



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

# **ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAJAS B1 EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE CARTÓN ONDULADO**

AUTOR: BORJA MAS CABO

TUTOR: RAÚL FRANCISCO OLTRA BADENES

**Curso Académico: 2018-19**

## **RESUMEN**

El presente Trabajo de Fin de Grado surge como resultado de la labor desempeñada por el alumno en el periodo de prácticas en empresa durante 9 meses. El objetivo principal de dicho trabajo es lograr una mejora en el proceso de producción de las cajas de cartón tipo B1 mediante el uso de la metodología "Lean 6 sigma", en una empresa dedicada a la fabricación de cartón ondulado, en la provincia de Valencia (Smurfit Kappa).

El trabajo se ha centrado en los problemas que generan un gran número de devoluciones (producto no conforme) para, mediante la aplicación de la metodología "Lean 6 sigma", tratar de obtener soluciones que mejoren esta situación.

La realización del proyecto se ha llevado a cabo durante los cinco últimos meses del periodo de prácticas.

Las conclusiones obtenidas del trabajo se han resumido en un plan de acciones en el que se ha definido las tareas a realizar y el departamento involucrado en cada una de ellas.

Se ha comunicado a los equipos de máquina las nuevas verificaciones a realizar, además de incluir un nuevo panel de control visual en la máquina.

La realización de diagramas de Ishikawa, histogramas, diagramas de cajas y regresión lineal ha permitido estudiar y comprobar la relación entre las causas de los problemas y los defectos.

Finalmente se ha conseguido mejorar la eficacia productiva, produciendo menos defectos en las cajas y ahorrando costes considerables a la empresa.

**Palabras clave:** 6 sigma, mejora continua, DMAIC, proceso, metodología.



## RESUM

El present Treball de Fi de Grau sorgeix com a resultat de la tasca exercida per l'alumne en el període de pràctiques en empresa durant 9 mesos. L'objectiu principal d'aquest treball és aconseguir una millora en el procés de producció de les caixes de cartó tipus B1 mitjançant l'ús de la metodologia Lean 6 Sigma, a una empresa dedicada a la fabricació de cartó ondulat, a la província de València (Smurfit Kappa).

El treball s'ha centrat en els problemes que generen un gran nombre de devolucions (producte no conforme) per, mitjançant l'aplicació de la metodologia Lean 6 Sigma, tractar d'obtenir solucions que milloren aquesta situació.

La realització del projecte s'ha dut a terme durant els cinc últims mesos del període de pràctiques.

Les conclusions obtingudes del treball s'han resumit en un pla d'accions en què s'ha definit les tasques a realitzar i el departament involucrat en cadascuna d'elles.

S'ha comunicat als equips de màquina les noves verificacions a realitzar, a més d'incloure un nou panell de control visual a la màquina.

La realització de diagrames d'Ishikawa, histogrames, diagrames de caixes i regressió lineal ha permès estudiar i comprovar la relació entre les causes dels problemes i els defectes.

Finalment s'ha aconseguit millorar l'eficàcia productiva, produint menys defectes en les caixes i estalviant costos considerables a l'empresa.

**Paraules clau:** 6 sigma, millora contínua, DMAIC, procés, metodologia.



## **ABSTRACT**

The Final Degree Work arises as a result of the work performed by the student in the internship period during 9 months. The main objective of this work is to achieve an improvement in the production process of type B1 cardboard boxes by using the methodology "Lean 6 sigma", in a company dedicated to the manufacture of corrugated cardboard, in the province of Valencia (Smurfit Kappa).

The work has focused on the problems that generate a large number of returns (non-conforming product) to, through the application of the methodology "Lean 6 sigma", try to obtain solutions that improve this situation.

The realization of the project has been carried out during the last five months of the internship period.

The conclusions obtained from the work have been summarized in a plan of actions in which the actions to be carried out and the department involved in each of them have been defined.

It has been communicated to the machine equipment the new verifications to be made, in addition to including a new visual control panel on the machine.

The realization of Ishikawa diagrams, histograms, box diagrams and linear regression has allowed us to study and verify the relationship between the causes of the problems and the defects.

Finally, it has been possible to improve the productive efficiency, producing fewer defects in the boxes and saving considerable costs to the company.

**Keywords:** 6 sigma, continuous improvement, DMAIC, process, methodology.



## Contenido

1.- INTRODUCCIÓN .....	11
2. ANÁLISIS DEL ENTORNO .....	12
2.1 LA CAJA DE CARTÓN ONDULADO .....	12
2.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA CAJA .....	13
3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	14
3.1 PLAN ESTRATÉGICO .....	15
3.2 ORGANIGRAMA .....	15
3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	16
3.4 NECESIDAD DE MEJORA .....	17
4. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS .....	18
4.1 METODOLOGÍA LEAN 6 SIGMA .....	18
4.1.1 DEFINIR .....	19
4.1.2 MEDIR .....	20
4.1.3 ANALIZAR .....	20
4.1.4 MEJORAR .....	20
4.1.5 CONTROLAR .....	21
4.2 ESTRATEGIA Y CONCEPTOS BÁSICOS DE LEAN 6 SIGMA .....	22
4.3 ORGANIZACIÓN PARA LEAN 6 SIGMA .....	23
4.4 HERRAMIENTAS DEL LEAN 6 SIGMA .....	24
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	28
5.1 PROCESO DE CONVERTING EN CAJAS TIPO B1 .....	28
6. DESCRIPCIÓN PROBLEMÁTICA .....	32
7. PROPUESTA DE SOLUCIÓN: METODOLOGÍA LEAN 6 SIGMA .....	33
7.1 ETAPA DEFINIR .....	33
7.1.1 MAPAS DEL PROCESO .....	33
7.1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	36
7.1.3 CUADRO DEL PROYECTO .....	40
7.2 ETAPA MEDIR .....	40
7.2.1 CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE CALIDAD .....	40
7.2.2 RECOPIACIÓN DE DATOS .....	42
7.3 ANALIZAR .....	44
7.3.1 ANÁLISIS DE DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE CALIDAD .....	44
7.3.2 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO .....	49



7.3.3 ANÁLISIS DE CAUSA Y EFECTO .....	54
7.3.4 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....	58
7.3.5 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS .....	62
7.4 MEJORAR.....	62
7.4.1 ACCIÓN Nº 1 .....	63
7.4.2 ACCIÓN Nº 2 .....	63
7.4.3 ACCIÓN Nº 3 .....	64
7.5 CONTROLAR.....	64
8. RESULTADOS .....	65
9. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y ANÁLISIS ECONÓMICO .....	67
9.1 PLANIFICACIÓN TEMPORAL.....	67
9.2 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	70
10. CONCLUSIONES .....	71
11. BIBLIOGRAFÍA.....	72

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Cartón ondulado. [2].....	12
Ilustración 2: proceso de formación de una caja.[2].....	13
Ilustración 3: Situación Smurfit Kappa Quart. Google Maps.....	14
Ilustración 4: organigrama de Smurfit Kappa de la planta de Quart. Elaboración propia.....	15
Ilustración 5: Método DMAIC. [1].....	18
Ilustración 6: posibles fuentes de información [1]. ....	19
Ilustración 7: organización Lean 6 Sigma. [1].....	23
Ilustración 8: capacidad del proceso. Caletec, 2012. ....	25
Ilustración 9: Diagrama Ishikawa. Gestión de operaciones, 2018. ....	26
Ilustración 10: esquema de máquinas de conversión en la planta. Elaboración propia. ....	29
Ilustración 11: secuencia del proceso hasta obtener la caja formada. [2].....	30
Ilustración 12: Partes y/o componentes de una caja de cartón ondulado tipo B1. [2]. ....	31
Ilustración 13: Diagrama SIPOC proceso global. Elaboración propia .....	34
Ilustración 14: Diagrama de flujo máquina Martin Midline 924. Elaboración propia. ....	35
Ilustración 15: Diagrama de Pareto de tipos de defecto. Captura programa Minitab. ....	37
Ilustración 16: Diagrama de Pareto de PPM. Captura programa Minitab. ....	38
Ilustración 17: Matriz de priorización. Elaboración propia. ....	39
Ilustración 18: Entalle. [2].....	41
Ilustración 19: Abiertas/Cerradas. [2].....	41
Ilustración 20: Cola de pez. [2]. ....	42
Ilustración 21: posicionamiento de los entalles. [2]. ....	43
Ilustración 22: termobalanza. Propiedad de Smurfit Kappa. ....	44
Ilustración 23: comparativa histogramas de entalle. Captura de Minitab. ....	45
Ilustración 24: gráfico intervalos de entalle. Captura de Minitab. ....	46
Ilustración 25: histograma de Abiertas/Cerradas. Captura Minitab. ....	47
Ilustración 26: histograma de Cola de pez. Captura de Minitab. ....	48
Ilustración 27: informe Capability Sixpack entalle As. Captura de Minitab. ....	49
Ilustración 28: informe Capability Sixpack entalle Ai. Captura de Minitab. ....	50
Ilustración 29: informe Capability Sixpack entalle Ps. Captura de Minitab.....	51
Ilustración 30: informe Capability Sixpack entalle Pi. Captura de Minitab. ....	52
Ilustración 31: informe Capability Sixpack de Abiertas/Cerradas. Captura de Minitab. ....	53
Ilustración 32: informe Capability Sixpack de Cola de pez. Captura de Minitab. ....	54
Ilustración 33: diagrama causa y efecto de los entalles. Captura de Minitab.....	55
Ilustración 34: Diagrama causa y efecto de Abiertas/Cerradas. Captura de Minitab. ....	56
Ilustración 35: Diagrama causa y efecto de Cola de pez. Captura de Minitab. ....	57
Ilustración 36: gráficas de dispersión de la relación entre el porcentaje de humedad y los defectos Abiertas/Cerradas y Cola de pez. Captura de Minitab.....	59
Ilustración 37: gráficas de dispersión de la relación entre los tipos de entalle y el defecto Abiertas/Cerradas. Captura de Minitab. ....	60
Ilustración 38: gráficas de dispersión de la relación entre los tipos de entalle y el defecto Cola de pez. Captura de Minitab. ....	61
Ilustración 39: diagrama de Gantt. elaboración propia. ....	68
Ilustración 40: gráfico porcentaje de tiempo de las etapas. Elaboración propia. ....	69

## Índice de tablas

Tabla 1: frecuencias tipo de defectos. Elaboración propia.....	36
Tabla 2: tabla de recopilación de datos. Elaboración propia.....	42
Tabla 3: tabla datos de los entalles. Captura de Minitab. ....	45
Tabla 4: tabla de estadísticos de las CTQ. Captura de Minitab.....	48
Tabla 5: tabla de observaciones sobre las causas. Elaboración propia.....	58
Tabla 6: tabla frecuencia de defectos antes de las mejoras. Elaboración propia. ....	65
Tabla 7: tabla frecuencia de defectos después de las mejoras. Elaboración propia.....	65
Tabla 8: tabla volumen producido antes de las mejoras. Elaboración propia. ....	66
Tabla 9: tabla volumen producido después de las mejoras. Elaboración propia.....	66
Tabla 10: tabla costes del proyecto. Elaboración propia.....	70

## 1.- INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado surge como resultado del trabajo desempeñado por el alumno en el periodo de prácticas en empresa durante 9 meses. El objetivo principal de dicho trabajo es lograr una mejora en el proceso de producción de las cajas de cartón tipo B1 mediante el uso de la metodología "Lean 6 sigma", en una empresa dedicada a la fabricación de cartón ondulado, en la provincia de Valencia (Smurfit Kappa Quart).

En este documento se analizan los principales defectos que causan un mayor número devoluciones (productos no conformes), para, mediante la aplicación de la metodología "Lean 6 sigma", encontrar soluciones que permitan mejorar esta situación.

El objetivo de este proyecto es la reducción de las incidencias de calidad relacionadas con la producción de las cajas B1 en la máquina Martin Midline 924.

El proyecto se ha realizado en una empresa en la cual la filosofía de mejora continua está muy presente. La mayoría de los trabajadores se están formando continuamente en términos de calidad y participan activamente en las vías que propone la empresa con tal de mejorar el día a día de sus puestos de trabajo y entorno, para poder contribuir en una mejora de la calidad global.

De este modo, con relativa frecuencia se llevan a cabo proyectos en los que se usan diferentes metodologías, y en los que operarios y dirigentes trabajan juntos para conseguir un objetivo común: la excelencia. Esto hace que en general haya una alta participación, buena predisposición a los cambios y a la experimentación.

En este caso el proyecto se ha realizado principalmente por el aumento de los costes de no calidad en la fabricación de un tipo de cajas B1.

Aplicar la metodología "Lean 6 Sigma" permitirá reducir la variabilidad del proceso a estudiar obteniendo un mejor servicio al cliente. [1].

En cuanto a la estructuración del trabajo, primero se ha definido la metodología a emplear: Lean 6 Sigma, así como las diferentes herramientas que se han empleado dentro de esta metodología como diagramas de Pareto, Ishikawa, histogramas, regresiones lineales, etc.

## 2. ANÁLISIS DEL ENTORNO

### 2.1 LA CAJA DE CARTÓN ONDULADO

El cartón ondulado es una estructura de ingeniería, que partiendo de una materia prima de baja rigidez (papel), consigue unas resistencias relativamente altas a un coste bajo. Esta característica, junto con su facilidad para, cortar, plegar e imprimir, hace de él el material idóneo para fabricar embalajes.

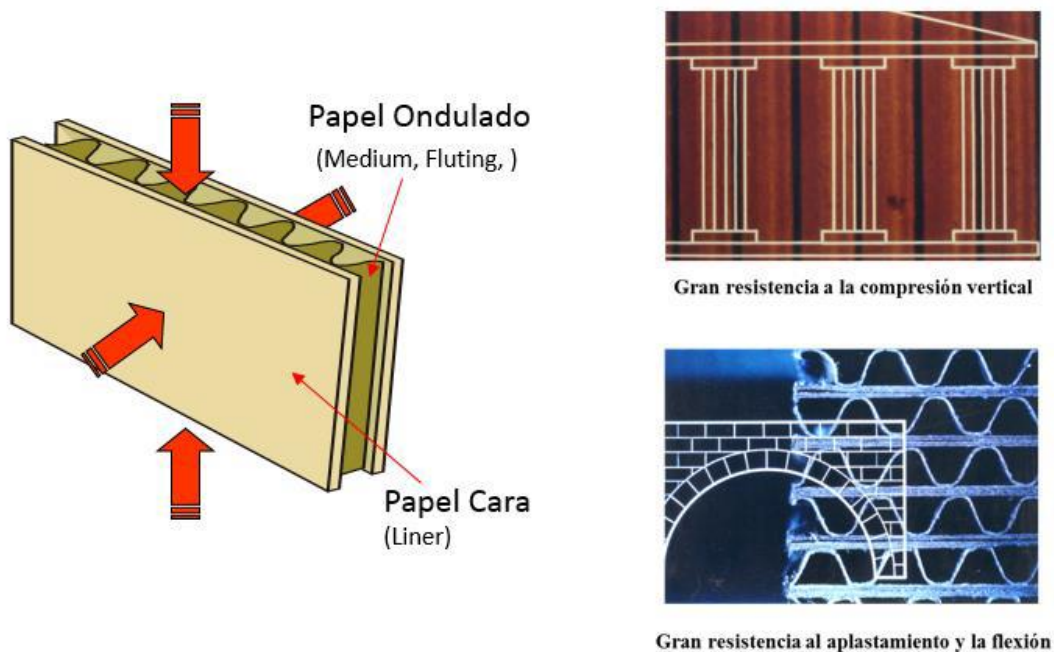


Ilustración 1: Cartón ondulado. [2].

Es así, como los embalajes de cartón ondulado, se han convertido en una solución efectiva para envasar, empacar o embalar cualquier variedad de productos. En cualquiera de los casos requeridos, los requisitos relacionados con la correcta formación del empaque, su manejabilidad en el proceso de llenado de líneas automáticas y el correcto comportamiento mecánico de las cajas una vez han iniciado sus respectivos ciclos logísticos, requieren que durante el proceso de fabricación y conversión del cartón ondulado se tenga un control cada vez más fino de las diferentes variables que podrían afectar las características críticas de calidad de este producto. [2].

## 2.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA CAJA

El proceso de fabricación de una caja de cartón, se podría resumir en dos etapas principales:

### A. Proceso de Onduladora

El papel llega a la fábrica en forma de bobinas, y se colocan en el tren ondulador donde se fabrican las planchas de cartón.

### B. Proceso de Converting

Las planchas son pasadas a las máquinas, donde son impresas, troqueladas, dobladas, pegadas y agrupadas en paquetes para su posterior paletizado.

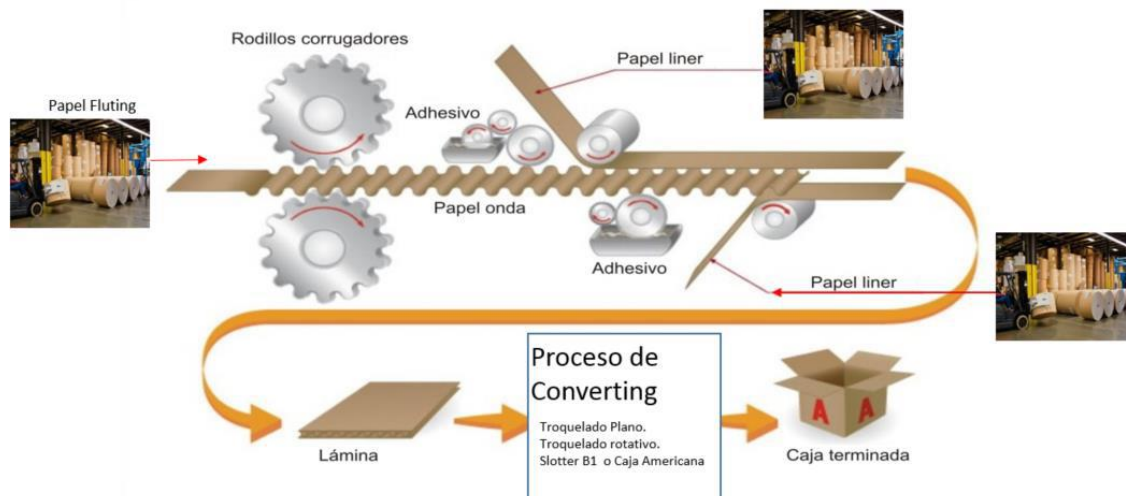


Ilustración 2: proceso de formación de una caja.[2].

En el desglose de los tipos de proceso de converting, existen las siguientes opciones:

- Troquelado plano: para realizar el proceso de corte se introducen troqueles en la máquina. El eje se mantiene fijo.
- Troquelado rotativo: para realizar el proceso de corte se introducen troqueles en la máquina. El eje puede girar hasta 360 grados para realizar los cortes.
- Fabricación de cajas B1 o cajas americanas. Esta fabricación la realizan las llamadas máquinas Inliner, que ya tienen las cuchillas incorporadas y no es necesario introducirlas troqueles. [2].

En este caso, se hará énfasis en la descripción del proceso de caja B1 o caja americana. Pues el objetivo de este proyecto es el de reducir las incidencias de calidad de las cajas fabricadas en este tipo de línea.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Smurfit Kappa es una multinacional del sector del cartón ondulado. La compañía nació en 1934 en Irlanda. En 1964 ya se incorporó a la bolsa de valores irlandesa, dando su salto a la producción de cartón en Chicago (Estados Unidos). Su nombre actual proviene de la fusión en 2005 con Kappa Packaging. La empresa se especializa en la fabricación de embalajes de papel, con una red de papel, reciclaje y operaciones forestales por todo el mundo. Se trata de un producto integrado, con plantas de envasado obteniendo la mayor parte de sus necesidades de materias primas de las propias fábricas de papel de la compañía. El aprovisionamiento de fibra y madera recuperada para las fábricas se gestiona mediante una combinación de operaciones de recuperación, silvicultura y compras de terceros. Cuenta con 45.000 empleados en 33 países (21 en Europa y 12 en América Norte y Sur). La sede principal se encuentra en Dublín y tiene sedes regionales en París y Miami.

La planta de Valencia, Smurfit Kappa Quart, se encuentra dentro de la división regional Ibérica que cuenta con 17 plantas distribuidas entre España y Portugal. [3].

La ubicación de la empresa la encontramos junto a la autovía A-3.

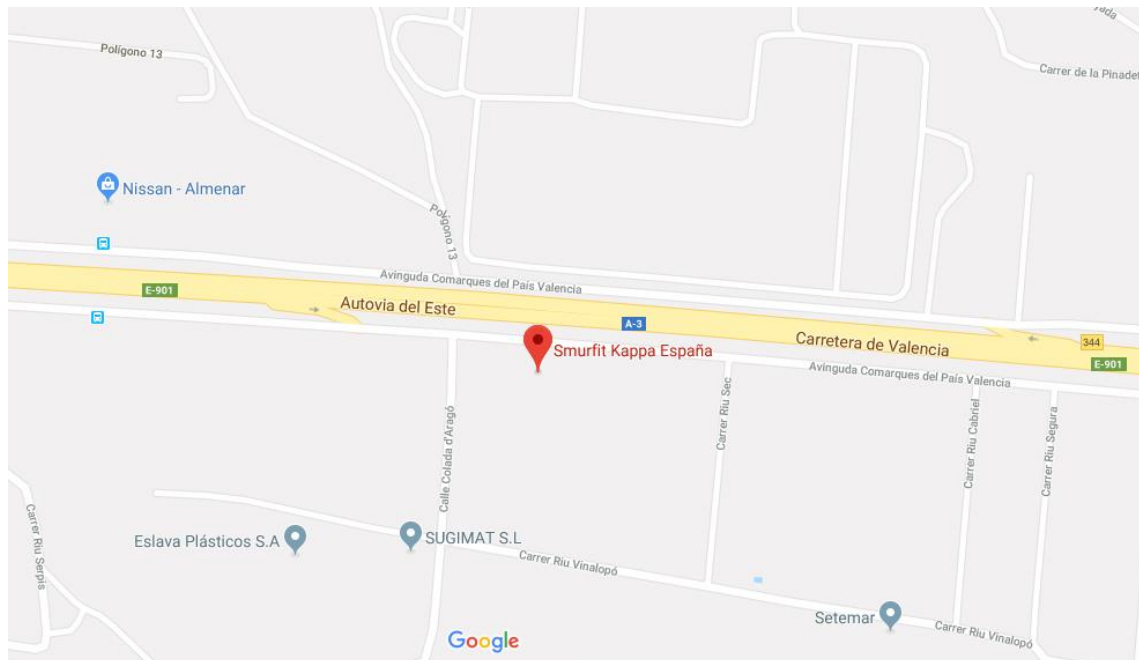


Ilustración 3: Situación Smurfit Kappa Quart. Google Maps

### 3.1 PLAN ESTRATÉGICO

En este apartado se van a explicar los puntos característicos del plan estratégico de Smurfit Kappa, obtenidos de su página web.

