

Resum

El projecte tracta de la reducció dels malbarataments o productes defectuosos (coneguts pel terme anglès *Scrap*) de les línies de producció d'una empresa del sector de l'automòbil.

El projecte se centra en la primera part del procés productiu, en la secció d'electrònica anomenada *Surface Mounted Device*¹ (SMD). L'objectiu ha estat reduir el cost de l'Scrap per tal d'ajustar-lo al llindar fixat pel departament.

El mètode de treball emprat ha estat Sis Sigma i s'ha desenvolupat seguint les cinc etapes en les que està estructurat aquest programa de millora: definir, mesurar, analitzar, millorar i controlar. En cadascuna de les etapes s'ha treballat conjuntament amb un equip d'experts de l'empresa.

A partir de l'anàlisi estadístic de dades s'han identificat les causes que provocaven l'aparició de defectes i s'han determinat accions de millora per pal·liar-les. Tot i que algunes accions no han pogut ser implementades, s'ha fet una planificació i assignació de responsabilitats. Les que s'han implementat han estat verificades com a millores reals.

No ha estat possible determinar si amb la implementació de totes les millores s'ha assolit l'objectiu fixat ja que algunes han quedat pendents d'implementar. S'ha assignat però uns responsables per a cada tasca i unes dates límit.

¹ La tecnologia de muntatge en superfície (Surface-mount technology en anglès) és un mètode per a la construcció de circuits electrònics en el que els components s'insereixen directament sobre la superfície del circuit imprès. Els dispositius electrònics resultants es coneixen amb el nom de SMD.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. PREFACI	5
1.1. Origen del projecte	5
1.2. Motivació	5
1.3. Requeriments previs	6
2. INTRODUCCIÓ	7
2.1. Objectius del projecte	7
2.2. Abast del projecte.....	7
2.3. Metodologia	7
3. METODOLOGIA I ORGANITZACIÓ DEL PROJECTE	9
3.1. Què és Sis Sigma?	9
3.2. Origen.....	9
3.3. Organització.....	10
3.4. Etapes.....	11
3.5. Organització del projecte	16
4. DEFINIR	17
5. MESURAR	20
6. ANALITZAR	37
7. MILLORAR	43
8. CONTROLAR	49
CONCLUSIONS	51
RECOMANACIONS	51
AGRAÏMENTS	53
BIBLIOGRAFIA	55
Bibliografia complementària	55





1. Prefaci

El present projecte es realitza en una empresa del sector de l'automòbil que no mencionarem per qüestions de confidencialitat. Tralarí (nom amb el qual ens referirem a ella d'ara endavant), consta de sis divisions. La secció automobilística disposa de 44 plantes repartides en 15 països diferents i factura uns 5 bilions d'euros anuals. La planta on es desenvolupa el projecte consta de 440 treballadors i produeix diàriament més de 4.000 productes acabats.

El projecte se centra en la primera etapa del procés productiu, en la secció d'electrònica anomenada *Surface Mounted Device*¹ (SMD). Aquesta secció està composta per cinc línies i produeix una mitjana de 10.000 components diaris que passen a la següent etapa: Circuits.

1.1. Origen del projecte

En la secció que ens ocupa existeix un problema recurrent en el temps: el cost dels productes defectuosos (anomenats Scrap) excedeix l'objectiu fixat pel departament. Des de ja fa uns anys, s'han realitzat projectes de millora en aquest sentit que han donat pocs o insuficients resultats. Les causes principals són la falta de temps de dedicació del personal en aquests projectes i la poca fiabilitat de les dades disponibles.

1.2. Motivació

Tralarí és una empresa bolcada en la filosofia de millora contínua. Gran part dels treballadors han estat formats en temes de qualitat i participen activament en les vies que proposa l'empresa per tal de millorar el dia a dia del seus llocs de treball i entorn, de forma a contribuir en una millora en la qualitat global.

¹ La tecnologia de muntatge en superfície (Surface-mount technology en anglès) és un mètode per a la construcció de circuits electrònics en el que els components s'insereixen directament sobre la superfície del circuit imprès. Els dispositius electrònics resultants es coneixen amb el nom de SMD.



D'aquesta manera, es desenvolupen contínuament projectes que usen metodologies varies, i en els quals obrers i dirigents treballen junts per aconseguir un objectiu comú: l'excel·lència. Això fa que en general hi hagi una alta participació, una bona predisposició als canvis i a la experimentació.

1.3. Requeriments previs

Abans de llançar-se en l'execució del projecte ha estat necessària una immersió en l'entorn de treball per tal de familiaritzar-se amb l'equip, col·laboradors, vocabulari i metodologia.

Al mateix temps ha estat necessària una formació prèvia en temes de qualitat i concretament de familiarització amb la metodologia que s'empra actualment a Tralarí: Sis Sigma.

Per això va ser de gran utilitat el curs de formació de postgrau "Programes de millora Lean Sis Sigma. Nivell Black Belt" ofertat per la "School of Professional & Executive Development" de la Universitat Politècnica de Catalunya, al qual vaig assistir com a becària del curs.



2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu del projecte va ser la reducció de l'Scrap a partir de tres indicadors:

1. Valor de Scrap setmanal (€)
2. Scrap SMD / Producció setmanal (%)
3. Scrap setmanal de l'etapa circuits per culpa de SMD

Per cadascun d'ells s'estableix la situació de partida i es defineix un objectiu en línia amb el fixat pel departament.

2.2. Abast del projecte

El projecte inclou tots els circuits defectuosos que es realitzen a l'etapa SMD, tant els trobats en la pròpia línia com els que s'envien al lloc de reparacions i finalment no es poden reparar. També s'inclouen els circuits que s'han escapat als controls de qualitat de la pròpia etapa i que es detecten al final de la següent (amb causes atribuïbles a SMD).

El projecte exclou els circuits defectuosos que es troben en etapes posteriors al procés productiu i que podrien ser per culpa de SMD.

2.3. Metodologia

La metodologia de treball emprada és Sis Sigma. Es tracta d'un programa de millora estructurat en cinc etapes: definir, mesurar, analitzar, millorar i controlar. Per cadascuna d'elles està clarament definit l'objectiu i els requisits necessaris per passar a l'etapa següent. La principal eina usada és la estadística basada en dades reals, de forma a aplicar de la manera més escrupolosa el mètode científic.

El software estadístic usat per a l'anàlisi de dades ha estat la versió 15 de Minitab.





3. Metodologia i organització del projecte

3.1. Què és Sis Sigma?

Com tots els programes de millora, Sis Sigma té un únic objectiu: incrementar beneficis. A llarg termini i a nivell estratègic, això es tradueix en una millora de la competitivitat; adaptació a l'entorn i a les noves demandes de clients. A curt termini, es tracta de reduir els malbarataments mentre s'augmenta la satisfacció dels clients.

A diferència d'altres programes de millora, Sis Sigma proporciona un nou enfocament i llenguatge i una sòlida metodologia, alhora que es pot considerar integrador de moltes eines i procediments ja existents.

Sis Sigma és un programa de millora que proporciona un enfocament sistemàtic per reduir els defectes dels processos que afecten a allò que és crític per al client i milloren la seva eficiència [1]. Al mateix temps, proporciona mètodes específics per re-crear els processos de manera que els defectes no puguin sorgir [2].

3.2. Origen

Tot i que precedentment hi havia hagut grans impulsors de propostes per a la millora de la qualitat, Sis Sigma apareix el 1984 agrupant conceptes existents precedentment. Fou a l'empresa Motorola on, arran de travessar un moment difícil, es van començar a desenvolupar programes de millora que reunien les millors pràctiques del moment a més de posar especial èmfasi en el mètode de mesura i la estadística.

L'èxit d'aquest programa va fer que ràpidament s'estengués a altres empreses, que a més d'assimilar-lo el van modificar. El boom definitiu es va donar a General Electric (GE), des d'on el seu president Jack Welch en va fer una intensa campanya propagandística. Durant anys, GE ha estat seguida com a exemple directiu.



En les empreses automobilístiques va tenir més èxit la filosofia Lean Manufacturing, que es basa en eliminar els desaprotaments o activitats que no afegeixen valor al procés productiu. Al principi van començar amb millores efectuades a nivell de taller pels propis operaris, però el seu èxit ràpidament va fer que s'estengués a processos majors dirigits per responsables intermedis i directius.

És a partir de l'any 2000 quan es comencen a combinar les idees de Sis Sigma amb les de Lean donant pas a una nova metodologia anomenada Lean Sis Sigma.

3.3. Organització

Sis Sigma proposa un sistema organitzatiu clar amb responsabilitats ben definides al mateix temps que usa un llenguatge estandarditzat, cosa que facilita tant el desenvolupament com la posterior comprensió dels resultats.

Donat que efectuar millores puntuals en etapes del procés productiu no implica una millora del procés global, Sis Sigma opta per un sistema de gestió per processos enfront del generalitzat sistema de gestió per departaments. S'imposa la necessitat de tenir una visió global del procés i entendre els intercanvis i interaccions entre etapes.

Pel que fa a les persones, és necessari que els rols estiguin clars i ben definits per no generar confusions. Un dels rols més importants és el de la direcció, que no només s'ha de conformar en recolzar les iniciatives sinó que s'ha d'implicar. L'èxit o el fracàs dels programes Sis Sigma recau en el fet que la direcció hi tingui una implicació personal.

Els noms i els rols de les persones que realitzaran el projecte de millora es descriuen a continuació:

CHAMPION: és un membre de l'alta direcció que apadrina projectes concrets. Participa des d'un principi en l'elecció estratègica dels projectes en funció dels objectius de l'organització, escull i assegura la formació de l'equip, efectua un seguiment i reconeix i comunica la feina feta tant a la direcció com a la resta de l'organització. Tenen un treball important com a facilitadors de recursos (incloent el temps també com a recurs).



MASTER BLACK BELT (MBB): és l'expert en programes de millora Sis Sigma i és el conseller en temes d'ús d'eines o metodologia. De vegades també actua com a coordinador de projectes i efectua tasques de disseny de programes de formació o de documentació de projectes de forma a alleugerir la feina a l'equip directiu.

BLACK BELT (BB): és el líder dels equips de millora, especialment format en temes d'eines i metodologia. Com ànima del projecte, ha de posseir unes qualitats de lideratge que determinaran l'èxit o el fracàs del projecte. És imprescindible que disposi de temps per dedicar al projecte i que la seva feina sigui prioritària i reconeguda.

GREEN BELT (GB): són aquelles persones que participen en el projecte com a membres qualificats. Tenen coneixements sobre les eines i metodologia Sis Sigma, i fins i tot poden arribar a liderar projectes de menor envergadura. Es considera com a pas previ per esdevenir Black Belt.

Aquestes són les persones "estàndard" que participaran en el projecte, tot i que la composició està subjecte a modificacions en funció de les necessitats de cada organització o projecte.

La selecció de l'equip de treball és molt important i no sempre evident. És necessari que els membres coneguin i estiguin implicats en el procés a millorar i que disposin de temps de dedicació. De vegades es requereix d'intervenció d'altres membres com a consultors puntuals.

3.4. Etapes

La metodologia Sis Sigma està estructurada en etapes que es coneixen amb les sigles DMAIC que venen de l'anglès *Do, Measure, Analyse, Improve and Control* descrites a continuació.

3.4.1. Definir

En un primer moment, el Champion i el BB s'han de posar d'acord sobre quins són els seus papers i aclarir l'objectiu i propòsit del projecte. També hauran de definir el seu abast i punt de partida al mateix temps que repartir l'assignació de responsabilitats.



Tot seguit cal elaborar el SIPOC (sigles angleses per *Suppliers Input Process Output Client*) que podríem traduir per proveïdors, entrades, procés, resultats i clients. Aquest diagrama permet fer una acotació de l'àmbit en el que es realitzarà la millora (activitats i persones implicades).

Desxifrar quines són les necessitats dels clients i transformar-les en característiques crítiques de qualitat (CTQ que ve de l'anglès *Critical To Quality*), és a dir, en paràmetres concrets i quantificables, és un dels passos més importants ja que, recordem, en la filosofia Sis Sigma la satisfacció dels clients és una prioritat.

