enjuagar inmediatamente con agua durante por lo menos 15 minutos. Obtener atención médica si continúa la irritación.
 Inhalación: Si se desarrolla un problema, mover la persona afectada al aire libre y consultar con un médico. En caso de desvanecimiento, permite que la persona descanse en una posición lateral estable (posición de recuperación). En caso de asfixia, iniciar la respiración artificial inmediatamente y obtener atención médica inmediata.
 Ingestión: Si se ingieren cantidades grandes de este material, inducir el vómito inmediatamente, de acuerdo con las instrucciones del personal médico. No suministrar nada por boca a una persona inconsciente.
 Notas al médico: Tratar sintomáticamente y con el propósito de brindar apoyo.

V. MEDIDAS PARA COMBATIR INCENDIOS

Temperatura de inflamabilidad: No corresponde
 Medios de extinción: Usar neblina de agua, sustancias químicas secas, dióxido de carbono o espuma química.
 Equipo de protección: Utilizar un equipo completo de vestimenta de protección para sustancias químicas y un aparato de respiración autónomo.
 Peligro inusual de incendio y explosión: Evitar las nubes de polvo y la acumulación para minimizar el potencial de explosión. Mantener lejos del calor, de las chispas, de las llamas y de las demás fuentes de ignición. Para mayor información, consultar con el folleto número 654 de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (National Fire Protection Association, NFPA): "Prevention of Fire and Dust Explosion in the Chemical, Dye, Pharmaceutical and Plastics Industry" (Prevención de incendios y explosiones por polvo en la industria química, de teñidos, farmacéutica y de los plásticos".
 Temperatura de autoignición: 450-600°C
 Límite de inflamabilidad: Límite explosivo inferior (LEL) = 40-70 g/m3 Límite explosivo superior (UEL) = No está disponible

VI. MEDIDAS PARA CASOS DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

Procedimientos en casos de derrame o fugas: Aspirar el polvo seco en un recipiente cerrado con equipo de vacío a prueba de explosiones internas y externas, con la clasificación eléctrica apropiada de acuerdo con el Código Eléctrico Nacional, Artículo 502. Usar la protección respiratoria apropiada y la ropa protectora, tal como se describe en la Sección VIII. Transferir a recipientes cerrados para su desecho.

VII. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Evitar la dispersión del polvo en el aire para reducir el peligro potencial de explosión. Eliminar las fuentes de ignición. El equipo de transporte y procesamiento debe ser a prueba de chispas, y estar debidamente sellado y conectado a tierra para evitar la acumulación de cargas estáticas. Mantener buenas normas de limpieza para evitar la acumulación de polvo.

VIII. CONTROLES DE EXPOSICIÓN, PROTECCIÓN PERSONAL

	TLV según ACGIH	PEL según OSHA	OELs internacionales
Polvo de poliamida	10 mg/m ³ *	15 mg/m ³	Ninguna disponible

*Esta sustancia está regulada por la OSHA como una sustancia particulada no regulada de otro modo (PNOR). Los límites de exposición enumerados tanto para OSHA como para ACGIH se refieren a los polvos totales; el PEL de la OSHA para la fracción respirable es de 5 mg/m³.

Protección respiratoria: Utilizar máscaras/respiradores aprobados por NIOSH.
 Ventilación: Proporcionar ventilación de escape local en los casos en que el calor pueda causar la descomposición de los polímeros, por ejemplo, en operaciones de extrusión y moldeo, y cuando exista una necesidad de extraer polvos y humos de las zonas de respiración de los trabajadores.
 Protección de los ojos: Se recomienda el uso de gafas de seguridad con protectores laterales para cualquier tipo de manipulación de polvos. Se recomienda el uso de gafas impermeables al polvo para operaciones polvorientas y en zonas en donde se acumulen vapores.
 Protección de la piel: Utilizar guantes impermeables y un delantal para evitar el contacto prolongado con la piel. Utilizar una cobertura limpia para el cuerpo y guantes impermeables al polvo o al vapor para minimizar el contacto con la piel.
 Otro equipo de protección: Lavarse las manos después de usar el producto y antes de comer, beber o fumar. Proporcionar ventilación de escape local en los casos en que el calor pueda causar la descomposición de los polímeros, por ejemplo, en operaciones de extrusión y moldeo, y cuando exista una necesidad de extraer polvos y humos de las zonas de respiración de los trabajadores.