**Misión:** Smurfit Kappa se esfuerza para ser una empresa orientada al cliente y al mercado donde la satisfacción de clientes, el desarrollo personal de los empleados y el respeto por las comunidades locales y el medioambiente son vistos como inseparables del propósito de crear valor para los accionistas.

**Visión:** Nuestra visión es ser una compañía respetada globalmente que, de forma activa, entrega rendimiento sólido y de primera calidad para todos los públicos de interés.

**Valores:** Espíritu emprendedor, personas, medioambiente, clientes, retorno para inversores, alcanzar los compromisos con nuestros públicos de interés. [3].

### 3.2 ORGANIGRAMA

En referencia a la organización de la empresa, la planta de Quart sigue el siguiente organigrama:

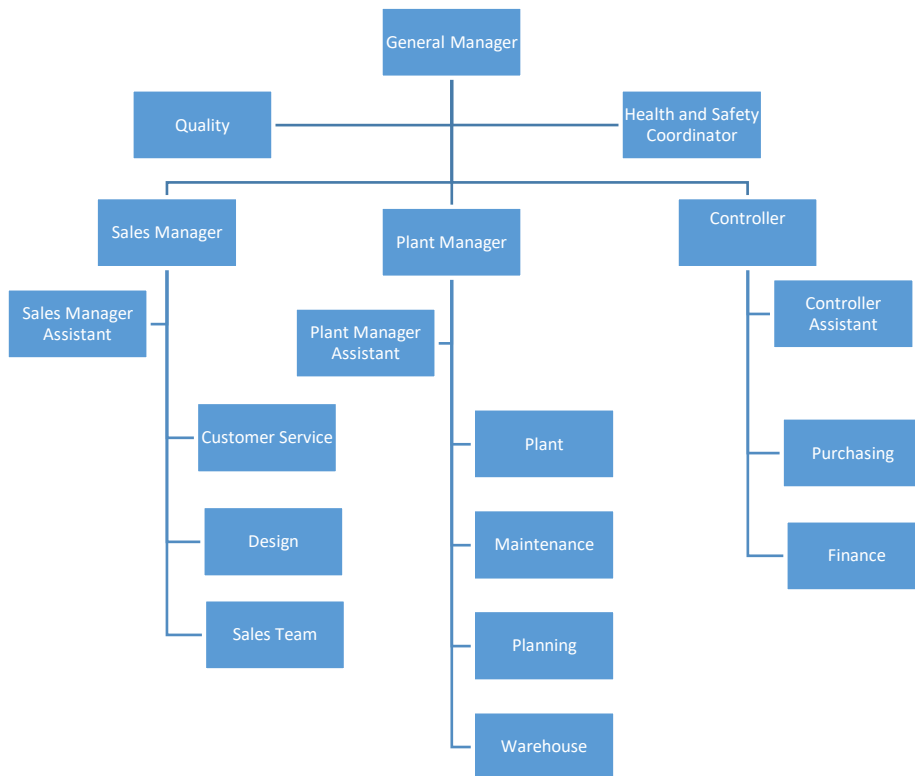


Ilustración 4: organigrama de Smurfit Kappa de la planta de Quart. Elaboración propia.



### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

A continuación, en este punto se va realizar una descripción del proceso de producción desde que entra la materia prima hasta que sale como producto final.

En el caso de Smurfit Kappa Quart, la gestión del papel tanto el que se produce nuevo como el reciclado, se realiza en plantas especializadas de la misma compañía en España y Francia. Los principales proveedores de papel son la planta de Mengíbar (Jaén), Sangüesa (Navarra), Totana (Murcia) y Du Pin (Francia). El papel se recibe en bobinas de varias toneladas de peso y se almacena en una nave de alta seguridad debido a las dimensiones y peso de la mercancía. Los subprocesos que tienen lugar durante el proceso de producción son los siguientes.

Proceso de Diseño: Tras buscar y contactar con el cliente servicios comerciales, estos se ponen en contacto con el departamento de diseño para trazar las especificaciones del producto. Se elige entre una amplia variedad de papeles de mayor y menor calidad que formarán el cartón y se elige el diseño de las cajas, dimensiones, colores, etc.

Proceso de ondulado: Existen dos máquinas ondulatoras de gran tamaño que pueden trabajar conjuntamente fabricando cartón de doble canal o de forma individual fabricando cartón de un solo canal. Unas carretillas especiales transportan las bobinas de papel hasta la ondulatora depositándolas en unos rodillos. Se necesitan 3 bobinas para fabricar cartón en una máquina ondulatora: el exterior, el ondulado y el interior. En el interior de la máquina se aplica la cola a las partes necesarias para que de ella salga el cartón formado. A través de una cinta este cartón pasa por unas cuchillas de grandes dimensiones que lo corta en las medidas necesarias para ser introducido en la máquina correspondiente a continuación. Al producto que se tiene en este momento se le llama plancha y tiene una calidad asignada dependiendo del tipo de papel que se haya utilizado en su fabricación.

Existe un almacén de planchas en el cuál las mismas aguardan el momento de ser transportadas por un carretillero al inicio de la máquina encargada de procesarlas.

Proceso de conversión: Existen 10 máquinas distintas de conversión en serie. Dependiendo de las calidades, impresiones y acabados con los que debe de salir cada caja, se procesan en unas máquinas o en otras. Cada cliente puede tener muchos elementos asociados, para cada uno de ellos un operario debe de haber preparado la máquina previamente con el troquel correspondiente que cortará y marcará las cajas según las especificaciones. Además, también deberá introducir la combinación de colores elegida que será aplicada a cada caja a través de unos clichés que se incorporan a la máquina. Los clichés y los troqueles se compran a empresas externas que los fabrican de manera personalizada. Una vez está todo listo, las planchas apiladas se introducen en la máquina mecánicamente, se procesan y por el otro extremo van saliendo las cajas terminadas que se apilan en función de la cantidad de cajas por pallet en cada caso. Todas las máquinas de conversión terminan a la misma altura, donde un robot transportador circula a través de unos railes y las va recogiendo para depositarlas al inicio del departamento de expediciones.

Proceso de expedición: A cada montón de cajas apiladas que llega a través del robot transportador se le colocan unas cantoneras para proteger la mercancía, un pallet como base y se paletiza con un robot que lo cubre de plástico. En este momento se le pega una etiqueta con todos los datos de la mercancía y con una carretilla se coloca en el almacén en el lugar más adecuado según el canal por el que vaya a ser cargado al camión correspondiente.

### 3.4 NECESIDAD DE MEJORA

Smurfit Kappa España S.A. tiene el objetivo de ser la empresa líder en el sector de la fabricación de envases y embalajes de cartón ondulado.

Por lo tanto, cumplir con los requisitos de calidad del cliente, velar por sus requerimientos y expectativas son parte clave para lograr el éxito en este cometido. Es por ello, que se tiene que estar constantemente reforzando el compromiso con la filosofía de la mejora continua y la aplicación de herramientas que permitan cada vez de manera más objetiva planificar los procesos, medirlos, mejorarlos y controlarlos.

La revisión de la evolución de los objetivos de calidad y el análisis de las posibles desviaciones, es un ejercicio que se hace a menudo para conocer cuáles son aquellas incidencias o no conformidades en las que se debe focalizar el esfuerzo. En función de ello se propone la realización de proyectos o planes de mejora.

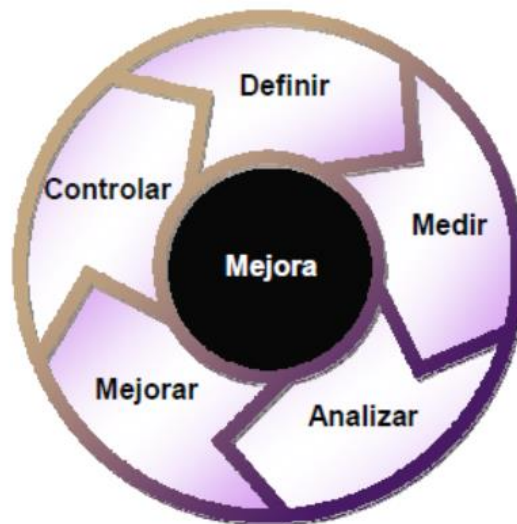
## 4. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS

### 4.1 METODOLOGÍA LEAN 6 SIGMA

Lean 6 sigma es un método de mejora que sigue una estructura de 5 pasos (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) que dan nombre al método DMAIC. Esta estructura permite asegurar que en el desarrollo de los proyectos de mejora no se olviden etapas, pero no siempre son necesarios los cinco pasos en todos los proyectos.

Es una metodología que se centra en eliminar todos los aspectos que impiden o dificultan que el producto o servicio cumpla los requerimientos del cliente.

En su aplicación práctica puede ser muchas cosas a la vez, desde una simple caja de herramientas para la mejora hasta toda una cultura y estrategia de cambio, aunque el planteamiento habitual suele ser mixto, empezando a aplicar Lean Seis Sigma para resolver problemas de eficacia (defectos, reclamaciones, etc.) o eficiencia (duplicidades, tiempos muertos, etc.) a modo de caja de herramientas, pero cuando se comprende la utilidad de medir los procesos de manera diferente, de manejar datos con herramientas potentes, de extraer conclusiones de dichos datos, 6 Sigma se incorpora como una manera de gestionar (medir, evaluar, mejorar) los procesos.



*Ilustración 5: Método DMAIC. [1].*

En lo metodológico, Lean 6 Sigma funciona como un proceso con cinco pasos o fases en las que se desarrollan los proyectos de mejora. A continuación, se va a proceder a definir cada una de esas 5 fases. [1].

### 4.1.1 DEFINIR

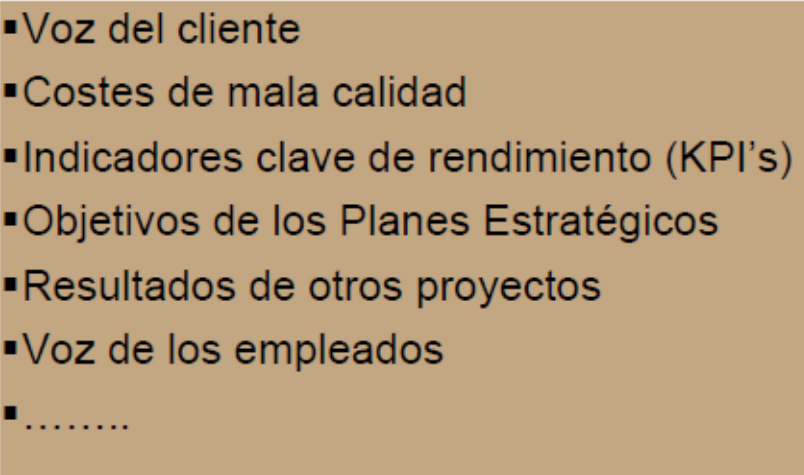
Consiste en identificar y seleccionar los proyectos de mejora oportunos y asignarles la prioridad y los recursos necesarios para llevarlos a cabo.

En general un proyecto de mejora suele estar orientado a reducir algún tipo de suceso no deseado en el más amplio sentido de la palabra (defecto, reclamación, desperdicio, coste de mala calidad, etc.) o a aumentar la frecuencia o cantidad con la que se produce algún tipo de suceso deseado.

El primer paso para seleccionar proyectos de mejora consiste en identificar e inventariar posibles problemas, dentro del área de competencia de la persona que los selecciona, cuya solución contribuya a mejorar los resultados correspondientes.

En principio, en estos primeros momentos, es habitual que los posibles problemas a resolver no estén suficientemente claros. A veces se puede conocer que hay problemas, pero no se es capaz de concretarlos. También es habitual que se vean problemas en las áreas de responsabilidad ajenas y no en las propias. En esta situación será preciso recabar información, en fuentes internas o externas, para identificar los problemas más relevantes que, luego, serán traducidos a proyectos de mejora.

Cabe recordar que Lean 6 Sigma busca eliminar defectos y desperdicios. Habrá que considerar como defecto cualquier suceso no deseado en la organización, departamento, etc., y como desperdicio cualquier actividad que se podría suprimir sin menoscabo de los resultados del proceso. [1].

- 
- Voz del cliente
  - Costes de mala calidad
  - Indicadores clave de rendimiento (KPI's)
  - Objetivos de los Planes Estratégicos
  - Resultados de otros proyectos
  - Voz de los empleados
  - .....

*Ilustración 6: posibles fuentes de información [1].*

En la ilustración 6 se han recogido diferentes fuentes de información que pueden ayudar a identificar posibles problemas dentro de la empresa.

## 4.1.2 MEDIR

En esta etapa se concreta, a partir de los datos, el problema a resolver y se estudia el proceso implicado para comprender su funcionamiento y evaluar sus ineficacias e ineficiencias.

La fase de Medir es, frecuentemente, la más larga en el desarrollo de un proyecto Lean 6 Sigma. En ella, el Green Belt, con las ayudas prevista en el cuadro de proyecto, va a realizar una serie de actividades orientadas a caracterizar el proceso.

En primer lugar, partiendo del conocimiento inicial del proceso ya realizado en la fase de Definir (Mapa o diagrama de flujo) es necesario medir, a partir de los datos disponibles, la situación actual de funcionamiento o rendimiento del proceso para comprender cómo es.

Para ello se deben identificar las características o atributos del producto o servicio (salida del proceso) que, en definitiva, son las Y's del proyecto y recopilar datos sobre dichas Y's para caracterizar el proceso y responder a las preguntas que nos hemos planteado sobre su funcionamiento.

Finalmente se trata de determinar el rendimiento o capacidad del proceso en su funcionamiento actual. [1].

## 4.1.3 ANALIZAR

A partir de hipótesis sobre las causas de los defectos o desperdicios y del tratamiento de los datos, se seleccionan las pocas causas raíz que determinan el resultado del proceso.

La fase de Analizar depende esencialmente de la información obtenida en la de Medir. A veces, los datos manejados en la fase anterior ponen de relieve, sin género de dudas, la causa raíz del problema que se quiere resolver, sea defecto o desperdicio.

Otras veces los datos permiten identificar una serie de situaciones, que se pueden llamar síntomas, que van a facilitar el análisis de las causas que provocan esos síntomas. En el peor de los casos, cuando la información sobre el proceso es limitada, las posibles causas pueden ser muchas, por lo que la fase de Análisis será más laboriosa.

El objetivo final de esta fase es determinar, con certeza, cuál o cuáles son las causas que están originando el problema para poder actuar sobre ellas y asegurar que el problema va a reducirse o eliminarse. [1].

## 4.1.4 MEJORAR

En esta etapa se modifican las condiciones de las causas de los defectos o desperdicios para cambiar el funcionamiento del proceso y conseguir los resultados deseados.

A lo largo de esta fase de Mejorar se profundiza en el tipo de herramientas que se usan para realizar predicciones cuando las variables efecto y causa son de tipo cuantitativo, ampliando su punto de mira y también se emplearán otros enfoques menos técnicos, especialmente menos estadísticos, para identificar alternativas de solución a los problemas del proceso.

En la fase de Medir, se habrán identificado ya algunos cambios en el proceso que tratarán de mejorar su resultado. Asimismo, en la de Analizar, se habrán identificado las causas de variación y, en algunos casos, se habrán podido confirmar a partir de los datos existentes. Otras veces, para confirmar dichas causas, será necesario realizar pruebas haciendo funcionar el proceso en condiciones tales que permitan esta confirmación, pruebas que son ya mejoras en sí mismas.

Cuando las causas son alternativas de cambio al proceso actual, habitualmente no existe posibilidad de utilizar datos históricos (no existen) por lo que se debe generar, sin conocimiento previo, las posibles soluciones o cambios al funcionamiento actual del proceso, que a veces no son únicas, y previo estudio de las dificultades o riesgos que puede suponer su aplicación, será necesario realizar alguna prueba piloto que permita evaluar su eficacia.

Las soluciones más sencillas y eficaces serán las que se apliquen para mejorar el proceso. [1].

### 4.1.5 CONTROLAR

Para asegurar que, controlando las causas, se mantienen los resultados del proceso mejorado a lo largo del tiempo.

La última fase de la metodología DMAIC, la de Controlar, en la que se tratarán aspectos generales sobre el control, así como una técnica de control, el control estadístico de los procesos, de gran aplicación y utilidad tanto dentro del proyecto de mejora desarrollado, para mantener el adecuado control de las variables clave, como en general para controlar cualquier proceso.

Antes de entrar en el tema, ha de tenerse en cuenta que en la metodología de mejora LSS, la fase de Controlar trata de asegurar que los resultados obtenidos (o previsibles) de la fase de Mejorar se mantienen a lo largo del tiempo. En muchos esfuerzos de mejora tradicionales (mejora continua, calidad total, etc.) los resultados se fueron degradando ya que no se preveían tareas adicionales para asegurarlos.

Un proyecto de mejora trata de mejorar los resultados de un proceso que seguramente tiene algún tipo de indicador, sea de resultado o de funcionamiento, que está siendo comprobado periódicamente, de acuerdo con los esquemas del sistema de gestión de calidad de la organización. Pero se ha de suponer que esos esquemas ponen de relieve la ineficacia y/o ineficiencia del proceso “controlado”, de lo contrario no tendría sentido un proyecto de mejora.

Recordando que el proyecto trata de reducir algún defecto o desperdicio que está produciendo el proceso de forma regular, aunque sea periódica. En otras palabras, los esquemas de control no permiten prevenir ni evitar ese defecto o desperdicio, solamente lo detectan y palían los efectos de la forma establecida en el sistema de gestión (segregación, reposición, sustitución, compensación, etc.)

Parece lógico que, si después de los cambios de tareas, actividades, flujos, parámetros, etc., del proceso que se han identificado y aplicado como parte de la fase de Mejorar, los esquemas de control de ese proceso se mantienen sin cambios, el resultado a la larga volverá a presentar defectos y desperdicios. Se trata, pues, de incorporar en el proyecto de mejora aquellas tareas adicionales de comprobación, control e intervención que permitan asegurar la continuidad de las mejoras. [1].

## 4.2 ESTRATEGIA Y CONCEPTOS BÁSICOS DE LEAN 6 SIGMA

La estrategia que sigue Lean 6 Sigma se basa en los siguientes puntos:

- **Orientación al cliente:** saber qué es importante para el cliente y tratar de proporcionárselo siempre y sin fallos.
- **Orientación al negocio:** Conseguir resultados económicos para la organización.
- **Orientación al proceso:** los resultados, sean para el cliente o para la organización, se consiguen por medio de los procesos que son los que han de mejorar.
- **Implantación por proyectos:** con objetivos claros y alcanzables.
- **Compromiso y dedicación:** a todos los niveles de la organización. [4].

El objetivo de un proyecto que adopte la estrategia Lean 6 Sigma es identificar las X's (entradas del proceso, recursos y elementos del proceso, causas o problemas) que originan resultados negativos y actuar sobre ellas para mejorar las Y's (resultados, defectos y desperdicios, síntomas).

Los conceptos básicos de esta estrategia vienen definidos en el siguiente cuadro.

Concepto	Significado
CTQ (Característica crítica para calidad)	Característica o atributo del producto o servicio que es clave para conseguir la satisfacción del cliente
Defecto	Cualquier CTQ que no alcance los niveles
Valor añadido	Incremento de valor que experimenta un producto o servicio al ser procesado. El valor lo aprecia el cliente
Desperdicio	Cualquier tarea que no agrega valor al resultado

A partir de lo que es importante para el cliente (CTQ) se define el defecto como un resultado que no alcanza los niveles de prestación (objetivos o requisitos) demandados por el cliente y la oportunidad de defecto como el suceso que puede producir un defecto.

Otro elemento aportado por la visión “Lean” es el de valor agregado que experimenta un producto o servicio a través de las diferentes tareas inherentes a los procesos de producción o de operaciones. Las tareas o actividades que no agregan valor se consideran como desperdicios.

De este modo, se miden los defectos y desperdicios, se identifica el objetivo, se analiza el proceso para entender las características que tienen oportunidad de producir defectos y las tareas que no agregan valor y se reducen ambos (defectos y desperdicios) controlando las variables que regulan el proceso, no solo el resultado final del mismo. [1].

### 4.3 ORGANIZACIÓN PARA LEAN 6 SIGMA

Respecto a la organización que necesita Lean 6 Sigma para funcionar adecuadamente y conseguir los resultados deseados, hay que diferenciar tres papeles esenciales.

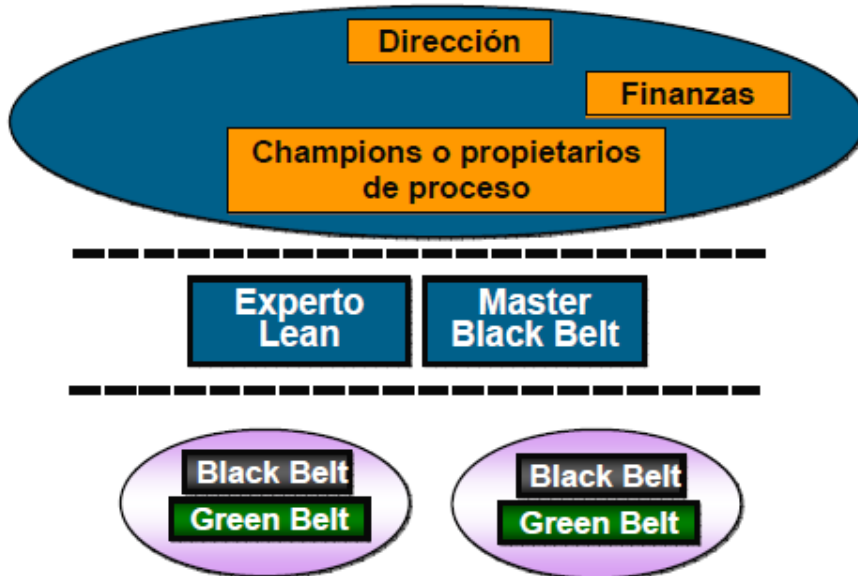


Ilustración 7: organización Lean 6 Sigma. [1].

Como en todos los esfuerzos de mejora, la dirección es la clave que debe asumir una serie de tareas, desde la decisión de iniciar un programa de mejora, apoyar e impulsar los proyectos de mejora que se decidan, implicar a las áreas financieras para que materialicen los resultados en términos económicos y, sobre todo, asegurar que los cambios necesarios en el funcionamiento del proceso se aplican de forma rigurosa.

Un segundo elemento necesario es el constituido por los expertos en el método Lean 6 Sigma, sean externos o, en el caso de grandes organizaciones, profesionales de la organización formados para ello.



En tercer, y no menos importante, están los técnicos y/o empleados de la organización formados en el método, llamados Green o Black Belts, que, apoyados por las personas que hacen funcionar los procesos, son los que aplican el método para llevar a cabo los proyectos de mejora y conseguir los resultados previstos.

Son papeles diferentes, pero no independientes. Con el compromiso de la dirección y sin el conocimiento suficiente, un técnico es incapaz de aplicar el método para mejorar el proceso. Y al revés, un técnico altamente cualificado en el método Lean Seis Sigma será incapaz de conseguir resultados si no tiene el compromiso y apoyo de los directivos implicados o responsables del proceso o procesos a mejorar. [1].

