



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

**MEJORA DEL OEE EN SECCIÓN DE MECANIZADO
APLICANDO TÉCNICAS LEAN SIX SIGMA**



Memoria y Anexos

Autor/a: Nicolás Alonso Cosío
Director/a: Eric Velázquez Corral
Co-Director/a: Salvador Cañas Rodríguez
Convocatoria: Junio 2021



Resumen

Nacido en Japón por parte del grupo Toyota a finales del siglo XX, hoy en día el Lean Manufacturing se aplica en su totalidad o bien en sus variantes en todo tipo de empresas. El Trabajo de Fin de Grado que se presenta a continuación muestra la aplicación de sus técnicas de mejora continua en una sección de mecanizado de barras de acero en una empresa siderometalúrgica.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se utiliza la metodología Lean Six Sigma, resultante de la unión entre el Lean, que se enfoca en la minimización de desechos y optimización de la producción; y el Six Sigma, centrado en la reducción de variabilidad de los procesos y optimización de cada parte de este. Se desarrolla siguiendo las etapas DMAIC: *Define, Measure, Analyze, Improve* y *Control*; cada una enfocándose en una sección del proyecto.

El estudio tiene como principal objetivo la reducción al 50% de los desechos generados por el alto número de piezas defectuosas resultante de un proceso de taladrado, y de manera análoga la instrucción en materia de la mejora continua.

Resum

Nascut al Japó per part del grup Toyota a finals del segle XX, avui dia el Lean Manufacturing s'aplica totalment o bé en les seves variants a tot tipus d'empreses El Treball de Fi de Grau que es presenta a continuació mostra l'aplicació de les seves tècniques de millora contínua a una secció de mecanitzat de barres d'acer d'una empresa siderúrgica.

Per a dur a terme el desenvolupament del projecte s'utilitza la metodologia Lean Six Sima, resultat de la unió entre el Lean, que s'enfoca en la minimització de deixalles i optimització de la producció; i el Six Sigma, centrat en la reducció de variabilitat dels processos i optimització de cada part d'aquests. Es desenvolupa seguint les etapes DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve i Control; cadascuna enfocant-se en una secció del projecte.

L'estudi té com a principal objectiu la reducció al 50% de les deixalles generades per l'alt nombre de peces defectuoses resultants d'un procés de trepat, i de manera anàloga la instrucció en matèria de la millora contínua.

Abstract

Born in Japan by Toyota's company at the end of the XX century, these days Lean Manufacturing technique is applied entirely or in any variants at every kind of enterprise. The work presented below shows the application of its continuous improvement techniques in a machining area of Steel rods at a steelmaker Company.

Lean Six Sigma methodology is used to carry out the development of this project, resultant of the union between Lean, focused on the minimization of scrap and optimization of production; and Six Sigma, which is focused on the reduction of variability in process and optimization of every step of it. It is developed following DMAIC steps which are Define, Measure, Analyze, Improve and control; each of which focuses on a part of the project.

The study has as its principal objective the reduction at half of the generated scrap due to the high number of faulty rods resultant of a drilling process, and additionally the instruction at the continuous improvement subject.

Agradecimientos

Me gustaría transmitir mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a lo largo de esta etapa y me han ayudado en el trascurso de este proyecto.

En primer lugar, a la empresa GAMO Outdoor por su confianza desde el primer minuto y por brindarme la oportunidad de realizar un ciclo de prácticas en sus instalaciones. Concretamente agradecer a Salvador Cañas, director de ingeniería y líder del proyecto; y a Jesús Dueñas, compañero del departamento de ingeniería, por su apoyo y ayuda en todo lo necesario durante el trascurso de mi estancia.

También, expresar mi agradecimiento a la universidad EEBE y todo su equipo docente por su formación a nivel profesional y personal, en mayor o en menor medida.

Finalmente, a todo mi núcleo familiar por el apoyo en todo momento durante el trascurso del grado universitario y por su ánimo para seguir adelante en todo momento.

Glosario

- **ÁNIMA:** en armas de fuego, el espacio interior del tubo del cañón.
- **BROCA CAÑÓN:** broca de gran longitud utilizada en el taladro profundo. Consta de un cuerpo flexible y una punta de metal duro. En el interior tiene un orificio por el cual se inserta el aceite que cumple las funciones tanto de refrigeración como de evacuación de la viruta.
- **CALIBRE:** diámetro del taladro interior de la barra cañón en milímetros. El valor nominal debe ser igual al del calibre del balín a disparar.
- **CÁMARA:** componente de la carabina en el cual tiene lugar la compresión del aire, que al apretar el gatillo se expulsa hacia el cañón.
- **CAÑÓN:** componente de la carabina por el cual sale disparado el balín. Aporta la precisión y velocidad del disparo.
- **CNC:** el control numérico computarizado, es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos en una computadora.
- **CONCENTRICIDAD:** en una barra cañón, la cota de diferencia entre el centro de la barra y el centro del agujero interior taladrado.
- **CULATA:** componente de la carabina, usualmente de plástico o madera, que sujeta el conjunto cañón – cámara y, adicionalmente, cumple la función de apoyo del hombro.
- **DMAIC:** herramienta metodológica de Lean Six Sigma. Acrónimo de *Define, Measure, Analyze, Improve y Control*.
- **FTQ:** First Time Quality. Producto de la división de las unidades conformes respecto a las totales.
- **GRIPAJE:** avería que se produce cuando dos piezas que deslizan una sobre otra, una de ellas fija y otra móvil, se agarrotan o sueldan entre sí.
- **KPI:** Key Performance Indicator. Métricas utilizadas para sintetizar información de eficacia y productividad de las acciones que se llevan a cabo en un proyecto.
- **LEAN SIX SIGMA:** metodología de mejora de procesos que se enfoca en la reducción de la variabilidad, optimización de cada etapa del proceso y reducción de los defectos.
- **MAQUINABILIDAD:** propiedad de los materiales que indica la facilidad de ser mecanizados por arranque de viruta.
- **MECANIZADO:** proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, bien sea por arranque de viruta o por abrasión.
- **MERMA:** la pérdida de mercancías que provoca una diferencia entre el inventario y la cantidad real, provocando pérdidas monetarias.
- **MERMÓMETRO:** sistema utilizado para medir la merma a nivel semanal. Consiste en una serie de gráficos en los cuales se relaciona la merma en % y en unidades monetarias (€).
- **OEE:** Efectividad total de los equipos (Overall Equipment Effectiveness). Resulta de la multiplicación de la disponibilidad del equipo, la eficiencia y la calidad del producto.
- **PAVONADO:** proceso químico que consiste en la generación de una capa superficial de magnetita alrededor de piezas de acero para evitar la corrosión y mejorar su aspecto.
- **SCRAP:** “chatarra” en inglés. Referido empresarialmente como los deshechos y residuos de un proceso industrial.
- **TALADRO PROFUNDO:** proceso de mecanizado por arranque de viruta utilizado para hacer agujeros comúnmente en cuerpos cilíndricos.
- **UAP:** Unidad Autónoma de Producción. Consiste en una célula de trabajo compuesta por diferentes bancos en los cuales se realiza una parte concreta del montaje de una carabina.



