



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FI DE CARRERA

TÍTOL: Estudi de la resistència a la tracció en peces d'alumini injectades a pressió.

AUTOR: Josep Oriol Muria Domingo i Mireia Roda Oriach

TITULACIÓ: ETI especialitat en electricitat i ETI especialitat en química industrial

DIRECTOR: Oscar Iñigo Giera

PONENT: Joana d'Arc Prat Farran

DEPARTAMENT: MA4

DATA: 12 de Maig de 2009

TÍTOL: Estudi de la resistència a la tracció en peces d'alumini injectades a pressió.

COGNOMS: Muria Domingo

NOM: Josep Oriol

TITULACIÓ: ETI

ESPECIALITAT: Electricitat

PLA: 95

COGNOMS: Roda Oriach

NOM: Mireia

TITULACIÓ: ETI

ESPECIALITAT: Química Industrial

PLA: 95

DIRECTOR: Oscar Iñigo Giera

PONENT: Joana d'Arc Prat Farran

DEPARTAMENT: MA4

QUALIFICACIÓ DEL PFC

TRIBUNAL

PRESIDENT

SECRETARI

VOCAL

DATA DE LECTURA:

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: Sí No

PROJECTE FI DE CARRERA

RESUM (màxim 50 línies)

En una fonderia d'alumini a alta pressió dedicada al sector de l'automoció es vol estudiar mitjançant la metodologia sis sigma la forma de com millorar una de les característiques d'una de les seves peces que va muntada dins d'un cinturó de seguretat.

La característica es la resistència a la tracció de la peça que es testa amb un assaig amb dinamòmetre. El requeriment per part del client al realitzar l'assaig es de que es compleixi que mitjana-4sigma \geq 1600DaN.

Es defineixen els factors que influeixen en aquesta característica i es fa una anàlisi mitjançant la tècnica del disseny d'experiments per tal de definir les condicions optimes mitjançant les quals aconseguim màxims resultats i mínima variabilitat en els resultats de l'assaig a tracció.

Abans de fer l'estudi mencionat ens adonem que hi ha dos factors que podrien fer que no tinguéssim resultats comparables entre les diferents probes requerides per fer el disseny d'experiments: la variabilitat en l'assaig depenent de l'experiència de l'operari que realitza l'assaig i el temps que passa des de que la peça s'ha fos fins que es realitza l'assaig.

Comprovem que hi ha variabilitat en els resultats de l'assaig depenent de l'experiència de l'operari. Per eliminar aquest factor es fa una modificació en l'útil utilitzat per fer l'assaig. Després de la modificació desapareix la variabilitat.

D'altra banda es fa una anàlisi trencant peces en diferents moments de temps des de la fosa de les mateixes. S'arriba a la conclusió de que les peces es mantenen estables en el resultat de l'assaig a partir de les 10 hores transcorregudes des de que s'han fos.

Un cop conegut això es fa el disseny d'experiments que ens permet trobar condicions optimes. Un cop es col·loquen aquests paràmetres a la producció es comprova que positivament donen resultats superiors a l'assaig a tracció. Ara be, aquests paràmetres no permeten treballar en sèrie.

Es per aquesta raó que finalment es conclou que no es pot treballar només buscant un bon resultat d'assaig a tracció, sinó que s'ha de donar un equilibri entre aquest objectiu i el de treballar de forma continuada sense problemes. Per aquesta raó s'adopten els paràmetres trobats com a tendències a seguir a l'hora de realitzar programacions a la producció.

Paraules clau (màxim 10):

Tracció	6 sigma	Alumini	Automoció
Injecció a pressió			

ÍNDEX

0. OBJECTIU.....	5
1. INTRODUCCIÓ.....	6
1.1. Punt de partida.....	6
1.1.1. Raó per la que s'ha de realitzar l'estudi.....	7
1.2. La peça.....	8
1.2.1. Funció.....	8
1.2.1.1. Concepte de col·lisió.....	8
1.2.1.2. Funcionament.....	8
1.2.2. Fabricació.....	10
1.2.2.1. L'alumini.....	10
1.2.2.1.1. Producció d'alúmina.....	11
1.2.2.1.1. Obtenció de l'alumini.....	13
1.2.2.1.3. Aliatges.....	14
1.2.2.2. El procés.....	15
1.2.2.2.1. La fosa.....	15
1.2.2.2.2. La injecció, el refredat i el matriuat.....	16
1.2.2.2.3. El vibrat.....	17
1.2.2.2.4. El verificat.....	17
1.2.2.2.5. Empaquetat i enviament.....	18
1.2.3. Assaig a tracció en eixos.....	18
1.2.3.1. Procediment de l'assaig a tracció.....	18
1.3. Descripció de paràmetres influents.....	21
1.3.1. Factors influents.....	21
1.3.2. Selecció dels paràmetres.....	27
2. METODOLOGIA.....	29
2.1. Variabilitat del resultat segons personal que actua.....	29
2.2. Maduració.....	30
2.3. Variació de paràmetres d'injecció.....	30
3. RESULTATS I ANÀLISI.....	35
3.1. Variabilitat segons el personal que actua.....	35
3.2.1. Variabilitat del resultat segons personal que actua.....	35
3.2.2. Modificació de l'útil.....	40
3.2.3. Resultats del nou útil.....	41
3.2. Maduració.....	44
3.3. Variació de paràmetres d'injecció.....	50
3.3.1. Resultats de l'experimentació.....	50
3.3.2. Anàlisi dels resultats.....	51
3.3.3. Resultat de l'experiment amb paràmetres òptims.....	58
4. CONCLUSIONS.....	60
5. ANNEXOS.....	63
Annex A. La metodologia 6 sigma.....	63
Annex B. Nombre de factors vers resolució.....	67
Annex C. Càlcul d'interaccions.....	68
6. BIBLIOGRAFIA.....	72

0. OBJECTIU

L'objectiu d'aquest estudi és trobar les condicions de fabricació d'un eix d'alumini usat en els cinturons de seguretat en automòbils per a obtenir peces que resisteixin la màxima força de tracció possible.

Obtenir un bon resultat en els assaigs que es realitzen per conèixer aquesta resistència es vital pel correcte funcionament de la peça i és d'altra banda un requisit imposat per el comprador de la mateixa.

Així mateix, el comprador exigeix que es faci un anàlisi mitjançant la metodologia sis sigma (veure Annex A) per assolir aquest objectiu, i és per això que l'enfocament que se li ha donat al treball segueix aquesta filosofia.

1. INTRODUCCIÓ

Aquest treball s'ha realitzat a una empresa ubicada a la zona del Alt Penedès durant el període comprès entre el setembre de 2007 i el juny de 2008.

1.1. Punt de partida

L'empresa on s'ha realitzat aquest estudi es una planta on s'hi fabriquen peces d'alumini injectat a pressió. Les peces que s'hi produeixen son majoritàriament eixos per cinturons de seguretat i platines per neteja parabrises.

El projecte en qüestió es centra en una de les peces que s'inclou dins de la categoria d'eixos o bobines per cinturons de seguretat.

S'ha escollit aquesta peça per varies raons:

- Es una peça representativa d'una gran part de la producció ara i en el futur.
- Es troba constantment en producció degut a la seva gran demanda.
- D'entre tots els clients de l'empresa, el comprador aquesta peça ha demanat explícitament que es faci aquest estudi seguint la metodologia sis sigma.

Aquesta peça així com tots els eixos, son peces considerades peces de seguretat, i es per això que els requisits de qualitat demanats son molt estrictes, de forma que durant el procés de fabricació es fan diferents comprovacions per tal d'assegurar els requisits imposats pel client

Un dels assaigs que es realitzen per verificar el bon funcionament de les peces és el de sotmetre la peça a una força a tracció. Es tracta de veure quanta força pot aguantar la peça abans no es trenqui de forma que es simuli l'impacta que rep l'eix quan succeeix un accident, moment en que la peça ha de resistir el màxim abans de trencar-se per tal de que el passatger no surti disparat. Evidentment el que interessa en aquest assaig es que la peça aguanti com més força millor.

Més endavant descriurem la peça així com la funció que té en el dispositiu que es munta a l'automòbil i d'aquesta forma s'entendrà millor la importància que te aquest assaig.

Durant l'estudi anirem identificant quins son els paràmetres que poden influir en la resistència a la tracció i intentarem esbrinar la combinació de paràmetres que doni millors resultats de resistència a la tracció fent els assaigs corresponents, ajudant-nos de l'estadística i de la bibliografia pertinent.

Al llarg del projecte ens hem vist obligats a no només centrar-nos en els assaigs a producció per a obtenir la millor combinació de paràmetres, si no que

hem hagut de revisar l'aparell que s'usa per trencar amb l'objectiu de reduir la variabilitat de resultats en funció de la persona que realitzi l'assaig.

D'altra banda, sabem que per permanència a temperatura ambient es produeixen precipitacions de la solució sòlida sobresaturada que provoca un augment de la resistència a la tracció. Això és el que anomenem envelliment o maduració de la peça. Haurem de conèixer aquest efecte per tal de que no ens emmascari els resultats.

1.1.1. Raó per la que s'ha de realitzar l'estudi.

De la mateixa manera que a la fàbrica es fan assaigs de trencament per assegurar la qualitat de la producció, el client també en realitza un cop ha muntat el cinturó de seguretat que anirà al cotxe. El fet de que hagin hagut un parell de reclamacions per part del client expressant la disconformitat dels resultats en l'assaig a casa seva fa que l'empresa es plantegi abordar el tema en profunditat.

Aquestes reclamacions causen demèrits en la qualificació com a proveïdors cosa que condiona futurs contractes amb el client, ja sigui en el volum de les comandes o bé en l'assignació de nous projectes.

I el que es més important, la peça podria no ser funcional, cosa força més preocupant.

D'altra banda, els paràmetres i condicions a aplicar a l'hora d'injectar alumini a pressió no es una cosa que es pugui trobar en un llibre. Aquest es un sector tancat en el que es treballa segons la pròpia experiència de l'operari o optimitzador (persona encarregada de fixar els paràmetres) on cadascú te una forma d'injectar diferent.

El criteri que segueixen els optimitzadors sempre és el d'obtenir peces de bona qualitat visual (sense faltes de material), sense excessives rebaves i amb mesures dintre de plànol i això es pot aconseguir amb diversitat de programes. Per això a l'empresa en qüestió li va semblar en el seu moment que s'havia d'intentar definir uns criteris bàsics a través dels quals els operaris poguessin saber d'on partir a l'hora de definir una programació de màquina, de forma que amb aquests s'obtinguessin peces amb bons resultats en l'assaig en qüestió.

A més a més, l'estudi es va portar a cap amb l'esperança de trobar alguna cosa concreta que modificant-la millorés de forma significativa els resultats de l'assaig de trencament. Per això era tan important definir totes les influències en la injecció.

Per tan doncs, tan per exigència del client com per a la nostra pròpia necessitat com empresa realitzarem aquest estudi seguint la metodologia 6 sigma (Annex A)

1.2. La peça

1.2.1. Funció

La peça en qüestió forma part indispensable d'un cinturó de seguretat. D'altra banda, el cinturó de seguretat és un sistema de seguretat passiu dins dels vehicles de motor. salva milers de vides diàriament per tot el món, i se'n podrien salvar moltes més si més gent l'utilitzés. Tot i que en alguns casos els cinturons poden ocasionar ferides, en cas d'accident es redueixen en un 50% les possibilitats de morir.

Es per tot això que tenir un procés robust que asseguri les característiques d'aquest producte és tan i tan important.

1.2.1.1. Concepte de col·lisió

La idea bàsica d'un cinturó de seguretat és impedir que els individus de l'interior del vehicle surtin disparats cap a la lluna davantera o sofreixin desplaçaments bruscos incontrolats dins del vehicle. Una frenada brusca o a una col·lisió farà que els habitants del vehicle pateixin aquests moviments violents a causa de la inèrcia.

La inèrcia (inèrcia mecànica) és la tendència que tenen els cossos per mantenir el seu estat de moviment o repòs en el que es troben. Per tant, si un automòbil sofreix una col·lisió frenant bruscament el cotxe, els individus del interior seguiran viatjant a la velocitat que portaven abans de l'accident. La funció del cinturó de seguretat, és impedir-ho.

1.2.1.2. Funcionament

Quan un cinturó de seguretat és col·locat correctament, la major part de la força de retenció és aplicada sobre dos punts resistents del cos, com són el pit i la pelvis. Ja que el cinturó s'expandeix per una llarga area del cos, la força de retenció es distribueix donant lloc a una menor pressió i per tant, redueix la possibilitat de danys greus. També però, la cinta del cinturó de seguretat és lleugerament flexible, de forma que en cas d'impacte la parada no sigui brusca sinó progressiva, el qual es tradueix en una menor força de retenció.

En un sistema simple, la cinta del cinturó està connectada a un mecanisme retractor. L'element central d'aquest retractor és l'eix, la nostra peça, la qual està enganxada per una de les puntes de la cinta mitjançant un passador.

Mecanisme de recollida

Quan s'estira la cinta del cinturó estem aplicant força de rotació a l'eix. Dins la carcassa del cinturó i sobre l'eix hi ha una molla que crea resistència de forma que, la molla estarà en estat relaxat quan el cinturó estigui recollit. Aquesta molla serveix perquè la corretja es quedi solta per poder estirar-la però alhora, es reculli quan es deixa anar ajustant-se al cos.

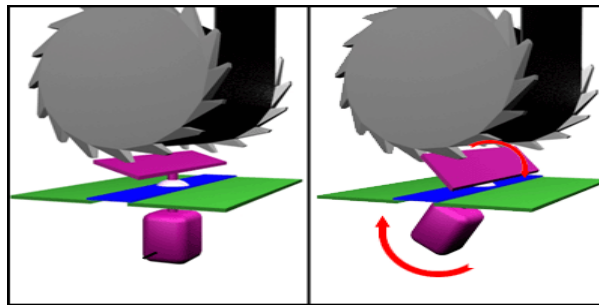
Quan s'estira de la cinta cap a fora, l'eix gira i desenrotlla la molla interna que fa la força de subjecció.

Mecanisme de bloqueig

El retractor té un mecanisme de bloqueig que impedeix a la bobina girar quan el cotxe té una col·lisió, això és el que impedeix que el passatger surti disparat contra la lluna davantera. Hi ha dos tipus de sistemes de bloqueig utilitzats avui en dia: Sistema per moviment del cotxe i sistema per moviment del cinturó.

a) Sistema per moviment del cotxe

El primer sistema bloqueja la bobina quan el cotxe canvia de posició. En un accident per exemple, però també ho podem notar en una pendent, intentem estirar el cinturó, però aquest es bloqueja. L'element central és un pèndol amb pes. Quan el cotxe canvia de posició, el pèndol es mou en el sentit invers al moviment del cotxe. A l'altra banda del pèndol, hi ha una falca que queda enganxada a l'eix impedit que aquest es mogui.



Aquest sistema pot variar en funció del fabricant, però tots segueixen la mateixa filosofia: detecció de canvi en la posició del vehicle: bloqueig de l'eix.

b) Sistema per moviment del cinturó

El segon sistema bloqueja l'eix quan algú estira de la cinta amb brusquedat. El sistema identifica aquest moviment com una desacceleració brusca del vehicle que genera canvi en la inèrcia del cos del passatger.

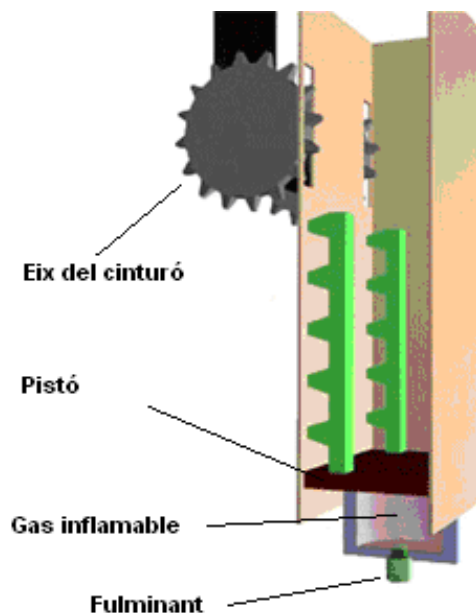
L'element central és un dispositiu centrífug, el qual és simplement un petit pivot amb pes muntat a l'eix de rotació. Quan l'eix gira lentament el pivot no nota el moviment i una molla el manté al seu lloc, però en quan nota un moviment més brusca en que l'eix gira a major velocitat, la força centrífuga fa que el pivot es desplaci fins al final bloquejant l'eix.

El pes desplaça una peça muntada al retractor, la qual està connectada a una altra peça metàl·lica lliscant, que mou una part dentada que queda falcada a l'eix impedit la seva rotació.

Mecanisme de recollida

Un dels sistemes més utilitzats per recollir la cinta del cinturó de seguretat és el precursor pirotècnic. Aquests mecanismes tenen com a finalitat cenyir el cinturó el màxim possible al cos del passatger en cas de col·lisió. Aquest sistema actua fent una estirada al cinturó per evitar que quedi cinta solta en el moment de l'impacte.

Aquest sistema consta d'una cambra plena de gas combustible, en el que s'allotja una petita càrrega explosiva que actua com a detonant. A la cambra de gas inflamable s'hi troba un pistó mòbil. Quan el detonador s'activa, la pressió generada per l'explosió del gas mou el pistó, i aquest fa girar l'eix del cinturó recollint la cinta.



Depenent del fabricant la força pot ser que la faci un pistó, o algun altre sistema, com per exemple un seguit de boles d'acer que surten disparades allotjant-se en una corona que alhora fa girar l'eix.

1.2.2. Fabricació

1.2.2.1. L'alumini

L'alumini és un metall no fèrric i el tercer element més comú que es pot trobar a l'escorça terrestre en la majoria de roques, vegetació i animals.

A l'antiga Grècia i a Roma ja s'utilitzava en forma de sal barrejada amb potassi, per a usos en tintoreria i com a astringent (ús encara en vigor), però no va ser fins al 1827 que es va aconseguir aïllar l'alumini (Friedrich Wöhler).

Quan es va descobrir, es va veure que la seva extracció de les roques en que es trobava era extremadament difícil i durant un temps es va considerar un metall preciós més car inclús que l'or. S'exhibien barres d'alumini junt amb les joies de la corona de França o fins i tot, va ser el material escollit per a fer el Monument a Washington.

Tanmateix, amb les millores dels processos els preus van baixar contínuament fins a col·lapsar-se el 1889, al descobrir un senzill mètode d'extracció del metall. La invenció del procés Hall-Hérault en 1886 va abaratí el preu d'extracció a partir del mineral, el que va permetre junt amb el procés Bayer descobert a les mateixes dates que s'estengués l'ús fins a fer-se comú en multitud d'utilitats. Les seves aplicacions industrials són relativament recents, i a finals del segle XIX era un material comú en la construcció.

Actualment el procés ordinari d'extracció del metall consta de dos etapes, l'obtenció d'alúmina (Al_2O_3) a partir de la bauxita (roca sedimentària composta per alúmina, òxid de ferro i silici) i una posterior d'obtenció de l'alumini a partir de l'alúmina.