Hoja de datos de seguridad de los materiales

Página 3 de 4

IX. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto: Polvo blanco
 Punto de fusión: 170°C
 Gravedad específica: 1,1 - 1,2 g/cm³
 Solubilidad en agua: Despreciable
 Presión de vapor: NO ESTÁ DISPONIBLE
 Coeficiente de partición: NO ESTÁ DISPONIBLE
 Propiedades explosivas: No se espera que sea explosivo
 Olor: Inodoro
 Punto de ebullición: NO ESTÁ DISPONIBLE
 Temperatura de inflamabilidad: No corresponde
 Autoignición: 450 - 600°C
 Valor de pH: No disponible
 Viscosidad: No corresponde

X. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Descomposición térmica: > 340°C
 Condiciones a evitar: Calentamiento a más de 340°C
 Materiales a evitar: Ácidos y agentes oxidantes fuertes
 Productos peligrosos por descomposición: A temperaturas altas, es posible que se formen productos de descomposición, tales como CO₂, CO, humo y NO_x.
 Polimerización peligrosa: No ocurrirá.

XI. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

LD₅₀ oral: Se cree que es > 5 g/kg (ratas)
 LD₅₀ dérmico: Se cree que es > 2 g/kg
 LC₅₀ por inhalación: Se cree que es ligeramente tóxico
 Irritación: Irritante ocular
 Sensibilización: No se anticipa que sea sensibilizante

Datos de toxicidad subcrónica/crónica: Sin información al respecto.
 Mutagenicidad: Sin información para el producto.
 Carcinogenicidad: Este producto o sus componentes no se conocen como carcinogénicos según NTP, IARC, OSHA o ACGIH.
 Efectos reproductivos, teratogenicidad o efectos en el desarrollo: No se conoce ni se ha informado que el producto cause efectos reproductivos o en el desarrollo.
 Efectos neurológicos: No se conoce ni se ha informado que este producto cause efectos neurológicos.

Interacciones con otras sustancias químicas que realzan la toxicidad: No se conoce ni informa de ninguno.

XII. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

No se conoce la toxicidad acuática del producto. No obstante ello, no se predice que sea tóxico para los organismos acuáticos ni que ocasione efectos adversos a largo plazo en el medio ambiente acuático.

XIII. CONSIDERACIONES CON RESPECTO AL DESECHO

Desear los residuos en un terreno licenciado de relleno sanitario o por incineración, de acuerdo con las normativas federales, estatales y locales. Para propósitos de desecho de los residuos, el material de PA DuraForm no se define ni designa como peligroso según las disposiciones actuales de la Ley Federal de Conservación y Recuperación de Recursos (Federal Resource Conservation and Recovery Act, RCRA - 40CFR261).



Hoja de datos de seguridad de los materiales

Página 4 de 4

XIV. INFORMACIÓN CON RESPECTO AL TRANSPORTE

	US DOT	RID/ADR	IMDG	IATA	IMO	TDG de Canadá
Nombre de envío	Polvos de resina sintética					
Clase de peligro:						
Número UN:						
Grupo de embalaje:						

XV. INFORMACIÓN NORMATIVA

NORMAS FEDERALES DE EE.UU.

TSCA: Todos los materiales están listados en el Inventario TSCA
 CERCLA: Ninguno
 SARA 313: Ninguno
 Clase de peligro según SARA 312:
 Salud: Agudo – Sí Crónico – No
 Incendio: Sí
 Liberación repentina de presión: No

Lista EHS según SARA 302: No están listados ninguno de los componentes

ESTADO DEL DERECHO A SABER ESTATAL

Componente	Prop. 65 de CA 65	Michigan	Nueva Jersey	Pennsylvania	Massachusetts
Ninguno está listado					

NORMATIVAS EUROPEAS/INTERNACIONALES

Clasificación de peligros

Símbolo de peligro: Xi Irritante
 Frases de riesgo: R 36 Irritante a los ojos.
 Frases de seguridad: S 26 En caso de contacto con los ojos, enjuagar inmediatamente con abundante agua y obtener consejos médicos.
 S 36/37 Utilizar vestimenta apropiada de protección y guantes.