Índice

RESUMEN	4
RESUM	5
ABSTRACT	6
AGRADECIMIENTOS	8
GLOSARIO	9
1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Origen del trabajo	19
1.2. Objetivos y alcance del trabajo.....	19
2. LA EMPRESA	20
2.1. GAMO OUTDOOR S.L.U.	20
2.2. Historia	20
2.3. El producto	21
2.4. ¿Por qué GAMO?	22
2.5. GAMO OUTDOOR S.L.U. Sant Boi de Llobregat.....	24
3. MARCO TEÓRICO	27
3.1. Las carabinas de aire comprimido	27
3.1.1. Origen	27
3.1.2. Funcionamiento.....	27
3.1.3. El componente cañón.....	30
3.1.4. Carabinas en la actualidad.....	31
3.2. El taladrado profundo	32
3.2.1. Origen del taladrado.....	32
3.2.2. El taladrado profundo	32
3.2.3. Técnica	33
3.2.4. La herramienta	33
3.3. Lean Management. Six Sigma	35
3.3.1. Etapas	36
4. ESTUDIO PREVIO	39
4.1. Análisis de la merma en la empresa	39
4.2. Elección de la sección objetivo	40

4.3.	Estudio de la sección.....	42
4.3.1.	El proceso de fabricación.....	42
4.3.2.	Enfoque del proyecto.....	48
4.4.	Observaciones.....	49
5.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN INICIAL _____	50
5.1.	OEE de partida	52
6.	DMAIC PRIMERA PARTE: DEFINIR, MEDIR Y ANALIZAR _____	53
6.1.	Definir.....	53
6.1.1.	Objetivo y alcance del proyecto	53
6.1.2.	Indicadores y métricas	54
6.1.3.	Creación del equipo y Project Charter.....	54
6.2.	Medir.....	56
6.2.1.	Revisión de los datos existentes y planteamiento de cuestiones.....	56
6.2.2.	Parámetros por investigar	57
6.2.3.	Creación y análisis del diagrama Ishikawa.....	64
6.3.	Analizar	66
6.3.1.	Planteamiento de hipótesis	67
6.3.2.	Experimentación y verificación de las hipótesis.....	73
6.4.	Conclusiones	84
6.4.1.	Acciones tomadas y su impacto	84
6.4.2.	Reflexión y replanteamiento del proyecto.....	85
7.	DMAIC SEGUNDA PARTE: MEJORA _____	87
7.1.	Mejoras de carácter correctivo	87
7.2.	Mejoras de carácter preventivo	89
7.3.	Mejoras a nivel de gestión.....	91
7.4.	Matriz de priorización y plan de implementación	91
7.5.	Prueba piloto	93
8.	DMAIC TERCERA PARTE: FASE DE CONTROL _____	94
8.1.	Factores por controlar	94
8.2.	Sistemas de control de KPI's.....	95
8.3.	Instrucciones de mantenimiento	96
8.3.1.	De primer nivel.....	97
8.3.2.	De segundo nivel.....	98

9. CIERRE DEL PROYECTO	99
9.1. Consolidación de objetivos	99
9.1.1. Reducción de la merma	99
9.1.2. Aumento de la capacidad de producción	101
9.2. OEE final	102
9.3. Next Steps	103
10. ANÁLISIS ECONÓMICO	105
10.1. Presupuesto	105
10.1.1. Asociado a las pruebas	105
10.1.2. Asociado a las mejoras	106
10.1.3. Asociado al coste del personal	107
10.2. Beneficio	108
10.2.1. Asociado a la reducción de merma	108
10.2.2. Asociado al aumento de capacidad de producción	108
10.3. Balance económico	109
11. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	110
11.1. Barras de acero desechadas y viruta	110
11.2. Aceite de corte y refrigerante	110
CONCLUSIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXO 1. DIAGRAMA DE PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE UNA BARRA CAÑÓN	120
ANEXO 2. PROJECT CHARTER INICIAL	121
ANEXO 3. DIAGRAMA ISHIKAWA (CAUSA EFECTO) DEL DESCENTRAMIENTO DE CAÑONES	123
ANEXO 4. EJEMPLO DE INSTRUCCIÓN DE MANTENIMIENTO. GRUPO CENTRADOR.	124
ANEXO 5. MERMÓMETRO DE LA FABRICACIÓN DE CAÑONES EN LA SITUACIÓN DE CIERRE DEL PROYECTO	127
ANEXO 6. CERTIFICADO DE DESTRUCCIÓN CONTROLADA DE BARRAS DE ACERO DESECHADAS	128

ANEXO 7. EXTRACTO DE LA FICHA TÉCNICA DEL ACEITE DE CORTE COGECUT MV	
15	132
ANEXO 8. CERTIFICADO DE RECOGIDA DEL ACEITE DE CORTE	135

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Logo de GAMO _____	20
Ilustración 2: Modelo Carabina Varmint 4,5 _____	21
Ilustración 3: Ejemplo de pistola de aire comprimido P-900 _____	21
Ilustración 4: Diferentes modelos de balín GAMO _____	22
Ilustración 5: Croquis del funcionamiento de un arma de aire comprimido _____	28
Ilustración 6: Imagen comercial tecnología IGT _____	29
Ilustración 7: Estriado interno de un cañón _____	30
Ilustración 8: Diferencias entre estriado convencional y progresivo _____	31
Ilustración 9: Elementos de una broca cañón _____	34
Ilustración 10: Lean Six Sigma _____	35
Ilustración 11: Etapas DMAIC _____	38
Ilustración 12: Mermómetro de las últimas semanas de 2020 _____	39
Ilustración 13: Gráfico de pastel del scrap en los centros de GAMO Outdoor _____	40
Ilustración 14: Gráfico de pastel del scrap en las áreas del centro 02 _____	41
Ilustración 15: Gráfico de pastel del scrap en las secciones del área de semiterminados _____	42
Ilustración 16: Torno de taladrado profundo y herramienta _____	43
Ilustración 17: Máquina escariadora y herramientas _____	45
Ilustración 18: Centro de rayado del ánima _____	45
Ilustración 19: Centro de enderezado _____	46
Ilustración 20: Centro de mecanizado CNC CITIZEN _____	47
Ilustración 21: Gráfico de pastel del scrap en las etapas de fabricación del cañón _____	48