1.2.2.1.1. Producció d'alúmina

Per obtenir l'alúmina des de la mena s'utilitzen diferents procediments, dos dels quals son tractament amb sosa càustica (NaOH) i tractament amb carbonats.

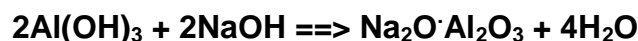
a) Tractament amb sosa càustica

Aquest mètodes es més convenient quan la quantitat de silici (SiO_2) es menor del 5% en la mena.

Segons aquest procediment, la bauxita es mol i es carrega en uns autoclaus per a la seva lixiviació.

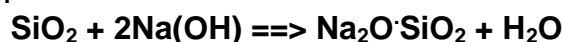
En aquets autoclaus s'agrega una dissolució de sosa càustica (NaOH) i s'hi afegeix vapor fins a una pressió de treball de 12 atmosferes i una temperatura de 160-170°C.

L'alúmina que es troba en la bauxita en forma d'hidròxid d'alumini $\text{Al}(\text{OH})_3$, reacciona amb la sosa càustica (NaOH) i passa a la dissolució en forma d'aluminat sòdic ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$):

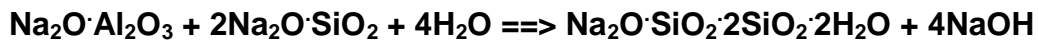


Els òxids de ferro presents, no reaccionen i passen als fangs.

La sílice reacciona amb la sosa i passa a la dissolució en forma de silicat de sodi ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$):

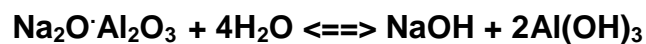


El silicat sòdic, actua amb l'aluminat sòdic en la dissolució i forma l'aluminosilicat sòdic insoluble ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$):

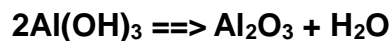


Com a resultat d'aquesta reacció la dissolució es neteja de silici però certa quantitat d'alumini va a parar als precipitats.

Finalment s'ha obtingut l'aluminat sòdic ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) com una massa pastosa a l'autoclau. Del autoclau s'envia a un aparell d'evaporació especial, on la massa es refreda i s'hidrolitza l'aluminat sòdic per a obtenir d'hidròxid d'alumini $\text{Al}(\text{OH})_3$ cristal·lí precipitat. Aquest procés s'inocula amb cristalls d'hidròxid d'alumini per servir de centres de cristal·lització.

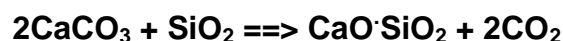
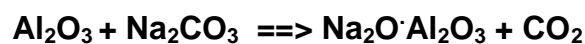


Finalment es fa la calcinació a 1200°C de l'hidròxid obtingut en forns rotatoris per convertir-lo en alumina (Al_2O_3):



b) Tractament amb carbonats

Les menes es trituren i es barregen amb el carbonat de sodi (Na_2CO_3) i carbonat de calci (CaCO_3) i es sinteritza a 1100°C , com a resultat s'obté l'aluminat sòdic ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), així com silicat càlcic ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) y la ferrita sòdica ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{Na}_2\text{O}$), segons les reaccions:

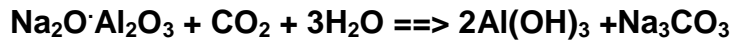


Després de la sinterització la massa es mol i se sotmet a lixiviació, durant la qual passen a la dissolució l'aluminat sòdic ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) y la ferrita sòdica ($2\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{Na}_2\text{O}$), el silicat càlcic ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) precipita, així coma altres impureses.

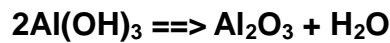
Amb el temps la ferrita sòdica en dissolució s'hidrolitza i forma hidròxid de ferro insoluble ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) que precipita, y sosa càustica (NaOH) que passa a la dissolució, segons la reacció:



Després l'aluminat de sodi es sotmet a carbonatació per formar hidròxid d'alumini ($\text{Al}(\text{OH})_3$) insoluble que precipita y carbonat de sodi (Na_2CO_3) que passa a la dissolució; la reacció es la següent:



Finalment es fa la calcinació de l'hidròxid d'alumini per obtenir alúmina (Al_2O_3) pura, igual que en el cas anterior.



En els dos processos el resultat final és l'alúmina, base de la producció de l'alumini metàl·lic.

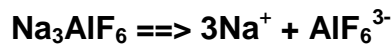
1.2.2.1.1. Obtenció de l'alumini

L'òxid deshidratat de l'alumini té una temperatura de fusió de $2050\text{ }^\circ\text{C}$ y d'ebullició de $2980\text{ }^\circ\text{C}$ sense descomposició, resulta una substància molt estable.

L'alumini s'obté per electròlisi a partir de l'alúmina dissolta en criolita (Na_3AlF_6) fosa la que alhora es produeix utilitzant fluorita (CaF_2), l'hidròxid d'alumini el carbonat sòdic y el àcid sulfúric.

La mescla amb la criolita dona una barreja eutèctica, que aconseguir baixar el punt de fusió al voltant dels $900\text{ }^\circ\text{C}$. Per aquesta raó el consum energètic que s'utilitza per obtenir l'alumini és molt alt i el converteix en un dels metalls més cars d'aconseguir.

Sota l'acció de la corrent la criolita fosa es dissocia en ions.

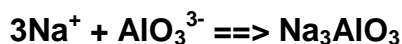


L'alúmina dissolta també se dissocia en ions.

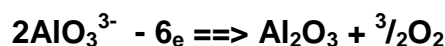


De manera que són transportats al càtode els ions 3Na^+ i Al^{3+} , com l'ió d'alumini té un potencial negatiu menor que el sòdic, es descarrega allí només l'alumini metàl·lic que precipita al fons del bany calent en forma líquida.

Els ions de sodi reaccionen amb l'anió AlO_3^{3-} per formar aluminat sòdic segons:



Els ions negatius o anions es dirigeixen a l'ànode, es forma allí alúmina i es desprèn oxigen, segons:



L'oxigen després reacciona amb el carboni per formar CO y CO_2 que se desprèn del bany como gasos.

L'alumini líquid s'extreu de temps en temps des de el fons del sífó.

Per aquest mètode per obtenir una tona d'alumini s'utilitzen 2 tones d'alúmina, 100 kg de criolita, fins a 600 kg dels elèctrodes de carbó i de 16,500 a 18,500 KWh d'energia elèctrica.

D'aquests banys s'obté alumini metàl·lic en estat líquid amb una puresa entre un 99,5 i un 99,9%, quedant traces de ferro i silici com a impureses principals.

1.2.2.1.3. Aliatges

Des del punt de vista físic, l'alumini pur té una resistència molt baixa a la tracció i una duresa escassa. En canvi, unit en aliatge amb altres elements, l'alumini assoleix característiques mecàniques molt superiors.

Les aportacions de cada element en l'aliatge son les següents:

- **Crom (Cr)** Augmenta la resistència mecànica quan està combinat amb altres elements Cu, Mn, Mg.
- **Coure (Cu)** Incrementa les propietats mecàniques però redueix la resistència a la corrosió.
- **Ferro (Fe)** Incrementa la resistència mecànica.
- **Magnesi (Mg)** Té alta resistència en el conformat en fred.
- **Manganès (Mn)** Incrementa les propietats i redueix la qualitat d'embotició.
- **Silici (Si)** Combinat amb el magnesi (Mg), té major resistència mecànica.
- **Titani (Ti)** Augmenta la resistència mecànica.
- **Zinc (Zn)** Redueix la resistència a la corrosió.

En el nostre cas, l'aliatge amb el que treballem és LA-2630.

Aquest aliatge correspon a l'aliatge americà més popular per a injecció a pressió, tant pel preu econòmic com per les magnífiques propietats de fluïdesa.

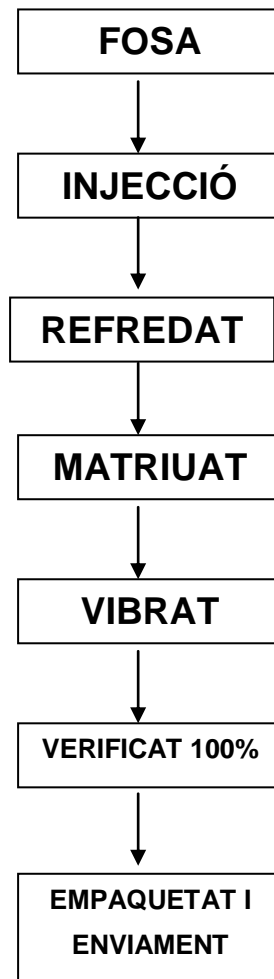
S'aplica generalment per a la injecció de peces complicades i que requereixen duresa, així doncs, això el converteix en l'alumini ideal per a la nostra peça.

La composició de l'aliatge LA 2630 es la següent:

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Pb	Al
7,5/10%	Max 1,3%	2,5/4%	Max 0,2%	Max 0,3%	Max 0,4%	Max 1,5%	Max 0,3%	BASE

1.2.2.2. El procés

Com la majoria de les peces que es fabriquen en aquesta planta la peça en qüestió segueix el següent procés:



1.2.2.2.1. La fosa

L'aliatge de treball fon de 720°C a 740°C. Aquesta fusió es porta a cap en un forn central alimentat per lingots d'alumini recent arribats del proveïdor i per alumini procedent de peces de rebuig, i que per tant ja ha estat fos anteriorment. És per això que la composició del material no és del tot constant i per aquesta mateixa raó la temperatura de fusió pot variar uns graus d'una fosa a una altra.

Tot i així la proporció d'alumini reciclat en cada fosa ha de ser inferior al 30%. És el límit que l'empresa te establert per tal de que la peça compleixi amb les especificacions de client.

Cal tenir en compte a més que cada cop que l'alumini es fon, perd per volatilitat un 7% de la seva massa, el que fa que la composició de l'alumini refós sigui variable en tot moment.

En aquesta fase es fan constantment controls de la composició de l'alumini que surt fos del forn central i que va cap a les màquines per ser injectat.

1.2.2.2. La injecció, el refredat i el matriuat

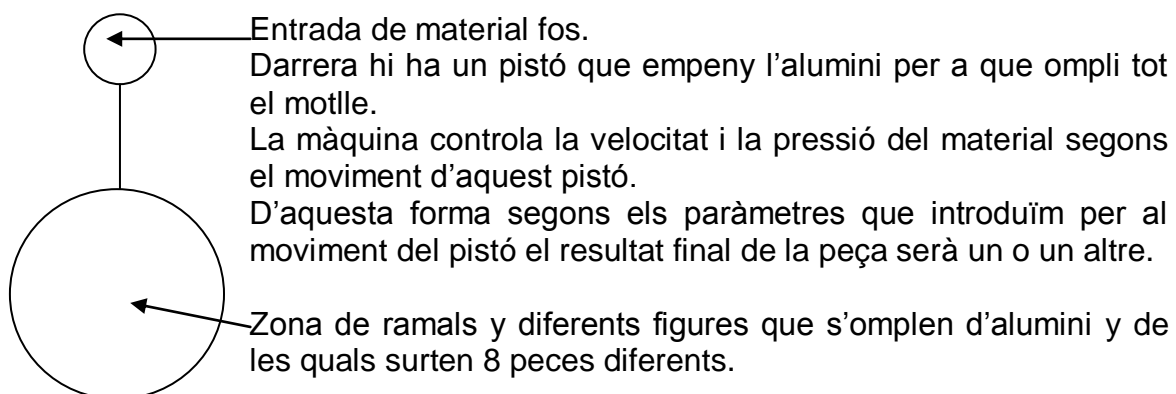
Aquesta és la fase més important del procés i és on hi ha més punts a controlar degut a la seva complexitat.

Cada màquina d'injecció compta amb un forn de manteniment que alberga l'alumini fos en el forn central. La màquina agafa el material d'aquests forns en petites dosis i les introdueix dins d'un motlle.

La forma en que és introduït l'alumini dins del motlle és força complexa ja que la velocitat d'entrada de material i en conseqüència la pressió amb que és introduït el material va variant al llarg del temps fins que el motlle està completament ple d'alumini. Aquests canvis de velocitat i pressió conformen un programa d'injecció que es crea en funció de la peça, la màquina, experiència i gust de l'operari.

En el moment en que ens centrem en definir els paràmetres que intervenen en els resultats de l'assaig a tracció farem esment més detalladament de tots aquests canvis en la programació explicant-los de forma més acurada.

L'alumini dins el motlle solidifica i s'obtenen 8 eixos units per ramals d'alumini. Cada eix surt d'una cavitat diferent del motlle, per tant podria arribar a haver diferències entre peces de diferents cavitats a nivell de dimensions, qualitat de la peça, etc...



Un cop fosa la peça mare aquesta s'ha de refredar per tal de que l'alumini quedi completament solidificat. Això ho fa un robot que agafa la peça per un dels ramals i la introdueix durant 2 segons en un bany d'aigua que sol estar a uns 40°C.

A continuació la peça es col·loca en la matriu on es separen les peces del ramal que serà tornat al forn mare per ser reciclat.

Les peces que surten de la matriu cauen per unes rampes de forma que son separades per cavitats.

Durant aquesta fase del procés es porten a cap varis controls de la qualitat:

- Assaig de la resistència a la tracció.
- Control de mesures crítiques
- Control de la rugositat.
- Aspecte visual.

La peça que nosaltres estudiarem s'ha fos en una màquina buhler 840 i ha estat matriuada en una premsa Itaipresse. A l'empresa la màquina concreta on s'ha realitzat l'estudi és la numerada com a 233.

1.2.2.2.3. El vibrat

Un cop foses les peces aquestes son sotmeses a un procés de vibrat amb pedra plàstica piramidal i aigua.

El contacte vibrant amb les pedres fa que s'eliminin totes les petites rebaves que podrien causar problemes de talls en la cinta del cinturó de seguretat que anirà muntada en la peça.

D'altra banda l'aigua fa que la peça quedi neta d'olis procedents del matriuat. Aquesta brutícia ha de ser retirada ja que podria tacar la cinta del cinturó de seguretat.

En aquesta fase es fan controls de:

- Dimensionat de la peça. Massa temps de vibrat fa que es desgasti la peça podent fer que certs punts crítics no compleixin el dimensionat exigut pel client.
- Estat d'humitat de la peça. Després de ser vibrada la peça passa per uns assecadors. La peça no pot sortir molla, si així passés hi hauria un problema d'oxidació que causaria una disconformitat per part del client.
- Nivell de rebaves de la peça, si no s'han eliminat totes les rebaves previstes, significa que no s'ha vibrat prou temps.

La peça que s'estudia ha estat vibrada durant 10 minuts en un equip de cambra lineal de 4.5m de longitud. Posteriorment, s'ha esbandit per tal d'eliminar sabó o restes d'alumini i ha entrat a un assecador que està a 100°C. L'esbandit i l'assecat han trigat 4 minuts.

1.2.2.2.4. El verificat

El 100% dels eixos per a cinturons de seguretat son verificats visualment per verificadors especialitzats degut a que es tracta d'una peça d'alta seguretat.

En aquesta verificació s'aïllen peces que poden tenir faltes de material, cops, brutícia i demés defectes apreciables visualment.

1.2.2.2.5. Empaquetat i enviament

Un cop verificades les peces, aquestes son empaquetades una a una en caixes de cartró que a la vegada son paletitzades. Els palets son enviats directament a client.

1.2.3. Assaig a tracció en eixos

L'assaig de tracció forma part dels plans de control de les peces. És un requeriment del client que es segueixin aquests assajos segons indica el planell de la peça per poder validar el procés de fabricació. S'ha de tenir en compte que els eixos suporten una gran part de la pressió durant una col·lisió, i dels eixos depenen la seguretat dels passatgers dels vehicles.

En aquests assajos s'utilitzen uns útils definits també segons uns planells del client, on pretenen simular de forma més o menys fidel a la realitat el muntatge de la peça per tal d'observar fins a quina força són capaços d'aguantar abans de trencar-se i veure per on es trenquen.

Sempre que parlem de resultats de l'assaig parlarem de mitjanes i de sigmes (σ) donat que es tracta d'un anàlisi que obté resultats a través del mostreig de peces degut a que es un assaig destructiu.

En aquests moments segons els acords als que s'arriba amb el client les dades a les que es vol arribar son:

$$\text{Límit de trencament} \geq 1600\text{DaN} - 4\sigma.$$

Els valors que s'obtenen a l'assaig son dins dels límits que imposa el client però quan s'analitzen segons el mètode estadístic emprat per assajos que es fan per mostreig obtenim resultats massa dispersos (sigma massa alta) motiu pel qual el client ens exigeix fer l'estudi.

1.2.3.1. Procediment de l'assaig a tracció.

L'assaig de tracció es realitza sobre les peces que es produeixen en sèrie. Per fer l'assaig utilitzem un dinamòmetre amb el certificat ENAC.

El mínim de resistència que ha de suportar abans de trencar-se la peça està marcat pel planell del client. És aquest també el que especifica el tipus d'assaig, la freqüència en que s'ha de fer, i la quantitat de peces que s'han d'assajar.

El client requereix un control estadístic de l'assaig de tracció en el que s'ha de complir que $x - 4\sigma \geq 1600 \text{ DaN}$ on x és la mitjana aritmètica dels resultats de l'assaig per cavitat.

L'assaig consta en trencar tres peces de cada cavitat cada 48 hores, tenint en compte que el motlle té 8 cavitats, s'ha de trencar 24 peces cada dos dies.

El material que s'utilitza és material real o que simula el material de muntatge del client; La cinta és cinta del cinturó de seguretat, i l'útil que s'utilitza dins del dinamòmetre per poder subjectar la peça pretén ser un símil d'on va fixat l'eix assajat al vehicle.

El muntatge de la peça en l'útil de l'assaig passa pels següents passos:

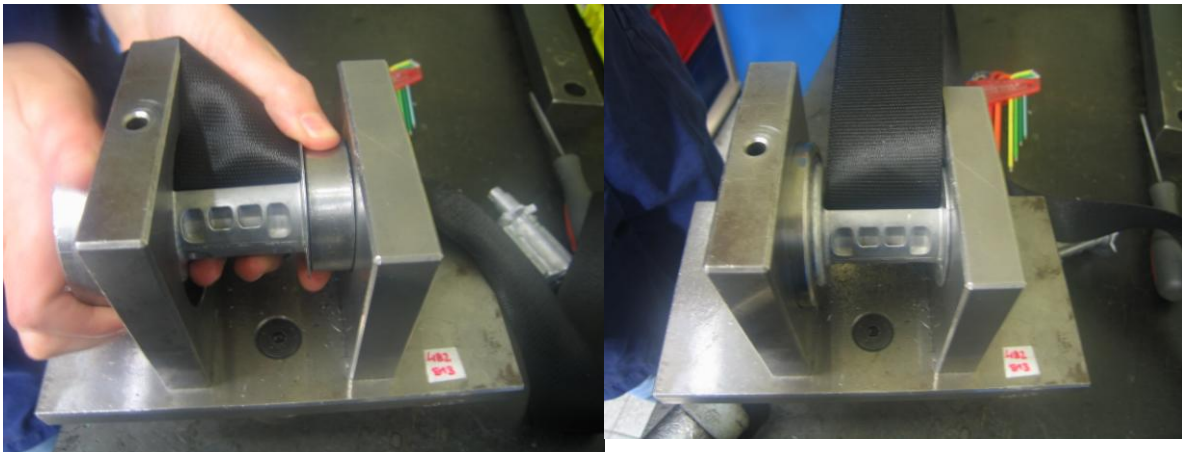
1. Passar una cinta de 1,5 metres per la ranura bloquejant-la amb un passador.