## 4.4 HERRAMIENTAS DEL LEAN 6 SIGMA

De entre todas las herramientas posibles que se incluyen en Lean 6 Sigma se han escogido las más adecuadas para la resolución de la problemática.

**Diagrama de Pareto:** constituye un sencillo y gráfico método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema y las que lo son menos.

Sus ventajas pueden resumirse en:

- Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando por tanto los esfuerzos.
- Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras y ser resueltas.
- Su visión gráfica del análisis es fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora. [5].

**Histograma:** es una gráfica de la distribución de un conjunto de medidas. Un Histograma es un tipo especial de gráfica de barras que despliega la variabilidad dentro de un proceso. Un Histograma toma datos variables y despliega su distribución. Los patrones inusuales o sospechosos pueden indicar que un proceso necesita investigación para determinar su grado de estabilidad.

Desde un sistema estable, se pueden hacer predicciones sobre el desempeño futuro del sistema. Un equipo para efectuar mejoras utiliza un Histograma para evaluar la situación actual del sistema y para estudiar resultados. La forma del Histograma y la información de estadísticas le ayuda al equipo a saber cómo mejorar el sistema. Después de que una acción para mejorar es tomada, el equipo continúa recogiendo datos y haciendo Histogramas para ver si la teoría ha funcionado. [6].

**Diagramas de cajas:** estos diagramas son una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría.

Para su realización se representan los tres cuartiles y los valores mínimo y máximo de los datos, sobre un rectángulo, alineado horizontal o verticalmente.

Una gráfica de este tipo consiste en una caja rectangular, donde los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico. Este rectángulo está dividido por un segmento vertical que indica donde se posiciona la mediana (que coincide con el segundo cuartil) y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero. Esta caja se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores mínimo y máximo de la variable. Las líneas que sobresalen de la caja se llaman bigotes. Estos bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato que no se encuentre dentro de este rango es marcado e identificado individualmente. [7].

**Estudio de la capacidad del proceso:** compara la anchura de la distribución normal obtenida (valores del proceso) con los límites de tolerancias (requerimientos del cliente).

Tradicionalmente se define la capacidad de proceso como la distancia de 3 veces sigma (desviación estándar) de cada lado de la media. Por lo tanto, corresponde a un valor igual a 6 veces la desviación estándar.

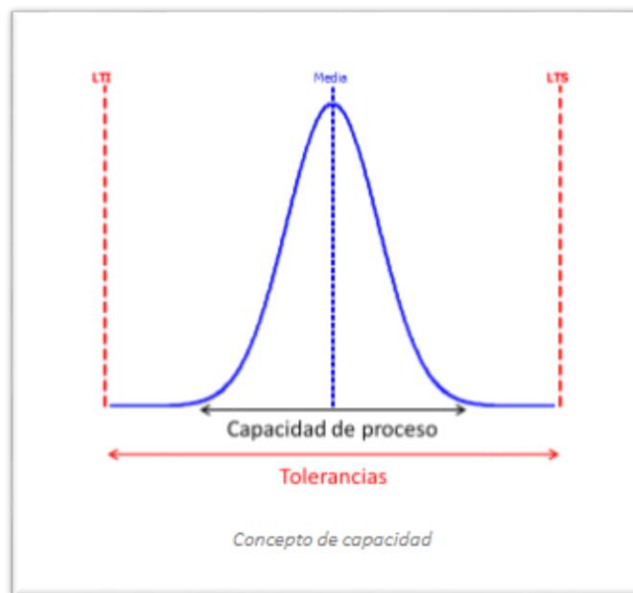


Ilustración 8: capacidad del proceso. Caletec, 2012.

La fórmula del índice de capacidad  $C_p$ , como indicador de calidad, es la siguiente:  $(\text{Límite superior de tolerancia} - \text{Límite inferior de tolerancia}) / 6 \text{ sigma}$

Para que el proceso sea capaz de operar dentro de los límites de especificaciones (requerimientos del cliente) el valor obtenido con la fórmula debe ser superior a 1. [5].

**Diagrama de causa y efecto/ Ishikawa:** consiste en una representación gráfica que permite visualizar las causas que explican un determinado problema, lo cual la convierte en una herramienta de la gestión de la calidad ampliamente utilizada dado que orienta la toma de decisiones al abordar las bases que determinan un desempeño deficiente.

La estructura del diagrama de Ishikawa es intuitiva: identifica un problema o efecto y luego enumera un conjunto de causas que potencialmente explican dicho comportamiento. Adicionalmente cada causa se puede desagregar con mayor grado de detalle en subcausas. Esto último resulta útil al momento de tomar acciones correctivas dado que se deberá actuar con precisión sobre el fenómeno que explica el comportamiento no deseado.

Una vez confeccionado el Diagrama de Ishikawa se sugiere evaluar si se han identificado todas las causas (en particular si son relevantes), y someterlo a consideración de todos los posibles cambios y mejoras que fueran necesarias. Adicionalmente se propone seleccionar las causas más probables y valorar el grado de incidencia global que tienen sobre el efecto, lo que permitirá sacar conclusiones finales y aportar las soluciones más aconsejables para resolver y controlar el efecto estudiado. [8].

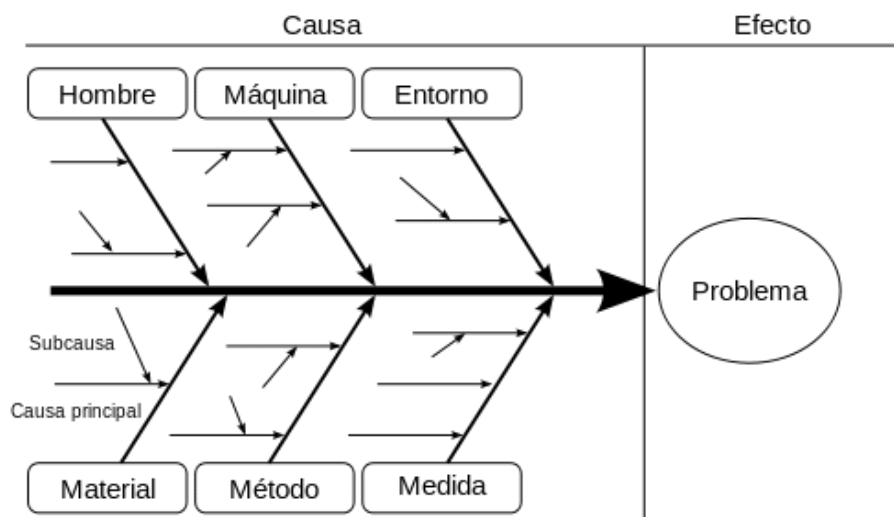


Ilustración 9: Diagrama Ishikawa. Gestión de operaciones, 2018.

**Análisis de correlación:** se usa para medir el grado de variación conjunta entre dos o más variables. Una relación lineal positiva entre dos variables  $X_i$  e  $Y_i$  indica que los valores de las dos variables varían de forma parecida. Una relación lineal negativa indica lo contrario, los valores entre dos variables  $X_i$  e  $Y_i$  varían justamente al revés.

La forma más directa e intuitiva de formarse una primera impresión sobre el tipo de relación existente entre dos variables es a través de un diagrama de dispersión. Un diagrama de dispersión es un gráfico en el que una de las variables ( $X_i$ ) se coloca en el eje de abscisas, la otra ( $Y_i$ ) en el de ordenadas y los pares  $(x_i, y_i)$  se representan como una nube de puntos. La forma de la nube de puntos nos informa sobre el tipo de relación existente entre las variables. [5].

**Diagrama de flujo de procesos:** es un tipo de diagrama que ilustra las relaciones entre los principales componentes de una planta industrial. Se usa para documentar o mejorar un proceso o modelar uno nuevo. Estos diagramas emplean un conjunto de símbolos y notaciones para describir un proceso. Los símbolos cambian en distintos lugares y los diagramas pueden variar desde simples garabatos trazados a mano o notas adhesivas hasta diagramas de aspecto profesional con información detallada expansible desarrollados mediante software.

Un diagrama de flujo de procesos tiene múltiples propósitos:

- Documentar un proceso con el fin de lograr una mejora en la comprensión, el control de calidad y la capacitación de los empleados.
- Estandarizar un proceso para obtener una eficiencia y repetibilidad óptimas.
- Estudiar un proceso para alcanzar su eficiencia y mejora. Ayuda a mostrar los pasos innecesarios, cuellos de botella y otras ineficiencias.
- Crear un proceso nuevo o modelar uno mejor.
- Comunicar y colaborar con diagramas que se dirijan a diversos roles dentro y fuera de la organización. [7].

**Diagrama SIPOC:** el Diagrama SIPOC, por sus siglas en inglés Supplier – Inputs- Process- Outputs – Customers, es la representación gráfica de un proceso de gestión, que nos permite entender el funcionamiento del mismo.

Cuando se consigue representar un proceso para entender su funcionamiento, es más sencillo comprender los requisitos o lo que espera el cliente con esa salida que se le está generando, así como las condiciones o requisitos que se necesitan en la entrada del proceso para asegurar que lo que se genera sea lo requerido.

Además, esta representación permite encontrar los puntos débiles que generan problemas sobre el proceso, logrando comunicar de forma más asertiva la forma en que un proceso genera resultados, pues esta es una descripción concreta de lo que hace un proceso. [9].

**Análisis ANOVA:** Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Si el valor p que se obtiene es menor que el nivel de significancia, entonces se puede concluir que al menos una media de los factores estudiados es diferente. [1].

## 5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### 5.1 PROCESO DE CONVERTING EN CAJAS TIPO B1

Como se ha comentado anteriormente, dentro del proceso de conversión o converting se diferencian tres tipos de máquinas que realizan hendidos y troquelados: troqueladoras planas, troqueladoras rotativas y máquinas Inliner. A su vez, dentro de las troqueladoras planas existen tres máquinas diferentes. Troqueladoras rotativas hay solamente una máquina y máquinas Inliner hay tres máquinas más. Todas las máquinas de conversión están situadas de forma paralela entre ellas, de manera que la parte final de todas ellas acaba en el robot transportador. Todas estas máquinas trabajan a tres turnos, y en cada turno hay dos operarios más un oficial por máquina. Se ha realizado un esquema de la distribución de las máquinas en planta para facilitar la comprensión. El esquema se muestra a continuación.

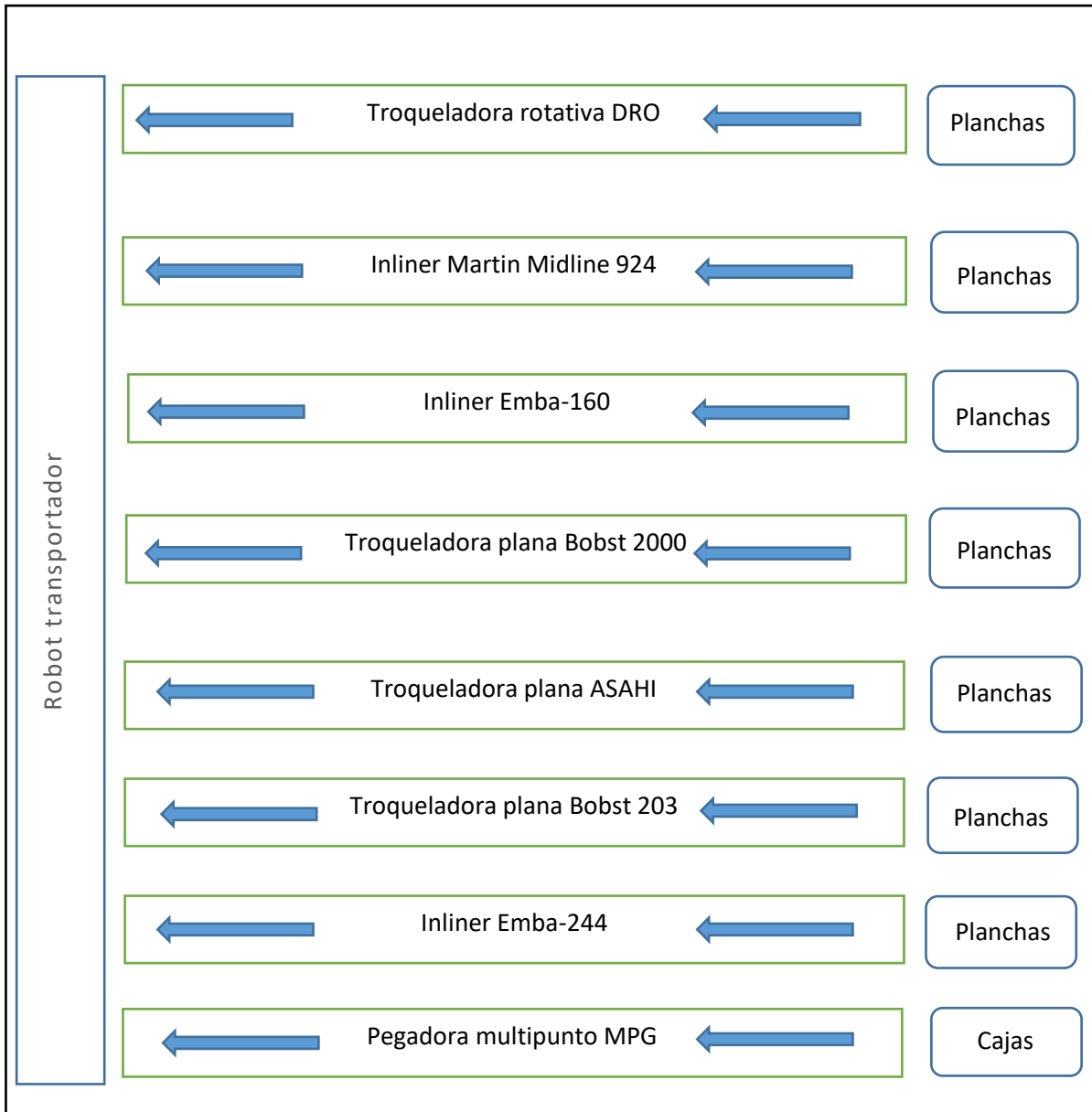


Ilustración 10: esquema de máquinas de conversión en la planta. Elaboración propia.

En el esquema de la ilustración 10 se puede apreciar la distribución de las diferentes máquinas de conversión en la planta de Quart de Smurfit Kappa. Sólo faltaría la máquina encargada de una impresión de mayor calidad, que se encuentra en otra zona de la planta.

Todas las máquinas tienen al inicio las planchas procedentes de la onduladora para ser troqueladas, impresas o ambas opciones, a excepción de la máquina MPG que se encarga de realizar el pegado de planchas que ya vienen impresas y troqueladas, normalmente fabricadas externamente.

Al final de cada máquina se encuentra el carril por el que circula el robot transportador, que se encarga de llevar los pallets de las cajas a la zona de expediciones.

La fabricación de una caja B1 se inicia con la alimentación a las máquinas Inliner de las planchas de cartón que provienen de la onduladora. Estas planchas de cartón, ya vienen con el hendido por los que doblarán las solapas tanto superiores como inferiores. Esto hendidos de plancha, han sido marcados en el proceso de fabricación de la plancha en la onduladora por medio de un sistema circular llamado Slitter.

En caso de ser una caja que deba llevar algún tipo de impresión, las máquinas Inliner tienen sistemas de impresión flexográfica en línea que permiten lograr los diferentes tipos de impresión requeridos por el cliente. De no requerir impresión, la plancha pasará directamente a los cuerpos de Slotter, que son el conjunto de cuchillas fijadas a un eje de rotación que realizan el proceso de recorte, ranurado y plegado. En la ilustración 11 se puede apreciar este cuerpo Slotter con mayor detalle.

Es en el proceso de Slotter, donde se marcan los hendidos que permitirán posteriormente el plegado de la caja. Por lo tanto, una correcta definición de este hendido es fundamental para evitar defectos críticos de calidad relacionados con el descuadrado de la caja.

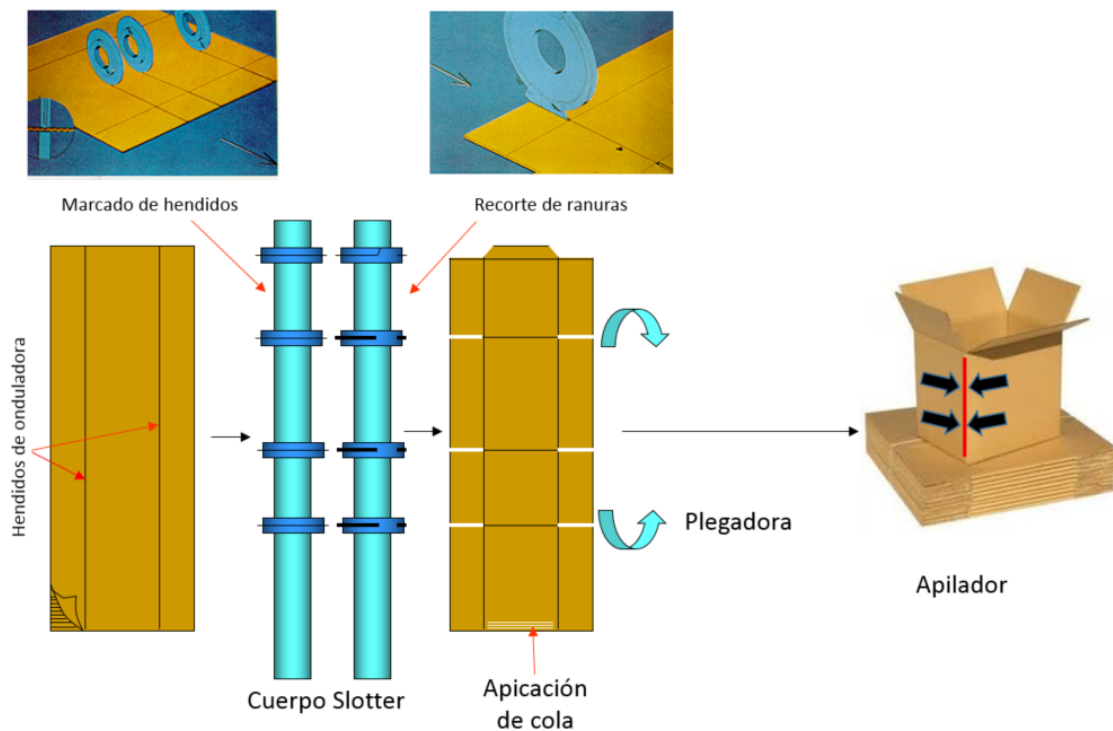


Ilustración 11: secuencia del proceso hasta obtener la caja formada. [2].

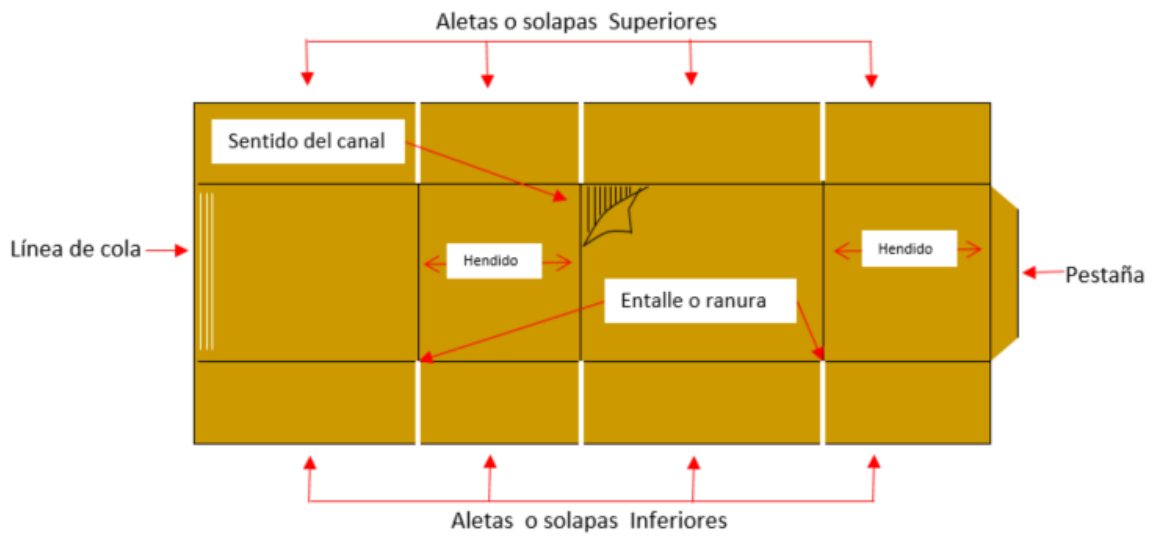


Ilustración 12: Partes y/o componentes de una caja de cartón ondulado tipo B1. [2].

En las ilustraciones 11 y 12 se muestra con mayor detalle el cuerpo Slotter mencionado anteriormente y las diferentes partes de la caja respectivamente.



## 6. DESCRIPCIÓN PROBLEMÁTICA

Se ha observado que durante los últimos meses (desde enero a mayo) se ha producido un incremento de un 20% aproximadamente en las devoluciones de un tipo de caja B1 fabricada en la máquina Inliner Midline 924, respecto al año anterior. Este incremento se ha detectado al realizar una comparativa de los resultados obtenidos de un año para otro. Tras consultar esta situación con el responsable de calidad, se llega a la conclusión de que puede haber alguna deficiencia en la máquina o el proceso de fabricación.

Este incremento de las devoluciones ha repercutido directamente sobre los costes de no calidad, aumentándolos de manera proporcional, cuestión que se ha podido verificar al comparar los resultados de dichos costes con los del año anterior.

Los costes de no calidad suponen un consumo de recursos originado por hacer cosas mal y luego corregirlas y por hacer, bien o mal, cosas que no son necesarias. No suelen estar reflejados en la contabilidad como tales, sino repartidos en diferentes conceptos, generalmente camuflados. [1].

Su reducción es una fuente clave para identificar proyectos de mejora Lean y Seis Sigma. [1].

Se pueden diferenciar tres tipos en función de su origen:






- **Fallos internos**, que corresponden a errores de todo tipo (defectos, averías, fallos, etc.) que requieren realizar actividades complementarias para reconducir la situación, sean correcciones, reparaciones, replanificaciones, etc., pero que no tienen transcendencia en el cliente. En definitiva, los solucionamos antes [1].
- **Fallos externos**, que son errores como los anteriores, pero que se escapan al control y tienen transcendencia en el cliente. Además de las correcciones anteriores requieren algún tipo de actuación con el cliente para restaurar la situación, tales como sustituciones, reposiciones, indemnizaciones, etc [1].
- **Desperdicios en general**, que corresponden a tareas no necesarias que realizamos habitualmente y que podríamos evitar o, en el peor de los casos, reducir. No tienen impacto en los clientes, pero suponen un coste añadido, a veces importante [1].