Lista DSL canadiense: Los componentes de este producto se encuentran en la lista DSL o están exentos de notificación bajo las Normativas de Notificación de Sustancias Nuevas.
 IDL canadiense: Ninguno de los ingredientes están incluidos en esta lista.
 WHMIS: D2B. Este producto ha sido clasificado de acuerdo con los criterios de peligros de las Normativas de Productos Controlados y la hoja de datos de seguridad de los materiales (MSDS) contiene toda la información requerida por dichos reglamentos.

XVI. INFORMACIÓN ADICIONAL

Fecha de creación de la MSDS: 8/24/01
 Revisión de la MSDS: A
 Fecha de revisión de la MSDS: 6/1/04
 Razón por la revisión: Remove incorrect UN number in XIV.TRANSPORT INFORMATION
 For more information: www.3dsystems.com
 800.793.3669 (Gratis en EE.UU., GMT-07:00; América del Norte, de lunes a viernes de 6:00 a.m. a 6 p.m.)
 970.257.4700 (Fuera de EE.UU., GMT-07:00; América del Norte, de lunes a viernes de 6:00 a.m. a 6 p.m.)
 +49 (0) 6151 357-357 (Europa GMT+01:00; de lunes a viernes de 08:00 a.m. - 17:00 p.m. MEZ)

RENUNCIA DE RESPONSABILIDAD: Lo anterior cancela cualquier disposición en los formularios, cartas y documentos de su compañía. 3D Systems, Inc. no hace garantía alguna, sea ésta expresa o implícita, incluidas las garantías de comerciabilidad o idoneidad para un propósito particular con respecto a este producto. Ninguna declaración o recomendación contenida en la documentación del producto deberá interpretarse como una frase que fomente el incumplimiento con cualquier patente relevante existente, ya sea ahora o en el futuro. Bajo ninguna circunstancia será responsable 3D Systems, Inc. por daños incidentales, consecuenciales o de otro tipo que surja de una presunta negligencia, incumplimiento de garantía, responsabilidad estricta o cualquier otra teoría, que surja del uso o manipulación de este producto. La única responsabilidad de 3D Systems, Inc. por cualquier reclamo que surgiera con respecto a la fabricación, uso o venta de sus productos será el precio de compra del comprador.

© Copyright 2004 por 3D Systems, Inc. Todos los derechos reservados. Sujeto a cambiar sin previo aviso. El logotipo de 3D Systems, SLS y Accura son marcas registradas de 3D Systems, Inc. DuraForm y 3D Systems son marcas comerciales de 3D Systems, Inc. "the solid imaging company" es una marca de servicio de 3D Systems, Inc.



(Font: 3D Systems)



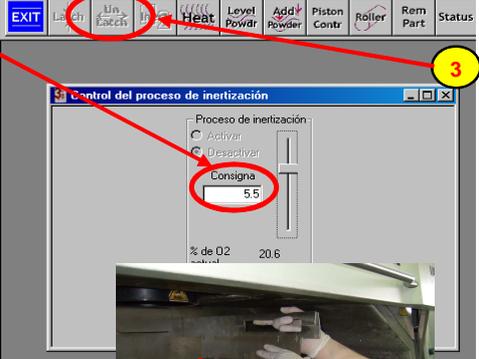
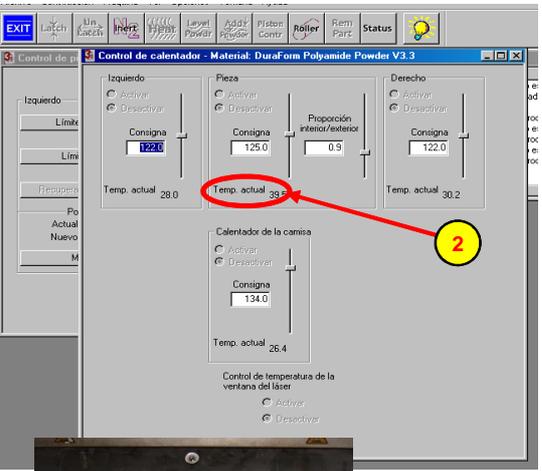
Annex C: Procediment neteja màquina SLS





PROCÉS DE NETEJA I PREPARACIÓ

TALLER		MÀQUINA/ES: Vanguard HS (SLS)	
CÈL·LULA / ÀREA: TALLER		Refer: 10/04/2008	
Realitzat per Pau Serra	Revisat/aprobat Roger Uceda	Tasca a realitzar per OPERARI	Edició: 2 Fulla: 1