2. Introduir a través de l'orifici la barra de torsió que simula la peça de muntatge del client.



3. Col·locar la peça en l'útil definit pel client.



4. Es col·loca l'útil a la màquina d'assaig on hi ha el dinamòmetre i es lliga la cinta.



5. L'útil que conté la peça va baixant de forma que la cinta es va tensant. Arriba un moment en que l'eix no suporta tanta tensió i es trenca. En el cas que es trenqués la cinta abans que la peça, s'hauria de repetir l'assaig, ja que voldria dir que hi ha hagut alguna anomalia durant el procés de muntatge perquè teòricament, la cinta suporta més tensió que no la peça assajada.

1.3.Descripció de paràmetres influents

1.3.1. Factors influents

Per tal de veure quins son els factors que influeixen en el resultat de l'assaig de la resistència a la tracció hem anat repassant cada un dels factors que intervenen en el procés.

Un cop identificat cada factors volem analitzar-lo per veure si es tracta d'un element parametrizable.

D'aquesta forma podrem fer un disseny d'experiments que ens permetrà veure la tendència que ha de tenir cada paràmetre per obtenir bons resultats. En cap cas ens plantegem obtenir resultats de paràmetres concrets donat que per obtenir-los s'hauria d'estudiar un a un amb molt més temps cadascun.

Només els factors controlables i canviabls seran objecte d'estudi ja que seran els únics que podrem modificar i fixar a l'hora de procedir a la producció.

Proveïdor del material i Composició de l'aliatge

Actualment hi ha dos proveïdors diferents a l'empresa. Tots dos proveïdors han de complir una composició específica marcada.

Ara bé, aquesta composició no es fixa, si no que hi ha uns marges entre els que pot estar la quantitat de cada element (veure punt 1.3.2.1.). Es per això que pot variar una mica d'un proveïdor a un altre. Inclús això pot variar entre lots d'un mateix proveïdor.

Tot el material que compra la empresa és amb qualitat concertada, de forma que la composició química de cada lot queda registrada per tal de tenir traçabilitat.

D'altra banda en aquests moments hi ha dos proveïdors d'alumini. La estratègia de l'empresa no permet només treballar amb un d'ells, és per això que no es viable el canviar a només consumir alumini d'un sol proveïdor. Tot i així es podria arribar a estudiar.

D'altra banda, considerem el factor referent a la composició del material com a controlable però no canviable donat que els proveïdors no permeten fixar el percentatge de cada element amb menys tolerància de l'actual mantenint a la vegada el cost de la matèria primera.

Quantitat de material reciclat

L'avantatge de la fusió de l'Alumini es que aquest permet que es fongui tants cops com es vulgui de forma que totes aquelles peces que son rebutjades per ser de mala qualitat poden transformar-se en alumini fos i a posteriori en peces conformes.

Ara bé, s'ha de tenir en compte que durant la fusió hi ha canvis en els enllaços dels diferents components així com precipitació d'altres fent que la composició variï (exemple els precipitats habituals de ferro).

Tot i així existeixen uns marges que permeten barrejar durant la fosa del material lingots d'alumini verge amb material fos.

Per tal de que l'aliatge es mantingui dintre dels límits establerts s'analitza durant cada torn la composició de l'alumini fos.

Creiem que el percentatge d'alumini de refosa pot ser un factor influent a l'hora de parlar de resistència a la tracció.

D'alguna manera durant el propi procés de fosa i exposició a l'ambient es generen impureses, majoritàriament òxids que precipiten aportant fragilitat al material sòlid. Un excés d'òxid seria perillós.

Aquest doncs es tracta d'un paràmetre controlable i canviable, sempre i quant estem dins dels marges als que estem obligats degut a la incapacitat per acumular material no conforme a la fàbrica.

De fet d'aquí ens surt un altre paràmetre, **el dia de la setmana**:

Els forns centrals es netegen un cop per setmana durant el cap de setmana. Les impureses generades per calcificacions podrien precipitar; a igual percentatge de material de refosa hi ha més impureses el divendres que el dilluns quan al forn s'ha netejat.

Aquest és un paràmetre controlable però difícilment canviable a no ser que estudiant-ho s'arribés a la conclusió de que és avantatjós el netejar els forns dos cops per setmana. Tot i així ara mateix la producció no permet fer més parades de forns degut a les necessitats logístiques d'entrega de peces.

Desgassificació

L'alumini es fon en uns forns centrals de gran capacitat. L'alumini fos l'anomenem "caldo". El caldo es trasllada en dipòsits aïllats fins als forns de manteniment de cada màquina on s'injectarà per conformar les peces.

Durant el trajecte des del forn central fins el forn de manteniment de cada màquina s'aprofita per eliminar hidrogen de la combustió i lubricants arrossegats al forn amb els retorns i tot l'aire que pugui contenir el caldo en el seu interior en forma de petites bombolles.

Aquestes bombolles fan que l'alumini al solidificar no presenti una estructura prou compacta, sinó una estructura similar a la d'una esponja.

Una estructura en forma d'esponja provoca que les peces trenquin amb molt poc esforç per sota de les especificacions de client.

La desgassificació de l'alumini es un paràmetre clau en l'estructura final de la peça.

Aquesta desgassificació pot fer-se de forma física o química i creiem que s'hauria d'estudiar de forma aïllada per poder contemplar totes les opcions possibles. Contemplar aquest paràmetre en el disseny d'experiments que portarem a cap es prou complicat com per deixar-lo de banda i proposar-lo com a un estudi de futur.

Actualment a l'empresa per tal d'eliminar l'aire del "caldo" s'hi afegeix un compost anomenat -19. Aquest compost allibera nitrogen atòmic fins el fons del recipient que s'utilitza pel transport de l'alumini per tal d'arrossegat cap a la superfície altres gasos.

Temperatura real del caldo

Tal com ja hem dit anteriorment cada màquina injectora té un forn de manteniment adjunt que va dosificant la quantitat d'alumini justa en cada injectada.

Aquests forns només mantenen la temperatura, però són incapaços de fondre l'alumini sòlid.

La temperatura cal que sigui prou alta perquè permeti injectar l'aliatge d'alumini en un estat líquid i de fluïdesa tal com per poder omplir els motlles i d'aquesta forma arribar a totes les zones que conformen les parts més primes de les peces i encara sigui tot líquid ($>620^{\circ}\text{C}$). Aquesta temperatura mínima en forn es fixa en 700°C donat que hi ha pèrdues de temperatura durant el procés i una pèrdua suficientment alta podria incloure unions fredes dins la peça altament influents en la resistència a la tracció.

D'altra banda hi ha una temperatura màxima a partir de la qual part dels components de l'aliatge començarien a precipitar-se, en especial el ferro (Fe) .

A més existeix un component econòmic a considerar permanentment donat per la quantitat d'energia requerida per a que el forn funcioni és molt elevada.

Per aquestes raons s'estableix com a valor màxim de temperatura de manteniment 720° .

Desconeixem la influència d'aquest paràmetre en la resistència a la tracció, essent sens dubte una variable dins dels processos. Aquest paràmetre es controlable i canviable.

Disseny del motlle

Cada motlle té un disseny de colada a més del de la peça. Les canals per les quals passa l'alumini fins omplir la peça van canviant de secció fins omplir la peça.

Els experts en disseny de motlles han de tenir en compte que l'alumini no arriba a totes les peces en el mateix moment degut a que unes estan més allunyades de la entrada de material que d'altres.

En la injecció d'alumini l'ideal és aconseguir que el moment d'omplent de cada peça es faci en el mateix moment. És per això que en peces més properes a l'entrada de material es dissenyaran seccions de canal d'alumini inferiors per tal d'augmentar la pèrdua de càrrega i convertir altres camins en preferents.

Molt clarament creiem que el disseny del motlle influeix en la resistència a la tracció, però aquest és un paràmetre que no es canvia per a peces que ja estan produint-se.

És per això que no podem considerar-lo en el nostre estudi com a un paràmetre a estudiar, essent objecte d'estudi constant en qualsevol fonèria.

Quantitat de desemmotllant i posició de la dosificació

Després de cada injecció es polvoritza sobre el motlle una dilució de desemmotllant que ajuda a que la propera colada fosa es pugui extraure del motlle.

Si la quantitat polvoritzada fos insuficient, part de la colada quedaria enganxada en el motlle provocant parades en el cicle automàtic de producció i el que és més important, podria ocasionar danys en el motlle degut a que la zona on s'ha quedat enganxada la peça és de difícil accessibilitat o bé és una part molt prima i petita de la peça que al intentar extreure la part enganxada pot ocasionar danys en el motlle. D'altres vegades com és del tot inaccessible o bé s'ha de seguir produint amb una cavitat no conforme (allà on s'hauria enganxat a la peça quedaria buit) o bé parar la producció i canviar la part del motlle on hi ha alumini enganxat.

Aquest desemmotllant, si s'aplica en excés pot quedar retingut en alguna banda del motlle de forma que quan entra l'alumini es troba amb el desemmotllant i no pot emplenar aquella zona. El resultat és una peça amb faltes de material que en conclusió acaba per ser no conforme o bé, el desemmotllant queda atrapat dins la peça donant-li fragilitat.

A més de la quantitat és important detectar bé on s'ha d'aplicar el desemmotllant donat que hi ha zones més susceptibles d'enganxar-se que d'altres.

Aquests dos paràmetres són canviables i controlables i creiem que poden arribar a tenir influència sobre la resistència a la tracció, ara bé sens fa molt complicat definir un valor màxim i un de mínim donat que són paràmetres que per si sols requereixen d'un estudi aïllat.

Es per això que no estudiarem la seva influència en aquest treball.

Temps i Temperatura de l'aigua de refredament:

L'alumini ja sòlid es refreda ràpidament després de sortir del motlle en una piscina d'aigua (tractament tèrmic T2) per tal de que la solució sòlida es transformi en un estat sobresaturat aconseguint un enduriment per precipitació.

El temps de permanència dins del bany, així com la temperatura del bany son paràmetres controlables i canviables.

Aquest és un paràmetre que creiem que ha de tenir molta influència en la característica que estem estudiant. Ara bé, considerem que es prou important com per fer un estudi apart.

Així doncs es presenta a la empresa com a nou anàlisis d'estudi però que no abordarem en aquest document.

Recorregut, velocitat i pressió de l'entrada de l'alumini al motlle:

L'alumini entra dins d'una canal en estat líquid, aleshores un pistó l'empeny per a què pugui introduir-se dins del motlle. Ara bé, l'alumini ha de passar a través de les canals del motlle per finalment omplir les peces.

No es el mateix les condicions de velocitat i pressió que tindrà l'alumini quan comenci a omplir la canal principal i de gran secció que quan hagi omplert totes les peces i només ens calgui fer una certa pressió per eliminar bombolles d'aire.

Per tot això es defineixen varies fases en les que hi haurà canvis de velocitat i pressió:

Fase de primer recorregut i velocitat (també anomenada 1ªfase A):

Es la fase en que l'alumini viatja per la canal de la màquina injectora fins arribar a emplenar la galeta d'entrada de la "colada".

Al ser una fase que requereix de velocitats baixes la màquina controla la velocitat del pistó i no la pressió que exerceix l'alumini en el motlle. Cal a més que es defineixi fins on dura aquesta velocitat. Això s'aconsegueix programant a la màquina l'espai que haurà recorregut el pistó.

Cal que sigui una velocitat baixa donat que l'alumini està en ple contacte amb l'aire. Altes velocitats crearien turbulències que farien que l'alumini incorporés aire, donant una estructura d'esponja a la peça.

D'altra banda tampoc ens interessa una velocitat excessivament baixa donat que l'alumini canviarà la seva densitat i baixarà la temperatura (aproximadament 7°C/s) fent més difícil el emplenar les peces. Aquest temps és el 95% de la injecció.

Per tant dos paràmetres a controlar seran la velocitat i el recorregut del pistó.

Aquests son dos paràmetres controlables i canviables.

Segons l'històric de paràmetres i segons consell dels experts definim com a valors extrems pel disseny d'experiments una velocitat de valor mínim de 0,15m/s i un màxim de 0,30m/s i un recorregut mínim de 60mm i un màxim de 95mm.

Fase de segon recorregut i velocitat (també anomenada 1ªfase B):

Al final de la 1ª fase A el material ja està dins del motlle i es disposa a passar per les canals abans d'emplenar les peces.

No ens aquesta fase ens interessa una velocitat tampoc massa elevada per tal de que el material no es mescli amb aire donat que encara esta molt envoltat d'aquest.

Definim en aquesta fase dos paràmetres canviables i controlables; la velocitat i el espai recorregut pel pistó en el moment en que canvia a aquesta velocitat.

Segons l'històric d'injecció definim com a valors extrems pel disseny d'experiments una velocitat de valor mínim de 0,3m/s i un màxim de 0,40m/s i un recorregut de mínim de 285mm i un màxim de 340mm.

Fase de tercer recorregut i velocitat (també anomenada 2ªfase):

En aquesta fase el material es disposa a omplir les peces. L'espai per on ha de passar l'alumini més proper a la peça es molt petit, a més l'alumini està més fred i al passar per aquesta secció encara es refreda més. Per aquesta raó en aquesta fase interessa una velocitat molt elevada.

Com en les altres fases Definim en aquesta fase dos paràmetres canviables i controlables; la velocitat i el espai recorregut pel pistó en el moment en que canvia a aquesta velocitat.

Segons l'històric d'injecció definim com a valors extrems pel disseny d'experiments una velocitat amb valor mínim de 3,5m/s i un màxim de 4,1m/s i un recorregut de mínim de 340mm i un màxim de 390mm.

Pressió de commutació

La màquina durant la fase d'omplenat del motlle es programa com ja em vist a través de la velocitat i recorregut del pistó. Arriba un moment en que el pistó pràcticament no es mou.

Aquesta fase es caracteritza per l'abandonament del control de la velocitat i basquem a un control d'alta pressió. Aquesta pressió aporta el material necessari des de la galeta per omplir els espais que es generen al contreure l'alumini en el seu pas de líquid a sòlid.

Es defineix el punt de commutació aquell moment en el qual la màquina comença a graduar-se assegurant la pressió que exerceix el pistó sobre la massa d'alumini.

La màquina mesura la pressió en tot moment. Quan detecta que ha arribat a la pressió de commutació deixa d'aplicar la velocitat programada i comença a aplicar aquesta pressió.

Segons l'històric la màquina això ho fa quan arriba com a mínim a 120 bar o com a màxim 220 bar.

A partir d'aquí es fa una aplicació esglaonada en dos fases totes dues definides per la pressió que ha d'aplicar el pistó durant un temps definit des de el moment en que s'ha canviat al control per pressió.

Això igualment es controlable i canviable. Segons l'històric contemplem com a temps a partir del qual variem la pressió (Compacta. t 2^a fase) entre 0,008 segons i 0,015 i el canvi de pressió que es produeix (Compacta. P 1^a fase) d'entre 180 i 350 bar.

La segona aplicació de pressió es farà al cap d'un determinat temps que també es una variable (Compacta t 3^a fase) i anirà des de 0,015 i 0,040 segons en quant a la pressió (Compacta. 2^a fase) valor mínim 350bar i valor màxim 550bar.

Un cop el motlle està ple i l'alumini està compacte s'ha de deixar un temps de refredament abans d'obrir el motlle per tal de que la "colada agafi consistència. Aquest temps es pot programar a la màquina i se l'anomena **temps de solidificació.**

Aquest també es un paràmetre controlable i canviable. Com a valors màxims i mínims de temps de solidificació pera aquest motlle definim segons històric de 5,5 segons a 8 segons.

Avançament del fre respecte a fi d'injecció i Velocitat del fre

Per tal de finalitzar l'avançament del pistó es programa el que s'anomena avançament del fre respecte a fi d'injecció.

El pistó avança fins que te tot el motlle queda ple, després avança molt poc a poc per compactar i finalment li hem de dir quan ha de parar d'avançar, si no sempre podria estar empenyent una mica més.

Durant el temps que està frenant el pistó anirà a una velocitat que programarem. Definim com a valors per l'avançament del fre respecte a fi d'injecció 15mm de valor mínim i 40mm de màxim. En quant a la velocitat definim com a valor mínim 0,2 m/s i 1m/s com a valor mínim.

1.3.2. Selecció dels paràmetres

Després d'analitzar quins paràmetres podem controlar i canviar hem escollit els que es poden veure a la taula 1 per poder fer el disseny d'experiments.

En aquesta taula (Taula 1) veiem quins son els valors que prenem com a màxim (color blau) i mínim (color taronja) per tal de portar a cap el disseny d'experiments.

Paràmetre	RANG		Unitats
	Valor mínim	Valor màxim	
t solidificació	5,5	8	s
1º Recorregut	60	95	mm
2º Recorregut	285	340	mm
Tª Caldo Real	700	720	ºC
3º Recorregut	340	390	mm
1ª Velocitat	0,15	0,3	m/s
2ª Velocitat	0,3	0,45	m/s
3ª Velocitat	3,5	4,1	m/s
Avançament fre (respecte fi injecció)	15	40	mm
Velocitat fre	0,2	1	m/s
Compacta. t 2ª fase	0,008	0,015	s
Compacta. t 3ª fase	0,015	0,04	s
Compacta. P 1ª fase	180	350	bar
Compacta. P 2ª fase	350	550	bar
Valor commutació	120	220	bar

Taula 1

2. METODOLOGIA

2.1. Variabilitat del resultat segons personal que actua

Un dels primers enigmes en que ens trobem, és el fet de no saber fins a quin punt ens afecta l'útil de trencament en el propi assaig, ja que els mateixos operaris que el realitzen observen que en funció de qui prepara el muntatge obté millors o pitjors resultats.

Per tant, abans de tot, prepararem 100 peces del mateix lot per a que 4 operaris en realitzin el trencament i observarem mitjançant l'anàlisi estadístic si el factor humà intervé o no en l'assaig.

L'assaig es prepara de la següent manera:

S'agafen 100 peces aleatòries però del mateix lot, són peces vibrades i que fa més d'una setmana que han reposat per descartar el factor de la maduració (veure punt 2.2.) , estudiat posteriorment. Quatre operaris, 1 dels quals és qui es dedica a fer regularment els assaigs, i per tant el que té més experiència, i els altres tres, són coneixedors dels procés i realitzen aquest muntatge esporàdicament.

Els operaris mesuraran la tensió de ruptura de la peça i direm que μ_i és la mitjana teòrica de ruptura de cada operari.