Los costes de no calidad se suelen representar mediante un iceberg ya que, como en el caso del hielo, la mayor parte permanece oculta. Pero el hecho de no contabilizarlos no significa que no existan y que su eliminación o reducción no sea una fuente de beneficios. [1].

En el caso de este proyecto los costes de no calidad que se están viendo aumentados serían del tipo fallo externo, ya que es el cliente quien detecta que las cajas no cumplen los requisitos especificados, por lo que se realizan las pertinentes indemnizaciones cuando se producen las devoluciones del producto.

## 7. PROPUESTA DE SOLUCIÓN: METODOLOGÍA LEAN 6 SIGMA

A partir de este apartado se va a proceder a detallar lo que se ha hecho en cada una de las etapas de la metodología aplicada Lean 6 Sigma.

<b>DEFINIR</b>		Identificar, seleccionar y definir los proyectos de mejora adecuados
<b>MEDIR</b>		Identificar las características clave del producto o servicio, comprender el funcionamiento del proceso y medir su rendimiento
<b>ANALIZAR</b>		Identificar y confirmar las causas determinantes del funcionamiento del proceso
<b>MEJORAR</b>		Identificar y seleccionar las soluciones más adecuadas para mejorar el proceso
<b>CONTROLAR</b>		Mantener los resultados conseguidos. [1].

### 7.1 ETAPA DEFINIR

En esta primera etapa de la metodología se procede a investigar fuentes de información internas y externas a la organización, considerando cualquier defecto o desperdicio como un posible problema a resolver. [1].

#### 7.1.1 MAPAS DEL PROCESO

En primer lugar, se realiza un diagrama SIPOC que va a permitir conocer en mayor profundidad el proceso global.

Las siglas SIPOC hacen referencia a:

**Proveedor(supplier):** entidades que proveen entradas al proceso.

**Entradas(inputs):** todos los materiales, recursos e información que dan apoyo al proceso.

**Proceso(process):** actividades o acciones necesarias para convertir las entradas en salidas.

**Salidas(outputs):** las salidas tangibles de un proceso. Deben ser medibles.

**Cliente(customer):** entidades para quien la salida es creada. [9].

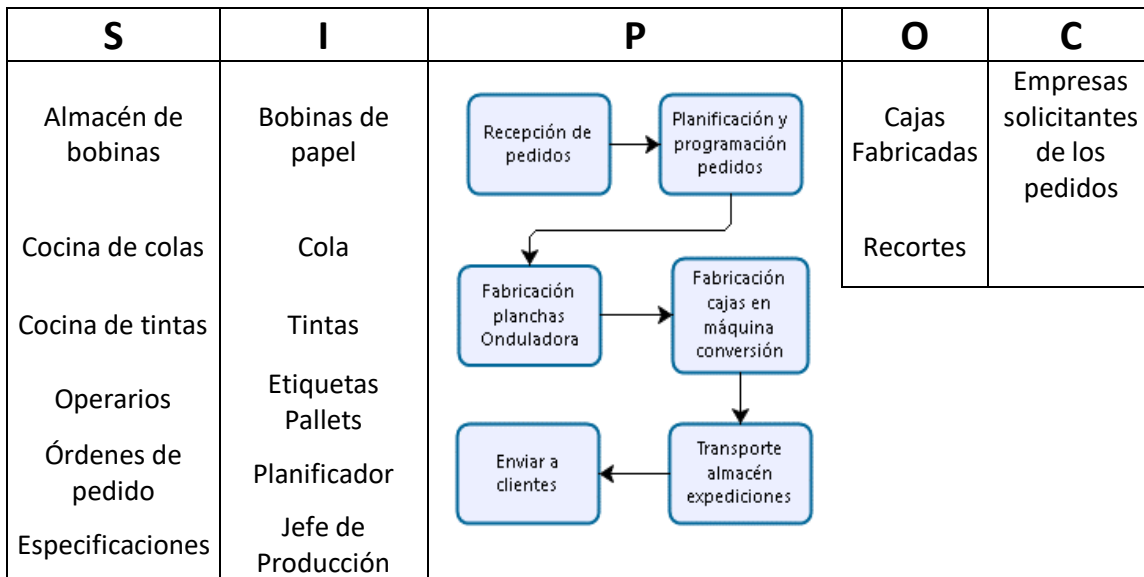


Ilustración 13: Diagrama SIPOC proceso global. Elaboración propia

Dentro de este proceso global, la atención quedará centrada en el proceso de fabricación de las cajas en la máquina de conversión Midline 924.

Se procede por tanto a realizar un diagrama de flujo de dicho proceso para mayor profundidad.

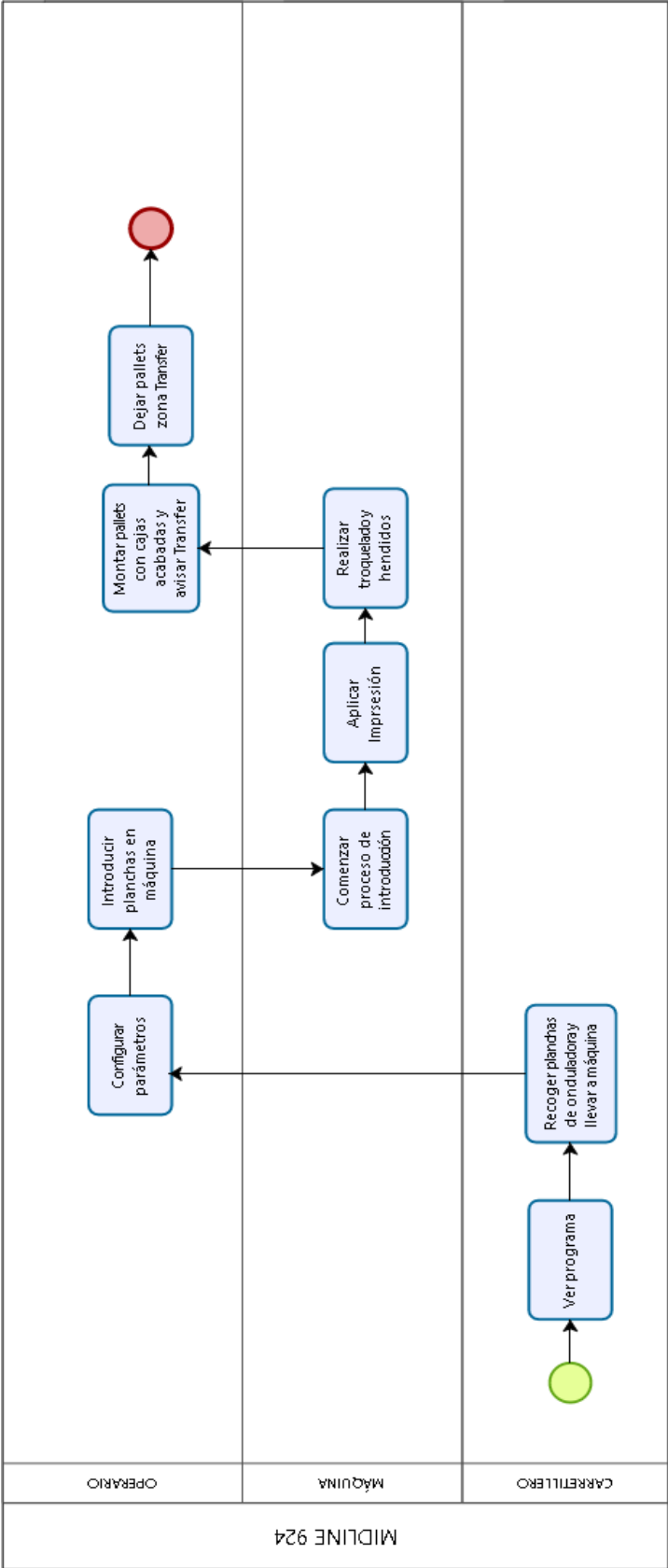


Ilustración 14: Diagrama de flujo máquina Martin Midline 924. Elaboración propia.

## 7.1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Como se ha explicado anteriormente, durante los últimos meses se ha producido un aumento considerable del número de devoluciones de cajas tipo B1 fabricadas en la máquina Midline 924, por lo que se procede a realizar un estudio de esta situación.

Para empezar, se han ordenado en una tabla, que se muestra a continuación, de mayor frecuencia de aparición a menor, los tipos de defecto que han causado no conformidades durante el año 2018, hasta el mes de junio. Se muestran solamente los tipos de defecto que se consideran vitales, es decir, aquellos cuya frecuencia acumulada llega hasta el 70%.

TIPO DE DEFECTO	FRECUENCIA	% FREC. ACUMULADA
Creasing/Gluing	58	14%
Board	41	24%
Palletisation	34	32%
Cutting	27	38%
Too Little	27	45%
Admin./Price	25	51%
Print quality	24	56%
Too much	21	61%
Register	20	66%
Admin./Sales	19	71%

*Tabla 1: frecuencias tipo de defectos. Elaboración propia.*

En la tabla 1 se pueden apreciar los diferentes tipos de defectos, considerados como vitales, de los que se va a realizar una pequeña explicación.

**Creasing/Gluing:** defectos relacionados con el plegado de las pestañas de la caja.

**Board:** defectos asociados a la formación de las cajas.

**Palletisation:** defectos relacionados con el paletizado.

**Cutting:** defectos relacionados con el proceso de troquelado.

**Too Little:** enviar una cantidad menor de la que solicitaba el cliente.

**Admin. /Price:** incidencias relacionadas con errores en el precio.

**Print quality:** defectos relacionados con la impresión.

**Too much:** enviar una cantidad mayor de la que solicitaba el cliente.

**Register:** defectos relacionados con la impresión.

**Admin. /Sales:** incidencias relacionadas con el departamento de ventas.

El defecto que tiene una mayor acumulación de incidencias, es Creasing/ Gluing (plegado/pegado) con una frecuencia de 58 No Conformidades registradas durante el año 2018.

Para realizar todos los gráficos y diagramas que se mostrarán a continuación, se ha empleado el programa Minitab, que es un software que permite el uso de diferentes herramientas estadísticas para analizar datos.

También se ha realizado un análisis de Pareto incluyendo todos los tipos de defecto que han causado no conformidades durante 2018 para facilitar la búsqueda de los defectos críticos del proceso y la selección del proyecto para aplicar la metodología Lean 6 Sigma.

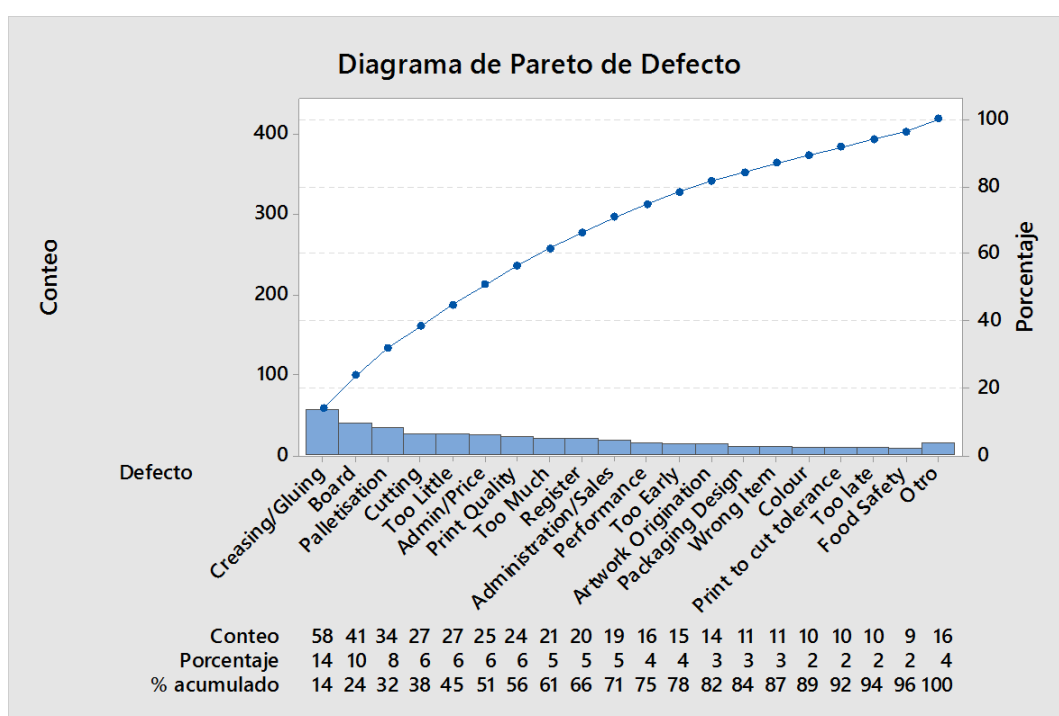


Ilustración 15: Diagrama de Pareto de tipos de defecto. Captura programa Minitab.

Para complementar este análisis y definir el problema sobre el cual se va a desarrollar el proyecto Lean Seis Sigma, se ha visto cuáles son las Parte por Millón (PPM) que se han imputado a cada uno de estos defectos. Este indicador sirve para medir la cantidad de cajas defectuosas que finalmente se tiran al recorte y se calcula de la siguiente manera:

$$PPM = (\text{Cantidad defectuosa/cantidad producida}) * 1000000$$

Cada defecto no puede superar el objetivo establecido para este año de 850 PPM. Esta cifra marcada de 850 no debe ser superada al calcular a final de año la media ponderada de cada trimestre. Este objetivo lo establece el responsable de calidad, tras reunirse con el jefe de producción y estudiar la evolución de años anteriores. Como es una empresa que trabaja en la mejora continua, cada año trata de bajar dicho objetivo, siempre que las circunstancias estudiadas lo permitan. Para el año 2017, el objetivo marcado de las PPM era de 870, y debido a que no se produjo durante el año ninguna anomalía que alterara las estadísticas, se estableció el objetivo en 850 PPM (previa reunión con el jefe de producción).

Además, este año no sólo se ha fijado el objetivo general de no superar las 850 PPM, también se ha establecido un objetivo individual para cada departamento, de manera que puedan llevar un mejor control de la cantidad de cajas defectuosas que han generado. Para establecer estos objetivos de cada departamento, se ha realizado un seguimiento de las PPM generadas durante estos años, las causas, si han sido puntuales, etc. En base a este estudio, y para el caso de las máquinas, teniendo en cuenta el volumen de producción, se han establecido los objetivos por departamento de las PPM. Estos objetivos por departamento se han calculado de manera que, siempre que se cumplan, no se superará el límite general de PPM establecido en 850.

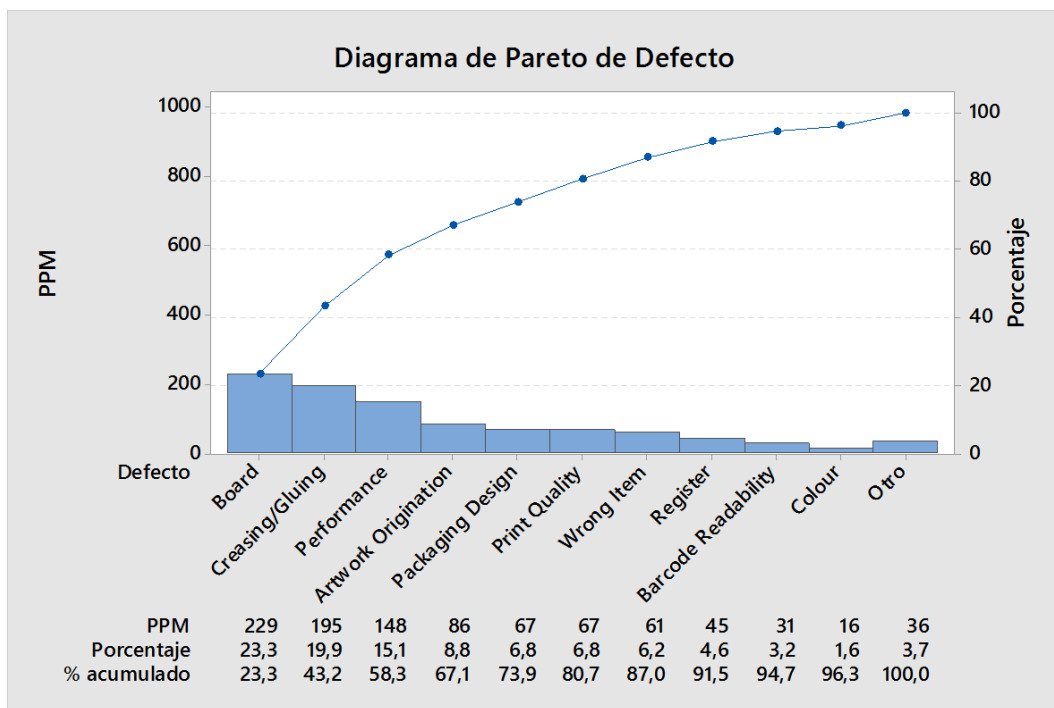


Ilustración 16: Diagrama de Pareto de PPM. Captura programa Minitab.

De esta manera, defectos como Palletisation, Cutting, Too Little, Admin. /Price, Too Much y Admin. /Sales que aparecían como vitales en el gráfico de la ilustración 15, ahora en este gráfico no aparecen, se encuentran en el grupo de otros defectos catalogados como un defecto no vital.

En el caso de las nuevas categorías que aparecen en la ilustración 16 como el defecto de Performance y Artwork Origination son incidencias que han generado un gran número de PPM en

un solo pedido fabricado. Por lo tanto, se considera como un defecto de tipo puntual que será tratado de una manera diferente.

De esta forma, la atención queda centrada en los siguientes defectos vitales:

- Creasing/Gluing
- Board
- Print Quality
- Register

Los resultados del análisis de Pareto han indicado que las incidencias relacionadas con la calidad del plegado de la caja (Creasing/Gluing) son el defecto de calidad con mayor recurrencia. Además, el valor de PPM asociado a este defecto, advierte de la gran cantidad de cajas no conformes que se ha podido generar en los diferentes pedidos entregados.

Se procede a realizar una matriz de priorización para valorar el proyecto a realizar a uno de los defectos vitales seleccionados anteriormente.

Proyecto Nº	Descripción	CRITERIOS TÉCNICOS 1 = No o casi nada, 2 = Intermedio, 3 = Si o bastante					VALORACIÓN	CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN 1 = poco o nada, 2 = Algo, 3 = medio 4 = bastante, 5 = mucho				
		Vinculado a proceso	Suceso crónico	Con impacto notable	Alcance manejable	Bajo autoridad del Champion		Impacto en negocio	Urgencia	Riesgos limitados	Sin resistencias	PRIORIDAD
1	Creasing/Gluing	3	3	3	3	3	15	5	3	3	1	49
2	Board	3	2	3	2	3	13	5	3	3	3	36
3	Print Quality	3	2	3	3	3	14	5	3	2	1	31
4	Register	3	2	2	2	3	12	5	3	2	1	31

Ilustración 17: Matriz de priorización. Elaboración propia.

Para elaborar esta matriz se han cogido los 4 defectos vitales que los diagramas de Pareto han indicado como más relevantes, se han definido los criterios técnicos y de priorización, consensuados con el responsable de calidad y el jefe de producción, y se les ha otorgado un peso y un valor, de manera que el defecto que obtenga una mayor valoración y prioridad será en el que se centre el proyecto.

Por lo tanto, a partir de los resultados descritos anteriormente y apoyados en los criterios técnicos y de priorización descritos en la matriz adjunta, se concluye que el proyecto Lean Seis Sigma consistirá en la reducción de las incidencias relacionadas con la calidad del plegado y formación de la caja (defecto descrito en la tabla como Creasing/ Gluing).



### 7.1.3 CUADRO DEL PROYECTO

Este apartado contiene un resumen del contenido del proyecto, incluyendo una descripción del problema, el objetivo del proyecto, el beneficio que aportará, el alcance y el equipo que lo llevará a cabo.

El problema: Un alto número de incidencias asociadas a la formación de las cajas tipo B1 en la casa del cliente.

Objetivo: Reducción de las incidencias de calidad asociadas al plegado y formación de la caja en la máquina Martin Midline 924 924.

Beneficio: Minimizar las incidencias relacionadas con la formación de las cajas B1 en casa del cliente, reforzando la confianza y, en consecuencia, aumentando la cuota de mercado de este tipo de caja.

Alcance: Cajas fabricadas en la máquina Inliner Martin Midline 924.

Equipo: Champion → Director de producción de la planta

Green Belt → Responsable de calidad de la planta

Team Members → Auxiliar de calidad, auxiliar del laboratorio, adjunto supervisor de producción.

## 7.2 ETAPA MEDIR

En esta segunda etapa se identifican las características o atributos clave del producto y se empieza a realizar las mediciones sobre dichos atributos para caracterizar el proceso. [1].

### 7.2.1 CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE CALIDAD

Las características críticas de calidad (CTQ, del inglés critical to quality) relacionadas con el plegado y formación de la caja se definen a continuación.

#### Entalle

Es la profundidad de las ranuras sobre el hendido. El objetivo de esta CTQ es que no se desvíe respecto a las especificaciones. Respecto a las tolerancias definidas, se tiene que  $A < 1\text{mm}$  y  $B < 3\text{mm}$ , quedando A y B definidas en la siguiente imagen.

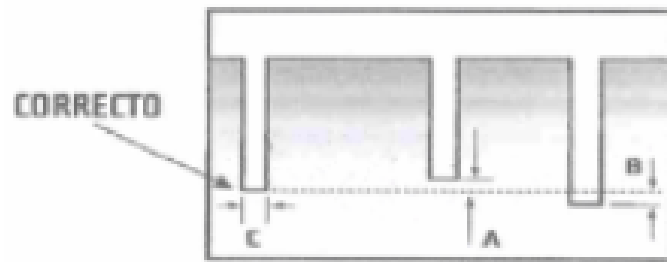


Ilustración 18: Entalle. [2].

### **Abiertas/Cerradas**

Espacio entre los bordes de los dos paneles plegados. El objetivo de esta CTQ es que tenga la misma dimensión que el ancho de la cuchilla, que son 8mm. Las tolerancias especificadas es que el GAP sea de +/- 4mm.  $GAP = (A+B) / 2$ , siendo A la separación entre bordes superiores y B la separación entre bordes inferiores.

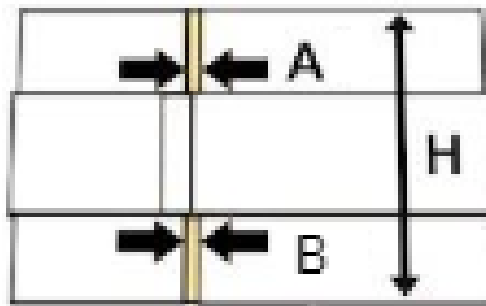


Ilustración 19: Abiertas/Cerradas. [2].

### **Cola de pez**

Es la falta de paralelismo entre los bordes de los dos paneles pegados. El objetivo de esta CTQ es que no aparezca. Las tolerancias establecidas son  $|A-B| < 3$ , siendo A la diferencia de separación entre los bordes superiores y B la diferencia de separación entre los bordes inferiores.