Ilustración 22: Diagrama Pareto de la merma monetaria de 2020 por referencias _____	50
Ilustración 23: Ejemplo gráfico de la irregularidad del centramiento del taladro _____	51
Ilustración 24: Project Charter inicial _____	55
Ilustración 25: Hoja de recogida de datos de taladrado _____	57
Ilustración 26: Comparativa del porcentaje de FTQ del taladrado por torno _____	58
Ilustración 27: Comparación del % FTQ del taladrado según el turno _____	59
Ilustración 28: Comparación del % FTQ del taladrado según rango de días _____	60
Ilustración 29: Análisis de frecuencia y tipo de afilado de las brocas _____	61
Ilustración 30: Conjunto de calibres pasa-no pasa de medición de desviación _____	62
Ilustración 31: Diagrama Ishikawa del descentramiento del taladro _____	64
Ilustración 32: Esquema de la transmisión del motor al eje de giro del torno _____	67
Ilustración 33: Motor principal de giro del torno de taladrado _____	68
Ilustración 34: Eje principal de giro gripado _____	69
Ilustración 35: Esquema del sistema de sujeción de la pieza _____	70
Ilustración 36: Sistema de sujeción de la pieza. Centrador y cono de reposo _____	71
Ilustración 37: Reemplazo del motor principal del torno _____	74
Ilustración 38: Polea dentada óptima _____	76
Ilustración 39: Afilado base de las brocas GUIMA _____	80
Ilustración 40: Modelo de afilado óptimo _____	81
Ilustración 41: Comparativa del %FTQ por torno tras el periodo de análisis _____	85
Ilustración 42: Project Charter definitivo _____	86
Ilustración 43: Diferencias en las cargas de los rodamientos _____	89

Ilustración 44: Sistema provisional de lubricación/refrigeración del eje de giro _____	90
Ilustración 45: Comparación del inicio y final de las pruebas piloto, fase de análisis _____	93
Ilustración 46: Representación gráfica de las CTQ del proceso de taladrado _____	94
Ilustración 47: Espacio habilitado para el control de KPI's y gestión _____	96
Ilustración 48: Ejemplo de instrucción de mantenimiento del grupo centrador _____	97
Ilustración 49: Ejemplo de instrucción de mantenimiento. Tensado de las correas _____	98
Ilustración 50: Mermómetro de la fabricación de cañones en el cierre del proyecto _____	100
Ilustración 51: Comparativa de la fabricación del worst case antes y después del proyecto ____	101

Índice de tablas

Tabla 1: Explicación teórica del Six Sigma _____	35
Tabla 2: Configuraciones de barras para cañones _____	43
Tabla 3: Iteraciones de los dientes de la polea dentada inferior _____	75
Tabla 4: Configuraciones iniciales de los muelles _____	77
Tabla 5: Listado de combinaciones de la matriz de experimentos _____	78
Tabla 6: Resultado de las diferentes pruebas de la matriz de experimentos _____	79
Tabla 7: Matriz de priorización de las mejoras propuestas _____	92
Tabla 8: Resumen de la inversión asociada a las pruebas de la fase de análisis _____	105
Tabla 9: Resumen de la inversión asociada a las mejoras de la fase de mejora _____	106
Tabla 10: Resumen de la inversión asociada al coste del personal _____	107
Tabla 11: Resumen financiero del proyecto _____	109

1. Introducción

1.1. Origen del trabajo

El origen del trabajo que se presenta tiene lugar durante la estancia como estudiante en prácticas en GAMO Outdoor el pasado cuatrimestre de otoño 2020 – 2021. Durante ese periodo se trabajó de manera genérica como introducción a la empresa en sus diversas secciones y, al acercarse la fecha de finalización, se ofertó la posibilidad de extender el periodo de prácticas y realizar in situ el trabajo de fin de grado.

El motivo principal de la elección de un proyecto de mejora continua viene dado de un cambio en el personal directivo de la empresa que, siendo experto en Lean Six Sigma, propuso realizar un proyecto para reducir la merma y los desechos de la empresa. Combinado con la especialidad de ingeniería mecánica, resultó idóneo para completar el plan de estudios propuesto.

1.2. Objetivos y alcance del trabajo

El proyecto tiene como objetivo principal la reducción de la merma de la empresa, altamente elevada, a un mínimo de la mitad de la inicial, pudiendo ampliar el alcance en caso de resultar una situación optimista.

El método de acción será a través de la mejora del equipo y maquinaria, deteriorados por el tiempo y falta de mantenimiento; además de conseguir un aumento de la producción dada la reducción de los desechos generados y la estabilización y optimización de los procesos.

Además, se tratará de industrializar a la empresa desde su estado actual a un prototipo de industria 4.0, mediante sistemas de captura de datos y gestión automáticas por red.

2. La empresa

2.1. GAMO OUTDOOR S.L.U.

GAMO Outdoor S.L.U. es una empresa española dedicada principalmente a la fabricación de carabinas de aire comprimido y balines; siendo el mayor fabricante europeo de este tipo de armas y líder mundial en fabricación de la munición. Sus oficinas centrales se encuentran situadas en Sant Boi de Llobregat, Barcelona, junto a su fábrica. [1]



Ilustración 1: Logo de GAMO

(Fuente: web de GAMO [1])

2.2. Historia

En 1889 se funda ACSA como una empresa productora de derivador de plomo de alta calidad. Unos años después, en 1950, Antonio Casas, hijo del fundador, emprende la producción de balines de precisión debido al crecimiento del producto en el mercado europeo.

Más tarde, en 1955, ACSA evoluciona a Industrias el Gamo S.A., tomando nombre de un cérvido nativo de la región mediterránea. Poco después, en 1961, la empresa introduce las primeras carabinas de aire comprimido GAMO en el mercado español, teniendo gran aceptación no sólo por su calidad sino también por su asequible precio; lo cual potenció el deporte de tiro.