Finalment, per acabar aquesta etapa, cal quantificar els beneficis econòmics esperats tant en termes de satisfacció client com econòmics. Els beneficis han de ser rellevants, i han d'estar avalats per al departament de finances. Aquestes dades quedaran reflectides en el Project Charter¹ que servirà de guia tant per al BB com per a la resta de l'equip. Només resta fer el diagrama de Gant amb la planificació del projecte per poder donar aquesta etapa per finalitzada.

3.4.2. Mesurar

El primer pas d'aquesta etapa - i el més crític - consisteix en entendre el funcionament del procés actual i plantejar preguntes. Aquestes preguntes estan relacionades amb el funcionament del procés i l'objectiu del projecte. Les respostes ajuden a detectar l'origen dels problemes i a posar de manifest les oportunitats.

Per entendre el procés, cal elaborar un diagrama de flux detallat que a més serveix per donar idees de noves preguntes. La dinàmica a seguir en aquesta etapa és la següent: mitjançant les preguntes s'identifiquen les dades necessàries per respondre-les, es recopilen, s'analitzen i finalment es responen les preguntes.

¹ El Project Charter és un document de declaració d'intencions on s'especifiquen els objectius, l'abast del projecte i les persones implicades. Serveix per tenir una referència de seguiment del projecte.



En cas de que ja es disposi de dades, el primer que cal és avaluar la seva fiabilitat i si han estat recollides segons criteris de parcialitat i seguint definicions operatives clares ja que tothom haurà d'acceptar les conclusions extretes a partir d'elles. En cas contrari, s'ha de planificar una nova recollida de dades.

En la fase d'anàlisi s'utilitzen eines senzilles (7 eines bàsiques d'Ishikawa) i estadística descriptiva. Amb els resultats es respon a les preguntes i, en vista dels resultats, se'n plantegen de noves. Al final d'aquest procés, es té un coneixement profund i contrastat del sistema que s'ha de millorar.

3.4.3. Analitzar

En aquesta etapa es tracta d'utilitzar tot el que s'ha après en l'etapa precedent per tal de generar hipòtesis i acceptar-les o refusar-les o bé utilitzant les dades de l'etapa mesurar o bé fent nous experiments.

Abans de tot, però, cal re-enfocar el projecte i si fos necessari replantejar el Project Charter afegint la informació de què es disposa. També pot ser adequat reduir les dimensions de l'estudi i concentrar-se només en una part (en aquest cas també s'ha de revisar el SIPOC).

La dinàmica a seguir en aquesta etapa és la de generar hipòtesis (en base al que s'ha après), contrastar-les amb les dades i extreure'n conclusions. De fet, com a l'etapa mesurar, s'utilitza el mètode científic, però aquest cop amb més formalització del procés inductiu, és a dir, de creació de models representatius de la realitat a partir de les observacions.

Aquest cop s'utilitzen eines estadístiques més sofisticades que les utilitzades precedentment per tal d'estar més segurs de les conclusions i poder-les quantificar.

En aquest punt es poden identificar dos tipus de problemes: per una banda els projectes problema que permeten efectuar millores concretes (del tipus eliminació de defectes) i de l'altra els projectes oportunitat que sorgeixen amb la intenció de replantejar el procés en ell mateix.

Al final d'aquesta etapa han de quedar clares quines són les relacions causa-efecte que serviran de base per definir les millores a l'etapa següent. Una premissa imprescindible és que les conclusions obtingudes han d'estar ben contrastades i quantificades.



3.4.4. Millorar

En un primer moment, i utilitzant tot el que s'ha après sobretot en l'etapa analitzar, cal elaborar una llarga llista de possibles millores. Després d'una primera valoració (esforç vs impacte) se'n seleccionen les més rellevants. En aquest procés de selecció el Champion hi juga un paper molt important ja que serà ell el responsable d'impulsar la implantació.

Donat que algunes millores impliquen canvis importants, temps i esforç, cal fer una anàlisi prèvia dels riscos associats i si possible, una prova pilot. S'utilitza com a eina l'AMFE (*Anàlisi de los Modos de Fallo potenciales y sus Efectos* en castellà o en anglès FMEA de *Potential Failure Mode and Effects Analysis*).

Finalment cal fer una correcta planificació de la implementació de les millores: calendari, pressupost, possibles problemes, grups d'interès i seguiment.

Per donar aquesta etapa per finalitzada no cal que les millores en sí estiguin implantades (de vegades es requereix més temps). Però sí cal que estiguin ben documentades: programa, assignació de recursos i aprovació del Champion.

3.4.5. Controlar

El primer que cal fer abans de donar el projecte per acabat és prendre mesures per assegurar que les millores introduïdes es convertiran en la manera de treballar. Això implica haver entès, documentat, mesurat i millorat (amb establiment de pla de millora contínua).

També és important dissenyar un sistema de seguiment que permeti assegurar que els canvis es mantenen al llarg del temps. Això implica disposar de sensors que mesurin el valor dels indicadors i els comparin amb el valor objectiu: a partir del resultat es duran a terme actuacions.

Com a eines en aquesta etapa s'utilitzen els quadres de comandament i les auditories de procés.



Les responsabilitats en el procés de control han d'estar clarament definides; d'una banda el BB és el responsable de decidir quin és el sistema de mesura i de l'altra el propietari del procés és qui realitza els controls i actua en conseqüència. Això implica una cessió de responsabilitats.

Abans de tancar el projecte s'ha de fer la valoració dels resultats obtinguts tant econòmics, com pel que fa a l'evolució dels indicadors objectiu definits des d'un principi. És imprescindible disposar de tota la documentació referent a cada etapa, els resultats i les lliçons apreses i possibles extensions o nous projectes.

És important per acabar celebrar l'èxit amb els membres de l'equip i les persones que hi han col·laborat.

3.4.6. Eines per a la millora

Les eines més senzilles que s'utilitzen per a l'anàlisi de dades són les conegudes com les "Set eines bàsiques d'Ishikawa". Kaoru Ishikawa, enginyer japonès de principis del segle XX, considerava que era millor que tota la organització fos capaç de fer servir eines senzilles en comptes de que uns quants n'utilitzessin de complicades.

Aquestes set eines, que s'assimilen a les armes i proteccions dels guerrers, són: plantilles, histogrames, diagrames de Pareto, *brainstorming*, diagrames causa-efecte, diagrames bivariants i estratificació.

Al llarg dels anys han anat sortint altres eines bàsiques (en tandes de set) que s'han sumat a les d'Ishikawa. Les més destacables són els diagrames de flux, diagrames d'afinitat, els diagrames d'anàlisi de forces i els cinc perquè.

En estadística descriptiva s'utilitzen representacions gràfiques per ressaltar les causes dels problemes. Alguns dels gràfics que es poden utilitzar són els diagrames de fulles, els box-plots o els diagrames pastís.

En certs moments però pot ser necessari utilitzar eines més complexes per exemple per a fer estudis de capacitat, anàlisi multivariants, estudis de repetitivitat i reproductibilitat o el disseny d'experiments.



3.5. Organització del projecte

A Tralarí es va establir el projecte de reducció de Scrap com una prioritat. El problema era que les persones que podien fer de BB estaven massa ocupades (la major part del temps "apagant focs"), o cansades d'invertir esforços en aquest problema ja recurrent.

També havien perdut les esperances d'èxit, perquè el problema es veia com un efecte intrínsec al sistema i la solució no era evident (raó de més per engegar un Sis Sigma). Al mateix temps hi havia una pressió per arribar a l'objectiu abans de final d'any per tal de poder reportar bons resultats al tancament.

La presència d'una persona externa per dirigir i organitzar la feina va ser una idea àmpliament benvinguda. Així doncs, vaig passar a fer-me càrrec del projecte (amb el rol de BB) integrada dins el departament de qualitat i sota la supervisió del responsable del departament d'electrònica, que va prendre el rol de Champion.

Després d'atorgar-me una gran llibertat de moviments (i confiança) i posar a la meva disposició tots els recursos necessaris, es va establir que s'efectuarien reunions formals al final de cada etapa amb el Champion i les intermèdies necessàries en cas de dubte.

L'equip seleccionat, recomanat per part del responsable, van ser col·laboradors de rang intermedi de l'àrea SMD i Circuits:

- Responsable de manteniment
- Responsable de producció
- Col·laborador d'enginyeria de circuits
- Administració de materials
- Responsable qualitat i BB del mateix projecte de la secció Circuits



4. Definir

Un cop seleccionat l'equip i definit la manera de relació amb el Champion, es va clarificar el propòsit del projecte: reduir l'Scrap de la secció SMD per tal d'ajustar-lo als objectius econòmics fixats al departament.

Es va elaborar el mapa de processos (SIPOC) que va permetre acotar l'àmbit del projecte (disponible en annex A). En fer la delimitació del procés es va decidir no incloure la transferència de material a l'etapa següent ja que els problemes que podia ocasionar eren detectats en aquest segon procés productiu (Circuits), tal i com es mostra a la Figura 4.1. Aquest fet va ser comunicat al responsable del projecte de reducció de Scrap de Circuits perquè ho tingués en consideració.

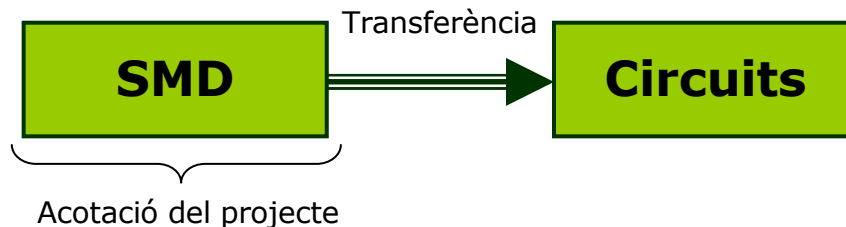


Figura 4.1: Delimitació del projecte

Donat que el projecte no va néixer per a satisfer les necessitats d'un client sinó que responia a una imposició estratègica per part de l'empresa, no es van detectar necessitats específiques dels clients (que en aquest cas eren Circuits i els seus reparadors).

L'objectiu econòmic de Scrap del departament era compartit per les dues seccions i s'havia de dividir. Per fer aquesta repartició es van analitzar les dades del valor de Scrap oficial reportat d'un període de 18 setmanes. Després d'extreure els valors anòmals (deguts a problemes específics ja identificats), es va calcular la part proporcional que correspon, en mitjana, a la secció SMD.

Un cop fixat el primer indicador, se'n van fixar dos més dels quals es van quantificar els valors inicials i es van fixar els objectius. Els tres indicadors es troben resumits en la Taula 4.1:



Indicador	Objectiu
1. Valor de Scrap setmanal (€)	Part proporcional de l'objectiu del departament
2. Scrap SMD / Producció setmanal (%)	Reducció de la part proporcional
3. Scrap setmanal trobat a Circuits amb motiu SMD	0

Taula 4.1: Indicadors del projecte i objectius

Per fer el càlcul de l'impacte econòmic es va tenir en compte l'estalvi dels indicadors 1 i 3 de la Taula 4.1. També es va estimar que hi hauria un estalvi econòmic pel fet de reduir el temps de dedicació a l'anàlisi de Scrap i a realitzar accions correctives i de reducció de les parades de línia per problemes de no qualitat. Aquests dos factors no van ser valorats econòmicament.

En total representava un estalvi anual de més de 21.000 €, cosa no molt rellevant en sí, però que en formar part dels objectius d'empresa justificava la posada en marxa del projecte. Aquest valor no va ser validat per al departament de finances per dificultat d'accés al personal.

En el diagrama de Gantt de la Figura 4.2 es mostra la repartició de les etapes prevista: sis mesos és la durada ideal d'un projecte Sis Sigma. El diagrama de Gantt de l'execució real del projecte es troba en annex J. Durant el període vacacional la fàbrica es tanca.