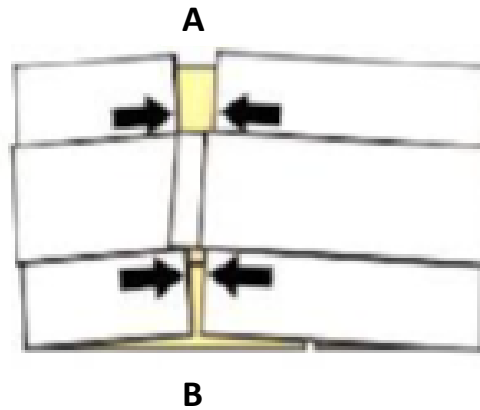


Ilustración 20: Cola de pez. [2].

### 7.2.2 RECOPIACIÓN DE DATOS

Para la recopilación de los datos de las cajas fabricadas, se diseñó una tabla que se muestra a continuación. Al realizar dicha recopilación se cogieron lotes de fabricación de diferentes cantidades y fecha de fabricación.

Nº Pedido:		Nº Pallet:		Altura B1:	
Turno:		Maquinista:		Maquina: Martin 924	
COLA DE PEZ	ENTALLES				ABIERTAS/CERRADAS
A-B	A.s	A.i	P.s	P.i	(A+B)/2

Tabla 2: tabla de recopilación de datos. Elaboración propia.

En la tabla 2 se recogen todos los datos referentes a los defectos de entalles, cola de pez y abiertas/cerradas. Para cola de pez se tomaban 2 medidas, A y B, que se pueden ver en la ilustración 20. El valor A correspondía con la distancia existente en la parte superior de la caja y el valor B con la inferior. Para el defecto de abiertas/cerradas se tomaban los mismos valores A y B, se sumaban y se dividía el resultado entre 2. Para los entalles se medían los entalles superiores e inferiores directamente, que se pueden apreciar mejor en la ilustración 21.

En la siguiente imagen se describe el posicionamiento de los entalles que han sido medidos. Tanto los entalles superiores como los inferiores son hechos por la misma cuchilla. Dicha cuchilla está fijada a un eje rotativo.

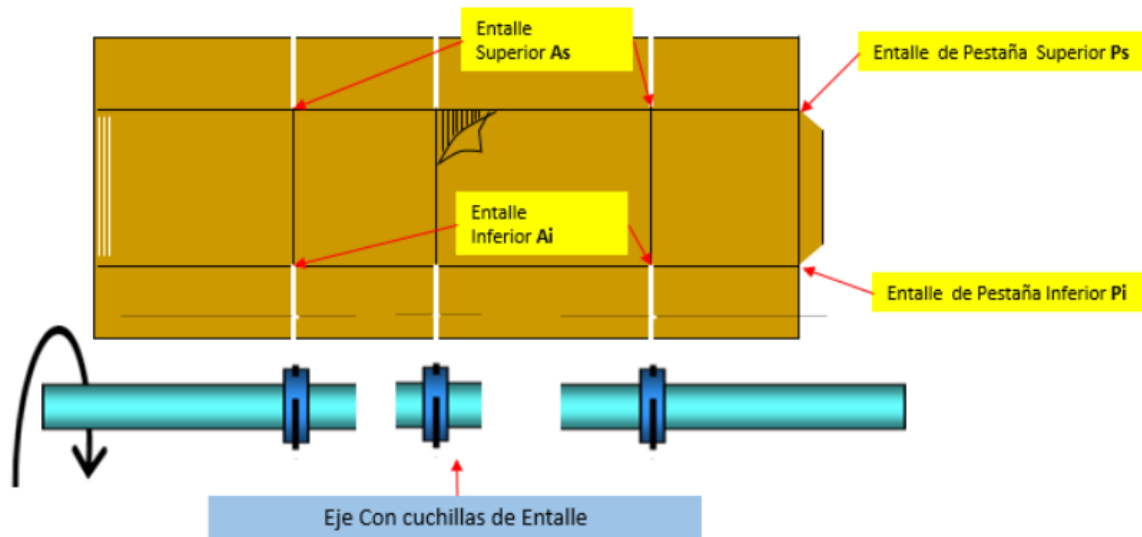


Ilustración 21: posicionamiento de los entalles. [2].

Además de la recopilación de datos de cola de pez, abiertas/cerradas y entalles, también se obtuvieron datos de la humedad del cartón de las cajas. Para ello se realizaron muestras de un peso máximo de 200 gramos y se introducían una a una en una termobalanza.

La termobalanza se usa para determinar la cantidad de agua contenida en las muestras. El cálculo de la humedad se determina por la pérdida de peso que sufre la muestra después del proceso de calentamiento. [10].



*Ilustración 22: termobalanza. Propiedad de Smurfit Kappa.*

Una vez se han obtenido todos los datos mediante las hojas indicadas anteriormente, se procede a utilizar las herramientas estadísticas adecuadas que permitan obtener conclusiones.

En total se tomaron 175 muestras de cajas, realizadas por el auxiliar del departamento de calidad y los técnicos de laboratorio.

## 7.3 ANALIZAR

Una vez se han recopilado los datos sobre las salidas del proceso, se procede a tratar de identificar los síntomas o causas que están haciendo que no se cumplan los objetivos de dichas salidas. [1].

### 7.3.1 ANÁLISIS DE DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS CRÍTICAS DE CALIDAD

#### **Entalle**

Con el objetivo de hacer una primera exploración del comportamiento del proceso, se procede a realizar los histogramas correspondientes para cada tipo de entalle, para conocer el patrón de variación de los datos.

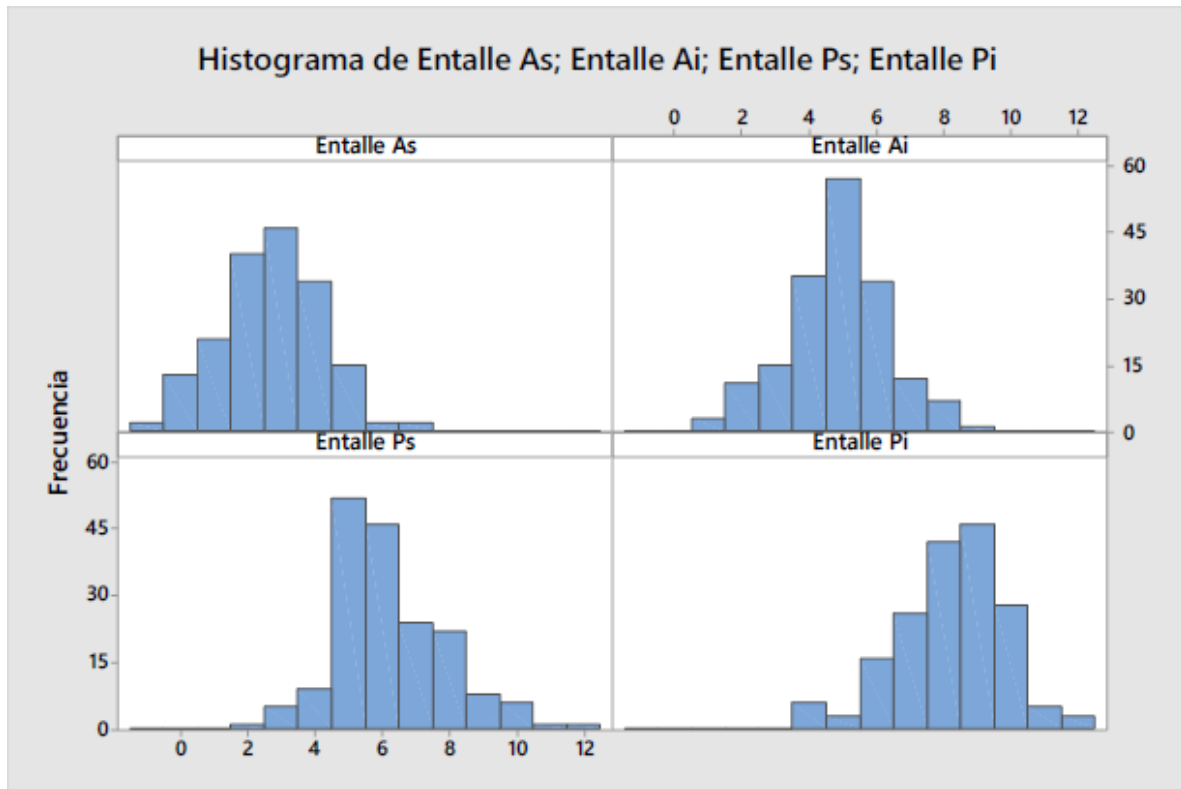


Ilustración 23: comparativa histogramas de entalle. Captura de Minitab.

En la ilustración 23 se puede observar un gráfico comparativo con los histogramas pertenecientes a cada tipo de entalle, realizado en Minitab.

A continuación, se muestra la tabla que contiene los datos estadísticos correspondientes a los diferentes tipos de entalle.

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Entalle As	175	2,709	1,520	(2,482; 2,935)
Entalle Ai	175	4,846	1,514	(4,620; 5,072)
Entalle Ps	175	6,217	1,664	(5,969; 6,465)
Entalle Pi	175	8,217	1,618	(7,976; 8,459)

Tabla 3: tabla datos de los entalles. Captura de Minitab.

En esta tabla se recogen los datos, para cada tipo de entalle, del tamaño de muestra N, la media, la desviación y el intervalo de confianza al 95%.

Como se puede observar en la tabla 3, son los entalles inferiores los que presentan una mayor desviación que los entalles superiores. Del mismo modo, son los entalles de la pestaña los que presentan la mayor desviación con respecto a la tolerancia establecida. Esto indica que podría existir algún problema con la alineación del cartón con respecto al eje que hace los hendidos o un defecto de excentricidad del eje porta cuchillas con respecto al cartón.

Para completar este análisis se ha realizado un análisis ANOVA, verificando así si existe igualdad entre las medias de los entalles, empleando los datos mostrados en la tabla 3.

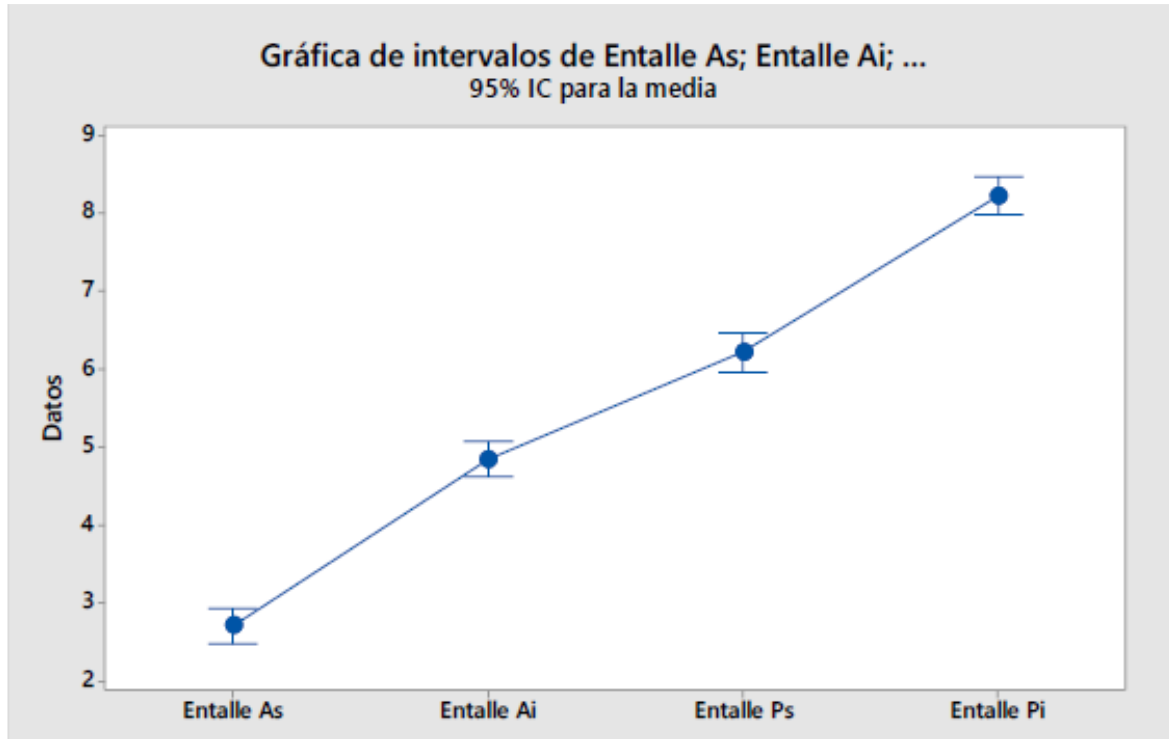


Ilustración 24: gráfico intervalos de entalle. Captura de Minitab.

Para realizar el análisis ANOVA es necesario plantear una hipótesis nula, en este caso la de que todas las medias son iguales, y otra alternativa, en la que una media es diferente. El nivel de significancia elegido es de  $\alpha = 0,05$ .

Hipótesis nula ( $H_0$ )  $\longrightarrow$  todas las medias son iguales.

Hipótesis alternativa ( $H_a$ )  $\longrightarrow$  al menos una media es diferente.

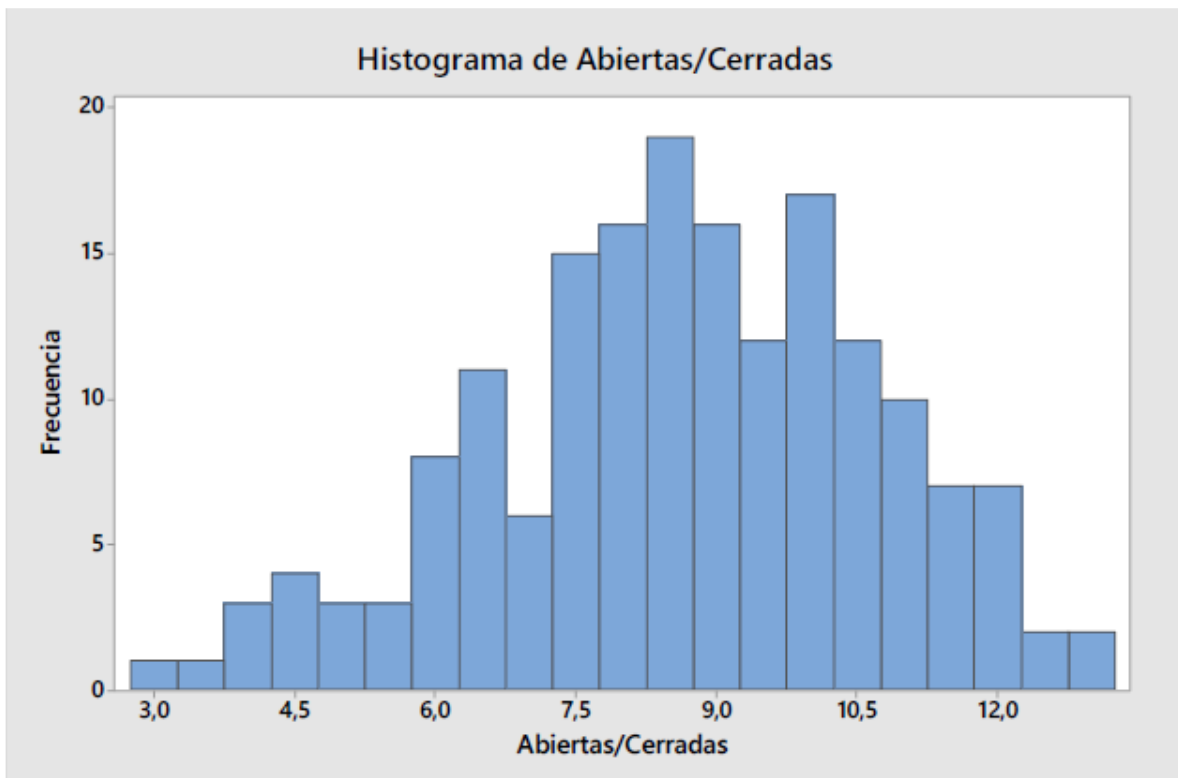
Nivel de significancia  $\longrightarrow \alpha = 0,05$

Al introducir los datos de la tabla 3 en el programa Minitab, utilizando la herramienta análisis ANOVA, el valor obtenido de p es de 0,001. El valor de p es menor a 0,05 por lo que la hipótesis nula es

rechazada. Es decir, no todas las medias son iguales y es posible que exista un problema con la alineación del cartón con respecto al eje que hace los hendidos o un defecto de excentricidad del eje porta cuchillas con respecto al cartón. [1].

### **Abiertas/Cerradas**

Se ha realizado un histograma de los datos recogidos para ver cómo se de distribuyen.



*Ilustración 25: histograma de Abiertas/Cerradas. Captura Minitab.*

En este caso, los datos presentan un patrón que se asemeja al de una distribución normal. No obstante, hay algunas barras que sobresalen y podrían estar indicando alguna perturbación durante el proceso.

### **Cola de pez**

Al realizar el histograma de los datos, se observa que la forma de la gráfica podría estar asociada a la existencia de un límite a un solo lado del valor, pues en este caso el objetivo es que la cola de pez o descuadre de caja sea cero. Además, la medición de este CTQ se hace en valores absolutos.



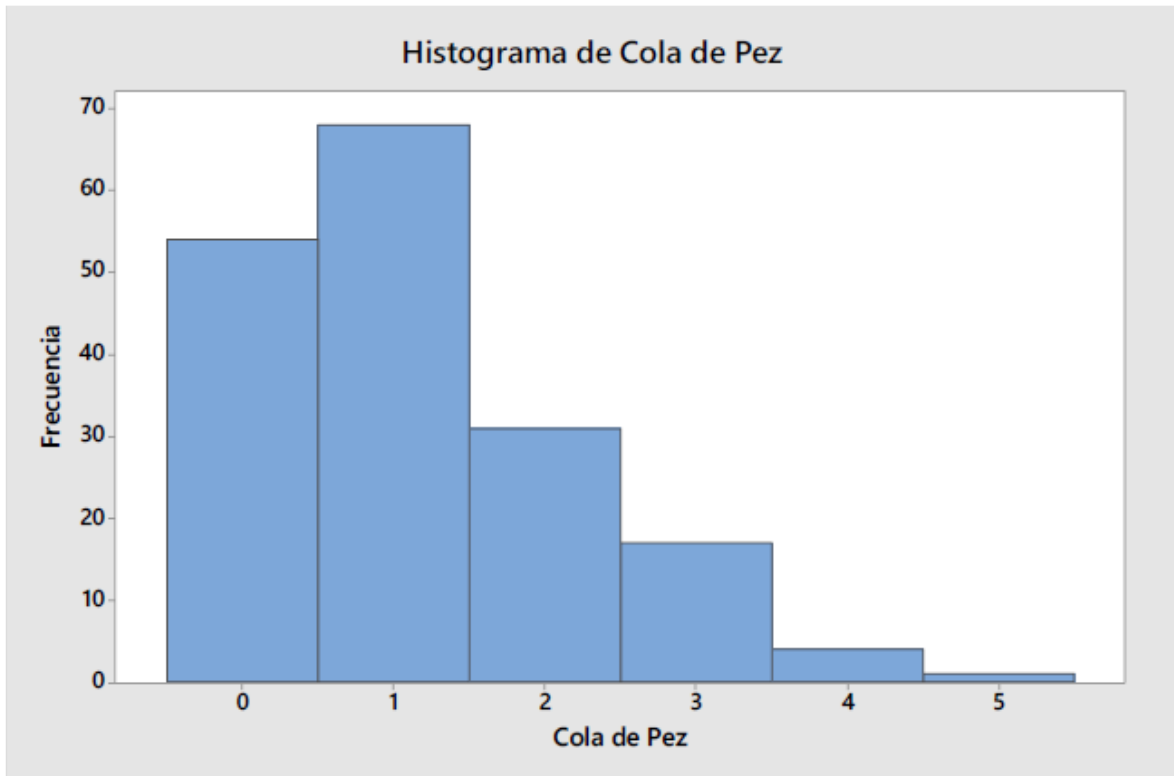


Ilustración 26: histograma de Cola de pez. Captura de Minitab.

A continuación, se muestra la tabla 4, con los estadísticos descriptivos de las características críticas de calidad.

Variable	N	Media	Desv.Est.	CoefVar	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Entalle As	175	2,709	1,520	56,13	-1,000	2,000	3,000	4,000	7,000
Entalle Ai	175	4,846	1,514	31,24	1,000	4,000	5,000	6,000	9,000
Entalle Ps	175	6,217	1,664	26,76	2,000	5,000	6,000	7,000	12,000
Entalle Pi	175	8,217	1,618	19,70	4,000	7,000	8,000	9,000	12,000
Abiertas/Cerradas	175	8,634	2,080	24,09	3,000	7,500	8,500	10,000	13,000
Cola de Pez	175	1,1543	1,0743	93,07	0,0000	0,0000	1,0000	2,0000	5,0000

Tabla 4: tabla de estadísticos de las CTQ. Captura de Minitab.

En la tabla 4 se observa que la cola de pez, es el defecto con mayor dispersión. Mientras que la desviación del entalle en la parte inferior de la pestaña Pi, tiene los datos con menor dispersión de todas las CTQ. Esta última anotación, es muy interesante, pues, aunque Pi tiene la menor dispersión de todos los entalles, la media y la mediana con respecto a la tolerancia y objetivo establecido está totalmente desfasado; es decir, el proceso está totalmente desfasado. Mientras que en el caso de los

entalles As, donde el coeficiente de dispersión es mucho mayor, la desviación del total de los datos, con respecto al objetivo nos muestra unos datos mejor centrados con respecto a la tolerancia establecida.

### 7.3.2 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

En este apartado se podrán ver las condiciones de operación y comportamiento del proceso para cada una de las CTQ. Para ello se ha empleado la herramienta Capability Sixpack, dentro del programa Minitab.

#### Entalle

Para cada uno de los 4 tipos de entalle se ha realizado un informe del Capability Sixpack y se muestran a continuación.