La idea és comprovar si el factor experiència fa que els resultats es comportin diferents entre ells, és a dir, si els tres operaris sense experiència es comporten iguals entre ells o no, i alhora també comparar els seus resultats amb l'operari expert. Si això es demostrés s'hauria de modificar l'útil de trencament per aconseguir que no pogués influir l'experiència de la persona alhora de realitzar l'assaig.

Això ho farem primer de tot veient si les mitjanes (μ_i) dels diferents operaris formen part de la mateixa família de valors entre si mitjançant el test ANOVA en el software Minitab 15 partint de la hipòtesi:

Utilitzem un nivell de confiança del 95%, per tant:

Si $p > 0,05$ acceptem H_0 (Mitjanes de la mateixa família)

Si $p < 0,05$ acceptem H_1 (Mitjanes de diferent família)

On p és el nivell crític.

Tanmateix, les mitjanes no són el que realment ens demana el client ni tampoc l'objectiu d'aquest projecte, sinó que el que el client ens exigeix és que la mitjana menys quatre vegades la desviació estàndard sigui superior a 1600DaN. Per tant, el que farem també és una comparació de variàncies 2 a 2 amb el Minitab 15 mitjançant un test d'hipòtesi al 95% de confiança:

$$H_0 : \sigma_i^2 = \sigma_j^2$$

$$H_1 : \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$$

Si $p > 0,05$ acceptem H_0 (Variàncies iguals entre 2 operaris)

Si $p < 0,05$ acceptem H_1 (Variàncies diferents entre 2 operaris)

2.2. Maduració

Sabem que a mesura que passa el temps la resistència a la tracció pot veure's modificada tal com s'ha explicat en el punt 1.2. Per tant, ens veiem obligats a analitzar com aquest fenomen ens influeix alhora de fer els assaigs.

Quan es faci el disseny d'experiments s'hauran de fer molts trencaments que inevitablement s'hauran de fer en moments del temps diferents.

Per poder comparar resultats doncs, serà necessari veure quina serà l'evolució de les peces en el temps.

Per fer aquest anàlisi agafarem 30 peces de la mateixa cavitat foses consecutivament.

Definim que es trencaran 2 peces al inici de cada torn duran 5 dies, és a dir, amb una diferència de temps entre mostres de 8 hores.

Amb els resultats farem una gràfica per veure el comportament del pas del temps amb la resistència a la tracció al llarg del temps i d'aquesta manera establirem a partir de quan podem fer els trencaments pertinents donat que les peces ja no evolucionaran més essent estables a partir d'aquell moment.

2.3. Variació de paràmetres d'injecció

Hem definit una sèrie de paràmetres que seran les variables del nostre experiment. Tal com s'ha explicat aquests paràmetres, son variables que es poden variar i controlar en el procés de producció habitual, ja que aquest, no ha de ser un experiment de laboratori, sinó que ha de ser aplicable en el dia a dia de la producció. (veure 1.4.)

La metodologia de treball que utilitzarem s'anomena Disseny Estadístic d'Experiments, que es basa en que a partir d'una matriu binària permet que amb un nombre reduït d'experiments es puguin combinar els efectes de cada un dels paràmetres i així trobar la millor combinació teòrica del que s'està experimentant.

Per aprofundir en el tema, en el disseny d'experiments hem de considerar els següents elements:

- **Factor:** Aquell element sobre el qual estem treballant; En el nostre cas els paràmetres, que els hi donarem un valor màxim (a la matriu representat per 1) i un valor mínim (-1).
- **Efecte:** És el canvi de resposta entre una situació inicial i una final.

- Resposta: El resultat sobre una situació donada.

Amb els factors, s'ha de tenir en compte, que cada un d'ells també interacciona amb els altres factors de manera individual i que tindrà el seu efecte sobre el resultat final, així doncs també haurem de tenir en compte aquestes interaccions en el nostre projecte.

Per explicar com hem procedit en els càlculs mostrem un exemple de com s'elaboraria la matriu pertinent per un procés amb només dues variables en la taula 2.

Experiment	Factors		Interaccions	Resposta
	A	B	AB	X
1	1	1	2	X1
2	2	1	1	X2
3	1	2	1	X3
4	2	2	2	X4
Mitjana 2	$(X2+X4)/2$	$(X3+X4)/2$	$(X1+X4)/2$	$(X1+X2+X3+X4)/4$
Mitjana 1	$(X1+X3)/2$	$(X1+X2)/2$	$(X2+X3)/2$	
Efecte	Mitjana 2 - Mitjana 1	Mitjana 2 - Mitjana 1	Mitjana 2 - Mitjana 1	

Taula 2

Per a poder portar a terme el nostre experiment hem de tenir en compte un fet important, quan treballem amb més de dos factors, comencen a aparèixer interaccions de tercer grau i superiors, això fa que el disseny d'experiments defineixi el nombre d'experiments a fer calculant-ho a partir de la fórmula $2^{(n^{\circ} \text{ de factors})}$.

Això voldria dir que si tenim 15 factors, hauríem de fer 32.768 experiments, cosa que seria absolutament desproporcionat i inviable.

Per tant, hem de treballar amb factorials fraccionats, la qual cosa ens permetrà treballar amb 15 factors i un nombre reduït d'experiments, a costa es clar, de menysprear les interaccions de tercer ordre i superiors, ja que a part del motiu exposat, son interaccions molt menys importants amb efectes sobre els experiments poc significatius.

A part d'això, el que ens permet realment reduir dràsticament el nombre d'experiments a realitzar és el fet de decidir amb quina resolució volem treballar.

En el nostre cas per economia de recursos hem decidit treballat amb un grau de resolució baix, no havent-hi confusió entre factors principals i si havent-ne entre factors principals i interaccions de dos factors, entenent per confusió la suma d'informació dels efectes.

La resolució escollida és una resolució de grau III, que implica que per 15 factors, tenir un total de 16 experiments a realitzar. (veure Annex A).

Un cop decidida la resolució i vist el nombre d'experiments a fer, hem de veure per on volem fraccionar els factors de la matriu, essent el nombre d'experiments igual a $2^{(n^{\circ} \text{ factors} - \text{factors fraccionats})}$.

En el nostre cas tindrem 11 factors fraccionats. Això ens porta a ja poder definir la matriu que hem de construir a la taula 3.

					E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	A	B	C	D											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-1	-1	-1	-1											
2	1	-1	-1	-1											
3	-1	1	-1	-1											
4	1	1	-1	-1											
5	-1	-1	1	-1											
6	1	-1	1	-1											
7	-1	1	1	-1											
8	1	1	1	-1											
9	-1	-1	-1	1											
10	1	-1	-1	1											
11	-1	1	-1	1											
12	1	1	-1	1											
13	-1	-1	1	1											
14	1	-1	1	1											
15	-1	1	1	1											
16	1	1	1	1											

Taula 3

Si col·loquem les interaccions pertinents a la nostra matriu queda com es veu a la taula 4.

	Be	fk	lo	ag	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ah	ai	aj	em	an
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
5	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1
8	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
14	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
15	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taula 4

Un cop definit els paràmetres i la matriu del experiment, ja podem fer els experiments en qüestió.

Es modifiquen els paràmetres de màquina de tal manera que anirem agafant 3 peces per cavitat i experiment, tenint en compte que tenim 8 cavitats, seran 24 peces per experiment.

Un cop tinguem tots els resultats, exclourem si s'escauen els valors atípics, i calcularem els efectes com s'explica anteriorment.

Amb els efectes tenim una primera impressió de com serà el resultat del nostre experiment, però no ho podem donar com a definitiu fins que no comprovem matemàticament si les interaccions dos a dos ens quadren amb els resultats dels efectes o si ens convé modificar algun efecte que sigui ambigu. Per obtenir aquesta informació ens ajudarem de la matriu que hem construït (taula 5).

be	fk	lo	ag	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Resultats de l'experiment
A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ah	ai	aj	em	An	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	
-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	
1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	
-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	
1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	
-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	
1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	
-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	
-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	
1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	
-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	
1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	
-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Interaccions	cf	ae	af	bi	ck	bk	bl	ak	al	am	bf	bg	bo	bj	bm
	dg	ch	bh	cj	dl	dm	cm	dn	cn	bn	ce	co	cg	ci	cl
	hk	di	dj	el	fh	eh	ei	ef	eg	eo	do	de	df	dh	dk
	il	gl	ek	fm	gi	gj	fj	go	fo	fg	gn	fn	en	fl	ej
	jm	jn	gm	hn	jo	io	ho	ij	hj	hi	im	hm	hl	gk	fi
	no	mo	in	ko	mn	ln	kn	lm	km	kl	jl	jk	ik		gh

Taula 5

Per confirmar la tendència d'un factor (1 o -1) procedirem com mostra la taula 6 prenent com exemple els factors c i f.

	F1	f-1
c1	(suma de resultats on coincideixen f amb valor 1 i c amb valor 1)/4	(suma de resultats on coincideixen f amb valor -1 i c amb valor 1)/4
c-1	(suma de resultats on coincideixen f amb valor 1 i c amb valor -1)/4	(suma de resultats on coincideixen f amb valor -1 i c amb valor -1)/4

Taula 6

El valor més alt de les quatre opcions ens dirà quina és la tendència que més afavoreix aquell factor. Això ho farem amb totes les interaccions de forma que obtindrem prioritats de tendència de cada factor.

Finalment farem una valoració global del número de cops en que surt afavorida una tendència, aquella que es repeteixi un major número de cops serà la que escollim com a tendència que optimitza el procés.

3. RESULTATS I ANÀLISI

3.1. Variabilitat del resultat segons personal que actua

En aquest punt volem comprovar la variabilitat de l'útil de trencament en funció de la experiència de la persona que realitza l'assaig.

Es de vital importància aconseguir no tenir cap influència donat que d'altra banda estaríem obtenint resultats erronis o dubtosos.

3.2.1. Resultats inicials

A continuació veiem els resultats de la tensió de ruptura de les peces inicials (taula 7) amb els quals operem per veure la variabilitat que hi ha segons el personal que actua.

Recordem que l'operari 1 és l'operari expert i els altres 3, són inexperts en el procés (no l'efectuen habitualment). Cada un dels operaris trenca 25 peces, a la columna "cav" s'especifica el número de cavitat de la peça trencada i el valor de la tensió de ruptura s'expressa en DaN.

Operari 1			Operari 2			Operari 3			Operari 4		
nº	cav	valor	nº	cav	Valor	nº	cav	valor	nº	cav	valor
1	4	1885	26	2	1970	51	5	1620	76	5	1805
2	4	1905	27	5	1585	52	4	1915	77	5	1735
3	4	1795	28	4	1860	53	4	1815	78	5	1775
4	4	1655	29	4	1750	54	4	1695	79	8	1615
5	4	1895	30	6	1675	55	5	1795	80	2	1870
6	4	1860	31	6	1915	56	6	1500	81	6	1820
7	5	1705	32	4	2005	57	5	1715	82	2	1785
8	5	1700	33	5	1525	58	5	1415	83	4	1805
9	5	1710	34	2	1695	59	5	1685	84	6	1645
10	5	1655	35	6	1585	60	5	1830	85	7	1825
11	5	1665	36	6	1655	61	5	1595	86	2	1795
12	6	1960	37	4	1720	62	5	1695	87	2	1755
13	6	1830	38	2	1655	63	5	1765	88	7	2075
14	6	1760	39	4	1850	64	5	1895	89	2	1805
15	5	1780	40	4	1955	65	6	1730	90	2	1775
16	6	1695	41	6	2005	66	4	1705	91	2	1810
17	8	1725	42	7	1795	67	5	1805	92	2	1825
18	7	1755	43	5	1630	68	6	1705	93	8	1525
19	7	1865	44	1	1505	69	6	1485	94	6	1825
20	7	1885	45	2	1525	70	6	1685	95	2	1795
21	7	1810	46	2	1710	71	5	1610	96	5	1790
22	8	1695	47	7	2060	72	6	1820	97	5	1705
23	8	1775	48	2	1950	73	5	1605	98	4	1815
24	8	1845	49	5	1855	74	5	1685	99	5	1355
25	7	1850	50	2	2095	75	4	2045	100	5	1450

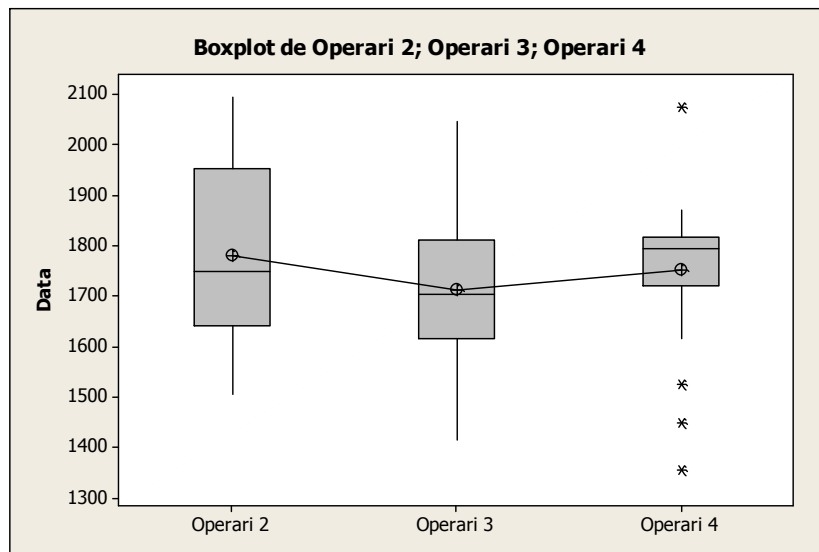
Taula 7

- Procedim a estudiar el trencament dels operaris inexperts, 2, 3 i 4. Els valors de mitjana i desviació (\bar{x}) estàndard (s) es veuen a la taula 8.

	mitjana (\bar{x}) (DaN)	Desv. Est. (s)
Operari 2	1781,2	179,5
Operari 3	1712,6	140,2
Operari 4	1751,2	143,6

Taula 8

Fem una representació gràfica de bloxpot dels operaris 2, 3, i 4 (gràfic 1):



Gràfic 1

Mitjançant un test ANOVA amb nivell de confiança del 95% obtenim els valors de la taula 9.

TAULA ANOVA					
Font	Graus de llibertat	Suma quadrats	Variàncies	F	P
Factor	2	59133	29566	1,22	0,3
Error	72	1739934	24166		
Total	74	1799067			

Taula 9

Veiem que el nivell crític $p > 0,05$, per tant, aquests tres operaris inexperts, formen part de la mateixa família en quan a mitjanes.

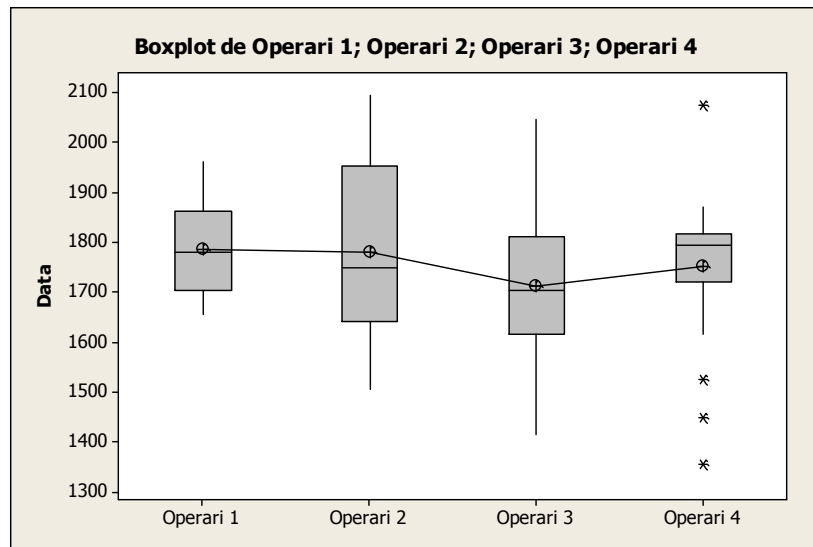
- Comparem les mitjanes dels 4 operaris, és a dir, l'operari expert i els altres tres estudiats anteriorment mitjançant un test ANOVA amb nivell de confiança del 95%.

En primer lloc, mostrem a la taula 10 les mitjanes i desviacions de tots els operaris

	mitjana (\bar{X}) (DaN)	Desv. Est. (s)
Operari 1	1726,4	88,6
Operari 2	1781,2	179,5
Operari 3	1712,6	140,2
Operari 4	1751,2	143,6

Taula 10

Fem la representació gràfica de bloxpot dels operaris 1, 2, 3, i 4 (gràfic 2):



Gràfic 2

Mitjançant un test ANOVA amb nivell de confiança del 95% obtenim els valors de la taula 11.

TAULA ANOVA					
Font	Graus de llibertat	Suma quadrats	Variàncies	F	P
Factor	3	86303	28768	1,43	0,238
Error	96	1928510	20089		
Total	99	2014813			

Taula 11

Veiem que el nivell crític $p > 0,05$, i per tant, ens diu que també formen part de la mateixa família de valors en quan a mitjana.

- Tot i que les mitjanes son iguals, el que nosaltres necessitem és que complim el fet de que $\mu_k - 4S > 1600$, per tant com més petita sigui la variància millor.

Així doncs, ens fixem amb les desviacions estàndard de la taula 10 i veiem com la desviació de l'Operari 1, a primera vista és molt més petita que les desviacions dels altres operaris. Per tant, compararem les variàncies de l'operari 1 amb la resta d'operaris 2 a 2 mitjançant un test d'hipòtesi amb un nivell de confiança del 95%:

- 1- Comparem operari 1 amb operari 2 i tenim que $p = 0,001 < 0,05$, i per tant, variàncies diferents entre aquests operaris.
- 2- Comparem operari 1 amb operari 3 i tenim que $p = 0,029 < 0,05$, i per tant, variàncies diferents entre aquests operaris.

- 3- Comparem operari 1 amb operari 4 i tenim que $p = 0,022 < 0,05$, i per tant, variàncies diferents entre aquests operaris.

Hem demostrat doncs, que l'operari 1, que és l'operari expert, realitza l'assaig de trencament amb una variabilitat diferent als altres operaris que no estan acostumats a fer aquesta feina.

- Ara, ens disposem a veure com són les variàncies entre aquest grup d'operaris inexperts (2 a 2), per a veure si entre ells, es comporten de forma semblant mitjançant també un test d'hipòtesi amb una confiança del 95%.

Així doncs obtenim que entre l'operari 2 i 3 obtenim un nivell crític $p = 0,234 > 0,05$, entre el 2 i el 4 obtenim un nivell crític $p = 0,282 > 0,05$ i entre l'operari 3 i 4 obtenim un nivell crític $p = 0,908 > 0,05$.

Per tant queda demostrat que entre tots els operaris inexperts totes les variàncies són iguals, i que per tant es comporten de la mateixa forma entre ells.