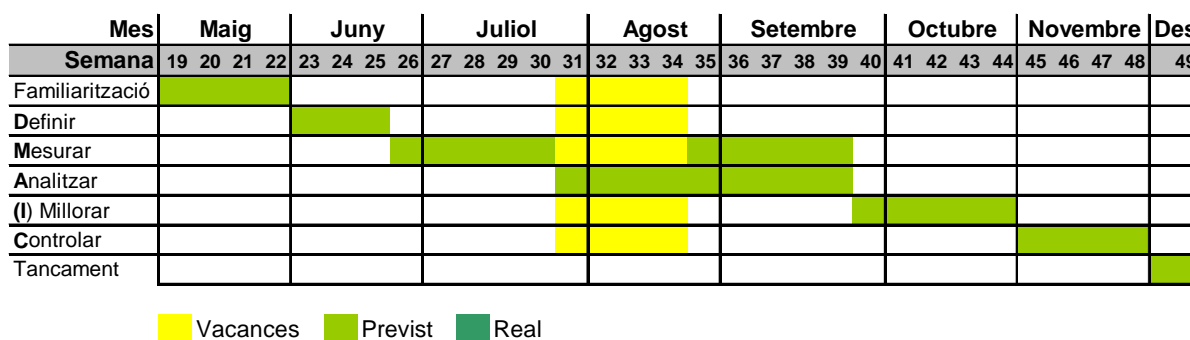


Figura 4.2: Programació del projecte per etapes



Finalment es van identificar les restriccions al projecte destacant la poca disponibilitat de l'equip de treball i els molts antecedents del projecte. Tots aquests aspectes es van recollir en el Project Charter i es van validar amb el Champion (el Project Charter es troba en annex B).

L'etapa es va tancar la setmana 25 de juny amb una reunió de llançament amb tot l'equip (reunit per primer cop), a qui es van presentar tots els aspectes d'aquesta primera etapa.



5. Mesurar

El primer que es va fer en aquesta etapa i que va permetre entendre amb més profunditat el procés va ser l'elaboració del diagrama del procés (Figura 5.1). Es mostra i s'explica a continuació una versió simplificada d'aquest (la versió detallada per cada línia es troba en annex C).

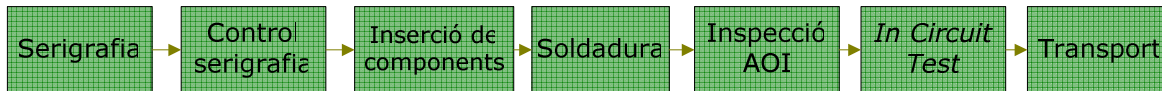


Figura 5.1: Diagrama simplificat del procés

En una primera etapa del procés, s'agafen els circuits impresos que s'han carregat en el magatzem d'entrada o apilador i s'introdueixen a la màquina de **serigrafia**. Aquesta distribueix la pasta d'estany sobre les zones de soldadura mitjançant una plantilla que s'anomena pantalla. Aquestes màquines s'anomenen DEK.

Les plaques, que van muntades sobre un transport per corretges, passen pel **control de serigrafia** per verificar que la distribució i quantitat de pasta és l'adequada.

Tot seguit es passa a les màquines **d'inserció de components** (en anglès *pick and place* o *P&P*) que agafen els components d'uns rotlles de plàstic on estan enganxats i els col·loquen a sobre la placa. La primera d'aquestes màquines insereix el connector i les altres tres insereixen la resta de components; de més petit a més gran.

Les plaques es transporten fins al forn on es realitza la **soldadura** (en anglès *reflow soldering*) augmentant la temperatura fins a 300°C. Al final del forn hi ha un sistema de refredament (*cooling*) que disminueix la temperatura.

Tot seguit les plaques passen per un sistema **d'inspecció visual AOI** (que ve de l'anglès *Automatic Optical Inspection*) que verifica que la posició dels components és la correcta.



Abans de donar el vist i plau final, es realitza un altre control ICT (de l'anglès *In Circuit Test*) que fa un test per verificar el correcte funcionament dels components.

Finalment les plaques s'emmagatzemen en prestatges (*racks*) segons si són conformes o no, i es transporten a l'etapa següent o retornen al principi de la línia si s'ha d'imprimir una segona cara (s'anomena a la primera cara *Cara Top* i a la segona *Cara Bottom*).

Un cop entès el procés de muntatge i aprofundit en els detalls del funcionament de les màquines, es va iniciar el procés de plantejament de preguntes la resposta de les quals podria guiar en la cerca de les causes dels problemes.

Per això es va demanar a l'equip l'elaboració d'una llista de preguntes. Aquest va ser un exercici difícil i l'esforç dedicat en certs casos va ser mínim. Això demostra que, tot i haver estat formats en la metodologia Sis Sigma, la pressa per arribar a l'objectiu fa que se saltin molts passos per passar directament "a l'acció".

Les preguntes retingudes finalment van ser:

- 1.** Quant Scrap es genera ara? (valor real)
- 2.** El responsable de cada torn és conscient de l'Scrap que s'ha generat?
- 3.** Es produeix el mateix Scrap en:
 - 3.1. Tots els torns?
 - 3.2. Totes les línies?
 - 3.3. Totes les màquines?
 - 3.4. Totes les referències o projectes?
 - 3.5. En quina zona del circuit o components?
- 4.** Hi ha combinacions de producció de sèries que provoquen més Scrap?
- 5.** Es produeixen més defectes en arrencada o en sèrie?
- 6.** Es genera en circuits consecutius o es tracta de fenòmens espontanis?
- 7.** Hi ha relació entre l'Scrap i les accions de manteniment?
- 8.** Afecta l'origen del disseny de la placa?
- 9.** Quan hi ha defectes que s'han escapat del control visual, és per culpa de la màquina o de l'operari?
- 10.** Hi ha més d'una causa de Scrap per circuit?
- 11.** On es detecta l'Scrap: en les línies, en el lloc de reparacions o al final de l'etapa circuits?



12. Serigrafia:

- 12.1. Afecta la temperatura i la humitat de la màquina de serigrafia?
- 12.2. Afecta si s'ha netejat abans la plantilla?
- 12.3. Influeix que hi hagi hagut reposició d'estany? O no haver efectuat l'operació de batut de pasta?

13. Forn:

- 13.1. Influeix la temperatura del forn en l'Scrap?
- 13.2. Influeix la velocitat del transport dins del forn?
- 13.3. S'embossen les plaques al magatzem al final del forn?
- 13.4. Afecta la temperatura de *cooling*? A quina temperatura surten les plaques?

14. Quants circuits cauen en el voltejador? I en el transport dels prestatges?**15.** Hi ha problemes amb el pusher?**16.** Pick&place: s'han repostat o hi ha hagut manca de components abans del Scrap?

Un cop seleccionades les preguntes es van analitzar quines dades calien per respondre-les i es va verificar si ja estaven disponibles i accessibles, així com la seva fiabilitat.

Les bases de dades existents que contenien informació sobre Scrap es descriuen a continuació. Les peces defectuoses de SMD es poden detectar en els tres punts que s'esquematitzen a la Figura 5.2: en les pròpies línies de producció, en el lloc de reparacions o en el control del final de l'etapa circuits (aquests han escapat els controls de SMD).

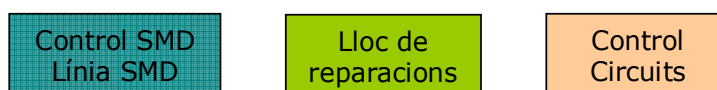


Figura 5.2: Punts de detecció i declaració de Scrap de SMD

Existeixen 7 bases de dades on es reporta informació sobre l'Scrap, tal i com es mostra a la Figura 5.3, generades en els diferents punts de declaració (seguint l'esquema de colors de la Figura 5.2). Es detallen a continuació les característiques de cadascuna.



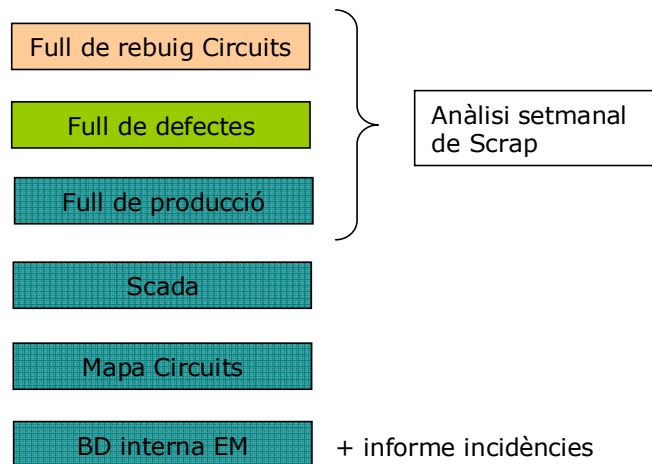


Figura 5.3: Bases de dades existents amb informació de Scrap

- **Full de rebuig circuits:** és un fitxer Excel que conté informació sobre l'Scrap que arriba al control final de l'etapa Circuits. Cada full del fitxer Excel correspon a un dia, i es guarden les dades del mes anterior. S'especifica el projecte, la referència, el centre de cost on imputar el valor de l'Scrap i un codi/motiu segons una llista predeterminada (que anomenarem Plantilla Scrap Circuits, PSC)
- **Full de defectes:** és un fitxer Excel amb dos fulls: un per detallar els defectes reparats i l'altre per l'Scrap. A cada circuit que passa per aquest lloc de treball li correspon una línia del fitxer en un dels dos fulls. Per a l'Scrap s'anota la data, el numero de sèrie (Datamatrix¹), la fase, el model, el component que no s'ha pogut reparar, una petita descripció del defecte i un comentari (on sempre es reporta "Scrap").
- **Full de producció:** aquest és un document en format paper dissenyat en un principi per a controlar els temps d'utilització de cada línia. Per cada dia i línia hi ha un full amb les franges horàries de cada torn. Cada hora, el responsable de línia ha de reportar: projecte, referència i quantitat produïda o en cas contrari motiu de la parada de producció i la quantitat de Scrap

¹ El Datamatrix és un codi imprès i enganxat en cadascun dels circuits que conté informació vària. Els darrers nou dígit corresponen a la referència.



generada (en panells¹) amb un codi per al motiu (segons una plantilla predeterminada que anomenarem Plantilla Scrap SMD, PSSMD).

- **Scada** (*Supervisory Control and Data Acquisition*): és un software d'adquisició de dades i supervisió on s'insereixen de forma automàtica i instantània les dades de defectes, reparacions i Scrap. Són els reparadors de SMD i Circuits els que introdueixen aquestes dades. Podem fer una extracció d'aquestes dades per dates i obtenim un fitxer Excel amb: defecte (segons una plantilla que anomenarem Plantilla Defecte Scada), el producte, projecte, components afectats, posició, nombre de defectes, nombre de peces (circuits), defectes per peça i percentatge de defectes per peça. Tots els camps no numèrics d'aquesta base estan predefinitos.

- **Mapa Circuits**: és un complex fitxer Excel (amb macros i enllaços) on es copia al final de cada torn la informació del full de producció. Cada full correspon a un projecte i a l'interior, per cada referència, es detalla el nombre de circuits produïts cada dia. Hi ha 7 fulls més dedicades al càlcul d'indicadors i a l'anàlisi de Scrap (% de defectes per torn).

- **BD interna a EM**: donat que no es disposava de dades detallades dels motius de Scrap, el responsable de manteniment, de forma independent, va decidir recopilar certes dades per tal de poder realitzar anàlisis a llarg termini. Es tracta d'un fitxer Excel on s'efectua una entrada per cada circuit de Scrap. S'anota la data, la línia, el model, si el defecte pertany o no a serigrafia, una petita descripció de la causa, l'acció duta a terme i la quantitat (en panells). Per alimentar aquesta base, agafen les dades dels "Informes d'incidències de Scrap en SMD", que són uns fulls on el mecànic que efectua la intervenció indica la causa de l'Scrap i l'acció correctora. També detalla la màquina, model, quantitat (en panells), la data, la línia i si s'han produït més de 30 plaques del model abans de l'Scrap.

¹ Depenent del projecte, un panell pot contenir entre 2 i 4 circuits. Aquests passen en forma de panells per l'etapa SMD i se separen al principi de l'etapa Circuits.



En cap d'aquestes bases de dades hi havia informació sobre el cost de l'Scrap. Aquest càlcul el fa l'administrador del departament en introduir a SAP¹ la informació del Full de rebuig de Circuits, el Full de defectes i el Full de producció (tal i com es mostra a la Figura 5.3). El document resultant s'envia per mail un cop per setmana: és l'anàlisi setmanal de Scrap.