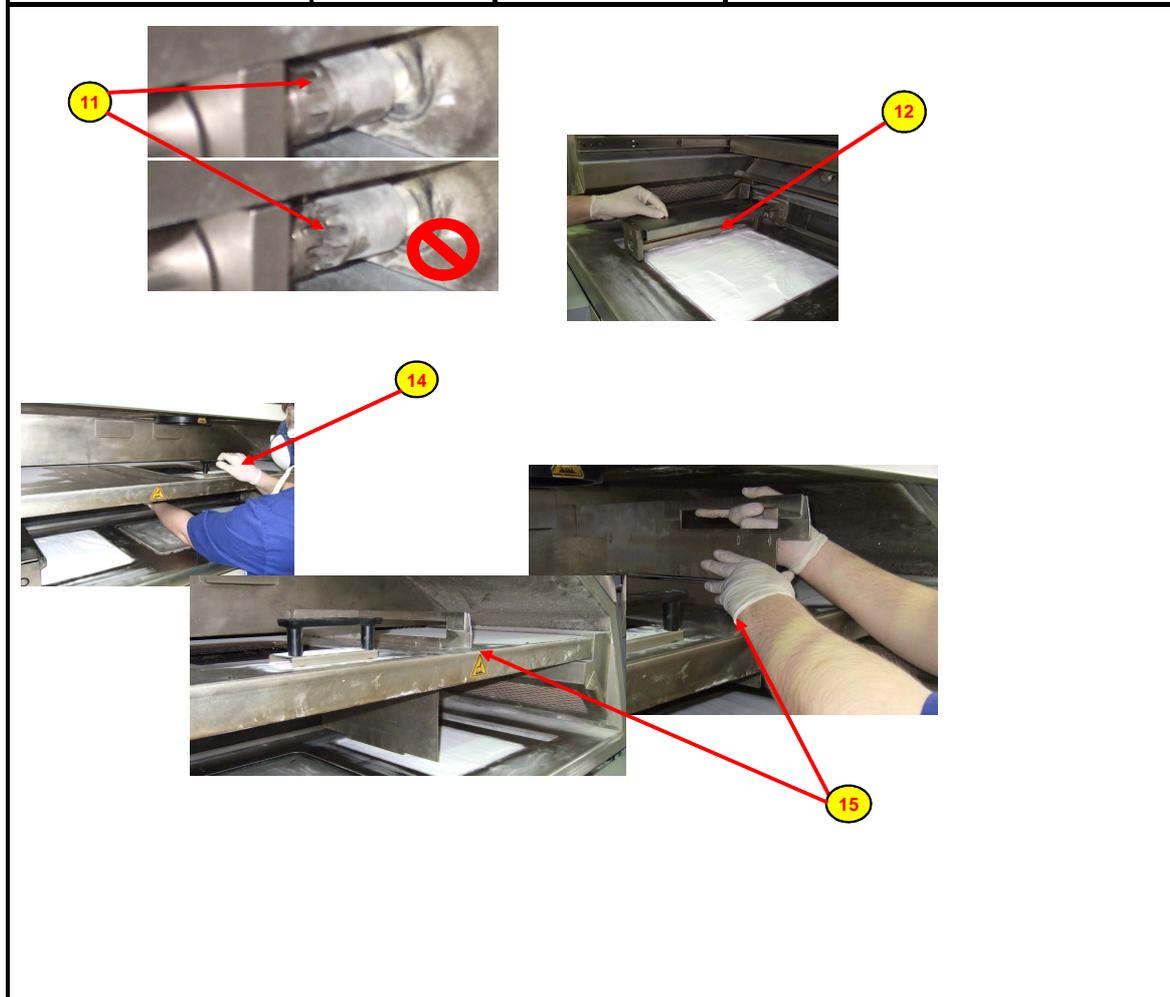

Nº	ACTIVITAT	PUNT A VERIFICAR	MÈTODE	CRITERI	OBSERVACIONS
1	Desinertitzar la màquina	Consigna = 0			
2	Comprobar temperatura de la cambra	Temp. Actual		< 50° C	
3	Obrir la porta		Botó UNLANCH		
4	Treure defectors		Estirar-los suaument cap a dalt		
5	Netejar	Placa d'escalfadors	Aspirar la superfície de la placa	Extreure la pols acumulada de les ranures	
			Mantenir pujat el suport dels sensors		
			Apretar la planxa superior cap a dins		
6	Elevar plataformes laterals			2mm respecte la última construcció	