- Realment, l'operari 1 treballa amb una variabilitat menor i ara ho comprovarem calculant el nivell crític a través d'un test d'hipòtesi de distribució F.

$$p = P\left(F_{(n-1, n-1)} \leq \left(\frac{s_1^2}{s_z^2}\right)\right)$$

On $n = 25$, $s =$ desviació estàndard.

Si $p < 0,05$ acceptem $\sigma_1^2 < \sigma_z^2$

Operari 1 / 2:

$$\left(\frac{s_1^2}{s_2^2}\right) = \frac{88,6^2}{179,5^2} = 0,2436 \rightarrow p = 0,0005$$

Operari 1 / 3:

$$\left(\frac{s_1^2}{s_3^2}\right) = \frac{88,6^2}{140,2^2} = 0,378 \rightarrow p = 0,01$$

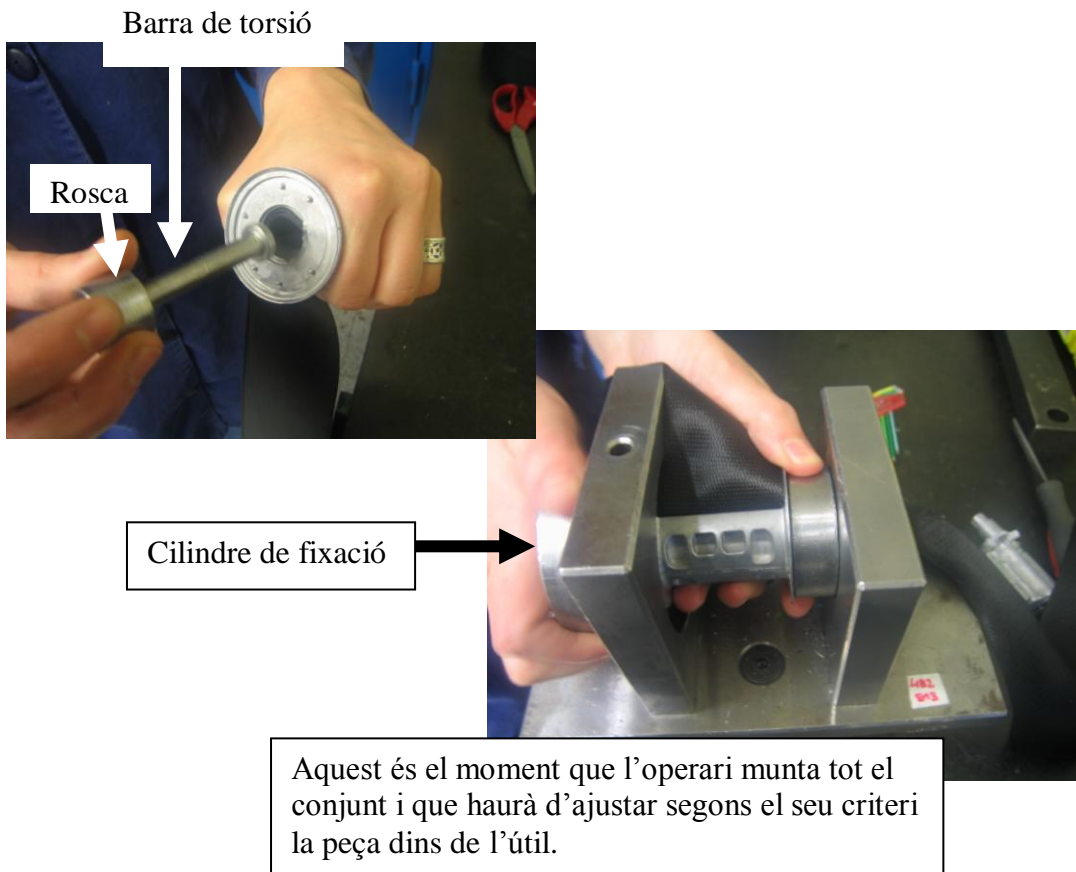
Operari 1 / 4:

$$\left(\frac{s_1^2}{s_4^2}\right) = \frac{88,6^2}{143,6^2} = 0,3806 \rightarrow p = 0,01$$

Així doncs, amb aquests resultats veiem que si un operari no és un expert en realitzar el muntatge i l'assaig de trencament, introdueix errors en el procés i per tant, el resultat del mateix no és fiable. Ens veiem obligats abans de continuar amb el projecte, a modificar l'útil per a que el factor humà no intervingui en el procés.

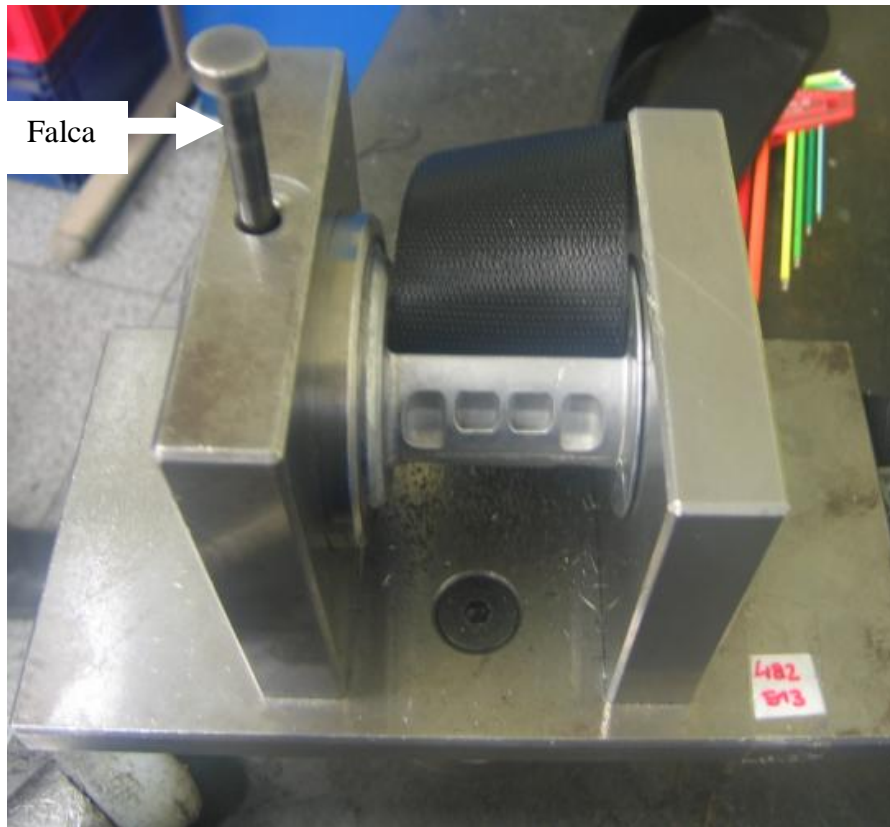
3.2.2. Modificació de l'útil

El punt conflictiu del muntatge de la peça en l'útil de trencament, és en la fixació del que simula la barra de torsió amb el cilindre de l'útil, que va roscat, i és aquí on l'operari pot "ajustar" més o menys la peça dins del conjunt.



Per tant, ens disposem a desenvolupar un sistema on es pugui eliminar aquest roscat, i que la peça quedi fixada sempre de la mateixa manera, sense dependre del criteri de l'operari en qüestió.

El que fem, és eliminar el roscat de la barra de torsió, i que aquesta quedi fixada en el conjunt del cilindre i la peça a través d'una falca, fent que tot el conjunt quedi sempre fixat d'igual forma.



Ara, amb aquest sistema, la peça sempre queda en la mateixa posició, anem doncs a comprovar si estadísticament els resultats no depenen de l'operari que realitza l'assaig.

3.2.3. Resultats del nou útil

Fem un altre banc de proves com el que es va fer inicialment. Trenquen els quatre operaris 25 peces cadascun foses totes elles consecutivament.

Recordem de nou que l'operari 1 és l'operari expert i els altres 3, són inexperts en el procés (no l'efectuen habitualment). Cada un dels operaris trenca 25 peces, a la columna "cav" s'especifica el número de cavitat de la peça trencada i el valor de la tensió de ruptura s'expressa en DaN (taula 12).

Operari 1			Operari 2			Operari 3			Operari 4		
nº	cav	Valor	nº	cav	valor	nº	cav	valor	nº	cav	valor
1	1	1850	26	5	1750	51	3	1715	76	6	1800
2	1	1895	27	5	1805	52	3	1710	77	8	1765
3	1	1810	28	6	1775	53	2	1795	78	1	1860
4	3	1700	29	6	1830	54	5	1800	79	2	1850
5	2	1940	30	6	1750	55	5	1650	80	6	1910
6	5	1835	31	7	1795	56	1	1830	81	7	1905
7	4	1765	32	6	1890	57	2	1775	82	3	1820
8	3	1710	33	8	1855	58	4	1910	83	3	1730
9	3	1705	34	2	1700	59	6	1850	84	4	1745
10	2	1740	35	3	1830	60	2	1735	85	6	1805
11	2	1930	36	3	1935	61	2	1615	86	6	1630
12	7	1920	37	1	1905	62	2	1695	87	6	1840
13	7	1845	38	4	1800	63	4	1750	88	2	1735
14	7	1630	39	4	1805	64	3	1730	89	1	1860
15	8	1695	40	4	1765	65	8	1950	90	1	1845
16	7	1840	41	6	1910	66	8	1720	91	2	1670
17	5	1860	42	5	1695	67	1	1715	92	8	1795
18	4	1700	43	4	1730	68	6	1685	93	8	1780
19	4	1960	44	1	1705	69	5	1780	94	6	1810
20	4	1830	45	1	1810	70	5	1805	95	6	1895
21	7	1810	46	2	1850	71	4	1900	96	7	1805
22	2	1680	47	8	1900	72	3	1850	97	1	1780
23	8	1770	48	8	1850	73	7	1720	98	1	1735
24	5	1890	49	1	1700	74	1	1855	99	3	1850
25	2	1800	50	4	1750	75	2	1750	100	2	1695

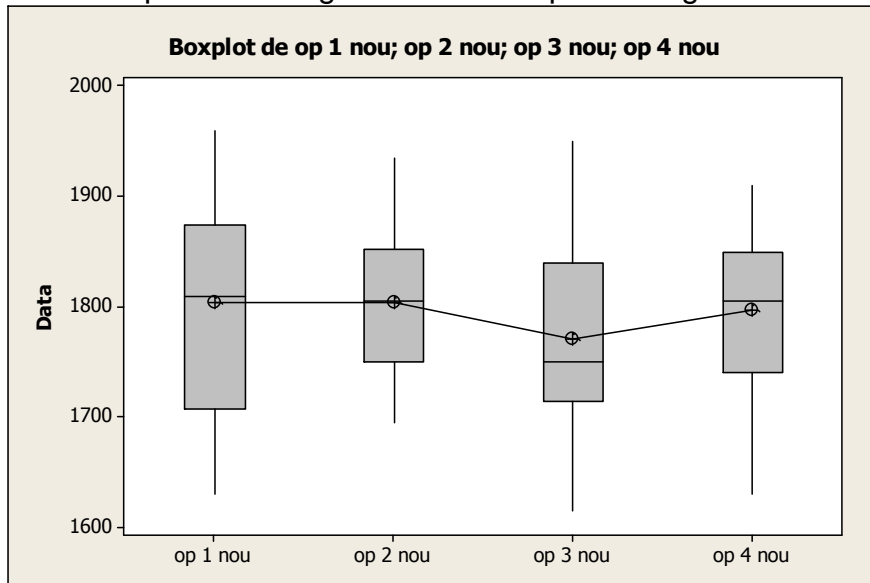
Taula 12

Obtenim a la taula 13 les dades de mitjana i desviació estàndard de cada operari.

	Mitjana (\bar{x}) (DaN)	Desv. Est. (s)
Operari 1	1804,4	91,8
Operari 2	1803,6	71,7
Operari 3	1771,6	82,9
Operari 4	1796,6	71,7

Taula 13

Fem la representació gràfica dels bloxpot en el gràfic 3.



Gràfic 3

- Mitjançant un test ANOVA amb nivell de confiança del 95% obtenim les dades de la taula 14.

TAULA ANOVA					
Font	Graus de llibertat	Suma quadrats	Variàncies	F	P
Factor	3	17721	5907	0,92	0,433
Error	96	614164	6398		
Total	99	631885			

Taula 14

Veiem que el nivell crític $p > 0,05$, per tant, els quatre operaris, formen part de la mateixa família en quan a mitjanes.

- Ara, ens disposem a veure com són les variàncies entre tots els operaris (2 a 2), per a veure si entre ells, es comporten de forma semblant i així saber si l'útil de trencament segueix influïent, mitjançant també un test d'hipòtesi amb una confiança del 95%.

Així doncs obtenim que entre l'operari 1 i 2 $p = 0,233 > 0,05$, entre l'operari 1 i 3 $p = 0,620 > 0,05$, entre l'operari 1 i 4 tenim que $p = 0,233 > 0,05$, entre l'operari 2 i 3 obtenim un nivell crític $P = 0,483 > 0,05$, i entre el 2 i el 4 obtenim un nivell crític $P = 0,999 > 0,05$, i entre l'operari 3 i 4 obtenim un nivell crític $p = 0,484 > 0,05$.

Amb tot això el que veiem és que amb aquest nou útil, tots els resultats formen part de la mateixa família tant en mitjanes, com en variàncies.

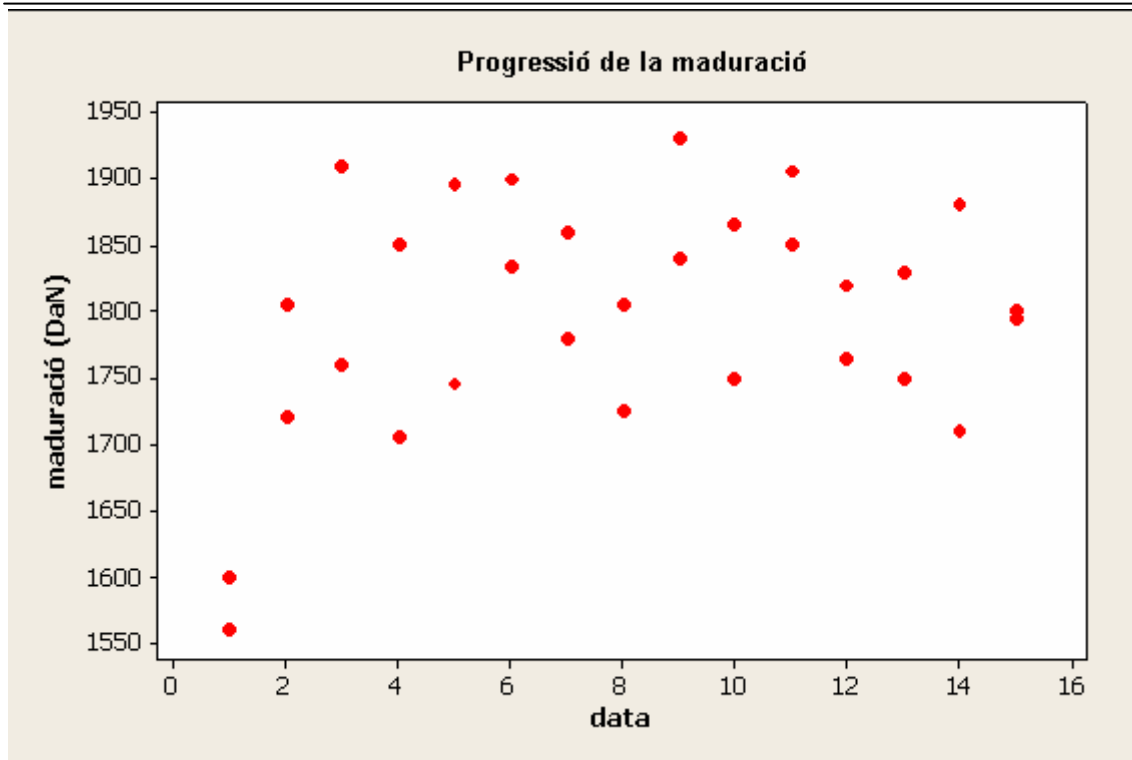
Així doncs els resultats de l'assaig de trencament ja no depenen de l'experiència dels operaris, i per tant ja no introduïrem errors alhora d'efectuar els assaigs.

3.2. Maduració

Tal com s'ha explicat a la metodologia, agafem peces consecutives i en fem el trencament. Els resultats de l'assaig de resistència a la tracció es mostren a la taula 15 i la seva representació gràfica en el gràfic 4.

Dia	Torn	Resultats (DaN)	Mitjanes (DaN)
15/10/2007	Matí	1560	1580
		1600	
	Tarda	1805	1762,5
		1720	
	Nit	1760	1835
		1910	
16/10/2007	Matí	1850	1777,5
		1705	
	Tarda	1895	1820
		1745	
	Nit	1900	1867,5
		1835	
17/10/2007	Matí	1780	1820
		1860	
	Tarda	1805	1765
		1725	
	Nit	1930	1885
		1840	
18/10/2007	Matí	1865	1807,5
		1750	
	Tarda	1905	1877,5
		1850	
	Nit	1765	1792,5
		1820	
19/10/2007	Matí	1830	1790
		1750	
	Tarda	1880	1795
		1710	
	Nit	1795	1797,5
		1800	

Taula 15



Gràfic 4

Amb aquest gràfic 4 observem que aquesta maduració no ha seguit un procés lineal però que ràpidament s'estabilitza. Així doncs, observant el gràfic i els valors, creiem que les peces han madurat molt més de pressa del que creiem que ho podien fer i que segurament amb un dia n'hi ha prou.

- Per comprovar-ho primer agafarem els valors corresponents a un dia complet i veient com evolucionen les peces hora a hora.

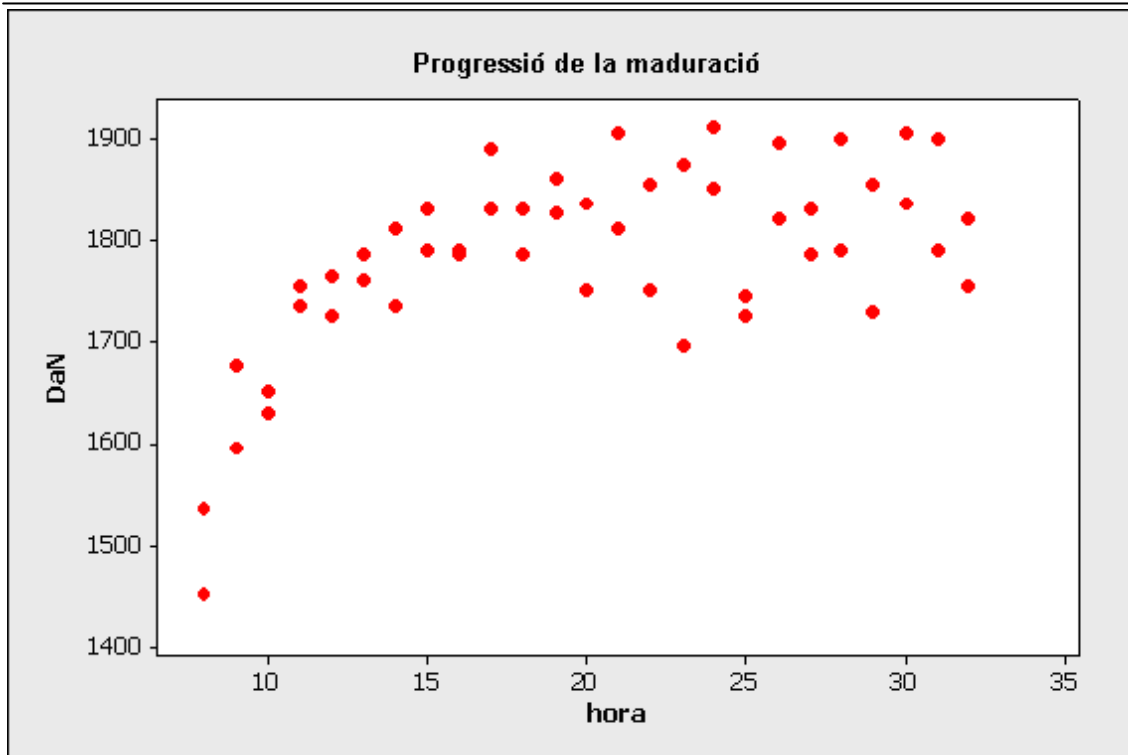
Els resultats en 24h els veiem a les taules 16 i 17, i la seva representació gràfica en funció del temps, en el gràfic 5.