- **Anàlisi setmanal de Scrap:** fitxer Excel extret de SAP en el que hi figuren un camp text que inclou el centre d'imputació del cost (SMD o Circuits) i el projecte, el codi de l'article, la quantitat (en circuits), motiu de l'Scrap (codi de la plantilla PSS), el motiu del moviment (breu text que descriu el codi) i l'import en euros. A més a més, en el fitxer s'inclouen tres gràfics de barres del cost total per cada motiu que han de servir per fer el seguiment i anàlisi a mig termini (setmanal).

Com es va comprovar, existia una quantitat de dades molt variada per al control d'un sol fet: els desperdiciis. Val a dir que no sempre coincidien totes les informacions (de fet gairebé mai) ja que les bases de dades tenien responsables de manteniment diferents. També es va observar que s'usaven noms diferents per referenciar les mateixes variable, per exemple:

- Una variable s'anomena "Model" en el full de circuits i en la BD interna a EM, i en canvi s'anomena "Projecte" en el full de defectes.
- A la fase o cara d'impressió se l'anomena de vegades Cara Top i Cara Bottom (CB/CT) o 1 i 2 o Bottom Side i Top Side (BS/TS)
- S'usen unitats diferents per a definir la quantitat: de vegades es fa en panells i de vegades en circuits.
- Una mateixa dada s'usa en el Full de defectes sota el nom de "Referència" i inclou tot el Datamatrix, en Scada s'anomena "Producte" i inclou els primers valors del Datamatrix i en el Full de rebuig Circuits s'anomena "Numero de sèrie" i inclou els darrers números del Datamatrix.

¹ Software per a la gestió de l'empresa utilitzat per Tralarí de la família dels planificadors de recursos empresarials.



- Algunes bases contenen camps que no serveixen per a res: sempre s'anota el mateix valor.

Per entendre i clarificar el procés de generació d'aquestes bases, es va elaborar el diagrama de flux detallat de la generació i declaració de Scrap (amb el detall de les persones responsables de cada etapa del procés) segons es realitza realment; no segons els procediments oficials. Aquest es troba disponible en annex D.

Amb totes aquestes dades, molts cops contradictòries, se'n van identificar algunes que servien per respondre les preguntes plantejades (duplicades en diverses fonts) però en faltaven d'altres.

Per tant va ser necessari planificar una recollida de dades, és a dir, determinar el tipus de dades necessàries i el procés de recollida. El document es troba disponible en annex E. Es va fer una presentació del pla de recollida de dades a l'equip: la presentació realitzada es troba en annex F.

Finalment, per problemes de disponibilitat de l'equip, no es va iniciar la recollida de dades fins després del període vacacional. Es va decidir esperar dues setmanes abans de començar amb la recollida per tal d'arribar a un estat de règim: la fàbrica havia estat parada un mes i els processos d'arrencada i estabilització són lents.

Després de vacances, un nou responsable es va fer càrrec del projecte de reducció de Scrap: adquisició de dades i implementació de millores. L'èxit del projecte es van incloure en els seus objectius que es revisen a final d'any; per aquest motiu hi va haver una remuntada d'ànims per acabar (i per anar directe al gra amb l'aspecte negatiu que això comporta).

Finalment es van recollir les dades corresponents a 28 dies (l'ampliació va ser deguda al fet que les dades d'una setmana es van considerar finalment poc representatives). I en l'anàlisi es van respondre a les preguntes plantejades i a d'altres que van anar sorgint durant l'anàlisi. Es mostren a continuació els resultats més representatius.

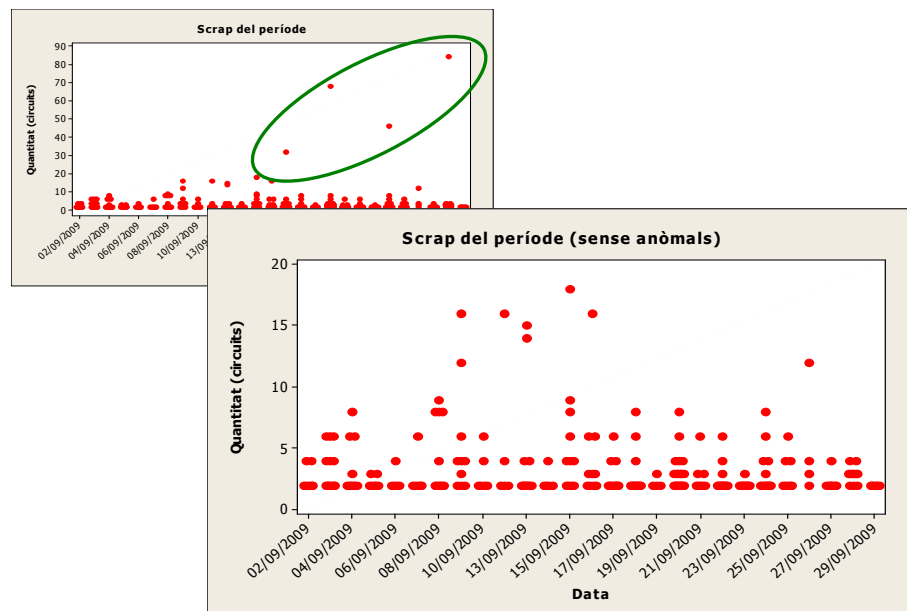


Abans de tot es va fer una caracterització de les línies i dels torns:

- La línia L5 és la que té una major rotació pel que fa a la quantitat i diversitat de projectes (fins a 11 projectes diferents). En canvi les línies L2 i L4 són les que es mantenen més estables (es produeixen 3 i 2 projectes respectivament).
- Les línies que tenen una major producció en quantitat són les L2 i L4
- Durant tots els torns es produeix gran diversitat de projectes, és a dir, no hi ha especialització. Tot i així són els torns 4 i 5 els que produeixen una varietat menor de projectes.
- El torn 3 és el que produeix més quantitat mentre que el 4 i 5 (torns de cap de setmana) són els que produeixen menys ja que treballen menys hores.

Un cop conegudes les línies es va passar a respondre cadascuna de les preguntes (referir-se a la pàgina 21):

1. Per mostrar de forma visual la quantitat actual de Scrap, es va elaborar un gràfic amb el nombre de circuits de cada observació per cada dia (Gràfic 5.1).



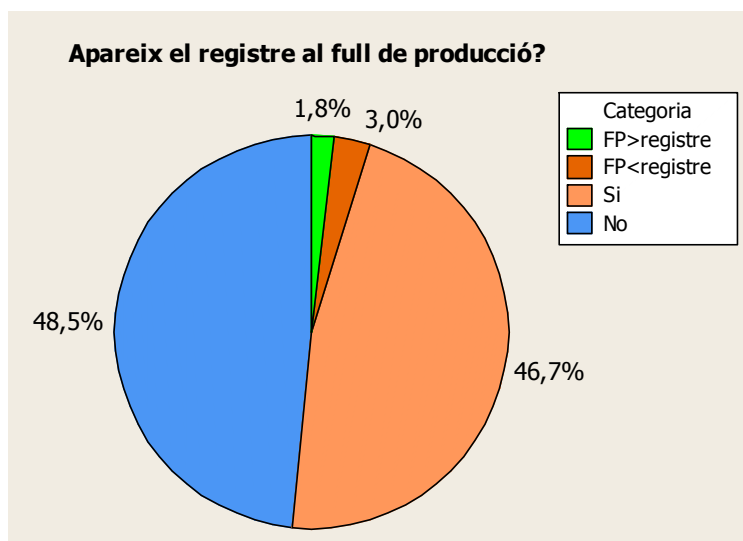
Gràfic 5.1: Quantitat de Scrap per dia. Extracció de valor anòmal



S'aprecien quatre observacions que difereixen de forma important de la resta i que corresponien (com es va poder verificar) a problemes puntuals; aquests van ser retirats de l'anàlisi.

En l'ampliació podem apreciar que la majoria de valors es troben entre 2 i 6 circuits, essent dos el mínim de circuits per panell.

2. Per respondre aquesta pregunta es van comparar els registres de la nostra base de dades amb els fulls de producció (FP) de dues setmanes: es va anotar llavors si la quantitat hi era o no, o si era major o menor (Gràfic 5.2).

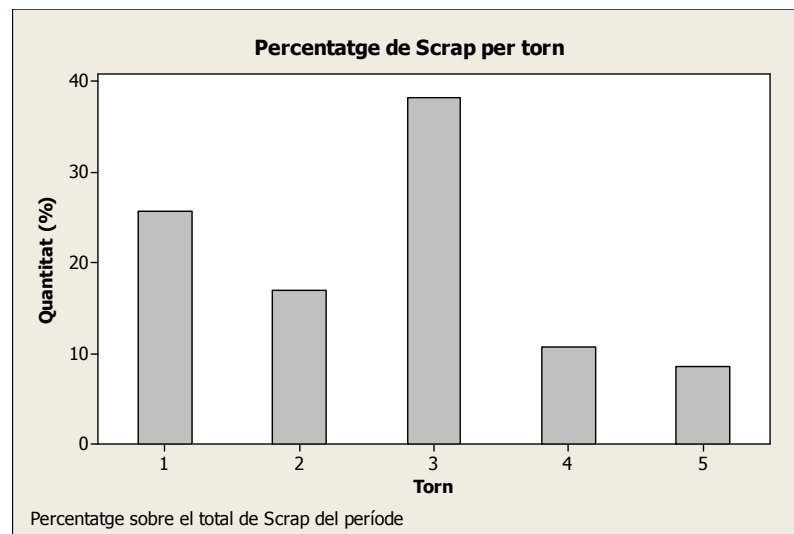


Gràfic 5.2: Diagrama pastís del percentatge de registres coincidents amb el full de producció

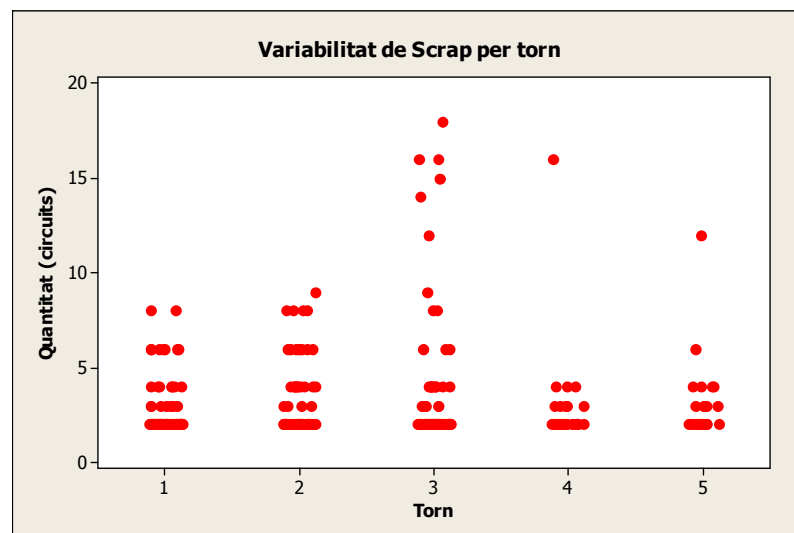
Es disposava d'aquesta informació per un 56,6% de les dades. S'observa que en gairebé la meitat dels casos, la informació de la nostra base de dades no estava anotada al full de producció, és a dir, el responsable de la línia o comandament no ho va anotar (i per tant es considera que no n'era conscient).

3.1 Per veure si en tots els torns es produïa la mateixa quantitat de Scrap es va realitzar una estratificació per torns (Gràfic 5.3) on es veu que el que acumula un percentatge sobre el total de Scrap major és el torn tres. Al mateix temps es va plantejar la pregunta sobre la variabilitat i es va fer el Gràfic 5.4. Es va deduir que era aquest mateix torn el que en tenia més; essent els 4 i el 5 els que en tenien menys.