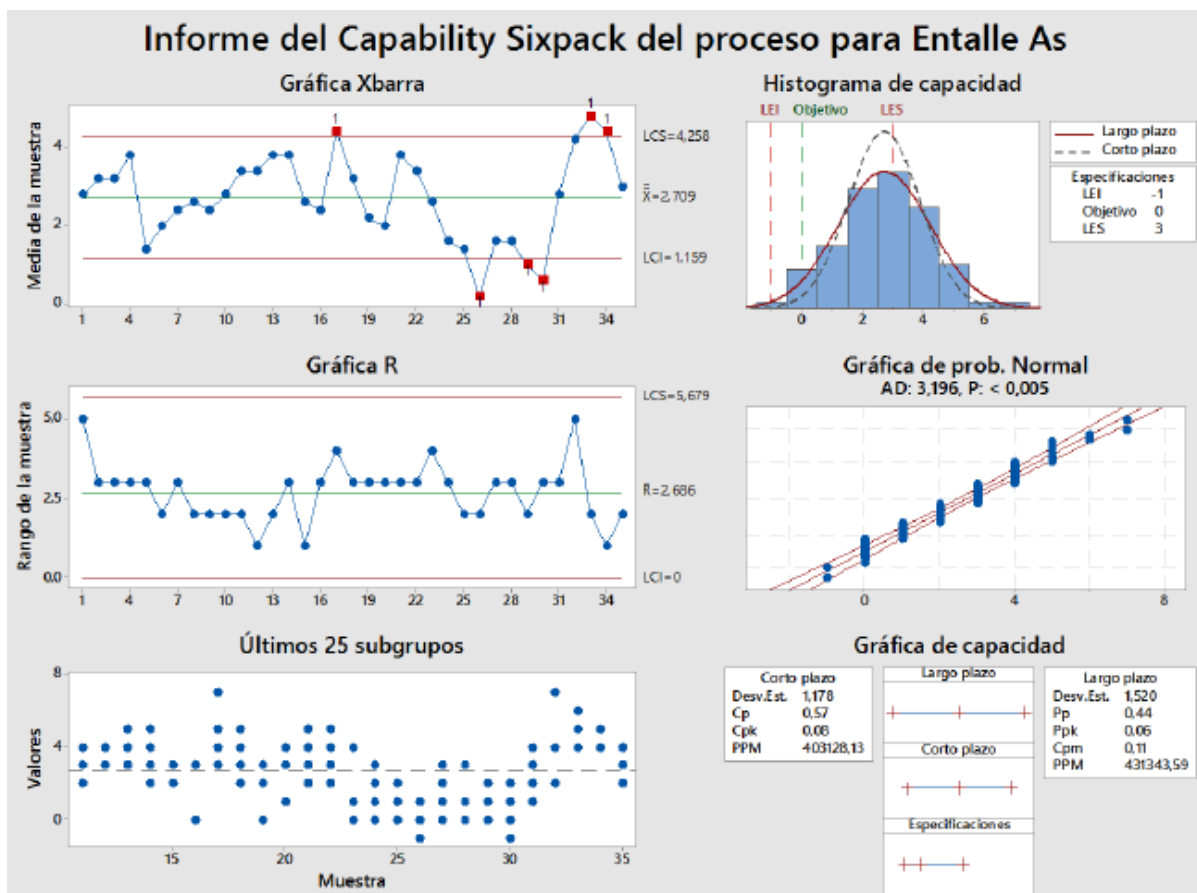


Ilustración 27: informe Capability Sixpack entalle As. Captura de Minitab.

La ilustración 27 contiene dos gráficos de control, uno correspondiente a la media de las muestras, gráfico X, y otro correspondiente al rango de la muestra, gráfico R. La gráfica X indica que el proceso no es estable y no está controlado. [1]. También se muestran los valores de los últimos 25 subgrupos de la muestra y un histograma en el que se han fijado el objetivo y los límites inferior y superior, marcados por las tolerancias del cliente, que indica que el proceso está descentrado.

Para poder comprobar si los datos siguen una distribución normal, se ha incluido una gráfica de probabilidad normal, que para este caso indica que los datos no siguen una distribución normal, ya que la P es menor a 0,05, y los puntos no se encuentran dentro de los límites de la recta. [1].

En cuanto a la capacidad de proceso, en la gráfica de capacidad incluida se puede observar que el índice de capacidad con tolerancia Cp para todos los valores obtenidos, es menor que 1, lo que significa que la dispersión del proceso es mayor al rango de tolerancias o especificaciones del cliente. [1].

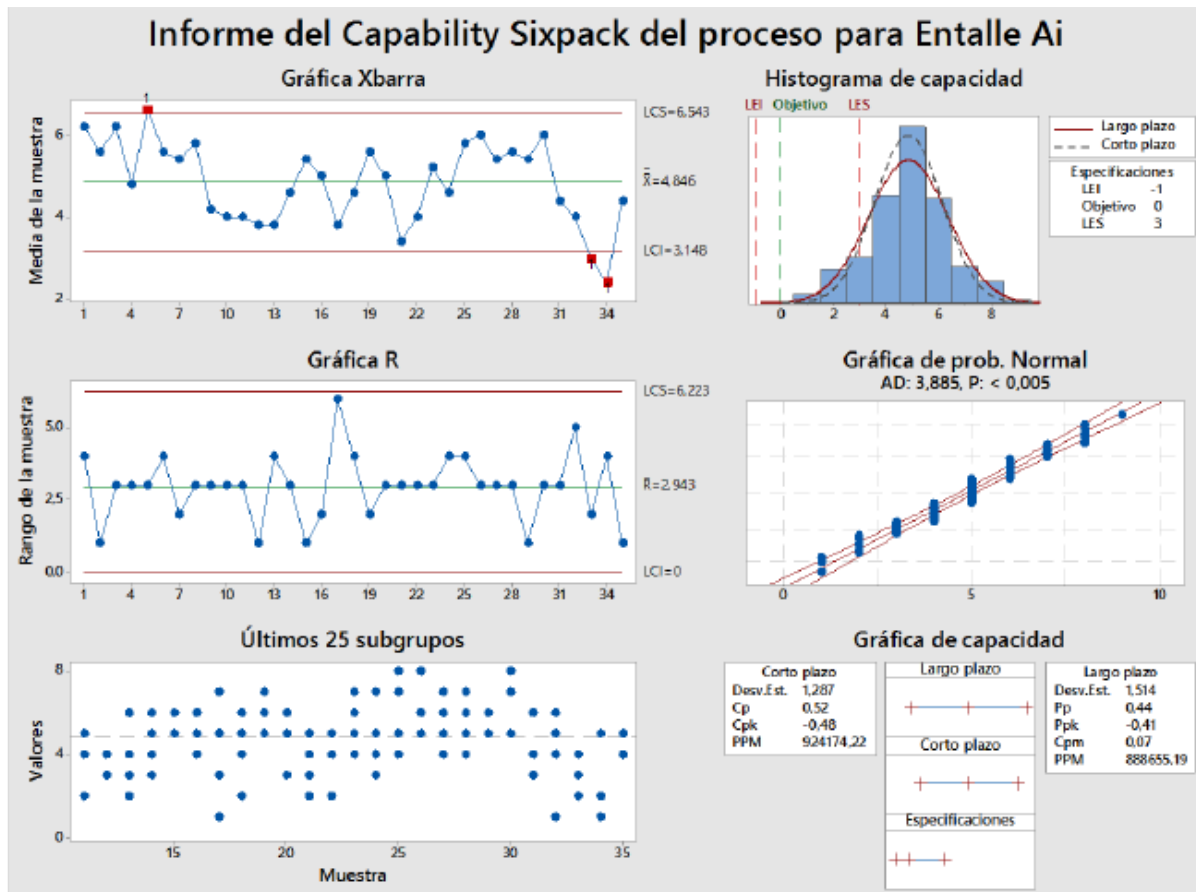


Ilustración 28: informe Capability Sixpack entalle Ai. Captura de Minitab.

En la ilustración 28 se puede observar que, para este tipo de entalle, el proceso no es estable y tampoco está controlado, tal como indica la gráfica X. El histograma y la gráfica de probabilidad indican que el proceso no está para nada centrado y que los datos no siguen una distribución normal.

Por lo que respecta a la capacidad del proceso, en la gráfica de capacidad se puede observar que el índice de capacidad con tolerancia Cp para todos los valores obtenidos, es menor que 1, lo que significa que la dispersión del proceso es mayor al rango de tolerancias o especificaciones del cliente. [1].

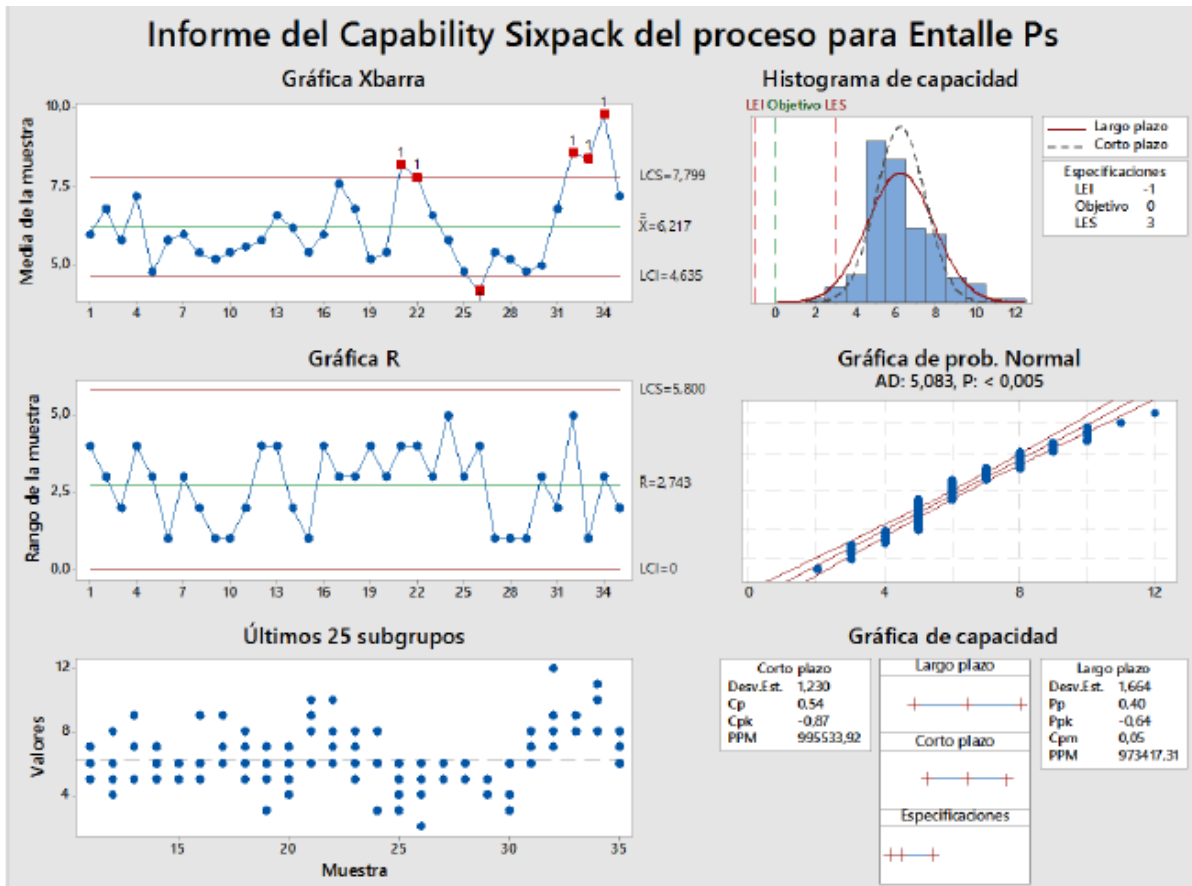


Ilustración 29: informe Capability Sixpack entalle Ps. Captura de Minitab.

En la ilustración 29 se puede observar que, para este tipo de entalle, el proceso no es estable y tampoco está controlado, tal como indica la gráfica X. El histograma y la gráfica de probabilidad indican que el proceso no está para nada centrado y que los datos no siguen una distribución normal.

Por lo que respecta a la capacidad del proceso, en la gráfica de capacidad se puede observar que el índice de capacidad con tolerancia Cp para todos los valores obtenidos, es menor que 1, lo que significa que la dispersión del proceso es mayor al rango de tolerancias o especificaciones del cliente. [1].

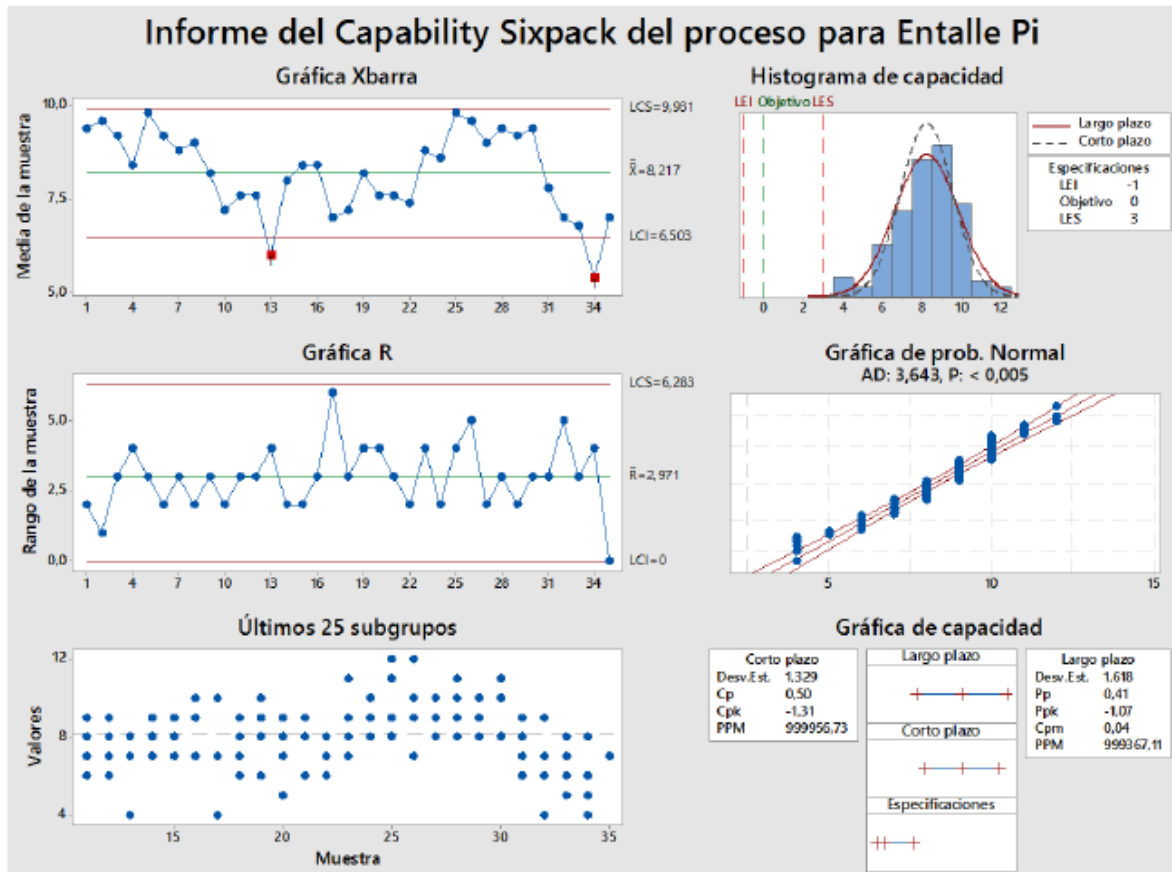


Ilustración 30: informe Capability Sixpack entalle Pi. Captura de Minitab.

En la ilustración 30 se puede observar que, para este tipo de entalle, el proceso no es estable y tampoco está controlado, tal como indica la gráfica X. El histograma y la gráfica de probabilidad indican que el proceso no está para nada centrado y que los datos no siguen una distribución normal.

Por lo que respecta a la capacidad del proceso, en la gráfica de capacidad se puede observar que el índice de capacidad con tolerancia Cp para todos los valores obtenidos, es menor que 1, lo que significa que la dispersión del proceso es mayor al rango de tolerancias o especificaciones del cliente. [1].

En resumen, todos los gráficos X indican que el proceso para los entalles no es estable y no está controlado, ya que existen puntos fuera de los límites de control de los gráficos de control en los cuatro tipos de entalle. Además, el análisis de normalidad indica que los datos no son normales, como se ha verificado con las gráficas de probabilidad normal. En cuanto a la capacidad de proceso, los índices de capacidad con tolerancia Cp para todos los valores obtenidos, son menores que 1, lo que significa que la dispersión del proceso es mayor al rango de tolerancias o especificaciones del cliente. Los valores de Cpk o Ppk obtenidos también son mucho menor que 1. [1].

Por lo tanto, lo más preocupante, es que dichos valores obtenidos indican que los problemas existentes en el sistema son bastante serios pues por mucho que se trabajara en tratar de centrar el proceso, nunca sería capaz de cumplir con las especificaciones requeridas por el cliente.

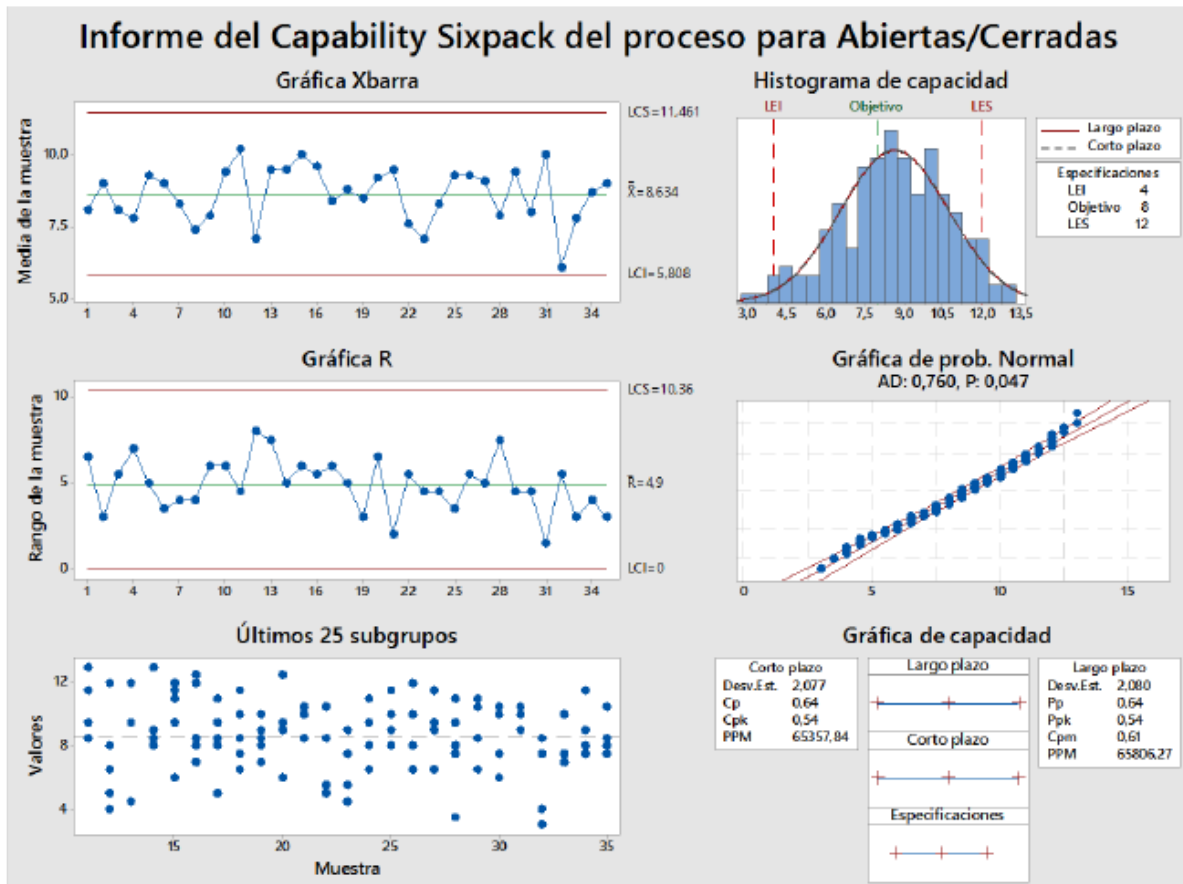
**Abiertas/Cerradas**

Ilustración 31: informe Capability Sixpack de Abiertas/Cerradas. Captura de Minitab.

En este caso, los grafico X y R indican que el proceso es estable y está controlado. Pues las diferentes mediciones, se encuentran dentro de los límites de control. No obstante, el análisis de capacidad indica que se encuentra fuera de los límites especificados por el cliente. La gráfica de probabilidad normal indica que los datos están cerca de seguir una distribución normal, con un valor de P de 0,047. El proceso esta descentrado y el grado de dispersión de los datos es mayor al rango de tolerancias o especificaciones del cliente. El proceso no es capaz. [1].

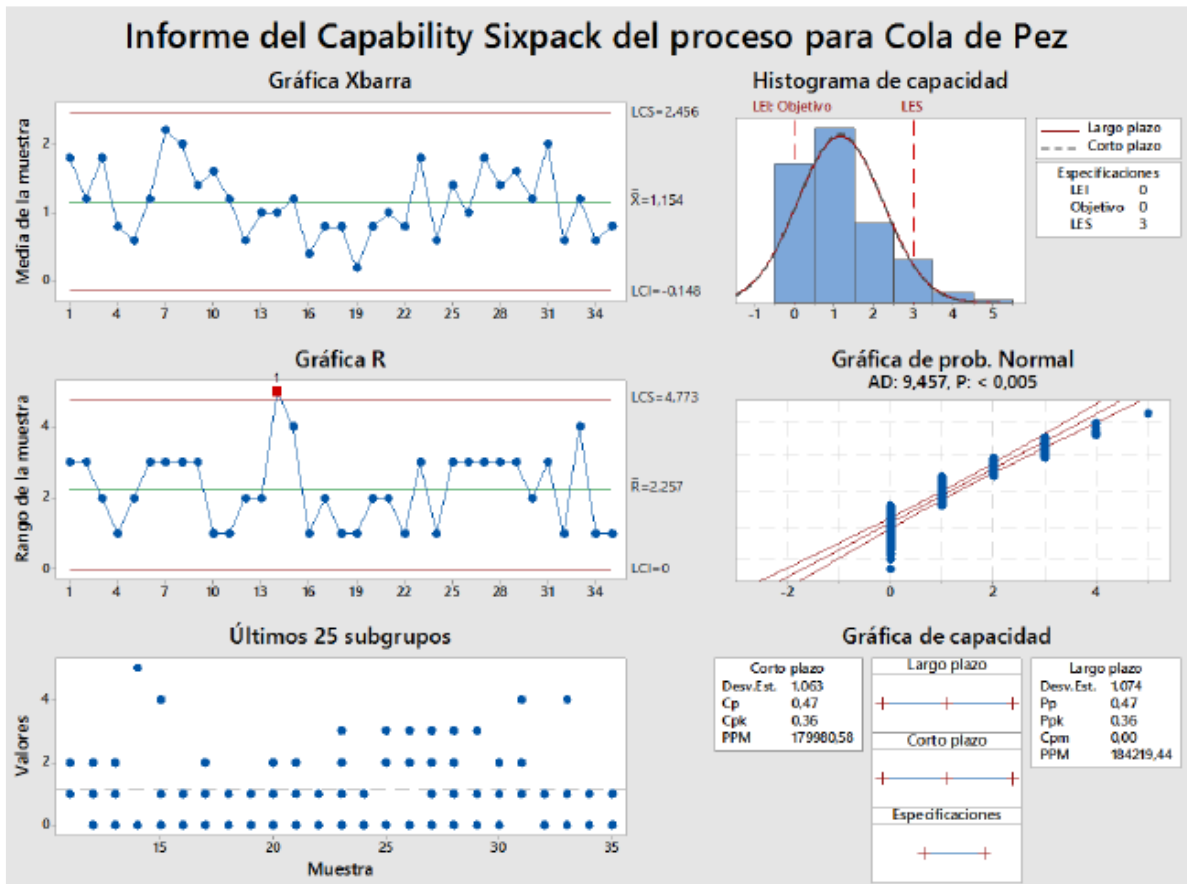
**Cola de Pez**

Ilustración 32: informe Capability Sixpack de Cola de pez. Captura de Minitab.