Hora	Resultats (DaN)	Mitjanes (DaN)
08:00	1535	1492,5
	1450	
09:00	1595	1635
	1675	
10:00	1650	1640
	1630	
11:00	1755	1745
	1735	
12:00	1725	1745
	1765	
13:00	1785	1772,5
	1760	
14:00	1735	1772,5
	1810	
15:00	1830	1810
	1790	
16:00	1790	1787,5
	1785	
17:00	1830	1860
	1890	
18:00	1785	1807,5
	1830	
19:00	1825	1842,5
	1860	

Taula 16

Hora	Resultats (DaN)	Mitjanes (DaN)
20:00	1750	1792,5
	1835	
21:00	1905	1857,5
	1810	
22:00	1750	1802,5
	1855	
23:00	1695	1785
	1875	
00:00	1910	1880
	1850	
01:00	1725	1735
	1745	
02:00	1820	1857,5
	1895	
03:00	1785	1807,5
	1830	
04:00	1900	1845
	1790	
05:00	1855	1792,5
	1730	
06:00	1905	1870
	1835	
07:00	1790	1845
	1900	

Taula 17

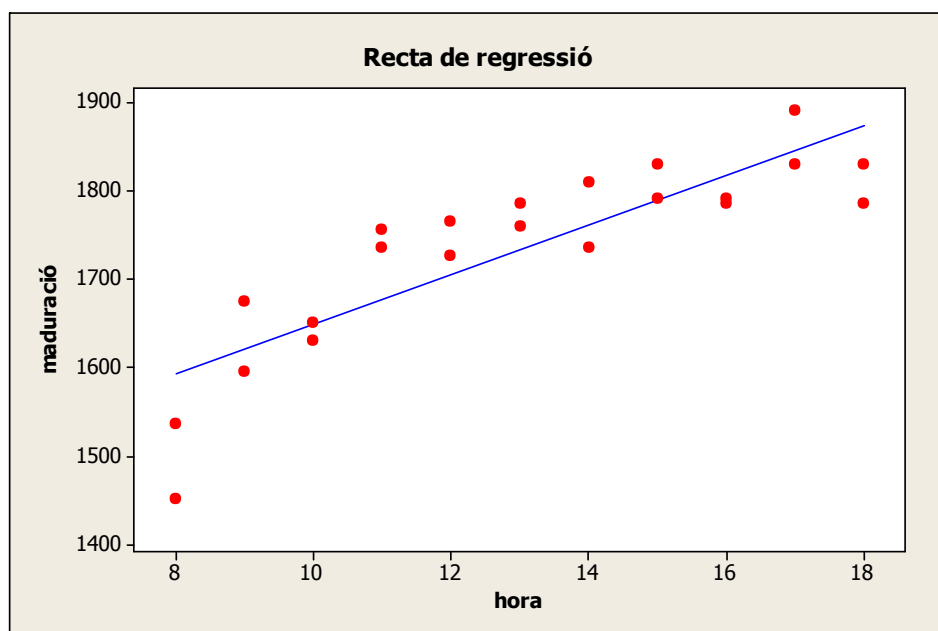


Gràfic 5

Observem en el gràfic 5 que en les primeres hores, es veu un augment de la resistència a la tracció i després sembla estabilitzar-se.

- Així doncs, anem a fer un tall en els valors per esbrinar a on les peces ja deixen de madurar per entrar en una situació d'estabilitat.

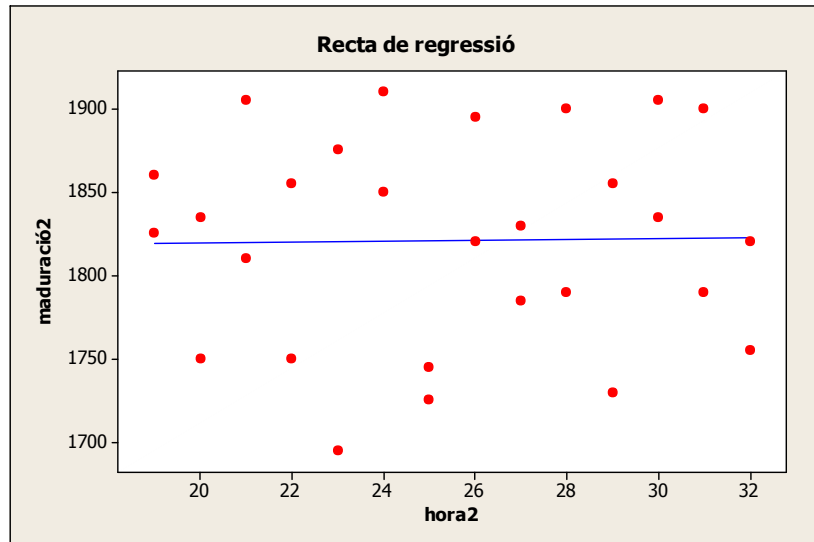
Analitzant els valors, fem un tall agafant els valors de les 8h fins a les 18h incloses, i el que obtenim és el gràfic 6.



Gràfic 6

Fent l'anàlisi i amb un valor de $R^2 = 73,2\%$ i uns nivells crítics de $p = 0,000$ podem dir que tenim un creixement lineal durant 10 hores, que direm que és el temps en que la peça triga a madurar.

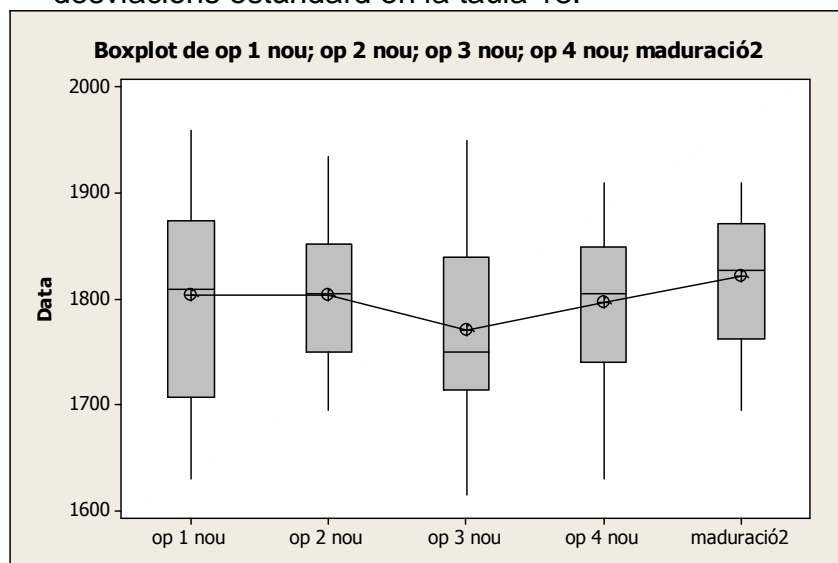
- Si posem en un altre grup la resta de valors veiem el gràfic 7.



Gràfic 7

Veiem doncs, que en aquest grup ja no hi ha dependència de la maduració amb el temps transcorregut ($R^2 = 0,0\%$, $p = 0,936$)

- Per assegurar-nos que aquests valors els podem donar com a estables i considerar que les peces a partir de les 10 hores d'haver-se fabricat ja no seguiran madurant, compararem aquest grup de peces de la maduració amb els valors de l'apartat 3.2.3. on havíem modificat l'útil de trencament aconseguint la homogeneïtzació dels resultats (veure taula 12). Fem la representació gràfica en el gràfic 8 i calculem les mitjanes i les desviacions estàndard en la taula 18.



Gràfic8

	mitjana (\bar{x}) (DaN)	Desv. Est. (s)
Operari 1	1804,4	91,8
Operari 2	1803,6	71,7
Operari 3	1771,6	82,9
Operari 4	1796,6	71,7
maduració2	1821,4	62,4

Taula 18

Els valors del operaris corresponen als valors de l'apartat del nou útil de trencament (3.2.3.) i la maduració2 forma part dels valors de la taula de maduració a partir de les 10h, un cop considerem que les peces ja son estables.

Mitjançant un anàlisi ANOVA al 95% de confiança obtenim la taula 19.

TAULA ANOVA					
Font	Graus de llibertat	Suma quadrats	Variàncies	F	P
Factor	4	34118	8529	1,46	0,219
Error	123	719157	5847		
Total	127	753275			

Taula 19

Per un nivell crític $p = 0,219$ podem dir que les mitjanes són de la mateixa família.

- Ara, ens disposem a veure com son les variàncies de tots els operaris i els valors de la maduració2 (2 a 2), per a veure si entre ells, es comporten de forma semblant i així saber si les peces que considerem com estables ho son realment, mitjançant també un test d'hipòtesi amb una confiança del 95%.

Obtenim que entre la maduració2 i l'operari 1 tenim un nivell crític $p = 0,054 > 0,05$, entre la maduració2 i l'operari 2 $p = p = 0,480 > 0,05$, entre la maduració2 i l'operari 3 tenim $p = 0,154 > 0,05$, i entre la maduració2 i el operari 4 obtenim un nivell crític $p = 0,479 > 0,05$.

Vistos tots els resultats, podem afirmar que en 10 hores les peces es comporten de la mateixa manera que unes peces fabricades amb més d'una setmana de temps, cosa que ens porta a dir, que en 10 hores les peces ja han madurat.

Molt probablement les peces seguiran modificant-se al llarg del temps però podem dir que aquesta peça en concret amb el disseny que té, presenta constància a partir de les 10 hores en els resultats de l'assaig de resistència a la tracció.

3.3. Variació de paràmetres d'injecció

Tal com s'ha explicat en l'apartat de metodologia en el punt 2.3. farem un total de 16 experiments variant els paràmetres a estudiar definits en l'apartat 1.4.

Aquests 16 experiments faran que puguem analitzar les interaccions entre els diferents factors de forma que, aplicant la tècnica de disseny d'experiments explicada en l'apartat 2.3., trobem l'experiment amb els paràmetres que facin que l'assaig de trencament a tracció doni paràmetres òptims.

3.3.1. Resultats de l'experimentació

Fem tots els experiments programats (veure taula en apartat 2.3. de paràmetres per experiment). En total 16 experiments.

Recordem que el motlle té 8 cavitats.

De cada experiment agafem 3 peces per cavitat (a la taula A, B, C) i en fem l'assaig de trencament.

A continuació mostrem la taula se resultats de tensió de trencament (taula 20). Aquests resultats s'expressen en DaN.

		Experiment																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Cavitat	1	A	2010	2235	2030	2265	2005	1995	2315	1865	2145	1875	2150	2070	2000	2175	2280	2140
		B	1660	2210	2250	2130	2125	1980	1870	1980	2180	2270	1880	1955	2025	1900	2095	2130
		C	1920	2340	1710	2030	1890	1870	2150	2240	1985	2070	2000	1900	2165	2315	2150	2155
	2	A	2075	1730	2125	1700	1935	1950	2050	2270	1880	2210	1850	1850	2215	1990	2065	2235
		B	2045	1990	1965	2045	2050	1895	1865	2160	2055	2050	1910	1740	2105	2140	2020	2175
		C	2130	2060	2230	1955	1925	1695	1890	2160	2135	2045	1785	1775	1900	2210	2025	2005
	3	A	1875	1910	2020	1735	1880	1770	2035	2140	2220	1925	1420	1430	2140	2085	1885	2180
		B	2025	2290	2055	2175	2060	1595	1650	1515	1795	2140	1450	1675	2010	1795	2095	1770
		C	2070	1955	2110	1905	2120	1900	1855	2180	2175	1650	1900	1660	1845	2185	2075	2095
	4	A	2065	1935	1915	2155	2160	1670	2055	2090	2170	2110	1835	1625	1635	2135	2085	2115
		B	2035	1780	2160	2220	2105	1980	2215	2105	2070	2140	1830	1590	1995	2170	2075	2010
		C	2160	1915	1840	2060	1815	1385	2025	2165	2080	1910	1900	1370	2115	2120	2140	2100
	5	A	1860	2040	2095	1590	1800	2120	2080	2205	1695	2060	1795	1955	1300	1540	1820	2115
		B	1535	2110	1870	2145	2050	1845	1200	2045	1740	2180	2030	1425	1870	2035	2065	1905
		C	1345	2035	2150	1485	1555	1980	1750	1875	2215	1215	1565	1715	1945	2100	1910	2140
	6	A	2055	1505	2185	1890	2155	1390	2050	1615	2150	2145	1525	1615	1725	2025	1840	2210
		B	2220	1785	1760	1730	2075	1805	2170	1785	1955	1745	1710	1750	2060	2105	2170	2045
		C	2175	1910	2110	1890	1910	1430	2005	2175	2050	2045	1430	1900	2145	1670	2010	2050
	7	A	2115	2060	2150	2045	2160	1785	2010	1910	1860	1910	1800	1675	2100	2060	2005	2210
		B	2000	2115	2095	1900	2200	1260	2095	2045	1915	2140	1765	1760	2000	2095	2065	2065
		C	2090	2035	2340	2035	2000	1505	1860	1720	2140	2110	1725	1515	2060	1500	2050	2105
	8	A	2095	2155	2165	1995	2190	1650	1710	1895	2145	2230	1560	2075	2015	1575	2300	2270
		B	1955	1485	1630	2200	1940	2035	2070	2210	2180	1420	1470	1760	2200	2190	1870	1875
		C	2135	2225	2180	2270	1735	1445	2155	2140	1665	2230	1905	1765	2155	2260	2090	2190

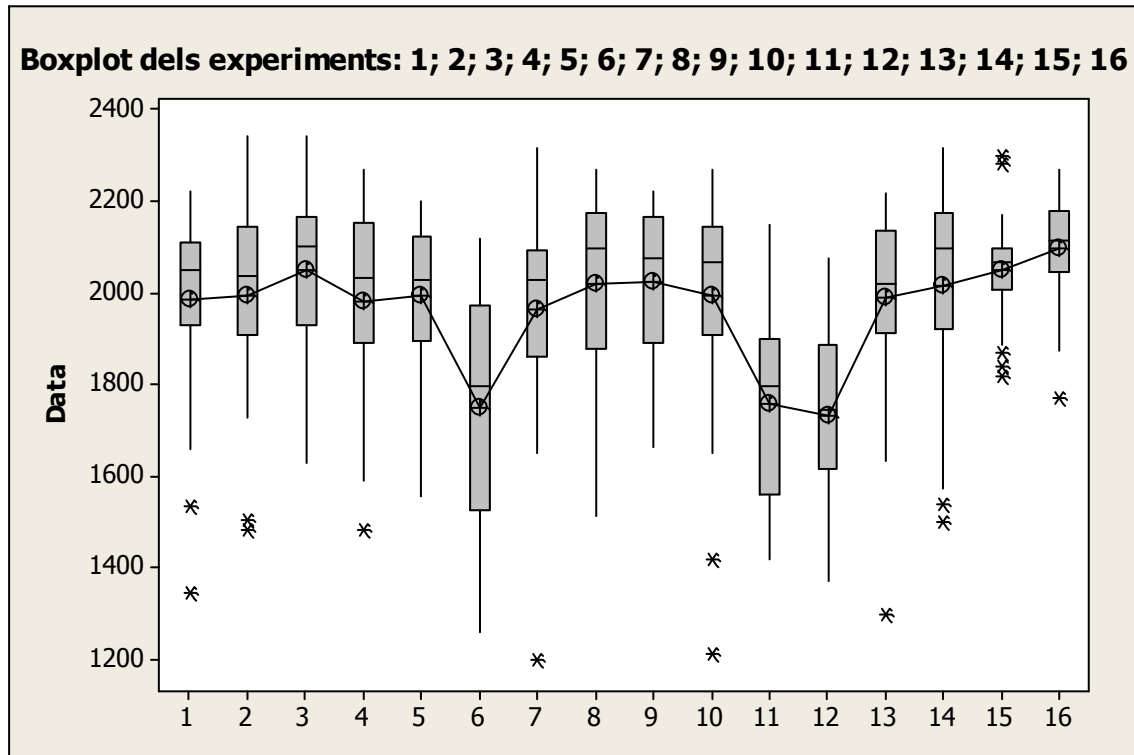
Taula 20

Procedirem a tractar els resultats fent primer un anàlisi ANOVA per saber si les mitjanes son de la mateixa família i veure quins valors son atípics dins de la mateixa família.

Aquests valors atípics s'hauran d'extreure per tal de procedir a fer el disseny d'experiments.

3.3.2. Anàlisi dels resultats

Procedim a fer l'anàlisi ANOVA amb el Minitab 15 (gràfic 9).



A partir del Bloxpot (gràfic 9) veiem dues coses, primer si els valors són o no de la mateixa família, i dins de cada família saber quins valors són atípics.

Així doncs, amb un valor de $p = 0$ sabem que les mitjanes entre experiments són de diferents famílies, i que hi ha una sèrie de valors que s'han d'extreure per que no pertanyen a la realitat de l'experiment.