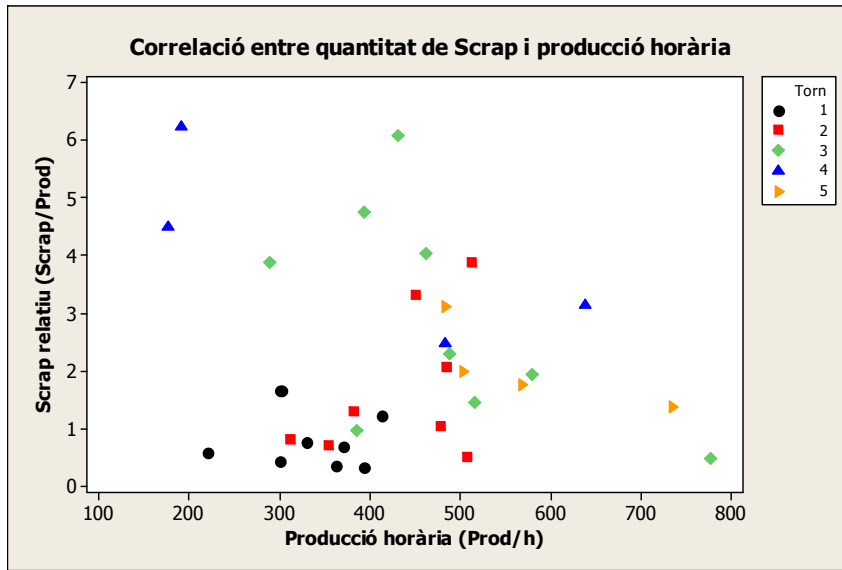
Gràfic 5.3: Percentatge de Scrap per torn



Gràfic 5.4: Variabilitat de Scrap per torn

Arran d'aquestes observacions es va plantejar el dubte de si el torn més ràpid era el que produïa més Scrap i per això es va realitzar el Gràfic 5.5: diagrama bivariant entre la producció horària i l'Scrap relatiu; cada punt correspon a una observació i les dades corresponen a les dues primeres setmanes d'estudi (es considera suficient per a la caracterització).





Gràfic 5.5: Correlació entre quantitat de Scrap i producció horària per torn

Les dades mostraven una tendència contrària a la que seria d'esperar: són els torns més ràpids els que provoquen menys Scrap mentre que els més lents són els que en produeixen més. S'aprecia que els torns 1 i 2 són els que tenen una dispersió menor mentre que el 3 és el que la té més gran (ja s'havia vist en el Gràfic 5.4)

3.2 Pel que fa a les línies, en realitzar el diagrama de Pareto no s'apreciaven diferències significatives entre unes i altres, si bé es pot dir que el 50% de l'Scrap es va realitzar en les línies 5 i 4.

3.3 En el diagrama de Pareto per màquines, es va detectar que són principalment la DEK, la Siplace, el forn i un dels transports entre una i altra màquina (transport pont) les que acumulen més d'un 75% dels defectes.

3.4 No s'apreciaven diferències significatives per referències ja que n'hi ha moltes. En canvi sí que els defectes es concentraven en quatre projectes que anomenarem A B C i D (acumulen un 66% del total)

3.5 No es va reportar bé la zona del circuit o els components afectats (gairebé sempre s'apuntava "varis"). Aquest fet és conseqüència d'un mal costum que hi ha a Tralarí de no usar tots els camps de les bases de dades. No obstant, en molts casos el motiu del defecte afecta a la totalitat del circuit o a molts components que no es poden reportar un a un.



4/5/6. No es van apreciar combinacions de sèries que provoquessin més Scrap. I tampoc es podien treure conclusions fermes sobre el fet que es produïssin més defectes en estats d'arrencada o de règim. Aquesta dada es va obtenir del full d'incidències de Scrap i el reportava el mecànic: en cas de que no haver estat reportat es va considerar règim. L'Scrap representava en la majoria de casos problemes puntuals que podien afectar a una o més plaques, per exemple: si el problema apareixia al forn s'havien de llençar la totalitat de plaques del seu interior (tenen capacitat per 15 plaques).

7. Per veure si l'Scrap estava relacionat amb les accions de manteniment, es va usar el planning que seguia (a nivell teòric) l'equip de manteniment. Com que finalment no es podia assegurar que el manteniment s'havia dut a terme a l'hora de l'Scrap es van considerar aquestes dades com a no fiables.

8/9/10. Tots els circuits excepte dos es dissenyen a l'estranger i el centre de Tralarí no té marge de maniobra per modificar-lo. No s'aprecien diferències pel que fa a l'Scrap en aquests dos dissenys. No es van detectar defectes que haguessin escapat un control visual. En cas d'existir més d'un defecte es va reportar en forma de comentari a la base de dades, però a nivell d'anàlisi, es va considerar el primer defecte produït al procés.

11. Tots els registres provenien de Scrap detectat a les línies de producció excepte en un cas en el que es va declarar en el lloc de reparacions.

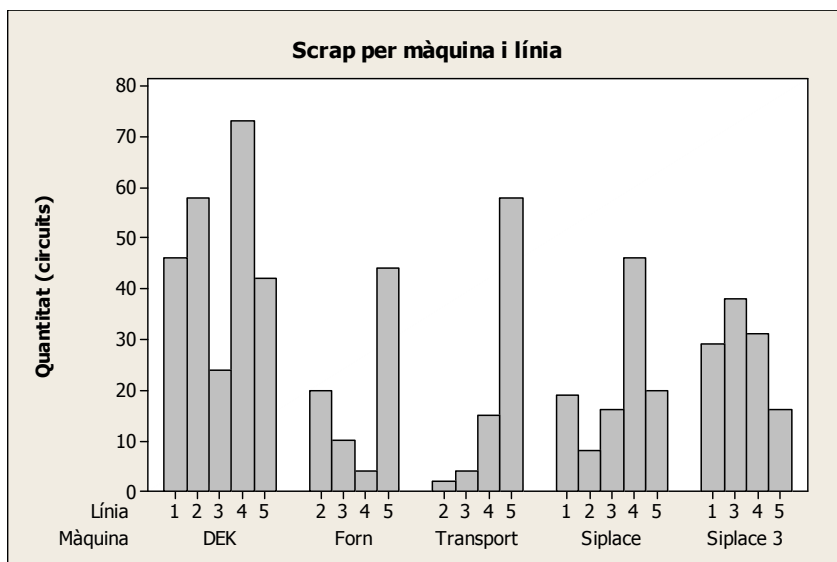
12/13/14/15. No es van poder respondre les preguntes referents a l'etapa de serigrafia i forn perquè no va ser possible recollir les dades: no existien registres accessibles que les continguessin. Al voltejador van caure 6/1053 circuits i no es van detectar problemes amb el *pusher*¹ (va sorgir com a pregunta perquè va ser un problema del passat que ja està resolt).

16. Per respondre aquesta pregunta i aprofundir en l'anàlisi es van realitzar diferents tipus d'estratificacions (eina bàsica de l'estadística descriptiva que permet arribar a l'origen dels problemes).

¹ El pusher és un cilindre amb extrem pla que empeny les plaques a la sortida de les màquines.



Un cop identificades les màquines que provocaven més Scrap es va verificar si els problemes es donaven en totes les línies per igual i es va construir el Gràfic 5.6.



Gràfic 5.6: Estratificació de l'Scrap per línia i per màquina

Es va veure que el problema del transport pont es concentrava en la línia L5, igual que els problemes amb el forn. Pel que fa a la DEK, la que funcionava millor i amb diferència era la de la L3. En les Siplace, si es miren totes com un conjunt sense diferenciar entre la 3 o la resta, no s'aprecien problemes específics en una línia concreta.

Per cadascuna de les màquines es va realitzar un Preto dels motius de Scrap i les conclusions van ser:

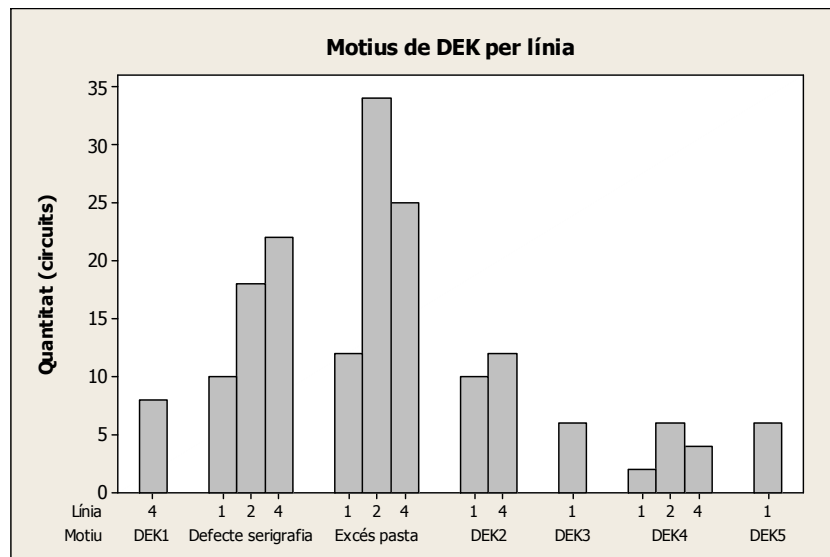
- DEK: els motius que expliquen un 75% de les observacions són la *manca* o *excés de pasta* o el genèric *defecte de serigrafia*.
- La Siplace 3 té problemes amb el *software* o de *components inserits de forma desplaçada* (80% de les observacions).
- Pel cas de la màquina Siplace (quan no s'especifica de quina es tracta) els motius són més variats: tornem a trobar *inserció errònia*, *manca de components* o *falta passar per una de les màquines* (quan passen dues plaques consecutives) o *falta de material*.



- Per al forn, tenim problemes de plaques que queden *enganxades*, o *averies* de la pròpia màquina o plaques que queden *muntades*.

Un cop determinades quines eren les màquines on es produïen més defectes, les línies en les que es concentraven i els problemes per cada màquina, es van analitzar els motius: es van elaborar els gràfics estratificats per línia motiu i màquina i se'n va desprendre que:

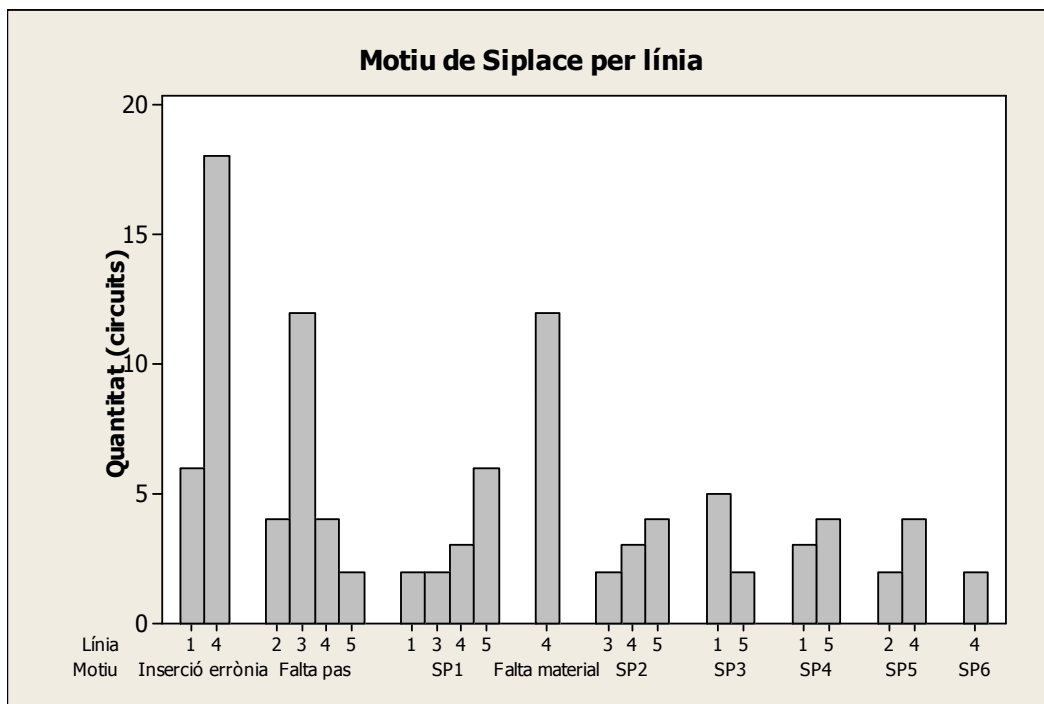
- Els problemes d'*excés de pasta* es concentraven en les DEK de L2 i L4 tal i com es mostra en el Gràfic 5.7.
- Els *defectes de serigrafia* es produïen principalment en L4 i L2 tal i com es mostra en el Gràfic 5.7.