Para el caso de cola de pez, los gráficos X-Barra y R-Barra indican que el proceso no es estable y no está controlado. Pues, aunque el grafico X muestre todos los puntos dentro de los límites de control, el grafico R indica una dispersión de los datos que significa que el proceso no es estable. El análisis de capacidad indica que se encuentra fuera de los límites especificados por el cliente. El proceso está descentrado y el grado de dispersión de los datos es mayor al rango de tolerancias o especificaciones del cliente. El proceso no es capaz. [1].

### 7.3.3 ANÁLISIS DE CAUSA Y EFECTO

En este apartado se han realizado los diagramas de causa y efecto para cada una de las CTQ para poder entender así las causas raíz de los defectos.

**Entalles**

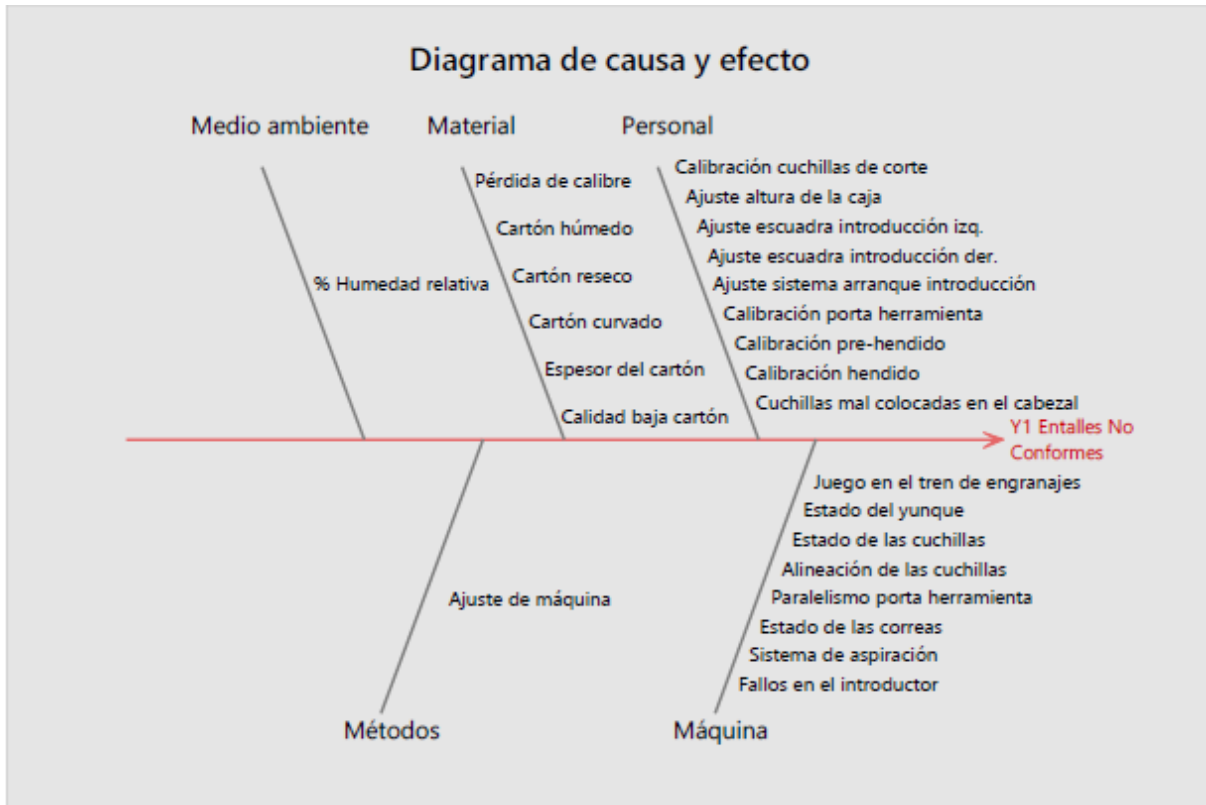


Ilustración 33: diagrama causa y efecto de los entalles. Captura de Minitab.

Este diagrama de la ilustración 33 se ha realizado teniendo en cuenta las 5 causas principales que afectan al proceso y desglosando cada causa en diferentes subcausas que puedan ayudar a identificar el origen de los defectos en los entalles. Para ello se tomó nota de las aportaciones de los operarios de la máquina y el supervisor de conversión, y se llevó a cabo la realización del diagrama en el programa Minitab. Para el caso de los entalles se aportaron posibles subcausas relacionadas con las cuchillas.



**Abiertas/Cerradas**

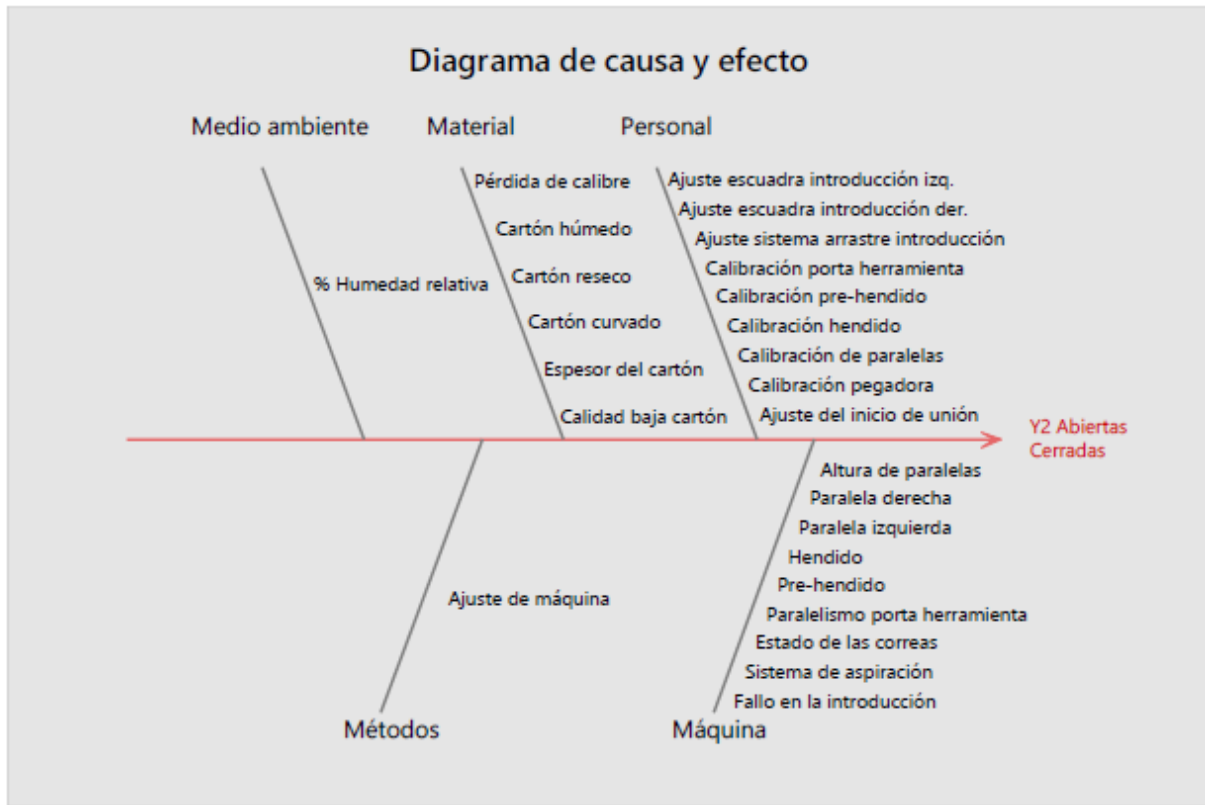
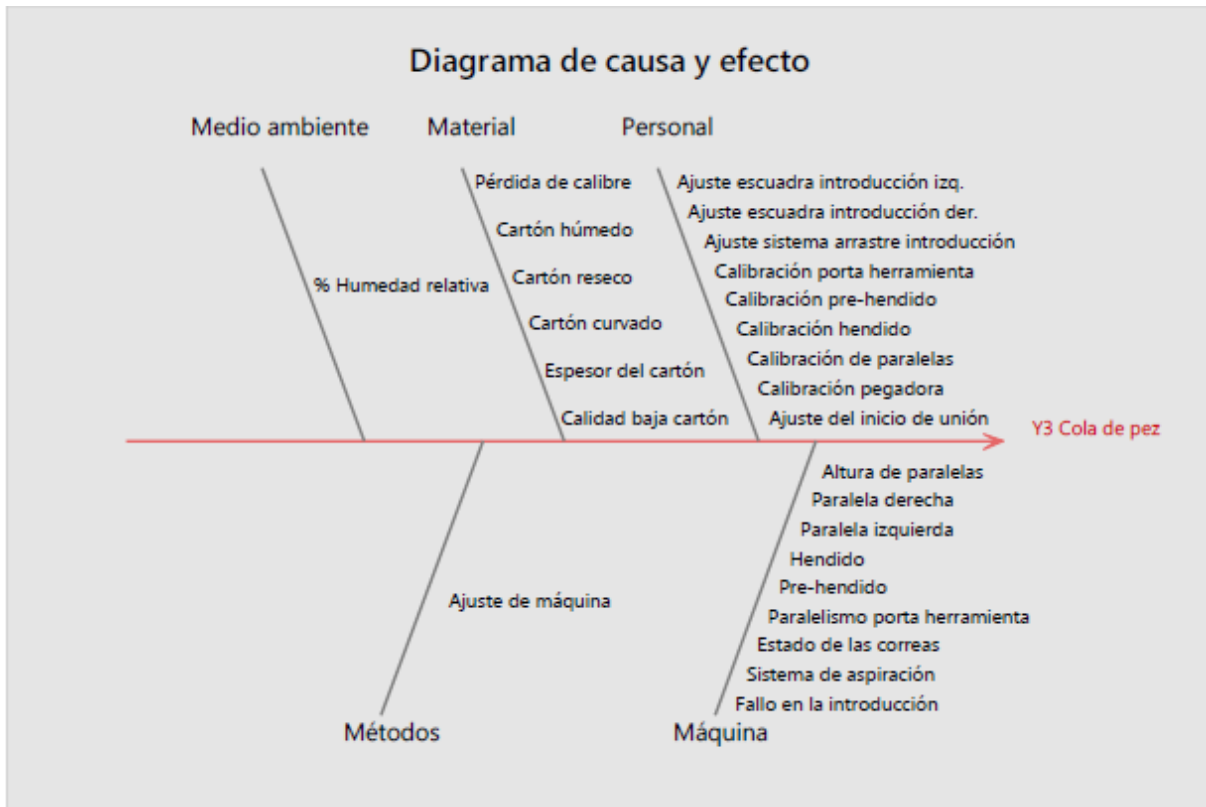


Ilustración 34: Diagrama causa y efecto de Abiertas/Cerradas. Captura de Minitab.

En este diagrama de la ilustración 34, las subcausas relacionadas con los métodos de trabajo, el medio ambiente y el material son comunes al anterior diagrama, ya que éstas no se ven alteradas en los diferentes procesos. Respecto al diagrama de los entalles de la ilustración 33, se han eliminado las subcausas referentes a las cuchillas y se han añadido otras como la calibración de la pegadora.

**Cola de pez**



*Ilustración 35: Diagrama causa y efecto de Cola de pez. Captura de Minitab.*

Este diagrama de la ilustración 35, es igual que el del defecto de abiertas/cerradas de la ilustración 34, ya que ambos defectos están muy relacionados.

Al analizar cada uno de los diagramas de causa y efecto para cada CTQ, se observa que varias de las causas, Xi, son comunes para las tres características críticas de calidad. Además, luego de verificar en el lugar de trabajo el estado de algunas partes de las herramientas del equipo y verificar las condiciones del material, se concluye que las siguientes son las causas sobre las cuales se debe actuar.

- X1: estado de las cuchillas de las pestañas
- X2: calibración de la cuchilla de la pestaña en el cabezal
- X3: humedad del cartón
- X4: arrastre y transporte
- X5: calibración del hendido

En la siguiente tabla se recogen las observaciones realizadas para cada una de las causas.

Causa	Tipo de Variable	Observación
X1: Estado de las cuchillas de la pestaña	Cualitativa	La vida útil de estas cuchillas es aproximado de 6 meses
X2: Calibración de la cuchilla de la pestaña en el cabezal	Cualitativa	Valor fijo asociado a la altura de la caja
X3: Humedad del cartón	Cuantitativa	El % de humedad relativa y el post acondicionamiento del cartón afecta la formación y definición del hendido
X4: Arrastre y transporte	Cualitativa	Si la plancha llevara desbarbe, el transporte de la plancha en la pista de la maquina sufriría menos perturbación
X5: Calibración hendido	Cuantitativa	Valor cuantitativo que durante la toma de muestras ha estado fijo. El estudio será extendido para otros tipos de cartón en los cuales se pueda variar la calibración del hendido

Tabla 5: tabla de observaciones sobre las causas. Elaboración propia.

### 7.3.4 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

En este apartado se va a proceder a realizar un análisis de correlación entre las variables cuantitativas que podrían afectar al plegado y formación de la caja, que son la humedad del cartón y la calibración del hendido.

Primero se realiza el análisis con la variable humedad.

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): la humedad del cartón no influye en la calidad del plegado de la caja.
- Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): la humedad del cartón sí influye en la calidad del plegado de la caja.

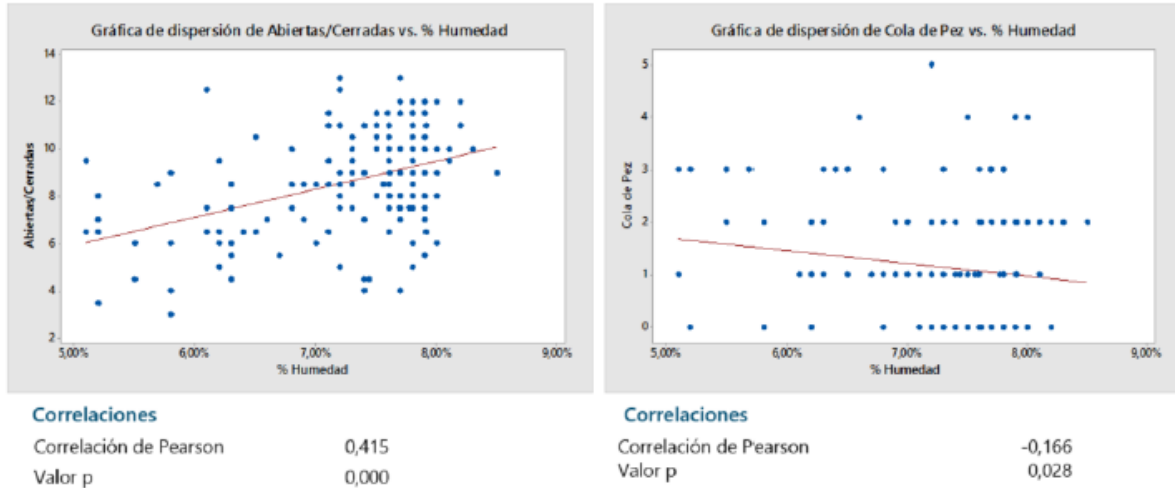


Ilustración 36: gráficas de dispersión de la relación entre el porcentaje de humedad y los defectos Abiertas/Cerradas y Cola de pez. Captura de Minitab.

En estas gráficas se ha relacionado el defecto de abiertas/cerradas con la humedad y el defecto de cola de pez con la humedad.

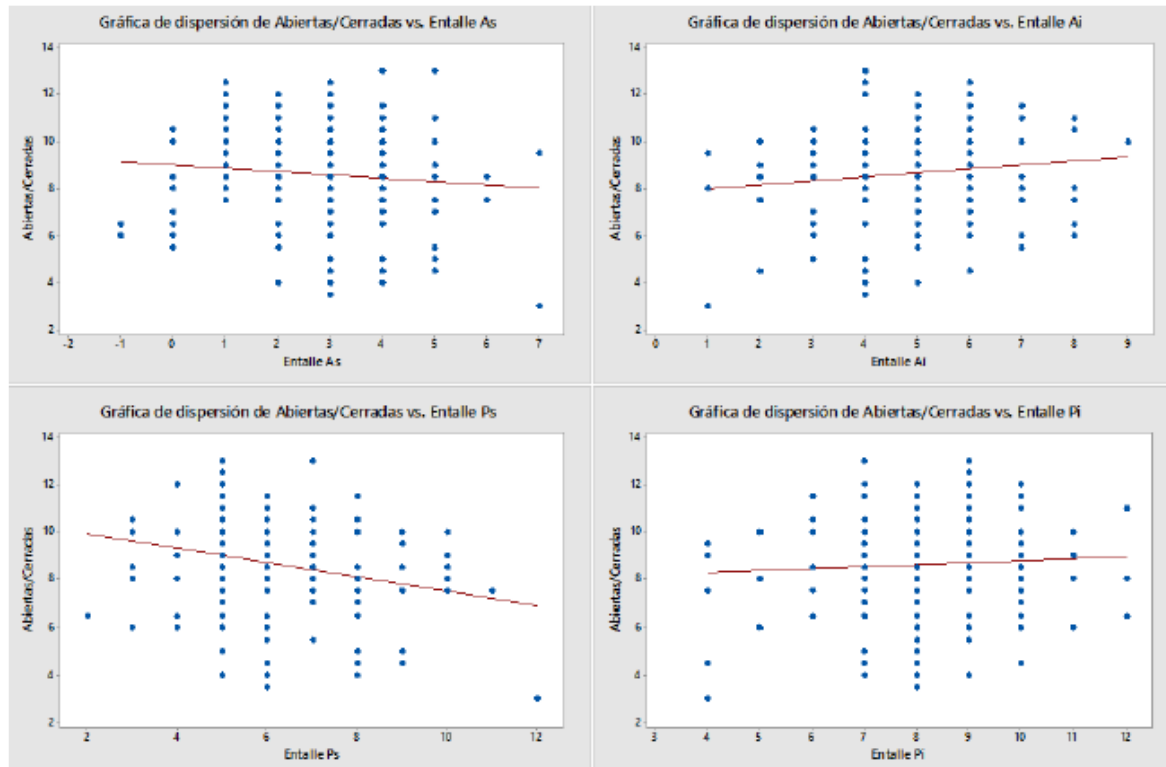
En el caso de la CTQ abiertas/cerradas, el factor de correlación es 0,4 un valor que, aunque no se cataloga como muy importante indica que existe una correlación fuerte que valdría la pena ser analizada para encontrar mejoras. Además, el valor de P indica que se debe rechazar la hipótesis nula  $H_0$ , por lo tanto, se concluye que la humedad del cartón sí influye en la calidad del plegado de la caja.

En el caso de la CTQ cola de pez, la correlación es menos importante, pero igualmente el valor de P indica que se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ . [1].

El segundo análisis de correlación se ha realizado entre los entalles y la calidad del plegado de la caja.

- $H_0$ : Los entalles no influyen en la calidad del plegado de la caja.
- $H_a$ : Los entalles sí influyen en la calidad del plegado de la caja.

Primero se realizan las gráficas correspondientes a la relación entre los diferentes tipos de entalle y el defecto abiertas/cerradas.

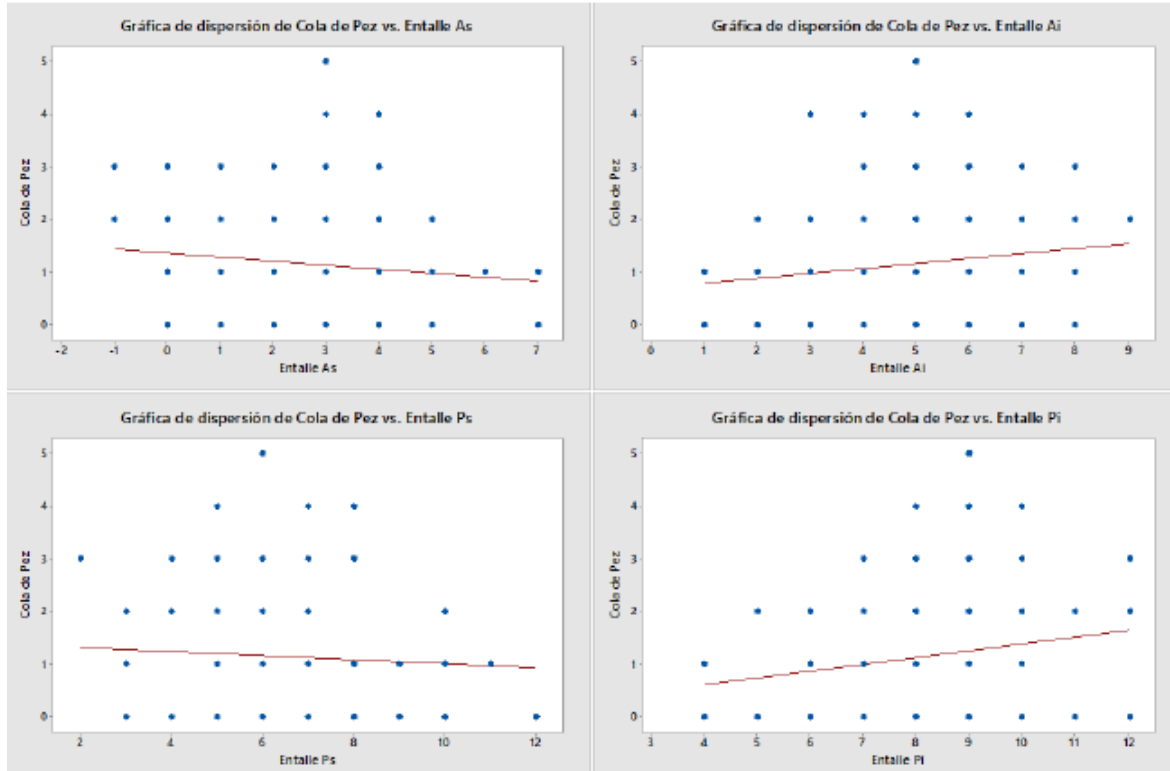


	Entalle As	Entalle Ai	Entalle Ps	Entalle Pi
<b>Abiertas/Cerradas</b>				
Correlación de Pearson	-0,102	0,122	-0,242	0,064
Valor p	0,179	0,106	0,001	0,401

Ilustración 37: gráficas de dispersión de la relación entre los tipos de entalle y el defecto Abiertas/Cerradas. Captura de Minitab.

Al ver las gráficas de dispersión de Abiertas/Cerradas con los diferentes entalles, se ve claramente que existe un patrón relacionado con la ubicación del entalle en función de la cuchilla y la secuencia del entalle realizado en la máquina.