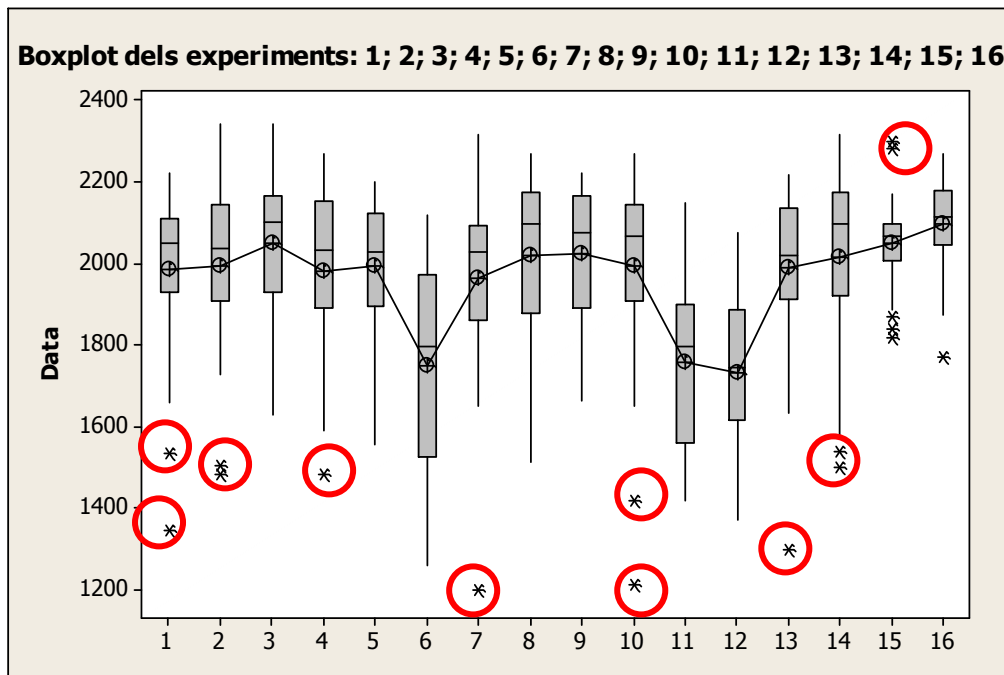
Es normal que les mitjanes entre experiments siguin tant diferents donat que les condicions de cada experiment difereixen molt de l'una a l'altra.

En quant a l'extracció de valors atípics, es considera que un valor es atípic quan a la representació gràfica el valor s'allunya fins a 3 vegades la longitud de la caixa del bloxpot.

Si el valor està entre 1.5 i 3 vegades la longitud de la caixa del bloxpot es considera que el valor es dubtós.

Nosaltres direm que descartem els valors que estiguin allunyats fins a 2 vegades la longitud de la caixa del bloxpot.

A continuació (gràfic 10) mostrem marcats amb un cercle vermell els valors que considerem no hem de tenir en compte per tal de poder fer l'assaig d'experiments.



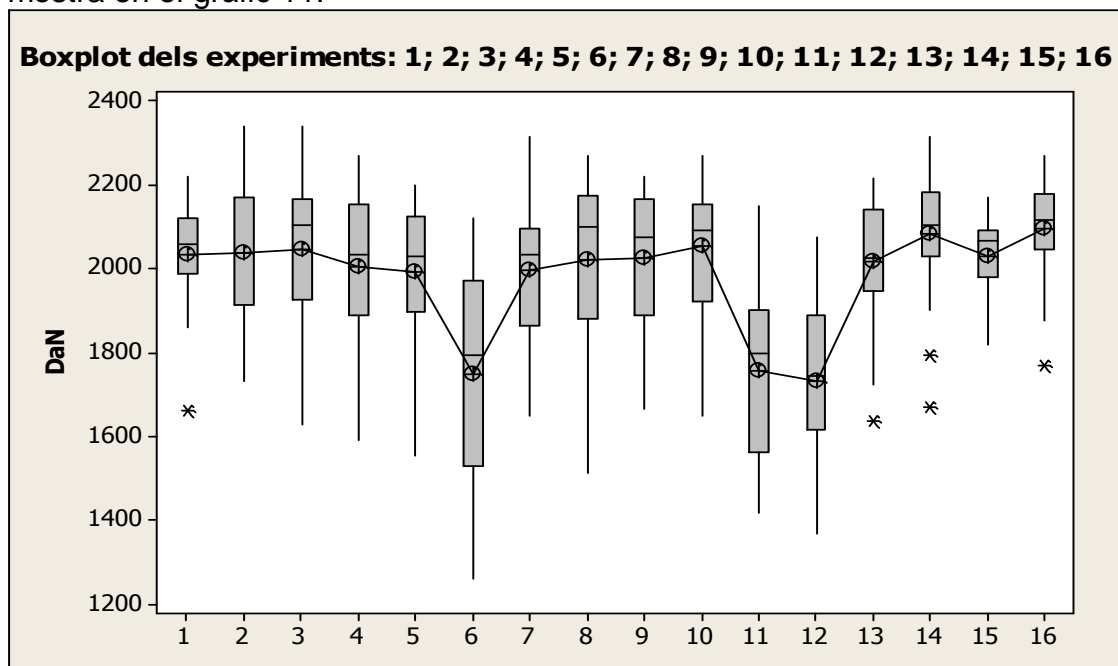
Gràfic 10

La taula 21 mostra els resultats de trencament tal com quedarien, en taronja els valors eliminats.

		Experiment																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Cavitat	1	A	2010	2235	2030	2265	2005	1995	2315	1865	2145	1875	2150	2070	2000	2175	2140	2140
		B	1660	2210	2250	2130	2125	1980	1870	1980	2180	2270	1880	1955	2025	1900	2095	2130
		C	1920	2340	1710	2030	1890	1870	2150	2240	1985	2070	2000	1900	2165	2315	2150	2155
	2	A	2075	1730	2125	1700	1935	1950	2050	2270	1880	2210	1850	1850	2215	1990	2065	2235
		B	2045	1990	1965	2045	2050	1895	1865	2160	2055	2050	1910	1740	2105	2140	2020	2175
		C	2130	2060	2230	1955	1925	1695	1890	2160	2135	2045	1785	1775	1900	2210	2025	2005
	3	A	1875	1910	2020	1735	1880	1770	2035	2140	2220	1925	1420	1430	2140	2085	1885	2180
		B	2025	2290	2055	2175	2060	1595	1650	1515	1795	2140	1450	1675	2010	1795	2095	1770
		C	2070	1955	2110	1905	2120	1900	1855	2180	2175	1650	1900	1660	1845	2185	2075	2095
	4	A	2065	1935	1915	2155	2160	1670	2055	2090	2170	2110	1835	1625	1635	2135	2085	2115
		B	2035	1780	2160	2220	2105	1980	2215	2105	2070	2140	1830	1590	1995	2170	2075	2010
		C	2160	1915	1840	2060	1815	1385	2025	2165	2080	1910	1900	1370	2115	2120	2140	2100
	5	A	1860	2040	2095	1590	1800	2120	2080	2205	1695	2060	1795	1955	1955	1955	1820	2115
		B	1860	2110	1870	2145	2050	1845	1860	2045	1740	2180	2030	1425	1870	2035	2065	1905
		C	1860	2035	2150	1860	1555	1980	1750	1875	2215	1860	1565	1715	1945	2100	1910	2140
	6	A	2055	2055	2185	1890	2155	1390	2050	1615	2150	2145	1525	1615	1725	2025	1840	2210
		B	2220	1785	1760	1730	2075	1805	2170	1785	1955	1745	1710	1750	2060	2105	2170	2045
		C	2175	1910	2110	1890	1910	1430	2005	2175	2050	2045	1430	1900	2145	1670	2010	2050
	7	A	2115	2060	2150	2045	2160	1785	2010	1910	1860	1910	1800	1675	2100	2060	2005	2210
		B	2000	2115	2095	1900	2200	1260	2095	2045	1915	2140	1765	1760	2000	2095	2065	2065
		C	2090	2035	2340	2035	2000	1505	1860	1720	2140	2110	1725	1515	2060	2060	2050	2105
	8	A	2095	2155	2165	1995	2190	1650	1710	1895	2145	2230	1560	2075	2015	2015	2015	2270

Taula 21

Després de la primera tria observem que el Bloxpot queda com es mostra en el gràfic 11.



Gràfic 11

Mitjançant un anàlisi ANOVA al 95% de confiança obtenim els resultats de la taula 22.

TAULA ANOVA					
Font	Graus de llibertat	Suma quadrats	Variàncies	F	P
Factor	15	5074914	338328	11,53	0,000
Error	354	10383883	29333		
Total	369	15458797			

Taula 22

A primera vista ja es veu que els experiments 6, 11 i 12 surten pitjor que la resta.

D'altra banda el fet de que $p=0$ significa que els valors de les mitjanes de cada experiment son molt diferents. Això es normal donat que cada experiment difereix molt l'un de l'altre donat que estem treballant amb valors màxims i mínims per a cada un dels paràmetres estudiats.

Ara procedirem a calcular els valors de la mitjana aritmètica i desviació estàndard (taula 23).

Experiment	Mitjana=X	Desv. Stànd.=S	X - 4s
1	2035	124	1538
2	2037	166	1374
3	2048	179	1334
4	2003	188	1250
5	1993	161	1349
6	1747	242	778
7	1997	166	1332
8	2020	206	1198
9	2025	172	1337
10	2054	160	1416
11	1758	203	948
12	1731	190	973
13	2019	147	1431
14	2084	150	1484
15	2028	100	1626
16	2095	118	1623

Taula 23

Veient els resultats (taula 23) podem dir que amb tots els experiments excepte el 15 i 16, estem fora d'especificació de client (≥ 1600 DaN), això ho podem explicar ja que els paràmetres utilitzats són paràmetres límits que en segons quins casos els resultat de la fosa ens ha donat peces d'una qualitat d'injecció pèssima, i en conseqüència, uns valors de trencament molt allunyats de l'habitual. Però això no ens importa perquè el que volem és tenir el màxim de dades possibles per poder fer el Disseny d'experiments, que farem a continuació.

Si col·loquem a la taula (taula 24) els valors de les mitjanes i calculem els efectes tal com s'ha explicat en l'apartat de metodologia (2.3.) obtenim una taula com la següent:

		be	fk	lo	ag	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Mitjana
		A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ah	ai	aj	em	an	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
EXPERIMENTS	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	2035
	2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	2037
	3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	2048
	4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	2003
	5	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1993
	6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1747
	7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1997
	8	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	2020
	9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	2025
	10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	2054
	11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1758
	12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1731
	13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	2019
	14	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	2084
	15	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	2028
	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2095

mitj -1	1362	1338	1271	1269	1286	1344	1243	1193	1348	1166	1290	1351	1287	1285	1334
mitj +1	1262	1285	1353	1355	1337	1280	1381	1431	1276	1457	1334	1273	1337	1339	1289
Efecte	-100	-53	81,7	85,5	50,8	-64	139	237	-71	291	44,4	-78	50,6	54,3	-45
Efecte	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1

Variable																
	t solidificació	1º Recorregut	2º Recorregut	Tª Caldo Real	3º Recorregut	1ª Velocitat	2ª Velocitat	3ª Velocitat	Avançament fre (respecte fi injecció)	Velocitat fre	Compacta. t 2ª fase	Compacta. t 3ª fase	Compacta. P 1ª fase	Compacta. P 2ª fase	Valor commutació	
unitat	s	mm	mm	°C	mm	m/s	m/s	m/s	mm	m/s	s	s	bar	bar	bar	
Min	5,5	60	285	700	340	0,15	0,30	3,50	15	0,2	0,008	0,015	180	350	120	
Max	8,0	95	340	720	390	0,30	0,45	4,10	40	1,0	0,015	0,040	350	550	220	

Taula 24

A partir de la matriu que hem preestablert, fem un anàlisi del càlcul dels efectes. Així obtenim una primera valoració del que ens hauria de fer decidir per quina serà la tendència preferible de cada factor.

La tendència preferida serà la que ens doni en valor absolut el càlcul d'efecte més gran.

D'aquesta manera obtenim una primera impressió, essent la que mostra la taula 25.

Paràmetre	Tendència	Efecte
t solidificació	valor mínim	-100
1º Recorregut	valor mínim	-53
2º Recorregut	valor màxim	82
Tª Caldo Real	valor màxim	85
3º Recorregut	valor màxim	51
1ª Velocitat	valor mínim	-64
2ª Velocitat	valor màxim	139
3ª Velocitat	valor màxim	237
Avançament fre (respecte fi injecció)	valor mínim	-71
Velocitat fre	valor màxim	291
Compacta. t 2ª fase	valor màxim	44
Compacta. t 3ª fase	valor mínim	-78
Compacta. P 1ª fase	valor màxim	51
Compacta. P 2ª fase	valor màxim	54
Valor commutació	valor mínim	-45

Taula 25

Però això no és tot, hem de comprovar les interaccions possibles entre paràmetres per assegurar-nos de que el resultat obtingut és correcte, si més no, dels resultats que ens han donat un efecte poc significatiu (valor absolut petit) i que en algun cas el resultat obtingut fins ara no seria el correcte.

Així doncs, procedim a calcular les interaccions segons el que s'ha explicat a l'apartat de metodologia (2.3.). Veure resultats a l'Annex B.

Si posem els resultats de les interaccions en una matriu (taula 26) i comptabilitzem el nombre d'interaccions que ha donat un resultat positiu i un de negatiu obtenim el següent balanç:

Tendència de la interacció per cada efecte															negatiu	positiu	EFFECTE	
A				-1	-1					-1	-1	-1			-1	5	0	-100
B					-1	1	1		1	-1	-1	-1	1	-1	-1	5	4	-53
C				1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10	82
D				1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	85
E	1		1	-1		-1	-1	-1	-1	1	1	1		1	1	5	7	51
F	-1	-1		-1	-1		1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	11	2	-64
G		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	0	13	139
H		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	0	13	237
I			-1	-1	-1	-1	-1	1		1	-1	1	-1	-1	-1	9	3	-71
J		1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	0	12	291
K	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1		-1	-1	1	-1	8	6	44
L	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		-1	-1		-1	13	0	-78
M	-1	1	1	-1		-1	1	-1	1	-1	1		1	1	1	6	7	51
N		1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1		1	2	11	54
O		-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1		-1	-1		6	6	-45
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O			

Taula 26

Analitzant la taula, podem veure que quan més gran és l'efecte dels diferents paràmetres, menys diferències hi ha entre la tendència del resultat amb l'anàlisi un a un (exemple de paràmetres amb efectes grans que no fan dubtar: A, G, H, J, L...).

Però amb paràmetres, on el valor de l'efecte està al voltant de 40 o 50, hi ha conflictes segons amb quin paràmetre que es compara (interacció). Tot i així, tots exceptuant la K, segueixen la tendència que marcava l'efecte calculat des d'un bon principi.

Estudiant la K, obtenim un resultat de 8 interaccions de tendència a la màxima i 6 a la mínima, cosa que ens porta a forçar el canvi de valor d'aquest paràmetre respecte a l'original.

D'altra banda el paràmetre O te un efecte inicial amb tendència a la mínima però amb valor absolut molt baix. Quan estudiem les interaccions no podem decidir donat que hi ha igual nombre d'interaccions amb tendència a la màxima i a la mínima. Entenem que és un paràmetre que haurà d'estar centrat per obtenir bons resultats.

Aquesta conclusió de l'efecte O, dialogada amb experts en injecció es confirma donat que el paràmetre O, punt de commutació, presenta problemes per diferents causes quan s'extrema el seu valor en qualsevol dels dos sentits.

Deduïm per tant, el resultat final de l'experiment ens porta a dir que la tendència dels paràmetres òptims i que ens donaran un millor resultat alhora de fer l'assaig de trencament són els de la taula 27.

	be	fk	lo	ag	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ah	ai	aj	em	an
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Efecte	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1
Variable	t solidificació	1º Recorregut	2º Recorregut	Tª Caldo Real	3º Recorregut	1ª Velocitat	2ª Velocitat	3ª Velocitat	Avançament fre (respecte fi injecció)	Velocitat fre	Compacta. t 2ª fase	Compacta. t 3ª fase	Compacta. P 1ª fase	Compacta. P 2ª fase	Valor commutació
Unitats	s	mm	mm	°C	mm	m/s	m/s	m/s	mm	m/s	s	s	bar	bar	bar
Min	5,5	60	285	700	340	0,15	0,30	3,50	15	0,2	0,008	0,015	180	350	120
Max	8,0	95	340	720	390	0,30	0,45	4,10	40	1,0	0,015	0,040	350	550	220
per càlcul	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	0
RESULTAT	5,5	60	340	720	390	0,15	0,45	4,10	15	1,0	0,008	0,015	350	550	170

Taula 27

3.3.3. Resultat de l'experiment amb paràmetres òptims

Aplicant els paràmetres obtinguts tornem a fer un experiment amb tres peces per cavitat i fem l'assaig de trencament seguint la mateixa metodologia que en l'apartat anterior.

Els resultats de l'assaig a tracció de les peces foses posant els paràmetres a la màquina son els de la taula 29.

Cavitat											
1			2			3			4		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1870	1800	1900	1875	1825	1930	1875	1830	1905	1810	1845	1800

Cavitat											
5			6			7			8		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1860	1895	1820	1865	1830	1845	1830	1835	1860	1905	1850	1855

Taula 28

Si calculem la mitjana aritmètica, la desviació estàndard i la mitjana menys 4σ obtenim els de la taula 29.

Mitjana	1854
Desv. Std.	35
Rang	130
Màxim	1930
Mínim	1800
X - 4σ	1715

Taula 29

Recordem que el client demana com a requisit que $X - 4\sigma \geq 1600\text{DaN}$.

Com es pot apreciar, els valors que hem obtingut són del tot satisfactoris i entren dins de les exigències del client a diferència dels trobats en els altres experiments veure taula 29.

Ara bé, un cop posats aquests paràmetres a la màquina no ens ha estat possible treballar en sèrie de forma estable ja que son paràmetres molt extrems i això ens provoca aturades constants.

De fet aquests paràmetres com que només tenen en compte el fet d'anar a buscar un bon resultat d'assaig a tracció, el que fan es injectar ràpidament per a que l metall arribi molt líquid a tot arreu i donar molta pressió per tal de que surti una peça molt compacta.

L'inconvenient que això te es que forcem molt la màquina y el motlle donat que aquest tendeix a obrir-se, a més apareixen rebaves gruixudes a la peça difícils d'eliminar durant el procés de vibrat.

A més com més s'obre el motlle algunes dimensions crítiques s'incrementen fent que la peça no sigui vàlida per no complir les especificacions de dimensions que marca el seu plànol.

D'altra banda treballar de forma tant forçada fa que el motlle perdi temps de vida donat que s'aniran produint xafades en el mateix que faran que finalment el motlle no sigui vàlid per la seva utilització.

Per últim dir que aquestes condicions facin que la màquina pari constantment per que la colada es doblega.

Per tant, tal com deduïem només podem interpretar els resultats com una tendència alhora de programar la màquina i que ens permeti obtenir uns bons resultats de trencament i treballar en sèrie.

Seguint aquesta pauta s'ha millorat notablement els resultats de l'assaig a la producció en sèrie incrementant la mitjana dels resultats i reduït la variabilitat dels mateixos.