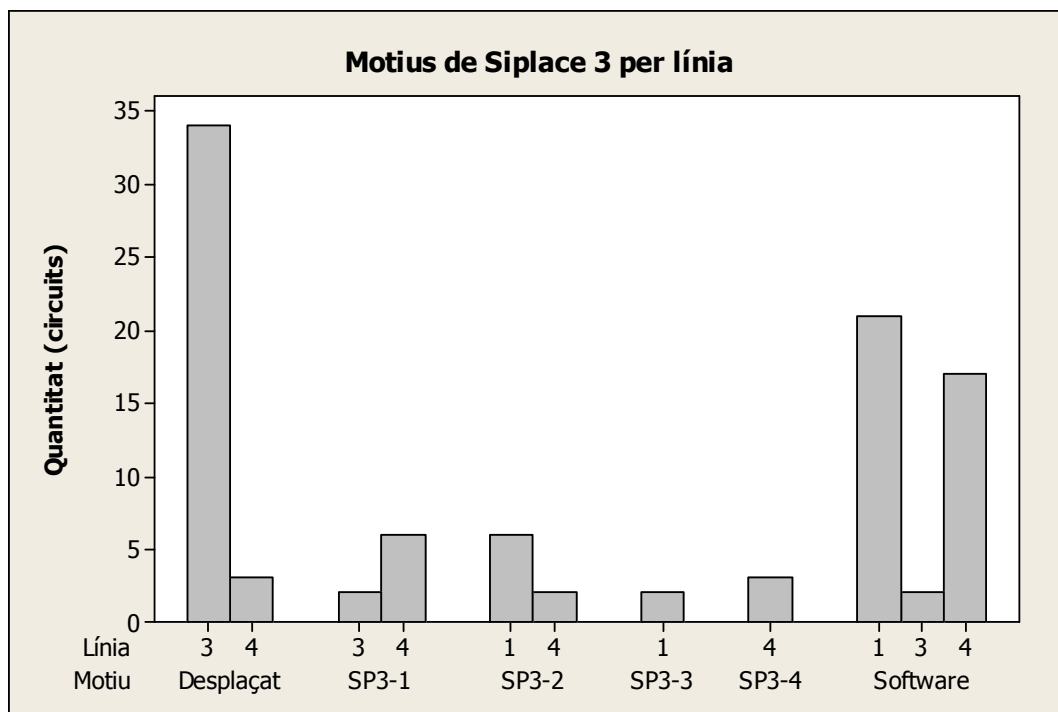
Gràfic 5.7: Estratificació dels motius de Scrap de la DEK per línia

- En el Gràfic 5.8 es veu que els motius de Scrap d'*inserció errònia* i *manca de material* es concentraven en les Siplace de la L4 i el motiu de *falta passar* per una de les màquines en la línia L3.
- Els problemes de *software* de la Siplace 3 es donaven majoritàriament en les línies L1 i L4 i el problema de *inserció de components desplaçats* en la L3 (Gràfic 5.9)





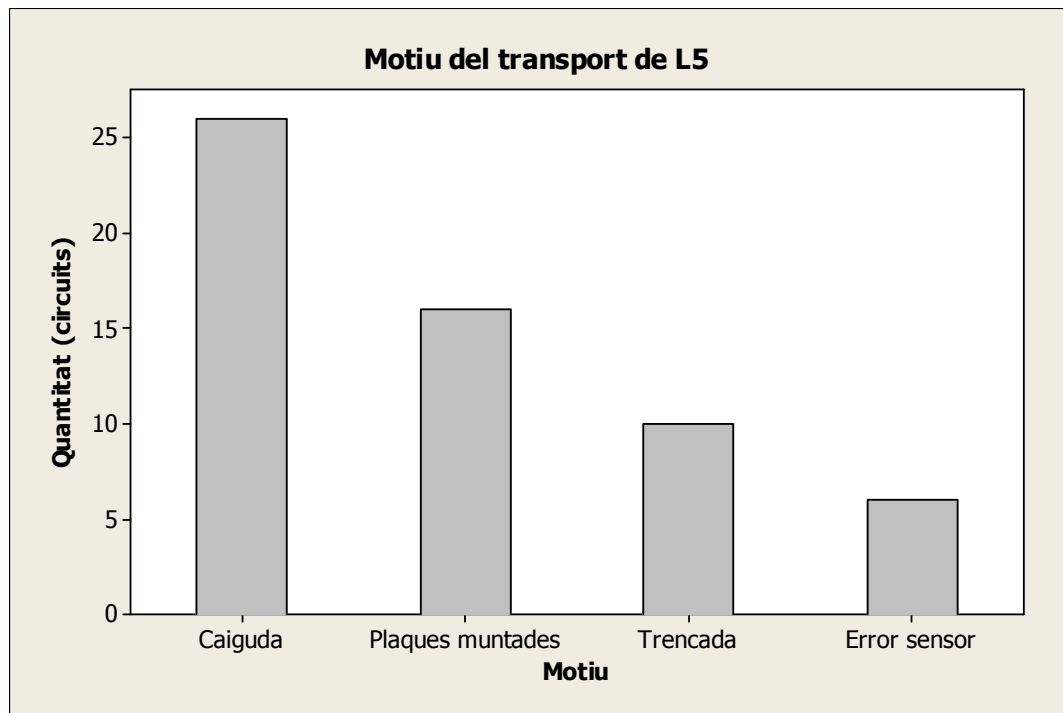
Gràfic 5.8: Estratificació dels motius de Scrap de les Siplace per línia



Gràfic 5.9: Estratificació de Scrap de la Siplace3 per línia



- El Transport pont només donava problemes en la línia L5 tal i com es mostra en el Gràfic 5.10.

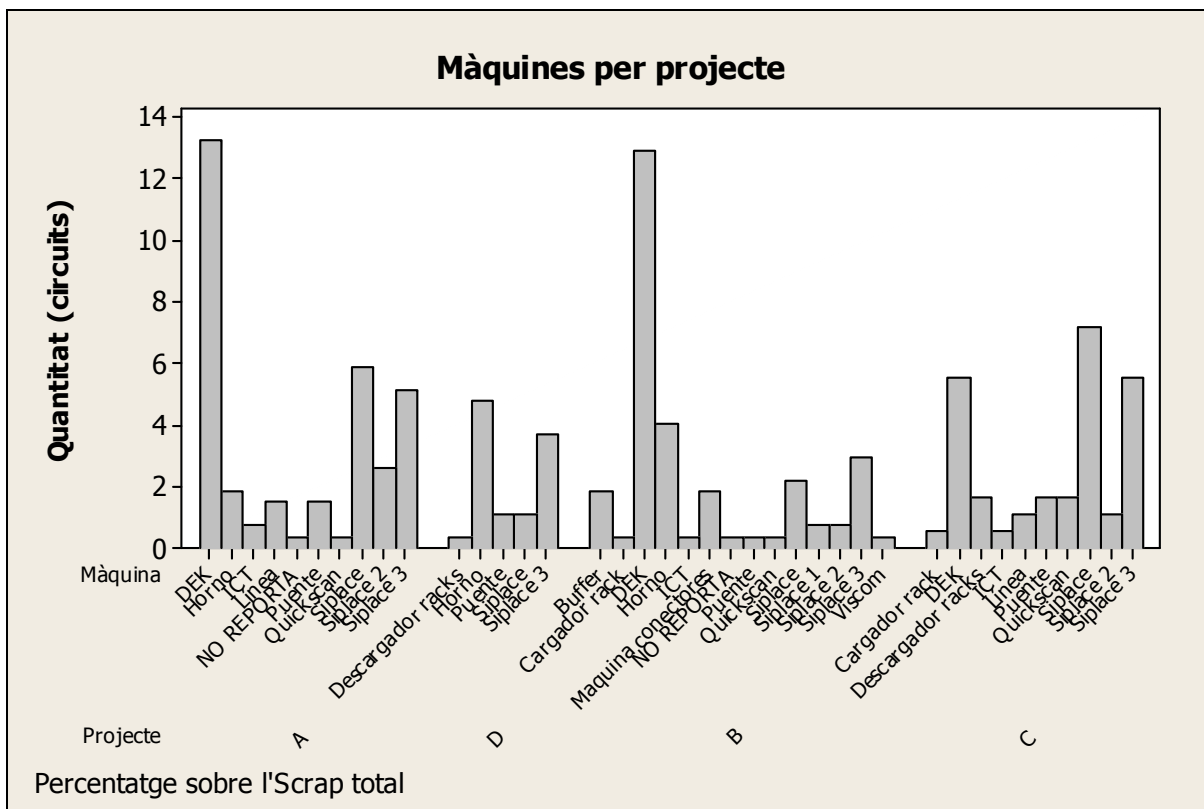


Gràfic 5.10: Motius de Scrap del transport de la línia L5

Finalment es va verificar si per cada projecte (A B C o D que agrupaven el major nombre de defectes) els problemes es concentraven en màquines determinades. Les conclusions extretes a partir del Gràfic 5.11 van ser:

- Els projectes A B i C són els que tenien principalment problemes en les DEK mentre que el projecte D no presentava problemes en aquesta màquina.
- Els projectes A i C són els que tenien més problemes a les Siplace.





Gràfic 5.11: Estratificació de màquines per projectes principals

No va ser possible fer un càlcul del cost econòmic ja que l’anàlisi setmanal de Scrap, que es basava en bases de dades diferents i no coincidia en la majoria dels casos amb la d’estudi.

Totes aquestes dades es van presentar a l’equip abans de donar l’etapa per finalitzada (la presentació utilitzada es troba en annex G).



6. Analitzar

El primer que es va fer en aquesta etapa va ser revisar els objectius i l'enfocament del projecte utilitzant tot el que s'havia après en l'etapa mesurar. En aquest punt, es va identificar un doble projecte de millora:

- Per una banda es tractava d'un **projecte problema**, és a dir, ens podíem centrar en la realització d'accions concretes per a l'eliminació de defectes un cop identificats els punts conflictius.
- Per l'altra, es tractava d'un **projecte oportunitat** ja que es podia millorar el procés en sí mateix: revisar i unificar bases de dades i compartir informació per una banda amb Circuits i el lloc de reparacions i per l'altra amb l'administrador per poder portar un control dels costos.

El primer projecte implicava millores a curt termini mentre que el segon implicava la creació d'un sistema de control de Scrap robust i fiable.

El dia de la presentació de l'etapa mesurar es va posar de manifest la necessitat de facilitar l'anàlisi de Scrap mitjançant les eines d'estadística descriptiva. Els treballadors, tot i tenir formació sobre aquestes eines, no estan familiaritzats en el seu ús. Es va anotar com a idea per un altre projecte Sis Sigma l'automatització del tractament de dades.

Després de realitzar una reunió formal amb el Champion es va decidir resoldre el projecte problema ja que s'acabava d'engegar un altre projecte per millorar la traçabilitat en aquesta part del procés productiu que afectaria directament al control de Scrap (augmentaria la fiabilitat de la recollida de dades).

Amb aquest nou enfocament es va **modificar el Project Charter** eliminant l'objectiu 1 i 3 que tractaven sobre el valor econòmic de l'Scrap i els circuits defectuosos que es trobaven al final de l'etapa circuits amb causes assignables a SMD (ja que en el període d'estudi no se'n va detectar cap). També es va re-definir la mètrica del segon objectiu tal com es mostra a la Taula 6.1:



Objectiu:	Mètrica inicial	Mètrica modificada	Valor objectiu
2. Reduir Scrap SMD	Scrap SMD/producció setmanal SMD (‰)	Scrap setmanal (Circuits)	50% de la quantitat actual*

Taula 6.1: Modificació dels objectius del Porject Charter

* Aquets nou objectiu es va fixar juntament amb el Champion i es va decidir que, donat que la reducció econòmica era del 50%, la reducció en quantitat (mesurada en circuits) havia de ser la mateixa.