Las exportaciones tuvieron inicio en 1963 hacia Reino Unido, y dada su popularidad, se instauró una red de distribución alrededor de 40 países de todo el mundo; que acabó derivando a relaciones comerciales y colaboración con otros fabricantes en Gran Bretaña, Estados Unidos, Alemania y Brasil alrededor de 1980.

Unos años después, en 1995, tras su expansión a un nuevo parque industrial (1982), se decide adquirir una distribuidora norteamericana y resulta en la creación de una nueva empresa: GAMO.

En 2013, el fondo de inversión neoyorkino BRS adquiere el 100% de GAMO con la idea de aplicar un plan de crecimiento y expansión internacional, que, junto a la creación de nuevas tecnologías propias, sitúan a GAMO hoy día como una marca global líder en el género con presencia en más de 90 países de los cinco continentes.

2.3. El producto

Carabinas de aire comprimido

Las carabinas son el producto estrella de GAMO. Actualmente cuentan con alrededor de 770 diferentes modelos vigentes, cada uno con su propia identidad, que se exportan mundialmente. Las variables principales que diferencian los modelos son las siguientes: **calibre** (4'5, 5'5 o 6'35mm), **tecnología de disparo** (explicadas en 4.1.), **composición de la culata** (plástico inyectado o madera), **potencia de disparo** (ej. España 24J y UK 16J), entre muchas otras; consiguiendo así un gran abanico de posibilidades entre su producto. En 2020 se consiguió un total de ventas de 501.000 unidades, teniendo como bestseller la Carabina Varmint 4'5.



Ilustración 2: Modelo Carabina Varmint 4,5

(Fuente: web de GAMO [1])

Pistolas de aire comprimido

En GAMO también se producen un aproximado de 60 modelos de pistolas de aire comprimido. Estas armas siguen el principio de funcionamiento de las carabinas de cañón abatible, aunque existen variantes PCP (explicado en 4.1.2.). Su uso está más enfocado en el tiro de competición y de puntería; y dado a su reducido tamaño, precio y potencia, son una gran alternativa para aquellas personas que quieran introducirse al mundo del tiro. En 2020 se alcanzaron un total de 25.000 unidades vendidas.



Ilustración 3: Ejemplo de pistola de aire comprimido P-900

(Fuente: web de GAMO [1])

Balines

Pese a ser las carabinas el producto principal, cabe recordar que GAMMO nació como una empresa de derivados del plomo, y, a día de hoy, mantienen la esencia siendo líder mundial en fabricación de munición. Se producen alrededor de 180 modelos diferentes de balín, cambiando su tamaño, forma y composición. De igual manera que con las carabinas, se producen balines de distintos calibres (4'5, 5'5 o 6'35mm) y materiales base (plomo o estaño). Además, cada modelo de balín tiene una geometría única: punta plana, punta redonda, punta en cono, punta de plástico o acero remachada, entre otros. El año 2020 finalizó con una producción de 2.300.000 latas de balines (alrededor de 300 millones de balines).



Ilustración 4: Diferentes modelos de balín GAMMO

(Fuente: web de GAMMO [1])

2.4. ¿Por qué GAMMO?

Empresa de integración vertical

En GAMMO tienen lugar todas las etapas del proceso de una carabina: desde el completo taladrado y mecanizado del cañón hasta la fabricación de las culatas de madera de haya; pasando por el mecanizado de las cámaras de aire y el conformado de los balines desde lingotes de plomo. Esto permite a GAMMO tener más flexibilidad a la hora de acomodar los productos a las normativas de los diferentes países.

Fiabilidad

En GAMMO se inspecciona cada uno de los componentes mediante estrictos controles de calidad para garantizar el mejor producto posible. Cada carabina se somete a revisiones de velocidad, potencia de fuego, agrupación del disparo y seguridad; y antes del embalaje final se revisa de cerca para validar el acabado y la calidad.

Tecnología propia

GAMO cuenta con sus propias patentes y tecnologías propias, lo cual hace su producto aún más exclusivo y personalizable.

Recarga rápida 10X QUICK-SHOT

Este innovador sistema consiste en la integración de un cargador horizontal que introduce automáticamente el balín al realizar el abatimiento de la carabina, pudiendo realizar hasta 10 disparos sin tocar un balín.

Esto implica una mayor rapidez en competiciones de tiro contrarreloj, además de eliminar la tediosa tarea de introducir el balín manualmente.

Supresión de sonido WHISPER

Esta patente de GAMO lidera la industria de supresión de sonido en los rifles de aire comprimido. Consiste en un cañón de acero estriado con un moderador de sonido integrado en la bocacha, que comprime el sonido y previene su expansión en un 52%; para después llegar a la segunda fase, que reduce el sonido usando cámaras acústicas.

Sistema de disparo IGT

La tecnología IGT *Inert Gas Technology* hace referencia a la fuente de energía de la carabina, sustituyendo el clásico muelle por un sistema neumático de carga que mejora notablemente las prestaciones (20% más de velocidad y 37% más de energía) a la vez que incrementa la precisión reduciendo las vibraciones que producía la oscilación del muelle (explicado en 4.1.).

Paralelamente, al tratarse de un esfuerzo de carga constante y uniforme, se reduce la fatiga de las piezas y aumenta la esperanza de vida del producto que antes no era posible por la fricción del muelle.

Gatillos

Finalmente, GAMO marca un nuevo hito con el revolucionario sistema CAT *Custom Action Trigger*. Por primera vez los usuarios pueden ajustar las dos fases del gatillo independientemente manipulando únicamente un tornillo. Con esto se consigue una mayor personalización y ajuste a gusto del consumidor según su preferencia en cuanto al recorrido del gatillo.

Compromiso con el Medio Ambiente

En GAMO se recicla y recupera el 96% del agua utilizada en el proceso de pavonado de los cañones y cámaras; perdiendo una mínima parte que se evapora durante el proceso. Se emite un total de CERO partículas en la fabricación de las culatas de madera y se reutilizan las virutas y restos de madera como combustible.

2.5. GAMO OUTDOOR S.L.U. Sant Boi de Llobregat

La sede principal de GAMO está ubicada en el polígono industrial de Sant Boi de Llobregat, donde se encuentran tanto las oficinas como la fábrica. La ubicación es idónea debido a su alta y variada exportación, ya que Sant Boi se encuentra a apenas 10 minutos del aeropuerto de Josep Tarradellas y a 20 minutos del puerto marítimo de Barcelona. Se compone de diferentes centros donde se realizan las diferentes etapas de fabricación.