FUNDACIÓ cim		PROCÉS DE NETEJA I PREPARACIÓ			
TALLER		MAQUINA/ES: Vanguard HS (SLS)			
CÈL·LULA / ÀREA: TALLER		Refer:		Data: 10/04/2008	
Realitzat per Pau Serra	Revisat/aprobat Roger Uceda	Tasca a realitzar per OPERARI		Edició: 2	Fulla: 2
Nº	ACTIVITAT	PUNT A VERIFICAR	MÈTODE	CRITERI	OBSERVACIONS
6	Treure protecció del rodet				Clau allen #3 (2 cargols)
7	Treure el rodet				Clau allen #5 (2 cargols)
8	Netejar capa superficial	Plataformes de material	Pinzell		Evitar que caigui pols als laterals
9	Aspirar el material sobrant	Voltant de les plataformes			Aspirar la pols del voltant de les plataformes
10	Netejar	Rodet i suports	Aplicar isopropanol fregant suaument amb paper	Brillant	Una vegada net assecar amb paper les possibles restes de líquid i bufar amb pistola



FUNDACIÓ cim		PROCÉS DE NETEJA I PREPARACIÓ	
TALLER		MAQUINA/ES: Vanguard HS (SLS)	
CEL·LULA / AREA: TALLER		Refer:	
Realitzat per Pau Serra	Revisat/aprobat Roger Uceda	Tasca a realitzar per OPERARI	Data 10/04/2008 Edició: 2 Fulla: 3



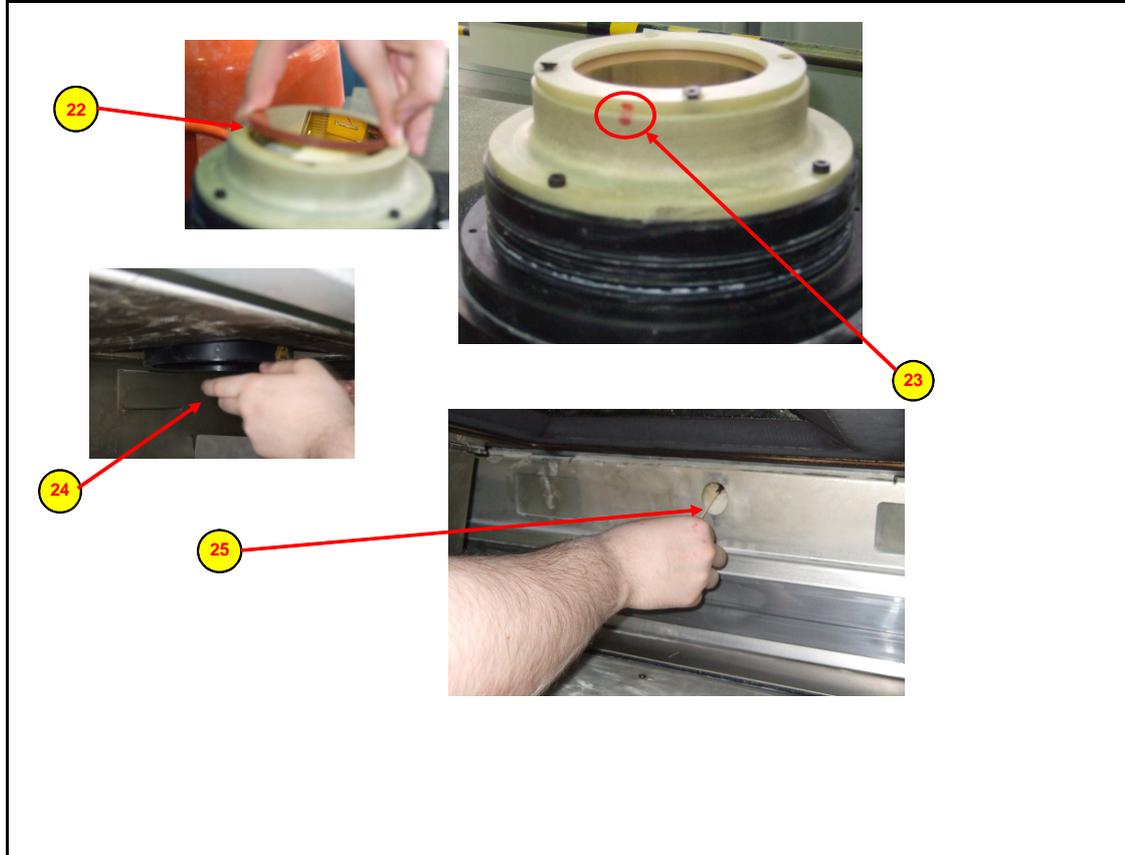
Nº	ACTIVITAT	PUNT A VERIFICAR	MÈTODE	CRITERI	OBSERVACIONS
11	Col·locar el rodet a la màquina			Mirar imatge	
12	Netejar	Protector del rodet	Aplicar isopropanol fregant suaument amb paper		
13	Col·locar el protector del rodet a la màquina				
14	Estirar la placa d'escalfadors		Mantenir pujat el suport dels sensors		
15	Col·locar els deflectors		Introduir-les correctament a la ranura	Veure imatge 15	Si hagués caigut òxid a la part de baix aspirar-lo
16	Netejar	Voltant de les plataformes	Aspirar l'òxid		