Un cop reformulat l'objectiu es va iniciar la fase motor de la metodologia Sis sigma, és a dir, l'aplicació del mètode científic a la millora mitjançant els processos d'inducció i de deducció. Gran part del procés inductiu ja s'havia realitzat en l'etapa precedent. Ara era necessària una formalització d'aquestes hipòtesis i la seva comprovació mitjançant un procés deductiu.

Així doncs es va resoldre que eren les línies que tenien una menor rotació les que produïen més; el fet d'efectuar menys canvis implica tenir les màquines parades menys temps i tenir més temps de producció. De la mateixa manera, són les línies que efectuaven més canvis de projecte les que generaven més Scrap; es va posar de manifest que els canvis porten associats un Scrap. Aquí es va fer evident una primera oportunitat de millora.

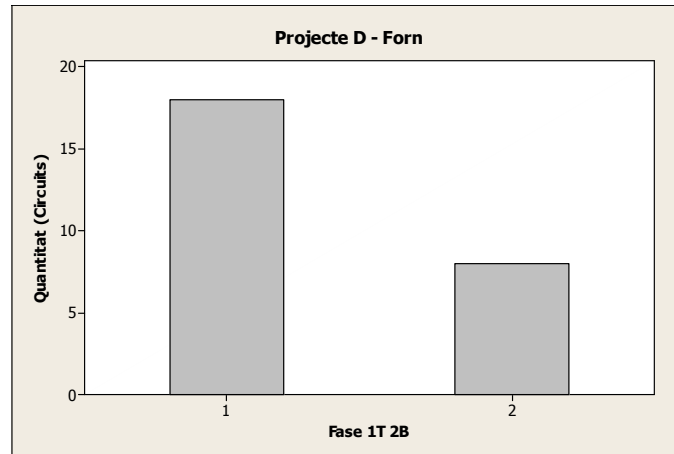
Els torns 4 i 5 eren els que presentaven una variabilitat de Scrap menor i al mateix temps els que en provocaven menys. Això era degut al fet que tenien menys hores de producció juntament amb el fet que produïen menys diversitat de projectes i per tant sèries més llargues (en resum feien menys canvis).

El forn de la L5 era el més vell i per tant el que donava més problemes. El transport pont d'aquesta mateixa línia va donar sempre problemes i ja existia un projecte que tenia com a objectiu canviar-lo.

El projecte D tenia menys problemes en la DEK perquè es tractava d'un projecte senzill compost principalment de resistències i condensadors (sense components molt petits ni connectors). I per tant tenia una plantilla per serigrafiar més simple. En canvi la complexitat dels projectes A B i C (en ordre de més a menys complex) fa que sigui més crítica la posició de l'estany i que per tant es generi més Scrap.



Pel que fa al forn, el projecte en el que es genera més Scrap era el D ja que la placa base era de CEM (material semblant al paper premsat) que es deforma molt en augmentar la temperatura. La resta de projectes es feien amb fibra de vidre de més qualitat (FR4). També es va veure que la guia central del forn passava pel mig de dos components crítics en fer la segona cara. Analitzant les dades es va poder comprovar que efectivament l'Scrap es generava en la fase 1 (Top) en produir la fase 2 (Bottom).



Gràfic 6.1: Scrap del projecte D produït al forn per fase (1Top o 2Bottom)

Es va preparar un *brainstorming* per determinar les possibles causes de Scrap per cada motiu en el qual van participar tots els membres de l'equip excepte d'administrador. Previ a la reunió, es van seleccionar i clarificar els motius a tractar: es van tractar els motius principals de les cinc màquines que acumulaven un percentatge de Scrap del 82%.

La reunió es va preparar amb 12 dies d'antelació i es va dividir en dues sessions planificades en dies consecutius. Juntament amb la invitació, es va enviar l'objectiu de la sessió i la llista de problemes a tractar per tal de permetre una reflexió prèvia.

Donat que el volum de problemes a tractar era elevat i que l'equip estava acostumat a treballar conjuntament, es va considerar més adequat realitzar un *brainstorming* usant el mètode "pissarra": s'enuncia el títol del problema i per torns cada participant dona una idea de possible causa. El més complicat va ser entrar en la dinàmica de respecte dels torns de paraula i de no criticar el que s'havia dit. D'aquesta manera es van aconseguir llargues llistes de possibles causes per cada motiu



En una segona etapa, i intentant sempre aconseguir consens, es van seleccionar conjuntament les més provables. En certs casos es van prioritzar les causes a estudiar.

Finalment i amb l'ajuda de dos membres de l'equip, es van ordenar les causes sota els ítems: mesura, material, ma d'obra, medi ambient, mètode i màquina i es van elaborar els **diagrames d'Ishikawa**. Aquests diagrames es troben en annex H. Es van verificar les causes que s'havien prioritzat, tant per la seva fàcil comprovació com per ser considerades les més provables.

Es va considerar sempre com a possible causa la **formació del personal**. Les màquines que componen aquest sistema productiu són molt sensibles i s'han de tractar amb tacte. Hi ha molts operaris que hi tenen accés i tot i haver seguit formacions específiques sempre hi ha riscos associats a una mala manipulació. Val a dir també que els equips de Tralarí estan dissenyats per a la producció massiva en sèrie i no estan preparats per als canvis als quals estan sotmesos.

A continuació s'especifiquen les comprovacions efectuades en cadascuna de les màquines (les possibles causes associades estan encerclades en els diagrames d'Ishikawa de l'annex H) i els resultats obtinguts:

DEK

Es van verificar els *offsets* que són els paràmetres d'ajust de la pantalla. Idealment aquests paràmetres haurien d'estar a zero, però sempre és necessari fer petits ajustos per absorbir els errors del proveïdor. Un cop ajustats, aquests paràmetres s'haurien d'associar a cada pantalla i restar constants. Es van comprovar les desviacions dels programes en dies consecutius i es va veure que cada dia tenien uns *offsets* diferents.

Es van fer experiments per identificar el motiu que feia que cada cop que s'iniciava la producció amb una pantalla diferents s'haguessin d'ajustar aquests paràmetres però no es va arribar a identificar. A nivell mecànic es va comprovar que funcionaven correctament.

Es va identificar com a possible causa de *serigrafia errònia* el desajust de la taula on es recolzen les plaques. Val a dir que ja s'estaven desenvolupant taules específiques per a cada projecte amb el contorn retallat en funció de les dimensions de cada panell.



Un aspecte crític era la neteja de les pantalles de serigrafia: aquestes queden brutes d'estany dins les ranures i si no es netegen de forma periòdica y adequada, hi ha excessos d'estany que van depassant les àrees marcades fins a crear ponts o excés de pasta. En un projecte passat es va determinar la periodicitat amb la que s'havien de netejar les pantalles.

Es va verificar que el paràmetre de periodicitat de neteja dels programes estigués dins de les toleràncies definides ja que aquest es podia modificar directament en el programa quan es considerava necessari en curs de producció (per exemple perquè havien aparegut defectes tipus *ponts*). El resultat va ser estaven dins les toleràncies.

Amb l'objectiu de continuar buscant la causa que provocava defectes es va verificar que les màquines realitzaven la neteja correctament (des d'un punt de vista mecànic). Es va detectar un element de goma intern (*cleaner*) que no es trobava en les condicions òptimes.

Per realitzar la neteja és necessari el paper i el líquid netejador. Quan la màquina es queda sense algun d'aquests elements es para i encén un senyal d'alarma per tal d'avisar a l'operari. Es va constatar que els operaris de vegades reiniciaven el cicle de neteja sense haver repostat el material (ja que la màquina així ho permet).

Siplace

Els problemes de components inserits al revés tenien l'inconvenient que escapaven el control visual. En canvi sí que es detectaven a la ICT. Es disposava d'un sistema que alertava per pantalles quan s'havien detectat 15 problemes d'aquest tipus en una mateixa sèrie de producció, i s'iniciaven les accions correctores que es creien convenients.

Un cop a la setmana es verificaven les pipetes ¹de les màquines. En cas necessari es canviaven. Però es donava sovint el cas que la pipeta començava a fallar a mitja setmana i s'havia de tornar a canviar. El mal funcionament es detectava quan apareixen defectes del tipus *inserció desplaçada* o *components al revés*; massa tard ja que l'Scrap ja havia aparegut.

¹ Component ceràmic en forma d'embut que agafa el component fent el buit a l'interior.



Aquestes pipetes tenn una entrada d'aire molt petita i sovint quedava bloquejada per impureses o pols. Es va detectar que això ocorria amb més freqüència a la L1 ja que estava més a prop de la finestra i per tant acumulava més pols.

S'intuïa que el problema real que havia estat catalogat com a "Fallada de software" en la Siplace 3 podia estar associat a un altre problema i haver estat reportat de forma errònia. Per verificar-ho es va fer un seguiment exhaustiu d'aquest incident durant una setmana. El resultat va ser que es va detectar un error en el software de la Siplace3 de la línia L4.

Forn

Es va identificar com a causa principal de la majoria de motius de Scrap generats al forn la guia central.

Transport pont

Va xocar que la línia on hi havia més problemes amb el transport pont fos la L5 ja que és on hi havia menys intervencions de manteniment. En canvi sí que hi havia moltes intervencions en la L1 que curiosament no produïa Scrap. Es va seguir de prop aquest fenomen i es va veure que el problema era l'*stopper* de la L5. Aquest element va ser inserit posteriorment a l'adquisició de la màquina i no s'havia inclòs en els procediments de manteniment de les màquines.



7. Millorar

A partir de les conclusions obtingudes a l'etapa analitzar es va fer una llista de propostes de millora i se'n van seleccionar aquelles que podien tenir un balanç impacte - esforç ajustat a la millora que podien generar.

Es va organitzar una reunió amb els responsables de manteniment, producció i qualitat per tal de fer la llista de millores. Moltes propostes ja havien sorgit durant les verificacions i que en certs casos es van dur a terme al mateix temps.

DEK

Fent proves del correcte funcionament de l'equip de neteja de les DEK es va observar que les gomes del *cleaner* estaven usades. Com que no és habitual canviar aquest element, no estava disponible al magatzem. Es va fer una comanda al proveïdor que té un termini de servei de 20. La millora va quedar pendent d'implementar però es va assignar un responsable per fer-ne el seguiment.

A l'etapa analitzar es va observar que es podia fer cas omís a l'alarma indicant manca de material per realitzar la neteja (paper o líquid netejador). Per resoldre aquest fet i impedir que es produís amb la pantalla bruta, es va decidir bloquejar a nivell de software la permissivitat de continuar produint.

El detall del procés d'implementació amb l'assignació de responsables de les millores en la DEK es troba resumit a la Taula 7.1.

Tasca	Responsable	Data prevista	Data implementació	Verificació	Status
Canviar <i>cleaner</i>	Manteniment	Desembre '09		Pendent	En curs
Bloqueig arrencada sense paper/líquid	Qualitat	Setmana 48	Setmana 48	Ok	Tancada

Taula 7.1: Millores seleccionades per la DEK



Siplace

A l'etapa precedent es va localitzar el problema de software que afectava a la Siplace3 de la línia L4 (que ja es posava de manifest al Gràfic 5.3 de l'etapa mesurar). Es va reparar el problema i va quedar pendent dur a terme la mateixa acció a la mateixa màquina de la línia L1.

Es van detectar, en l'etapa mesurar, problemes *d'inserció errònia de components/inserció al revés* (veure el Gràfic 5.8). Aquestes plaques defectuoses s'identificaven en el control ICT després d'haver escapat el control visual. A partir de 15 plaques trobades amb aquest defecte se n'estudiava l'origen. Per evitar que tantes plaques passessin amb aquest defecte es va acordar abaixar el límit d'alarma a 8.

També es va incloure en el manual de manteniment la revisió i neteja de les pipetes dos cops per setmana (anteriorment es feia un cop). I finalment, per evitar que la pols que entrava per les finestres bloquegés les pipetes de la línia L1, es va decidir blindar les finestres amb filtres.

El detall del procés d'implementació de les millores en les Siplace es troba resumit en la Taula 7.2.