Centro 01: ACSA

La original Antonio Casas S.A., que comenzó como productora de derivados del plomo en 1889 y evolucionó a la producción de balines de precisión en 1950. En este centro, compuesto por una nave industrial, tiene lugar todo el proceso de elaboración de los distintos tipos de balines.

Comienza con el trefilado de lingotes de plomo (o estaño) para transformarlos en largos hilos que, tras ser prensados en forma de chapa, pasan por una extrusora circular que los convierte en bolas. Éstas se procesan en estampadoras con diferentes matrices, de las cuales se obtiene la forma final del balín.

Una vez acabado el balín se pasa por un proceso de lavado en el que se eliminan impurezas como rebabas y se segregan según tamaño. En el caso de los balines con algún tipo de punta especial, se transfieren a la remachadora correspondiente que introducirá la punta en el balín. Finalmente pasan por el proceso de enlatado y empaquetado, listos para exportar.

Centro 02: GAMO

El centro principal de GAMO OUTDOOR, donde tiene lugar la mayoría de los procesos de fabricación, excepto las culatas.

Semiterminados:

Los semiterminados por definición son el paso intermedio entre la materia prima y el producto final. GAMO cuenta con dos principales: los cañones y las cámaras.

Los cañones parten de una barra de acero la cual se taladra (creación del orificio interior), se escaria (ajuste de la tolerancia del taladro) y estría (explicado en 4.1.3.). Una vez acabados el agujero interior, los cañones pasan por un torno CNC que realiza el mecanizado correspondiente a la referencia en fabricación. Al acabar, los cañones pasan por el área de pavonado con el fin de mejorar el acabado, y finalmente se llevan a un proveedor externo que mediante inyectado en plástico añade el soporte donde se acoplará a la carabina y, según modelo, también el componente bocacha y/o silenciador.

En cuanto a las cámaras, estas parten de un cilindro de acero al cual se añade por soldadura de fricción una horquilla. Posteriormente se elimina el hilo de soldadura creado y pasan a mecanizar y rectificar, donde se le da la geometría correspondiente al tipo de carabina a crear. Una vez conseguido, de igual forma que los cañones pasan por un proceso de pavonado para evitar corrosión y mejorar el acabado.

Finalmente, ambos componentes se almacenan para entregar en montaje cuando sea necesario.

Montaje:

En el centro 02 también se encuentra el área de montaje, formada por 4 UAP's (Unidades Autónomas de Producción) dispuestas en una nave industrial. Cada UAP consta de seis bancos en los cuales se elabora una tarea concreta por un operario a cargo de cada uno.

En el **banco 1** tiene lugar el montaje del grupo gatillo, que consiste en pocas palabras en el disparador y seguro, que irá acoplado a la cámara. En el **banco 2** se hace el acople del émbolo (o muelle) a la cámara de aire, que será el que comprima el aire y quede sujeto hasta accionar el gatillo. En el **banco 3** se realiza el acople del grupo cañón (ya inyectado ya acoplado a la caja de sujeción) con el grupo cámara (proveniente del banco 2), además de la adición de la biela que permitirá el abatimiento de la carabina.

Llegados a este punto se obtiene lo llamado grupo completo sin culata, ya que es el único componente restante. Hasta aquí el montaje de todos los tipos de carabina es prácticamente igual, las diferencias residen en el tipo de cámara; longitud, diámetro y bocacha del cañón; y tecnología de disparo.

Una vez en el **banco 4**, se monta la culata (de plástico inyectado o madera) al grupo, obteniendo así el producto final. En este momento comienzan las pruebas de calidad y fiabilidad, insertando la carabina en una disparadora automática, que reproduce el movimiento de abatimiento y disparo del arma, haciendo una serie de repeticiones y comprobaciones para asegurarse de que el seguro funcione bien, la carabina sea capaz de disparar; y, lo más importante, que el disparo cumpla las normativas del país a exportar.

Estas normativas están regidas por la energía cinética (ecuación 1) a la salida del balín, siendo en los países más restrictivos de 3J (Joules) y llegando a un límite de 36J en EEUU. En España la normativa dicta un máximo de 24J en el uso de este tipo de armas.

$$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

*Siendo m la masa del balín disparado y v la velocidad a la que sale el balín.

En el momento que la carabina completa todos los controles pasa al **banco 5**, donde se graba mediante grabado láser el número de serie, especificaciones y logo de la empresa. Finalmente, al llegar al **banco 6** se limpian las impurezas y suciedad superficiales y se empaqueta, lista para salir del almacén.

Centro 04: INCUDESA

Antiguamente, Incudesa era una empresa especializada en productos derivados de la madera, centralizando gran parte de su mercado a las culatas para distintos tipos de armas. GAMO, interesado en el subproducto, adquirió la empresa y la fusionó con sus instalaciones.

En este centro tiene lugar todo el proceso de creación de las culatas de madera. Las culatas de plástico inyectado son recibidas de un proveedor externo.

La culata parte de un taco de madera de haya de diferentes tamaños y medidas, ajustándose al modelo final para desechar la menor cantidad de serrín posible. Estos tacos son procesados en un conjunto de tornos CNC que le dan la forma y tamaño adecuados. Posteriormente pasan a un proceso de lijado manual en el que los operarios eliminan impurezas y dejan un acabado liso con la ayuda de grandes lijadoras.

Una vez correctas, las culatas reciben un barnizado que, además de proteger la madera, da un mejor acabado visual que, complementado con un grabado laser, deja las culatas listas para enviar a las líneas de montaje.

3. Marco teórico

3.1. Las carabinas de aire comprimido

3.1.1. Origen

Tomando la teoría que define un arma de aire comprimido como aquella que utiliza la fuerza del aire para impulsar un proyectil, se podría establecer el nacimiento de este tipo de armas siglos atrás, con la aparición de la primitiva cerbatana.

Esta arma se componía de un canuto en el cual se introducían objetos punzantes que, con el esfuerzo generado con un soplido, salían disparados hacia el objetivo. Como se puede ver, el principio es el mismo: un cuerpo cilíndrico en el cual se introduce un proyectil que se empuja con aire impulsado con un medio ajeno.

En cuanto a la primera arma de aire comprimido tal y como se conoce hoy día, se cree que su aparición fue a mediados del siglo XVI, utilizada para la caza por la nobleza debido a su alto coste. Estos rifles eran armas muy eficaces que permitían abatir a la presa silenciosamente y de un único disparo.