FUNDACIÓ cim		PROCÉS DE NETEJA I PREPARACIÓ			
TALLER		MÀQUINA/ES: Vanguard HS (SLS)			
CÈL·LULA / ÀREA: TALLER		Refer:		Data: 10/04/2008	
Realitzat per Pau Serra	Revisat/aprobat Roger Uceda	Tasca a realitzar per OPERARI	Edició: 2	Fulla: 4	
Nº	ACTIVITAT	PUNT A VERIFICAR	MÈTODE	CRITERI	OBSERVACIONS
17	Treure la lent i el suport de la cavitat		Girar lleugerament i estirar cap a baix		Anar amb molt de compte de no ratllar-la durant tot el procés de neteja
18	Descargolar	Cargols de la subjecció de la lent			Clau allen #2 (4 cargols)
19	Treure la lent del suport		Presionar per la part de baix amb la mà i un tros de paper suau		Vigilar que no caigui la goma de la juntura
20	Col·locar la lent sobre una superfície esponjosa coberta de paper suau				
21	Netejar la lent		Aplicar una petita quantitat d'isopropanol i escampar-la suaument amb un tros de paper suau, assecar-la	Completament neta i sense marques	Al girar la lent per netejar l'altre cara subjectar-la per els laterals



			PROCÉS DE NETEJA I PREPARACIÓ		
TALLER		MÀQUINA/ES: Vanguard HS (SLS)			
CÈL·LULA / ÀREA: TALLER		Refer:		Data: 10/04/2008	
Realitzat per Pau Serra	Revisat/aprobat Roger Uceda	Tasca a realitzar per OPERARI	Edició: 2	Fulla: 5	



Nº	ACTIVITAT	PUNT A VERIFICAR	MÈTODE	CRITERI	OBSERVACIONS
22	Col·locar la lent al seu suport		Agafar-la per els laterals i col·locar-la a la seva cavitat		Per acabar-la de col·locar correctament acompanyar-la per baix amb la mà i un tros de paper suau
23	Cargolar	Cargols del suport de la lent	Cargolar en creu.	Les marques vermelles han de coincidir	Clau allen #2 (4 cargols)
24	Col·locar la lent i el suport a la cavitat		Girar lleugerament i apretar cap a dalt		
25	Netejar	Sensors de temperatura	Fregar suaument amb bastonets impregnats d'isopropanol i assecar amb un bastonet sec		Es netegen els tres sensors amb el mateix bastonet, seguint el següent ordre: mig, esquerra i dreta
26	Tancar la porta de la màquina				