Tasca	Responsable	Data prevista	Data implementació	Verificació	Status
Reparar Software Siplace3 L4	Manteniment	Setmana 46	Setmana 46	Ok	Tancada
Reparar Software Siplace3 L1	Manteniment	Setmana 46	Pendent	Pendent	Pendent
Descens límit d'alarma del motiu <i>inserció al revés</i>	Qualitat	Setmana 48	Setmana 48	Pendent	En curs
Revisar pipetes dos cops per setmana	Manteniment	Setmana 48	Setmana 48	Pendent	En curs
Blindar finestres	Manteniment	Gener '09	Pendent	Pendent	Pendent

Taula 7.2: Taula de millores seleccionades per les Siplace



Forn

Es va veure en l'etapa mesurar que els problemes del forn es concentraven a la línia L5 (veure Gràfic 5.6 de la pàgina 32). Per aquest motiu, es va decidir dur a terme les accions de millora en aquesta línia. Es va canviar la guia central que és la que provocava més defectes en el projecte D (tal i com es va veure en el Gràfic 6.1 de la pàgina 39) i es va calibrar l'encoder d'obertura al mateix temps que es va fer un manteniment profund.

El detall de les millores per al forn es troba resumit en la Taula 7.3.

Tasca	Responsable	Data prevista	Data implementació	Verificació	Status
Canvi de la guia central del forn L5	Manteniment	Setmana 47	Setmana 47	Ok	Tancada
Manteniment a fons del forn de L5	Manteniment	Setmana 47	Setmana 47	Ok	Tancada
Manteniment a fons del forn de L2	Manteniment	Setmana 47	Pendent	Pendent	Pendent

Taula 7.3: Taula de millores seleccionades per al forn

Transport pont

A l'etapa analitzar es va identificar com a causa generadora de Scrap l'*stopper* de la L5. Recordem que el transport pont de la línia L5 és la que acumulava amb diferència la major part de Scrap (referir-se al Gràfic 5.6 de la pàgina 32). Es va reparar l'*stopper* i es va incloure en els procediments de manteniment de les màquines la seva revisió. El detall de les millores per al transport pont es troba resumit en la Taula 7.4.

Tasca	Responsable	Data prevista	Data implementació	Verificació	Status
Reparar stopper transport L5	Manteniment	Setmana 47	Setmana 47	Ok	Tancada
Incloure verificació <i>stopper</i> en acions de manteniment	Manteniment	Setmana 47	Pendent	Pendent	En curs

Taula 7.4: Taula de millores seleccionades per al transport pont



Altres

Degut al fet que es va considerar com a causa comú en tots els defectes la manca de formació del personal es va decidir emprendre accions per pal·liar aquest fet. Es va crear un manual de manteniment que recopilava les accions a emprendre sota l’aparició dels defectes que més apareixien seguint un ordre de més a menys probabilitat de causa.

El primer que es va fer va ser estandarditzar la identificació de defectes, es a dir, assegurar que tothom anomenava a un mateix fet de la mateixa manera. Això es va fer per als motius de Scrap que apareixien amb més freqüència amb fotografies i dibuixos. Es mostra un exemple per a defectes de serigrafia en la Figura 7.1.

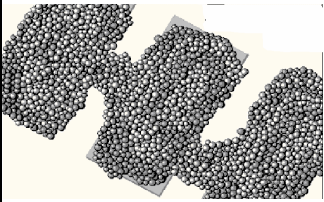
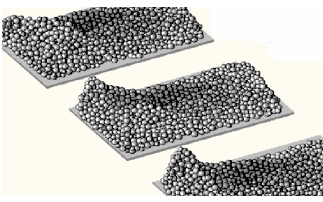

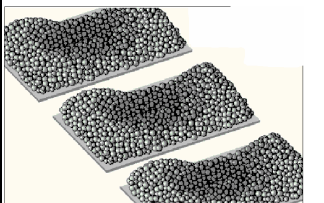
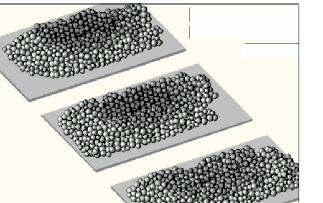
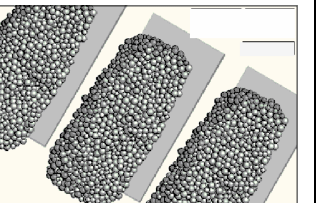
Ponts / creuaments	Excés de pasta	Excés altura
		
Coixí	Incomplet	Desplaçada
		

Figura 7.1: Exemple de plantilla d’identificació de defectes de serigrafia

En una segona fase es van elaborar els diagrames de flux de les accions a desenvolupar juntament amb el procediment corresponent. Alguns d’aquests procediment ja existien a Tralarí però d’altres estaven pendents de redactar. Aquestes accions eren les que es duïen a terme fins al moment d’una forma més o menys intuïtiva, però la formalització del procés facilitaria la distribució de tasques de manera que, segons la gravetat de l’incident, els responsables de línia poguessin iniciar la identificació de causes sense esperar al personal de manteniment.



També es van clarificar les condicions en les que s'havia de parar la línia per fer les reparacions en cas d'alarma d'aparició de Scrap¹ així com les condicions que s'havien de complir per reiniciar-la.

Pel que fa a les DEK es va elaborar un quadre de defecte – causa que permet anar directament a l'origen del problema quan apareix i dona una idea a l'operari d'on s'ha d'actuar per reiniciar la producció el més ràpidament possible. Aquest quadre es troba en annex I.

Un cop el manual acabat es va decidir fer una formació al personal (tant de manteniment com de línia) per part dels propis caps de qualitat i manteniment, i fer un seguiment durant un període de dues setmanes per verificar que s'estava duent a terme el que s'havia estipulat al procediment. Totes aquestes tasques queden recollides en la Taula 7.5.

Paral·lelament també es va modificar el fitxer Excel que composava la base de dades interna al departament (veure Figura 5.3) tot incloent els nous camps que van ser necessaris per aquest estudi i per tal de facilitar el control en el futur. Alguns dels camps es van eliminar per no ser necessaris de forma a deixar un fitxer que s'usava en la seva totalitat.

Finalment es va comunicar formalment al departament de producció el risc de Scrap que comportaven els canvis de projectes en les línies tot mostrant les dades del Gràfic 5.5 de la pàgina 30 i les deduccions al respecte de l'etapa analitzar. En aquest sentit el departament no té gaire marge de maniobra ja que les sèries de producció es defineixen en funció de la demanda, però tot i així es va incorporar com a criteri d'elecció.

¹ Per exemple, fins al moment es parava la línia quan apareixien més de tres defectes en una hora o dos de consecutius. Però si la tirada de producció estava al final (p.e. quedaven 20 plaques per produir) des de producció es demanava de continuar.



Tasca	Responsable	Data prevista	Data implementació	Verificació	Status
Clarificar motius de Scrap	Qualitat	Setmana 47	Setmana 48	Ok	Fet
Elaborar diagrames de flux d'accions per cada motiu	Manteniment	Setmana 47	Setmana 48	Ok	Fet
Recopilar procediments	Manteniment/ Qualitat	Setmana 47	Setmana 48	Ok	Fet
Redactar procediments mancants	Manteniment/ Qualitat	Setmana 48	Pendent	Pendent	En curs
Ajuntar documentació en manual	Manteniment	Gener '09	Pendent	Pendent	Pendent
Formar al personal	Manteniment/ Qualitat/ Producció	Gener '09	Pendent	Pendent	Pendent

Taula 7.5: Taula de millores seleccionades per a unificar criteris i formació



8. Controlar

Degut al retràs que va patir el projecte en els últims dos mesos (poca disponibilitat de l'equip) no va ser possible desenvolupar l'etapa controlar en la seva totalitat. Només es van poder verificar amb les dades d'una setmana els següents aspectes:

1. Durant la setmana de control no es va registrar Scrap en el projecte que provocava defectes la guia central del forn de la L5 (tot hi haver efectuat una producció molt llarga d'aquest projecte en aquesta setmana) pel que es va catalogar aquest defecte com a solucionat.
2. No es van registrar problemes de bloqueig de software en la Siplace3 de la L4 (curiosament tampoc se'n van detectar en la L1 on l'acció de millora encara estava pendent d'implementar).

Es va considerar necessari realitzar un control durant un període de temps més llarg per tal de determinar si les millores havien tingut un efecte positiu en la reducció de Scrap o si les millores observades eren fruit de les fluctuacions del propi procés.

En conclusió no es va poder verificar si es va arribar a l'objectiu fixat des de l'inici, aquesta verificació i seguiment es va deixar en mans de l'equip, que encara tenia pendent la implementació d'algunes millores.



Conclusions

La realització d'aquest projecte ha estat possible gràcies al treball conjunt d'un equip de persones amb una motivació exemplar per desenvolupar projectes de millora. Tots ells han mostrat gran professionalitat malgrat tenir una disponibilitat de temps molt limitada.

L'objectiu de reducció de Scrap va ser fixat pel cap de departament sota l'ordre de reducció de costos sorgit de la màxima direcció. Així doncs, aquest valor no respon a un anàlisi de la capacitat de les línies de producció. S'ha de considerar que l'any precedent es va aconseguir reduir el cost de Scrap en un 40%.

Malgrat l'objectiu ambiciós fixat, s'han aconseguit implantar millores que han permès assolir una part d'aquest objectiu i s'espera que amb el seguiment i la implantació de la resta encara millorarà considerablement.

Les millores seleccionades no requereixen grans canvis ni inversions sinó que sorgeixen a partir dels resultat d'un estudi estadístic i anàlisi del procés (basat en dades fiables). En aquest sentit, la metodologia Sis Sigma proporciona una estructura ordenada per assolir els objectius sense oblidar cap aspecte.

Recomanacions

Seria important continuar fent un seguiment de la implantació de les millores i de control per verificar si aquestes tenen efectes positius en la reducció de Scrap.

Tanmateix, tal i com es va detectar en l'etapa analitzar seria important automatitzar el tractament de dades de Scrap per tal de permetre un control en temps real. També seria recomanable automatitzar el procés d'adquisició de dades i assegurar la seva fiabilitat així com uniformitzar informació en les diverses bases de dades.





Agraïments

Agraeixo a Marianna Ramírez, qui vaig conèixer al curs de postgrau de Lean Sis Sigma, la seva ajuda per introduir-me a l'empresa i el seu suport en temes burocràtics i administratius.

També agrair als tot l'equip Sis Sigma (Claudia, Sergio, Jose, Juan Manuel, Antonio, Alfredo) la seva dedicació, ja que tot i no disposar de gaire temps, sempre m'han rebut amb il·lusió i m'han dedicat la seva atenció quan els he necessitat. També agrair a en Jordi, la fe que ha dipositat en aquest projecte.

Especialment al professor i tutor Xavier Tort-Martorell la seva ajuda i recolzament al llarg de tot el procés, perquè és una persona capaç de transmetre, guiar i fer entendre tot respectant l'elecció personal.

Finalment agraeixo a tota la gent que s'ha ofert per ajudar-me tant en temes de projecte com de suport moral. Una abraçada als companys de departament, família i amics.

A tots gràcies per ajudar-me a créixer tant personal com professionalment.





Bibliografia

- [1] GRIMA P., MARCO LI., TORT-MARTORELL X. *Programes de millora Lean Sis Sigma. Nivell Black Belt*. Materials didàctics del curs de Postgrau de Lean Sis Sigma ofertat per la "School of Professional & Executive Development" de la Universitat Politècnica de Catalunya
- [2] MIKEL HARRY, PH. D., AND RICHARD SCHROEDER. *Six Sigma, the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations*. New York: Currency, 2000.

Bibliografia complementària

BREYFOGLE III F.W. *Implementing Six Sigma*. Edicions Wiley-Interscience, 1999.

MAGNUSSON K., [et al.]. *Seis Sigma. Una estratègia pragmàtica*. Barcelona Edicions Gestión 2000, 2006.

PANDE P.S., NEUMAN R.P., CAVANAGH R.R. *The Six Sigma Way*. Edicions McGrawHill, 2000.

PANDE P.S., NEUMAN R.P., CAVANAGH R.R. *The Six Sigma Way. Team Fieldbook*. Edicions McGrawHill, 2002.

Web

iSixSigma: <http://www.isixsigma.com>