Más tarde, durante el siglo XIX, se creó la primera carabina partiendo de un fusil. Esta arma, de menor medida y velocidad que su antecesor, fue utilizada por las tropas de caballería debido a su reducido tamaño y peso que, en contraposición a las armas convencionales con base en reacciones químicas con la pólvora, utilizaban aire comprimido, lo cual las hacía más ligeras, silenciosas y evitaban emisión de gases y humo al disparar.

Otro punto a favor respecto a las armas de fuego era su versatilidad frente a las condiciones meteorológicas, que humedecían la pólvora y dificultaban la combustión; en cambio al usar aire comprimido como combustible podían utilizarse bajo toda adversidad.

Finalmente, la inclusión de armas de aire comprimido supuso una gran ventaja en cuanto a la cadencia de disparo, ya que tenían capacidad de efectuar alrededor de 20 disparos por minuto, mientras que las armas de fuego tradicionales requerían de un proceso intermedio entre disparo y disparo (introducción de la pólvora, papel para prender, bala y baqueta).

3.1.2. Funcionamiento

A pesar de la evolución de las armas de aire comprimido con el paso de los años, el principio de su funcionamiento se mantiene fiel a su origen: la compresión y almacenamiento de un determinado gas que, tras liberarse, impulsa el proyectil a través del cañón. [2]

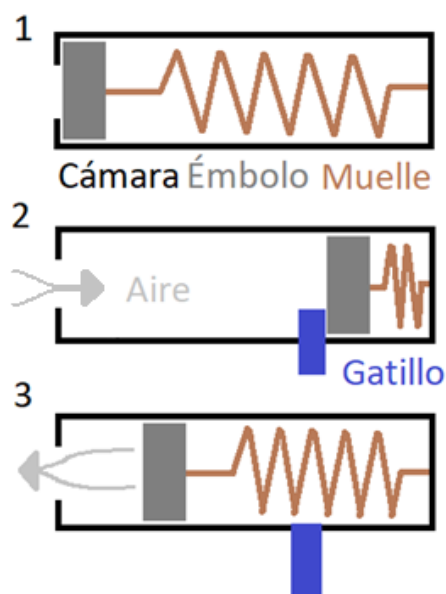


Ilustración 5: Croquis del funcionamiento de un arma de aire comprimido

(Fuente: propia)

A nivel mecánico consiste en una cámara de potencia (Figura 2, fase 1) en la que, según el tipo de carabina, un muelle o embolo es sometido a presión y queda mantenido por el mecanismo del gatillo, almacenando energía elástica (Figura 2, fase 2). Al soltar éste, se libera el muelle/émbolo y acciona un pistón que comprime el aire que pasa al cañón, donde previamente se ha introducido el balín (Figura 2, fase 3).

Bajo la fuerza generada, el balín se impulsa a gran velocidad a través del cañón estriado para finalmente salir disparado por la bocacha hacia su objetivo. Las pérdidas de energía se absorben por la carabina, provocando así el fenómeno llamado retroceso.

Dentro del conjunto de armas de aire comprimido se puede distinguir entre cuatro categorías según su método de compresión y gas:

Spring Break Barrel

Las carabinas de cañón abatible cuentan con un muelle cuya compresión acciona el mecanismo del disparo. Al abatir el cañón, el muelle queda comprimido dentro del cilindro, y, tras liberarlo mediante el gatillo, el aire comprimido propulsa el balín. La carabina más convencional y sencilla, pero con la pega de tener que abatir la carabina e introducir el balín para cada disparo, lo cual puede resultar cansado y fatigado para los músculos. Si el modelo incluye la tecnología de recarga rápida de GAMO, únicamente se habrá de abatir el cañón entre los 10 disparos que permite el cargador antes de cambiarlo.

Gas Pistón Break Barrel

Esta categoría, comercialmente llamada IGT *Inert Gas Technology* son similares a las Spring Break Barrel mencionadas anteriormente, con la única diferencia de que un sistema neumático de carga sustituye el muelle tradicional. Este sistema goza de mayor consistencia de disparo y recarga, así como mayor suavidad y durabilidad.

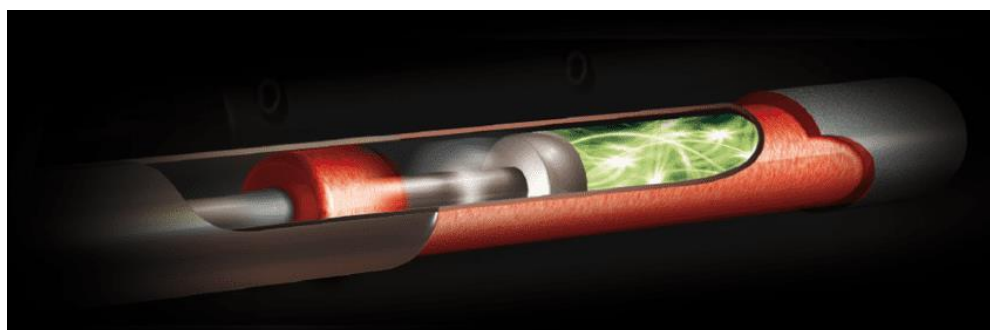


Ilustración 6: Imagen comercial tecnología IGT

(Fuente: Web de GAMO [1])

De igual manera que su hermana con muelle este modelo cuenta con la necesidad de abatimiento entre cada disparo, que sumado a que este tipo de carabina actúan a mayor potencia, mayor también es la fuerza necesaria para realizar el abatimiento.

PCP (PreCharged Pneumatic)

Como bien indica su nombre, esta categoría se caracteriza por inyectar aire precomprimido en un cilindro de fibra de carbono, capaz de entregar altos niveles de potencia con la ventaja de poder ser cargados en unos pocos minutos con bombas electrónicas.

A pesar de que su autonomía se limita a la cantidad de aire restante en el depósito, este tipo de carabina ofrece una extrema precisión eliminando todo retroceso, superando con creces las alternativas de cañón abatible.

Por otro lado, elimina el proceso de abatimiento del cañón y lo sustituye, comúnmente, por un mecanismo de cerrojo en el cual se introduce el balín o en caso de tener incorporada recarga rápida se hace de forma automática. Presenta grandes ventajas a nivel de fatiga corporal, con la única pega de depender de la carga de la bomba cada n disparos.

3.1.3. El componente cañón

De todos los componentes que conforman una carabina, el cañón es sin duda el más importante ya que es la pieza que aporta rotación y velocidad al proyectil, además de la precisión al disparo: si el orificio del cañón no está perfectamente centrado, el proyectil se disparará con desviación.