Por último, se han realizado las gráficas correspondientes a la relación entre los diferentes tipos de entalle y el defecto Cola de pez.



	Entalle As	Entalle Ai	Entalle Ps	Entalle Pi
<b>Cola de pez</b>				
Correlación de Pearson	-0,106	0,131	-0,061	0,195
Valor p	0,163	0,083	0,425	0,010

Ilustración 38: gráficas de dispersión de la relación entre los tipos de entalle y el defecto Cola de pez. Captura de Minitab.

En el caso de la CTQ Abiertas/Cerradas, los factores de correlación no son fuertes y a excepción del entalle Ps, los valores de P son mayores a 0,05 por lo tanto no se rechaza la Ho para los entalles. Es decir, que los entalles As, Ai, y Pi no influyen en la calidad del grado de abiertas y/o cerradas en la caja. Solo en el caso del entalle superior de la pestaña Ps se ha obtenido un valor de P menor a 0,05 pero el grado de correlación no es muy fuerte. [1].

En el caso de la CTQ Cola de pez, las correlaciones son prácticamente inexistentes, y los valores de P indican que se debe aceptar la Ho. No obstante, también existe una excepción. En el entalle de la pestaña inferior Pi se ha obtenido un valor de  $P < 0,05$  con lo cual en ese caso se concluiría que el entalle inferior de la pestaña sí influye en la generación de cola de pez. Pero el grado de correlación obtenido de 0.195 es tan bajo que se podría concluir a primera instancia que no hay correlación entre estas dos variables. [1].

### 7.3.5 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS

En función de los resultados obtenidos en los diferentes análisis realizados, se llega a la conclusión de los siguientes puntos.

- El buen estado del filo de corte de las cuchillas, es un factor decisivo en el corte y definición de los entalles. Al verificar el estado de este elemento de la máquina, se ha encontrado con cuchillas desgastadas que aún no han sido cambiadas. Esto es corroborado con las tendencias mostradas en los gráficos X-barra para los diferentes entalles.
- La humedad del cartón influye en la definición del hendido y el correcto plegado de la caja. Un porcentaje de humedad alto altera la consistencia del cartón, haciendo necesario durante el proceso de converting modificar la presión de los pre-hendidos y los hendidos. Además, posteriormente durante el plegado, en función del grado de humedad que tenga el cartón este tendrá una consistencia que causa pliegues por el hendido del fluting (papel ondulado).
- El correcto arrastre y transporte de la plancha de cartón es fundamental para lograr el correcto posicionamiento de los entalles y hendidos. Al analizar las causas de esta variable, se ha encontrado con la falta de desbarbe o línea de corte, que genera inestabilidad durante el transporte de la plancha entre cuerpo y cuerpo de la máquina.

### 7.4 MEJORAR

En base a las conclusiones obtenidas de la etapa analizar, se proponen una serie de mejoras, indicando las fechas de apertura, las acciones a realizar y los departamentos encargados de realizar dichas acciones.

Las mejoras se proponen en una serie de reuniones en las que asistía el supervisor de conversión, el responsable del departamento de calidad y los oficiales de la máquina Martin Midline 924. Estas mejoras se han seleccionado debido a su bajo coste y su fácil implantación.

La única alternativa que no se consideró fue la que proponía volver a utilizar las cuchillas empleadas antes del año 2017 (ya que a partir de este año se cambió de fabricante de cuchillas para esta máquina) debido al elevado coste que supondría, además de no garantizar la resolución del problema.

Las otras alternativas aceptadas se exponen a continuación.

### 7.4.1 ACCIÓN Nº 1

La incidencia asociada a esta acción son entalles defectuosos con retales o rebaba de cartón, causados por cuchillas desgastadas que no han sido cambiadas en el momento adecuado o se han averiado durante la operación del equipo.

La acción que se ha llevado a cabo ha sido la de establecer un periodo de cambio de estas cuchillas cada 6 meses, además de implantar un panel de control en la máquina indicando la última fecha de cambio de las mismas, y que también avisa cuando el cambio de cuchillas está próximo.

El departamento asignado para realizar esta acción es el de mantenimiento.

Además, se ha propuesto una jornada de sensibilización con los equipos de máquina para que revisen correctamente el estado de las cuchillas durante la preparación de los diferentes pedidos, con el objetivo de identificar a tiempo cualquier avería relacionada con el estado de las cuchillas, que ya se ha realizado durante el mes de junio.

Las personas encargadas de realizar dicha jornada son el supervisor de conversión y el responsable de calidad.

La fecha de apertura de esta acción se fija para el 11/06/18.

### 7.4.2 ACCIÓN Nº 2

La incidencia asociada a esta acción es la de cartón húmedo o reseco. Se considera cartón húmedo aquel que presenta un porcentaje de humedad mayor a 8,5. Cartón reseco es el que tiene un porcentaje de humedad menor a 6.

La causa del cartón húmedo se puede dar debido a la aplicación de un exceso de cola durante la fabricación del cartón, por falta de calor en el sistema de ondulado (en el grupo ondular o la mesa de secado) o la combinación de ambas.

Mientras que el cartón reseco puede darse por falta de aplicación de cola y/o falta de calor en sistema de ondulado (en el grupo ondular o la mesa de secado).

Se propone, por tanto, una revisión y un ajuste en la aplicación de cola, así como la revisión de la parametrización de la temperatura de secado en el programa de la mesa de secado, realizándose estas acciones durante el mes de junio.

La persona asignada para la realización de estas tareas es el supervisor de onduladora.

La fecha de apertura de esta acción se fija para el 11/06/18.



### 7.4.3 ACCIÓN Nº 3

La incidencia asociada a esta acción es la desalineación de las planchas, produciendo entalles y hendidos mal definidos. La desalineación está causada por fallos en el arrastre y/o transporte de la plancha entre cuerpo y cuerpo de la máquina.

La mejora que se propone es la modificación de la caja B1 ref: 22227. Esta caja debe llevar desbarbe a partir de ahora. Se debe hacer la respectiva modificación en el sistema. El primer paso consistirá en modificar la ficha técnica de este producto y añadirle el desbarbe o línea de corte.

Esta acción la realizan el departamento de diseño y el de servicios comerciales conjuntamente.

La fecha de apertura de esta acción se fija para el 14/06/18.

### 7.5 CONTROLAR

En esta última etapa se han establecido una serie de puntos que ayuden a mantener los buenos resultados obtenidos.

- A finales de año (diciembre de 2018) se procederá con una nueva recopilación de datos para la elaboración de gráficos de control X-R.
- Control al nº de no conformidades asignadas a la calidad del plegado de la caja.
- En las reuniones del control room, se revisarán los resultados y evolución de las NC y las PPM de la máquina Martin Midline 924.
- Revisión mensual del panel de cambio de cuchillas situado en la máquina por parte del supervisor de conversión.
- Revisar y actualizar todos los documentos con las nuevas especificaciones de la caja B1 ref:22227 mensualmente.

## 8. RESULTADOS

En este apartado se van a mostrar los resultados obtenidos después de implantar las mejoras propuestas y se compararán con los resultados iniciales.

El periodo durante el cual se han registrado los nuevos datos después de aplicar las propuestas ha sido desde junio hasta noviembre.

El nº de no conformidades asociadas a la calidad del plegado de la caja registradas antes de las mejoras (desde enero hasta mayo incluido) se puede ver en la siguiente tabla.

TIPO DE DEFECTO	FRECUENCIA
Entalle	19
Abiertas/Cerradas	22
Cola de pez	17
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>

*Tabla 6: tabla frecuencia de defectos antes de las mejoras. Elaboración propia.*

El nº de no conformidades asociadas a la calidad del plegado de la caja registradas después de las mejoras (desde junio hasta octubre incluido) se puede ver la siguiente tabla.

TIPO DE DEFECTO	FRECUENCIA
Entalle	10
Abiertas/Cerradas	11
Cola de pez	9
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>

*Tabla 7: tabla frecuencia de defectos después de las mejoras. Elaboración propia.*

Para que la comparativa sea lo más precisa posible, también se ha obtenido el volumen producido de este tipo de caja durante los dos periodos (antes y después de las mejoras aplicadas).

MES	VOLUMEN
Enero	62421 uds
Febrero	39782 uds
Marzo	54555 uds
Abril	42723 uds
Mayo	37898 uds
<b>TOTAL</b>	<b>237379 uds</b>

*Tabla 8: tabla volumen producido antes de las mejoras. Elaboración propia.*

MES	VOLUMEN
Junio	45788 uds
Julio	30552 uds
Agosto	29635 uds
Septiembre	46641 uds
Octubre	47124 uds
<b>TOTAL</b>	<b>199740 uds</b>

*Tabla 9: tabla volumen producido después de las mejoras. Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta el volumen producido durante el periodo comprendido entre enero y mayo, y las no conformidades asociadas a la calidad del plegado en dicho periodo, se obtiene que cada 4093 cajas producidas, se genera una no conformidad.

Mientras que, con el volumen producido durante el periodo comprendido entre junio y octubre, se genera una no conformidad asociada a la calidad del plegado, en este mismo periodo, cada 6658 cajas producidas.

De este modo, comparando los dos periodos se observa que se ha reducido el nº de no conformidades que se generan en un 38,5% aproximadamente.

## 9. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se va a proceder a explicar cómo se han empleado las horas disponibles para llevar a cabo al proyecto y los costes que ha supuesto.

### 9.1 PLANIFICACIÓN TEMPORAL

Se ha realizado una planificación para tener una idea aproximada del tiempo dedicado a cada parte del proyecto. La duración del mismo ha sido de 5 meses aproximadamente.

Las tareas más representativas del proyecto han sido: detección de problemática, recopilación de información, búsqueda del tutor, aplicación de la metodología (desglosada en las 5 etapas) y la elaboración de la memoria.

La tarea en la que se ha invertido una mayor cantidad de tiempo ha sido la de la aplicación de la metodología, compuesta por las 5 etapas. Dentro de la misma, las etapas más costosas de realizar han sido, en primer lugar, la etapa Analizar, en la que se empleaban todas las herramientas estadísticas necesarias para obtener unas conclusiones, y, en segundo lugar, la etapa Medir, en la que se recopilaban todos los datos necesarios para realizar el proyecto. La etapa Controlar no ha sido la más costosa de realizar, pero sí que es la que más se alarga en el tiempo hasta su cumplimiento en diciembre.

Se ha realizado un diagrama de Gantt, que se muestra a continuación, con las tareas nombradas anteriormente.

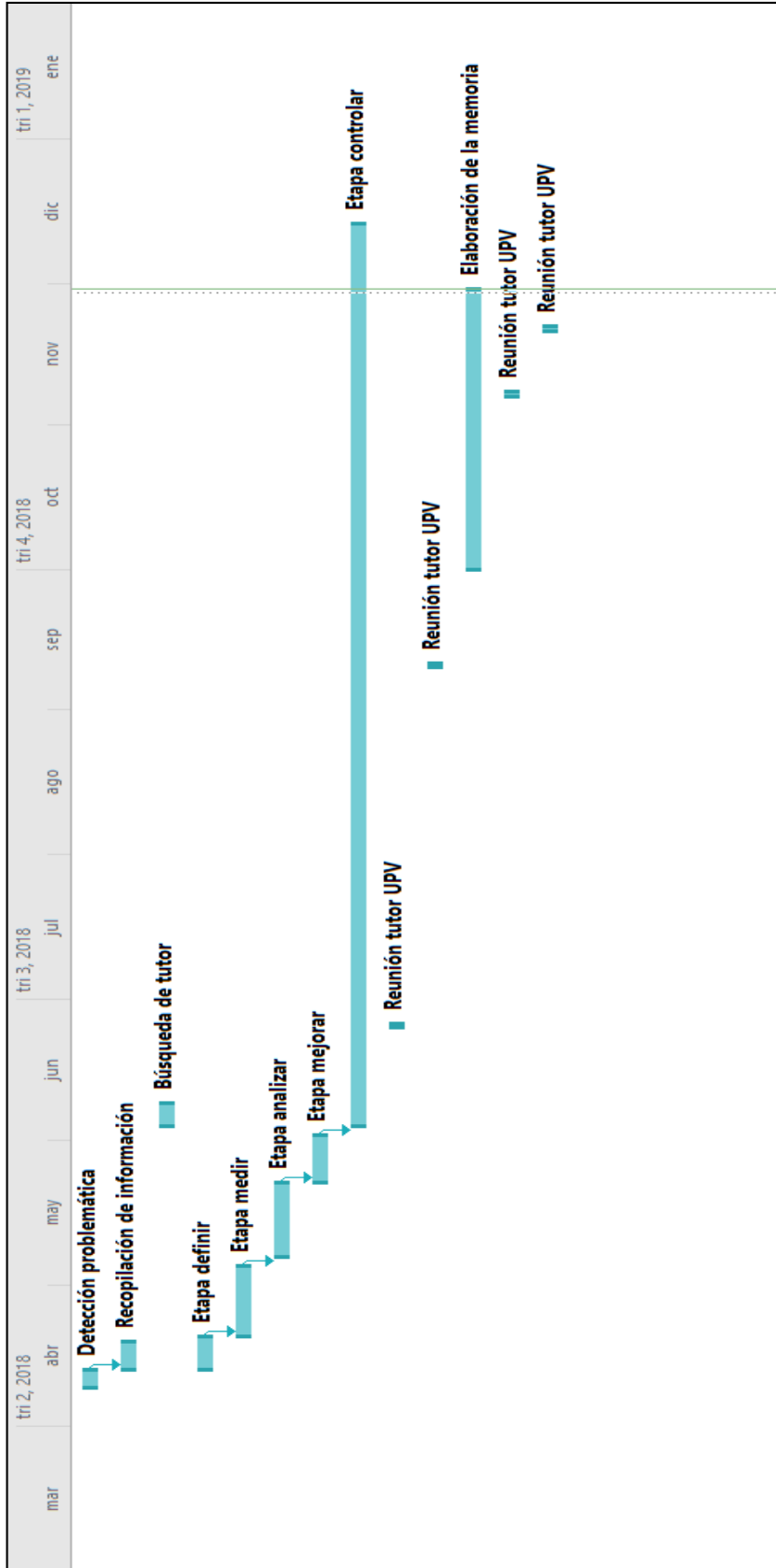
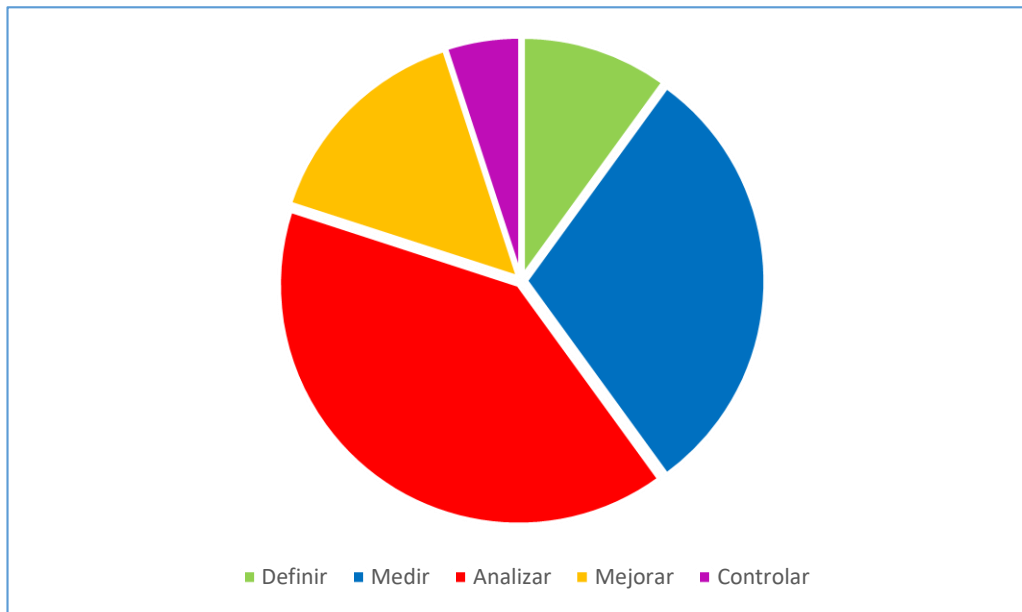


Ilustración 39: diagrama de Gantt. elaboración propia.

En el siguiente gráfico se puede observar el porcentaje de tiempo invertido en cada etapa, dentro de la tarea aplicación de la metodología.



*Ilustración 40: gráfico porcentaje de tiempo de las etapas. Elaboración propia.*

La etapa Analizar, como se ha comentado es la que ocupa un mayor porcentaje del tiempo empleado, ocupando un 40% de las horas, seguida de la etapa Medir con un 30%, la etapa Mejorar con un 15%, la etapa Definir con un 10% y la etapa Controlar con un 5%.

## 9.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se va a valorar el coste que ha supuesto la realización del proyecto y los beneficios estimados que puede aportar.

Los costes del proyecto se reflejan en la siguiente tabla:

	Concepto	Precio	Unidades	Total
Estudiante	Convenio de prácticas	350€/mes	5 meses	1.750 €
Equipo de instalación	Horas extra	15€/HE	3pers*2h= 6HE	90 €
Formación	Curso Green Belt	2.000 €	1	1.500 €
Material	Panel	170 €	1	170 €
Material	Resto de materiales instalación	100 €	1	100 €
<b>TOTAL</b>				<b>3.610 €</b>

Tabla 10: tabla costes del proyecto. Elaboración propia.

El coste total del proyecto es de 3610€, teniendo en cuenta todas las personas involucradas en él y los materiales necesarios para llevar a cabo las mejoras propuestas.

En cuanto al beneficio que se espera obtener, las mejoras han permitido reducir las no conformidades de forma que ahora es necesario fabricar casi 2000 cajas más hasta que se produzca una no conformidad. En el periodo anterior a las mejoras se dieron 58 no conformidades asociadas a la problemática detectada. Después de realizar las mejoras se registraron 30 no conformidades. El coste administrativo de registrar una no conformidad son 24€. Además del ahorro de estos costes fijos, también hay que considerar la cantidad de cajas que al fabricarse correctamente no serán devueltas por el cliente, reduciendo los costes notablemente.

En el periodo de 5 meses anterior a las mejoras se devolvieron por parte del cliente 44500 cajas aproximadamente, mientras que en el periodo de 5 meses con las mejoras establecidas se devolvieron 27300 aproximadamente. Las cajas que se devuelven a la empresa se han de abonar independientemente de lo que se haga después con ellas.

El precio de esta caja en concreto es de 242€/1000 uds. Por tanto, comparando un periodo con el otro, se ha producido un ahorro en costes durante este último periodo de 5 meses de 4162,4€ ((44500-27300) \* (242/1000)).

El ahorro en costes total de este periodo con las mejoras ha sido de 4834.4€ (4162.4€ + 672€ de los costes administrativos (24€\*28 No conformidades)).

Para realizar una comparación sin tener en cuenta las cantidades fabricadas de un periodo y otro, se ha realizado el siguiente cálculo.

Periodo anterior a las mejoras: 237379 cajas producidas, 44500 cajas devueltas. El porcentaje de cajas devueltas respecto las que se fabrican es del 18,75%.

Periodo con las mejoras: 199740 cajas producidas, 27300 cajas devueltas. El porcentaje de cajas devueltas respecto las que se fabrican es del 13,6%.

Por lo que se ha reducido considerablemente el porcentaje de cajas que se tiene que abonar al cliente al ser devueltas.

## 10. CONCLUSIONES

En este apartado se va a resumir lo expuesto en los apartados anteriores.

La posibilidad de realizar este proyecto surge como consecuencia de la realización de prácticas en la empresa Smurfit Kappa. El desarrollo del proyecto se ha llevado a cabo durante los últimos meses del periodo de prácticas. En el departamento de calidad, que es donde se registran y estudian las incidencias que se han tenido con los clientes, se observa que durante los primeros meses del año 2018 (hasta mayo) se están dando un gran número de devoluciones de un modelo específico de caja.

Primero se decide revisar los indicadores para que ayuden a clarificar cuáles son los defectos que han causado este incremento en las devoluciones. Estos indicadores son el nº de no conformidades por tipo de defecto y las PPM.

Mediante el uso de diagramas de Pareto y la matriz de priorización se selecciona el defecto que está generando el incremento de las incidencias, y que mayores beneficios puede aportar su solución. Una vez identificado se procede a realizar diferentes mediciones de las características críticas de calidad asociadas a este defecto, para analizarlas más adelante y poder obtener conclusiones.

Tras emplear diferentes herramientas estadísticas como histogramas, diagramas de causa y efecto, informes sobre la capacidad del proceso, etc, se llega a la identificación de 5 causas comunes a las diferentes características críticas de calidad.

Antes de realizar las mejoras, se estudia la relación de las causas identificadas entre sí, mediante análisis de correlación, para encaminar mejor las posibles soluciones. Una vez analizadas las relaciones, se organizan diversas reuniones en las que participan el responsable de calidad, el supervisor de conversión y el jefe de producción, para elegir finalmente 3 mejoras a implantar de las que se han propuesto.

Por último, se fijan las fechas para implantar estas mejoras y se asignan los departamentos encargados de llevarlas a cabo. También se establece un plan de control que permita mantener los resultados.



En cuanto a los resultados obtenidos después de implantar las mejoras, se produjo una disminución del registro de no conformidades de un 38,5% aproximadamente, comparando un periodo de 5 meses antes de implantar las mejoras y otro periodo de 5 meses con las mejoras implantadas.

Debido a los buenos resultados obtenidos en este proyecto, se está valorando aplicarlo en alguna otra máquina, siguiendo la filosofía de mejora continua en la que trabaja la empresa.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR, *Green Belt en Lean Seis Sigma*. 2017.
- [2] *Manual interno Smurfit Kappa*. 2017.
- [3] "Web Smurfit Kappa," 2018. [Online]. Available: <https://www.smurfitkappa.com/vHome/es>. [Accessed: 21-Jun-2018].
- [4] R. J. Herrera Acosta and T. J. Fontalvo Herrera, *Seis Sigma Métodos estadísticos y sus aplicaciones*. 2011.
- [5] H. Kume, *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*. Norma, 2004.
- [6] R. Carro Paz and D. González Gómez, *Administración de la calidad total*. 2012.
- [7] H. G. Pulido, *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. McGrawHill, 2013.
- [8] P. Valderrey Sanz, *Herramientas para la calidad total*. 2012.
- [9] "<https://ingenioempresa.com/diagrama-sipoc/>." [Online]. Available: <https://ingenioempresa.com/diagrama-sipoc/>. [Accessed: 21-Jun-2018].
- [10] "<http://www.crodemerida.edu.mx/index.php/equipos/item/11-termobalanza-para-cin%C3%A9tica-de-secado>," 2018. [Online]. Available: <http://www.crodemerida.edu.mx/index.php/equipos/item/11-termobalanza-para-cin%C3%A9tica-de-secado>. [Accessed: 02-Sep-2018].