4. CONCLUSIONS

Les conclusions i resultats que hem obtingut a partir d'aquest estudi son les següents:

- Veiem que am l'útil que es feia l'assaig de trencament hi havia una dependència directa amb l'experiència de l'operari. De forma que operaris inexperts obtenien valors de trencament més dispersos que operis experts.
- Les modificacions que hem realitzat en l'útil pel trencament d'aquesta peça fan que l'assaig el pugui realitzar qualsevol persona ja que el resultat no presenta variacions en funció de l'operari que hagi realitzat l'assaig. Això dona plena flexibilitat al departament encarregat de realitzar l'assaig.
- El temps necessari per a que l'assaig de trencament no depengui del temps (maduració) és d'aproximadament 10 hores. D'aquesta forma es modifica el protocol de trencament de la sèrie. De forma que es trien les peces 24 hores abans de fer l'assaig. Això fa que obtinguem valors més alts i menys dispersos a la sèrie.
- S'identifiquen tots els factors que influeixen en la resistència a la tracció de les peces i es fa la tria de paràmetres controlables i canviabls. S'identifiquen els paràmetres a estudiar en aquest projecte que els podem observar en el següent punt, i d'altres que en queden pendents proposant-los com a objecte d'anàlisi en propers estudis aïllats per a cada factor. Aquests son:
 - Quantitat de material reciclat
 - Dia de la setmana
 - Desgassificant
 - Quantitat i lloc d'aplicació del desemmotllant
 - Temps i temperatura de l'aigua de refredament
- La combinació de paràmetres que segons el disseny d'experiments fa que obtinguem resultats de trencament òptims es la de la taula 30.

Paràmetre	Valor	Unitats
t solidificació	5,5	s
1º Recorregut	60	mm
2º Recorregut	340	mm
Tª Caldo Real	720	ºC
3º Recorregut	390	mm
1ª Velocitat	0,15	m/s
2ª Velocitat	0,45	m/s
3ª Velocitat	4,1	m/s
Avançament fre (respecte fi injecció)	15	mm
Velocitat fre	1	m/s
Compacta. t 2ª fase	0,008	s
Compacta. t 3ª fase	0,015	s
Compacta. P 1ª fase	350	bar
Compacta. P 2ª fase	550	bar
Valor commutació	170	bar

Taula 30

- Aquesta combinació efectivament dóna resultats òptims, però no permet treballar en sèrie ja que a la peça hi surten rebaves molt gruixudes difícils d'eliminar durant el procés de vibrat. A més això fa que el motlle i la màquina es forcin fent que el temps de vida del motlle es redueixi. A més de que la màquina pari constantment afectant greument la productivitat.
- Es proposa treballar amb tendències alhora de programar la injecció segons els resultats obtinguts amb el disseny d'experiments. Abans d'aquest estudi es treballava segons la intuïció de l'optimitzador que posava la màquina en marxa. Amb aquest treball definim unes línies a seguir a partir de les quals s'obtiniran peces amb un bon resultat de resistència a la tracció. Aquestes tendències son les de la taula 31.

Paràmetre	RANG		Unitats	Tendència
	Valor mínim	Valor màxim		
t solidificació	5,5	8	s	valor mínim
1º Recorregut	60	95	mm	valor mínim
2º Recorregut	285	340	mm	valor màxim
Tª Caldo Real	700	720	ºC	valor màxim
3º Recorregut	340	390	mm	valor màxim
1ª Velocitat	0,15	0,3	m/s	valor mínim
2ª Velocitat	0,3	0,45	m/s	valor màxim
3ª Velocitat	3,5	4,1	m/s	valor màxim
Avançament fre (respecte fi injecció)	15	40	mm	valor mínim
Velocitat fre	0,2	1	m/s	valor màxim
Compacta. t 2ª fase	0,008	0,015	s	valor mínim
Compacta. t 3ª fase	0,015	0,04	s	valor mínim
Compacta. P 1ª fase	180	350	bar	valor màxim
Compacta. P 2ª fase	350	550	bar	valor màxim
Valor commutació	120	220	bar	valor mínim

Taula 31

- Seguint aquesta pauta s'ha millorat notablement els resultats de l'assaig a la producció en sèrie incrementant la mitjana dels resultats i reduït la variabilitat dels mateixos.

5. ANNEXOS

Annex A. La metodologia 6 sigma

Sis sigma és una metodologia de millora de processos, centrada en l'eliminació de defectes en l'entrega d'un producte o servei al client. La finalitat del 6 sigma és arribar a un màxim de 3,4 "defectes" per cada milió de successos o oportunitats. De fet, la unitat de mesura amb la que es treballa en el sector de l'automoció son les ppm o el que es el mateix les parts per milió.

Obtenir un procés que només generi 3,4ppm de defectes en peces entregades a client és un objectiu molt ambiciós.

Si es considera que normalment en un procés el percentatge de defectes és proper al 10%, o sigui 100.000 defectes per milió, 3,4 defectes per milió es quasi com dir "0 defectes". De fet "0 defectes" es l'objectiu que els nostres clients ens demanen que assolim.

Dins dels beneficis d'obtenir 6 sigma estan:

- increment de la productivitat.
- reducció de costos.

El client ha exigít l'estudi a través d'aquesta metodologia donat que una de les diferències més importants en relació a d'altres metodologies és que aquesta té una clara orientació al client.

Una mica d'història

Aquesta metodologia fou iniciada a Motorola, l'any 1982 per l'enginyer Bill SMith, com una estratègia de negocis i millora de la qualitat, però posteriorment millorat i popularitzat per General Electric.

Les millores assolides per Motorola avui en dia són les següents:

- increment de la productivitat.
- Reducció dels costos de mala qualitat i eliminació dels defectes en un elevat percentatge.
- Estalvis ens costos de manufactura.
- Un creixement anual compost sobre guanys, ingressos i valor de les seves accions.

Motorola assegura haver estalviat milers de milions de dòlars des de la seva implementació, pel que moltes altres empreses, com la nostra, s'han decidit en adoptar aquest mètode.

El procés

Conceptualment els resultats dels projectes Sis Sigma s'obtenen per dos camins:

- Millorant les característiques del producte permetent aconseguir millors ingressos.
- Estalviant costos derivats de la disminució de defectes i la millora dels temps de cicle del procés.

El procés per la implantació de la metodologia Sis Sigma es caracteritza per 5 etapes:

1. Definir el problema o el defecte
2. Mesurar i recopilar dades
3. Analitzar dades
4. Millorar
5. Controlar

Aquest treball s'ha volgut redactar seguint aquestes fases, essent la guia essencial per obtenir resultats i conclusions.

Definir

Una empresa decidida a implantar aquesta metodologia sense tenir objectius inicials ha de començar identificant possibles projectes durant la fase de definició. Aquests projectes Sis Sigma han de ser avaluats per la direcció per evitar la inadequada utilització de recursos.

Un cop seleccionat el projecte, es prepara i selecciona l'equip més adequat per executar-lo, assignant-l'hi la prioritat necessària.

Les següents preguntes ens ajudaran a definir de quina manera hem d'enfocar el projecte per tirar-lo endavant i poder seguir pas a pas amb èxit cap a unes conclusions clares.

- Quins processos existeixen en cada una de les àrees?
- De quins processos és cadascú responsable?
- Quines persones interactuen directa o indirectament en el procés?
- Qui podria formar part del equip per canviar el procés?
- Hi ha actualment informació del procés?
- Quins processos tenen major prioritat de millora?

En aquest treball la fase de definir es centra en els apartats de l'objectiu i la introducció, concretament en l'apartat de posat en situació (1.2.). Es aquí on posem de manifest els coneixements de partida que ens ajudaran a prosseguir amb èxit.

Mesurar

La fase de mesura consisteix en la caracterització del procés identificant els requisits clau dels clients, les característiques clau del producte (o variables del resultat) i els paràmetres (variables d'entrada) que afecten al funcionament del procés i a les característiques o variables clau.

A partir d'aquesta caracterització es defineix el sistema de mesura i s'estudia la capacitat del procés.

En l'apartat de la introducció destinat a descriure la peça (1.3.) ens respondrem:

- Quines són les especificacions del client?
- Coneixem les necessitats dels client?
- Sabem què és crític pel client, derivat del nostre procés?
- Com es desenvolupa el procés?
- Quins són els paràmetres de medició del procés i com es relacionen amb les necessitats del client?

Analitzar

En aquesta fase, l'equip avalua les dades actuals i històriques. Es desenvolupen i comproven hipòtesis sobre possibles relacions causa-efecte utilitzant les eines estadístiques pertinents. D'aquesta forma l'equip confirma els determinants del procés, és a dir les variables clau d'entrada que afecten a les variables de resposta del procés.

Ho veurem en l'apartat de punt de partida (1.2.2.) en la introducció, en els paràmetres (1.4.) i a la metodologia (2.) que hem elaborat seguint el següent:

- Quins resultats ens dona el procés actual?
- Quins són els objectius de millora?
- Quines són les possibles fonts de variació del procés?
- Quines fonts de variació podem controlar i quines no?
- Com les controlem i quin és el mètode per documentar-les?

Millorar

En aquest punt, l'equip tracta de determinar la relació causa-efecte (relació matemàtica entre les variables d'entrada i les variables de resposta que interessin) per predir, millorar i optimitzar el funcionament del procés. Per últim es determina el rang operacional dels paràmetres o variables d'entrada del procés.

En l'apartat de resultats (3.) tractem aquesta fase de la següent forma:

- Les fonts de variació depenen d'un proveïdor?
- Quina relació hi ha entre els paràmetres de medició i les variables crítiques?
- Interactuen les variables crítiques entre elles?
- Quins ajustos són necessaris per optimitzar el procés?
- Com els definim?

Controlar

La fase de control, consisteix en dissenyar i documentar els controls necessaris per assegurar que el resultat aconseguit mitjançant el projecte Sis Sigma es mantingui una vegada s'hagin implementat els canvis. Quan s'hagin assolit els objectius i la missió és doni per finalitzada, l'equip informa a la direcció i es dissol.

Afegim un últim apartat de conclusions (4.) on explicarem això:

- Quant s'ha millorat després dels canvis?
- Com ho definim?
- Com ho fem per mantenir-ho?
- Què s'ha estalviat amb els canvis?
- Com ho documentem?

Annex B. Nombre de factors vers resolució.

Nombre de factors	Resolució				
	III	IV	V	Superior	Completa
1	-	-	-	-	2
2	-	-	-	-	4
3	4	-	-	-	8
4	-	8	-	-	16
5	8	-	16	-	32
6	8	16	-	32 VI	64
7	8	*16-(32)	32	64 VII	128
8	-	°16-32	64	128 VIII	256
9	16	32-(64)	64	128 VIII	512
10	16	*32-(64)	64-128	-	1024
11	16	°32-64	128	-	2048
12	16	°32-64	128		4096
13	16	°32-64	128		8192
14	16	°32-64	128		16384
15	16	°32-64	128		32768
16	-	°32-64	128		65536

Taula 33

*Hi ha confoses per alies fins a tres interaccions de dos factors.

°Hi ha confoses per alies quatre o més interaccions de dos factors.

() Resolució d'una part minoritària d'efectes.

Annex C. Càlcul d'interaccions.

	e1	e-1		f1	f-1
f1	1424,1	1135,9	c1	1270,9	1434,5
f-1	1250,5	1437,0	c-1	1289,1	1253,0
	G1	G-1		g1	g-1
o1	1436,1	1101,5	d1	1374,0	1335,2
o-1	1284,9	1383,7	d-1	1388,3	1150,0
	i1	i-1		k1	k-1
j1	1540,4	1374,5	h1	1402,8	1458,2
j-1	1012,0	1320,6	h-1	1265,3	1121,1
	l1	l-1		l1	l-1
m1	1416,6	1257,8	i1	1187,0	1365,3
m-1	1128,7	1444,5	i-1	1358,2	1336,9
	e1	e-1		m1	m-1
o1	1460,4	1118,5	j1	1432,8	1482,0
o-1	1118,5	1454,4	j-1	1241,5	1091,1
	h1	h-1		o1	o-1
i1	1540,4	1012,0	n1	1266,7	1411,3
i-1	1320,6	1374,5	n-1	1312,2	1257,2
	k1	k-1		e1	e-1
l1	1440,4	1104,9	a1	1260,9	1263,0
l-1	1227,7	1474,5	a-1	1413,7	1309,9
	b1	b-1		h1	h-1
n1	1458,1	1219,9	c1	1444,9	1260,5
n-1	1112,7	1456,8	c-1	1416,2	1125,9
	f1	f-1		i1	i-1
l1	1267,9	1277,3	d1	1292,4	1416,8
l-1	1292,1	1410,1	d-1	1259,9	1278,3
	b1	b-1		l1	l-1
l1	1315,4	1229,8	g1	1315,4	1446,9
l-1	1255,4	1446,9	g-1	1229,8	1255,4
	l1	l-1		n1	n-1
n1	1267,9	1410,1	j1	1458,1	1456,8
n-1	1277,3	1292,1	j-1	1219,9	1112,7
	f1	f-1		o1	o-1
k1	1275,7	1392,4	m1	1288,3	1386,1
k-1	1284,3	1295,1	m-1	1290,6	1282,5
	g1	g-1		f1	f-1
e1	1370,9	1303,7	a1	1270,9	1253,0
e-1	1391,4	1181,5	a-1	1289,1	1434,5

	o1	o-1		h1	h-1
f1	1221,9	1338,1	b1	1444,9	1125,9
f-1	1357,0	1330,5	b-1	1416,2	1260,5
	m1	m-1		j1	j-1
k1	1323,7	1344,4	d1	1541,0	1168,2
k-1	1350,7	1228,7	d-1	1373,9	1164,4
	m1	m-1		j1	j-1
a1	1432,8	1091,1	e1	1460,4	1214,1
a-1	1241,5	1482,0	e-1	1454,4	1118,5
	g1	g-1		k1	k-1
f1	1494,8	1065,2	e1	1400,3	1274,2
f-1	1267,4	1420,0	e-1	1267,8	1305,1
	f1	f-1		m1	m-1
b1	1275,7	1295,1	g1	1447,3	1315,0
b-1	1284,3	1392,4	g-1	1227,1	1258,1
	e1	e-1		n1	n-1
c1	1400,3	1305,1	i1	1344,2	1208,2
c-1	1274,2	1267,8	i-1	1333,9	1361,2
	o1	o-1		j1	j-1
d1	1354,4	1354,8	b1	1458,1	1112,7
d-1	1224,5	1313,7	b-1	1456,8	1219,9
	n1	n-1		j1	j-1
g1	1430,5	1331,8	c1	1541,0	1164,4
g-1	1283,8	1237,6	c-1	1373,9	1168,2
	m1	m-1		l1	l-1
i1	1323,7	1228,7	e1	1340,8	1333,8
i-1	1350,7	1344,4	e-1	1204,5	1368,4
	l1	l-1		m1	m-1
j1	1440,4	1474,5	f1	1348,0	1212,0
j-1	1104,9	1227,7	f-1	1326,3	1361,2
	g1	g-1		n1	n-1
b1	1371,8	1255,4	h1	1500,4	1360,6
b-1	1318,9	1229,8	h-1	1177,6	1208,8
	o1	o-1		o1	o-1
c1	1291,1	1414,4	k1	1354,4	1313,7
c-1	1287,9	1254,2	k-1	1224,5	1354,8
	e1	e-1		k1	k-1
d1	1340,8	1368,4	c1	1400,3	1305,1
d-1	1333,8	1204,5	c-1	1267,8	1274,2

	n1	n-1
f1	1267,9	1292,1
f-1	1410,1	1277,3

	l1	l-1
d1	1340,8	1368,4
d-1	1204,5	1333,8

	m1	m-1
h1	1416,6	1444,5
h-1	1257,8	1128,7

	h1	h-1
f1	1424,1	1135,9
f-1	1437,0	1250,5

	k1	k-1
j1	1440,4	1474,5
j-1	1227,7	1104,9

	i1	i-1
g1	1370,9	1391,4
g-1	1181,5	1303,7

	o1	o-1
b1	1288,3	1282,5
b-1	1290,6	1386,1

	o1	o-1
j1	1460,4	1454,4
j-1	1118,5	1214,1

	g1	g-1
c1	1447,3	1258,1
c-1	1315,0	1227,1

	n1	n-1
m1	1389,7	1284,6
m-1	1288,3	1284,8

	f1	f-1
d1	1348,0	1361,2
d-1	1212,0	1326,3

	k1	k-1
b1	1275,7	1295,1
b-1	1392,4	1284,3

	n1	n-1
e1	1389,7	1284,8
e-1	1288,3	1284,6

	m1	m-1
d1	1348,0	1361,2
d-1	1326,3	1212,0

	l1	l-1
h1	1416,6	1444,5
h-1	1128,7	1257,8

	h1	h-1
e1	1424,1	1250,5
e-1	1437,0	1135,9

	k1	k-1
i1	1323,7	1228,7
i-1	1344,4	1350,7

	j1	j-1
g1	1494,8	1267,4
g-1	1420,0	1065,2

	j1	j-1
b1	1458,1	1112,7
b-1	1456,8	1219,9

	o1	o-1
i1	1221,9	1330,5
i-1	1357,0	1338,1

	i1	i-1
c1	1344,2	1361,2
c-1	1208,2	1333,9

	m1	m-1
c1	1447,3	1258,1
c-1	1227,1	1315,0

	h1	h-1
d1	1500,4	1208,8
d-1	1360,6	1177,6

	i1	i-1
e1	1370,9	1303,7
e-1	1181,5	1391,4

	k1	k-1
g1	1430,5	1331,8
g-1	1237,6	1247,6

	j1	j-1
f1	1494,8	1065,2
f-1	1420,0	1267,4

	m1	m-1		j1	j-1
b1	1288,3	1282,5	h1	1540,4	1320,6
b-1	1386,1	1290,6	h-1	1374,5	1012,0
	l1	l-1		o1	o-1
c1	1291,1	1414,4	h1	1477,4	1383,7
c-1	1254,2	1287,9	h-1	1101,5	1284,9
	k1	k-1		n1	n-1
d1	1354,4	1354,8	k1	1430,5	1237,6
d-1	1313,7	1224,5	k-1	1247,6	1331,8
	i1	i-1		k1	k-1
f1	1221,9	1338,1	a1	1402,8	1121,1
f-1	1330,5	1357,0	a-1	1265,3	1458,2
	h1	h-1		n1	n-1
g1	1477,4	1284,9	d1	1500,4	1208,8
g-1	1383,7	1101,5	d-1	1177,6	1360,6
	n1	n-1		l1	l-1
c1	1344,2	1361,2	a1	1187,0	1336,9
c-1	1333,9	1208,2	a-1	1358,2	1365,3

Taula 34

6. BIBLIOGRAFÍA

- De la Poza Lleida, J. M. :”El Aluminio: Características Y Sus Aplicaciones”, Oikos-Tau, S.A. Ediciones. 1991.
- Magnusson, K., Kroslid D., Bergman, B.: “Six Sigma The Pragmatic Approach” Studentlitteratur AB; 2nd edition (August 31, 2004)
- Montgomery, Douglas C.: “*Design and analysis of experiments*”. John Wiley and Sons. 1991.
- Martí Parera, A.: “Sistemas De Seguridad Y Confort En Vehículos Automóviles” MARCOMBO. 2000.
- Moen, R D; Nolan, T W & Provost, L P (1991) *Improving Quality Through Planned Experimentation* ISBN 0-07-042673-2
- Nair, V N.:” Taguchi's parameter design: a panel discussion, *Technometrics* vol34”, Nair, V N (ed.).1992.