Este elemento parte de una barra de acero de gran maquinabilidad de longitudes y diámetros variables según el producto a obtener y pasa por un conjunto de procesos de mecanizado:

Primero de todo se realiza un taladrado profundo (**explicado en 3.2**) en el cual se agujerea el orificio interior, para posteriormente realizar un escariado con el fin de dejar el agujero en la tolerancia adecuada; y finalmente por un rayado del ánima, para conseguir el estriado interior del cañón.

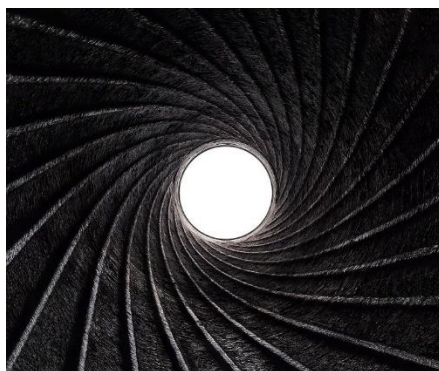


Ilustración 7: Estriado interno de un cañón

(Fuente: Wikipedia. Ánima rayada [3])

Este estriado interior es, junto a la concentricidad del agujero con el diámetro de la barra, el punto más crítico a la hora de fabricar el cañón.

Los surcos helicoidales que se graban en el interior del cañón son lo que al disparar aporta un movimiento de rotación al proyectil a lo largo de su eje longitudinal; provocando así una estabilización giroscópica cuando sale disparado por la boca, mejorando su estabilidad aerodinámica y por consiguiente la precisión del disparo.

A menudo se describe el rayado de ánima como tasa de torsión, en otras palabras, la distancia que viaja el proyectil sobre las estrías para completar una rotación entera sobre sí mismo (ej. 1:254 sería 1 vuelta cada 254mm). A menor distancia, mayor es la velocidad de rotación.

Este valor de tasa de rotación no es estándar, ya que depende de la combinación de longitud, peso y forma de proyectil; generalmente los proyectiles cortos y de gran diámetro requieren poca tasa de torsión mientras que los largos y de poco diámetro necesitan tasas mucho mayores.

Existe también la llamada torsión progresiva, que consiste en dar una menor tasa de torsión al inicio del cañón e ir incrementándola a medida que atraviesa el mismo, provocando así un crecimiento progresivo del momento angular del proyectil; que va ganando inercia suavemente a medida que atraviesa el cañón, reduciendo así la erosión del rayado distribuyendo las fuerzas ejercidas por los surcos en una mayor distancia.



Ilustración 8: Diferencias entre estriado convencional y progresivo

(Fuente: Wikipedia. Ánima rayada [3])

3.1.4. Carabinas en la actualidad

Actualmente el mercado y el mundo de las armas de aire comprimido está muy establecido en la sociedad, permitiendo practicar numerosas disciplinas como entretenimiento. A diferencia de las armas de fuego, el aire comprimido ofrece una experiencia de tiro realmente silenciosa, dinámica y económica (a la par que segura); que permite mejorar la habilidad y puntería de un modo sencillo.

De entre todas las modalidades disponibles se destacan las siguientes:

Plinking

El *Plinking* o lateo consiste en disparar a medias y cortas distancias sobre objetivos que en su origen no fueron fabricados para el tiro de precisión: ya sean latas, botellas o palillos de dientes.

Al haber infinitas posibilidades y cada una de ellas comportarse diferente, hace de ésta la disciplina más popular y divertida entre los usuarios; bien sea para practicar puntería, hacer carreras con acompañantes o realizar tests de destrucción.

Target hosting

La disciplina más convencional, el tiro al blanco, consiste en colocar dianas de papel a corta o media distancia y practicar puntería, ya sea de forma amateur en galerías de tiro o en competiciones regladas. Este hobby es la mejor manera de aprovechar un arma de aire comprimido, ya que es 100% segura si

se siguen las medidas de seguridad, y al no haber factores variables se puede tener un seguimiento de los progresos personales.

Pese a no parecer tan entretenida como puede ser el Plinking, gana en seguridad ya que depende del material del objetivo en el lateo, el proyectil puede rebotar y causar daños; en cambio una diana de papel siempre será atravesada, eliminando todo peligro.

3.2. El taladrado profundo

3.2.1. Origen del taladrado

Se entiende por taladrado a la operación de mecanizado que tiene como objetivo producir agujeros cilíndricos en una pieza, utilizando como herramienta la broca [4]. Se puede realizar con un taladro portátil, con una máquina taladradora, en un torno, en una fresadora o en un centro de mecanizado CNC.

El taladrado requiere ejercer un movimiento de rotación con la herramienta en el objeto, y basado en este principio se han encontrado en el Paleolítico Superior indicios de que usaban un conjunto de palos de madera y cuerdas para taladrar conchas de moluscos.

Durante el siglo XIX tuvieron lugar los nacimientos de las máquinas taladradoras como se conocen hoy en día: el taladro de sobremesa (1838), el taladro de columna (1850) y el taladro radial (1851); por no mencionar la invención de la broca helicoidal en 1860, que sustituyó con rapidez la boca de punta de lanza debido a su alto rendimiento. A mediados del siglo XX tuvo lugar la invención del CNC (control numérico por computadora), que supuso una revolución de las máquinas herramienta y permitió la integración de los centros de mecanizado.

3.2.2. El taladrado profundo

El taladrado profundo nace con la necesidad de realizar agujeros relativamente profundos siguiendo el eje lineal del objeto a mecanizar. Se considera taladro profundo cuando la profundidad de perforación es igual o mayor a diez veces el diámetro del agujero; por ejemplo, si el diámetro es de 4'5mm se consideraría taladrado profundo a partir de 45mm de profundidad. Se utiliza comúnmente para producir agujeros en ejes o cilindros, donde se busca un grosor de pared constante (concentricidad) y un buen acabado interno.

Su origen tiene lugar a finales del siglo XIX como respuesta a las necesidades de la industria armamentística [5]. La llegada de la pólvora sin humo (mucho más potente que la pólvora negra) produjo que los cañones de fusil, hasta entonces producidos mediante forjado, quedaran obsoletos debido a su poca resistencia. Debido a esto los ingenieros de la época decidieron fabricar los cañones

taladrando barras macizas (finales de 1800), lo que desembocó en un avance en la industria armamentística y una mejora en sus productos.