Annex D: Fitxa recollida resultats DOE



Annex E: Matriu disseny DOE i resultats

T ^a zona peça	T ^a laterals	Potència làser	T. escalfament	T. refredament	% material nou
148	130	42	2	0,3	0,5
148	135	42	0,5	0,5	0,5
150	130	48	0,5	0,3	0,5
150	130	48	2	0,3	0,3
148	135	42	2	0,5	0,3
150	130	42	2	0,5	0,5
150	135	48	2	0,5	0,5
150	130	42	0,5	0,5	0,3
150	135	42	2	0,3	0,3
148	130	42	0,5	0,3	0,3
148	135	42	2	0,5	0,3
148	130	42	0,5	0,3	0,3
148	135	48	2	0,3	0,5
150	135	48	2	0,5	0,5
150	135	48	0,5	0,5	0,3
148	130	48	0,5	0,5	0,5
148	130	48	0,5	0,5	0,5
150	130	48	0,5	0,3	0,5
150	135	48	0,5	0,5	0,3
148	135	42	0,5	0,5	0,5
148	130	42	2	0,3	0,5
148	135	48	0,5	0,3	0,3
150	130	42	0,5	0,5	0,3
150	135	42	0,5	0,3	0,5
148	135	48	2	0,3	0,5
150	130	42	2	0,5	0,5
150	135	42	0,5	0,3	0,5
148	130	48	2	0,5	0,3
150	135	42	2	0,3	0,3
150	130	48	2	0,3	0,3
148	130	48	2	0,5	0,3
148	135	48	0,5	0,3	0,3



	Tª zona peça	Tª laterals	Pot. làser	Temps escalf.	Temps ref.	% material nou	Aspecte			Deformació		
							1	2	3	1	2	3
1	148	130	42	2	0,3	0,5	4	4	4	1,2	1,2	1,2
2	148	135	42	0,5	0,5	0,5	3	3	3	0,9	0,9	1,0
3	150	130	48	0,5	0,3	0,5	2	2	1	2,1	2,1	2,1
4	150	130	48	2	0,3	0,3	3	3	3	1,3	1,3	1,3
5	148	135	42	2	0,5	0,3	5	4	5	0,2	0,1	0,1
6	150	130	42	2	0,5	0,5	4	4	5	0,0	0,1	0,1
7	150	135	48	2	0,5	0,5	4	5	5	0,1	0,0	0,0
8	150	130	42	0,5	0,5	0,3	2	2	2	0,8	0,8	0,9
9	150	135	42	2	0,3	0,3	4	3	3	1,3	1,3	1,3
10	148	130	42	0,5	0,3	0,3	1	2	2	2,0	2,1	2,1
11	148	135	42	2	0,5	0,3	4	4	5	0,2	0,1	0,1
12	148	130	42	0,5	0,3	0,3	2	2	1	2,0	2,0	2,1
13	148	135	48	2	0,3	0,5	4	3	4	1,2	1,2	1,3
14	150	135	48	2	0,5	0,5	5	5	4	0,0	0,1	0,0
15	150	135	48	0,5	0,5	0,3	2	2	2	0,9	0,9	0,9
16	148	130	48	0,5	0,5	0,5	2	3	3	0,9	1,0	1,0
17	148	130	48	0,5	0,5	0,5	3	2	2	0,9	1,0	1,0
18	150	130	48	0,5	0,3	0,5	2	2	2	2,1	2,1	2,0
19	150	135	48	0,5	0,5	0,3	3	2	2	0,9	0,8	0,9
20	148	135	42	0,5	0,5	0,5	2	3	2	0,9	1,0	1,0
21	148	130	42	2	0,3	0,5	4	4	3	1,2	1,2	1,2
22	148	135	48	0,5	0,3	0,3	1	2	2	2,0	2,1	2,1
23	150	130	42	0,5	0,5	0,3	2	2	1	0,9	0,9	0,9
24	150	135	42	0,5	0,3	0,5	2	1	2	2,1	2,1	2,2
25	148	135	48	2	0,3	0,5	4	3	3	1,2	1,2	1,3
26	150	130	42	2	0,5	0,5	5	5	4	0,1	0,1	0,0
27	150	135	42	0,5	0,3	0,5	1	2	2	2,0	2,1	2,1
28	148	130	48	2	0,5	0,3	4	4	4	0,1	0,1	0,1
29	150	135	42	2	0,3	0,3	3	4	4	1,3	1,4	1,3
30	150	130	48	2	0,3	0,3	4	3	3	1,3	1,3	1,4
31	148	130	48	2	0,5	0,3	5	4	4	0,1	0,1	0,2
32	148	135	48	0,5	0,3	0,3	1	1	2	2,0	2,1	2,1