3.2.3. Técnica

Antes de nada, diferenciar entre tres tipos diferentes de taladrado profundo:

Torno:

El primer método toma el nombre de torno por ser la pieza que mecanizar la que efectúa el giro, mientras la herramienta (broca) avanza a velocidad lineal constante mientras atraviesa el material. La estructura de la máquina consta de una bancada en la cual hay situado un carro portátil, que efectúa el movimiento de la broca en dirección axial; mientras el cabezal giratorio mantiene sujeta la pieza a mecanizar mientras gira a una velocidad angular constante.

Fresadora:

El segundo método se basa en el fresado, ya que en este caso la pieza se mantiene estática mientras la broca toma un movimiento de rotación a la vez que se desplaza linealmente a través de la pieza. De igual manera que en el torno, la estructura principal es una bancada que sujeta el carro que transporta la herramienta hacia el cabezal que tiene sujeta estáticamente la pieza.

Mixto:

Finalmente, el método óptimo y que produce un mejor rendimiento, ya que es el fruto de la combinación de los anteriores. En este caso tanto la pieza a mecanizar como la herramienta están bajo un movimiento rotativo en sentidos contrarios, lo que potencia el proceso y mejora el acabado.

3.2.4. La herramienta

Debido a la alta profundidad del agujero, resulta imposible utilizar una broca convencional, por lo que para el taladrado profundo se utiliza la denominada broca cañón.

Este tipo de broca consiste en tres partes principales: una cabeza de metal duro, un mango flexible y una caña de sujeción.

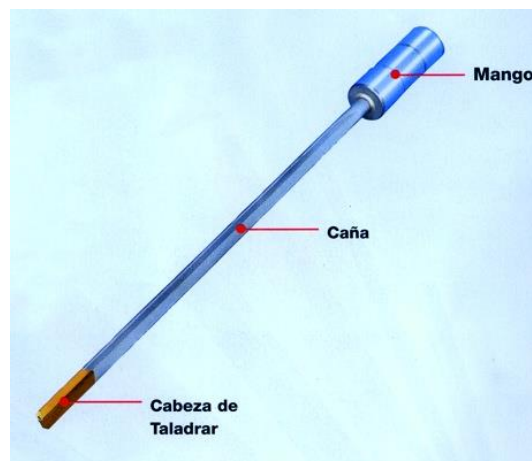


Ilustración 9: Elementos de una broca cañón

(Fuente: Iscar [6])

Cabeza:

La cabeza de metal duro es el elemento principal de corte. Está compuesta de metal duro y tiene tres variantes:

Las dos primeras dependen de la cantidad de filos de corte o labios; existiendo monolabial y bilabial; y ambos casos necesitan de un afilado periódico debido al desgaste del filo con el paso de los ciclos. Se trata de métodos más clásicos y cuentan con la desventaja de gran variabilidad si no existe un afilado constante.

La tercera variante es la sustitución de los filos de corte por plaquitas intercambiables. Este sistema ofrece gran eficiencia ya que la plaquita ha sido diseñada para trabajar óptimamente, y además cuenta con cambio rápido de piezas en contraste con la necesidad de afilado de las brocas labiales.

Caña:

La caña es el elemento que une la cabeza de la broca con el mango de sujeción. Está fabricada en acero templado, resistente a la torsión; y, al tratarse de un taladro tan profundo, la broca necesita un corte transversal en forma de V para la evacuación de viruta.

Mango:

El mango es el elemento que asegura la conexión entre la broca y la máquina-herramienta, además de proporcionar el líquido refrigerante y de corte. Mediante dos orificios internos desde el mango hasta la punta de la cabeza se inyecta aceite que ayuda a refrigerar la herramienta, evita rozamientos lubricando, y ayuda a la evacuación de la viruta por la caña.

3.3. Lean Management. Six Sigma

Para entender el Lean Six Sigma antes se debe comprender el origen del término.

El Lean Management es una filosofía de trabajo que busca optimizar los sistemas de producción eliminando los desperdicios (SCRAP). Nace de la evolución del Lean Manufacturing, iniciado en los años 70 por la empresa Toyota, implementando un sistema de comunicación y trabajo en equipo con el fin de trabajar de manera más ágil, flexible y económica.

Por otra parte, el Six Sigma es una estrategia de mejora de procesos centrada en la reducción de la variabilidad, optimizando cada etapa y eliminando defectos y fallos; mediante herramientas estadísticas. Su nombre tiene origen en la desviación típica (σ) en una distribución normal o campana de Gauss, que indica la variabilidad del proceso; teniendo como objetivo llegar a $\sigma = 6$, que implicaría un 99,99% de eficiencia y 3,4 fallos por cada millón de oportunidades.

Tabla 1: Explicación teórica del Six Sigma
(Fuente: Wikipedia. Seis Sigma [7])

Sigma	Eficiencia	Defectos por millón
1	30,85%	690.000
2	69,15%	308.357
3	93,30%	66.807
4	99,30%	6.210
5	99,98%	233
6	99,99%	4

Por lo tanto, en términos generales el Lean Six Sigma es la combinación de ambas disciplinas para conseguir la eliminación de variación, así como eliminar los desperdicios de manera eficiente.



Ilustración 10: Lean Six Sigma

(Fuente: PM03-ic. Six Sigma [8])

3.3.1. Etapas

Las herramientas utilizadas en este método son de carácter puramente de trabajo en equipo, tales como el *brainstorming*, análisis causa raíz (diagrama Ishikawa) y los 5 por qué; pero el método donde se combinan e implementan es el conocido DMAIC: *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*. Como su nombre indica, consiste en 5 etapas definidas:

Definir

La etapa de definición asienta las bases del proyecto y estructura su recorrido y alcance. Lo primero de todo será definir el propósito del objetivo, ya que existen infinidad de enfoques: de mejora continua, de industrialización, de reparación, entre otros; por lo que tendrá que quedar claro el objetivo del proyecto y el alcance de este.

Es notablemente importante conocer cuál es el alcance del proyecto, es decir, establecer una meta que indicará el fin el trabajo; ya que usualmente este punto queda en el aire y se pueden encontrar proyectos interminables que acaban en fracaso por no haber definido un horizonte y haberse alargado excesivamente.

Con el fin de poder realizar un correcto seguimiento del proyecto y saber cuán cerca o lejos se encuentra de la meta, será necesario definir unas métricas o parámetros indicadores del progreso. Suelen depender del objetivo del proyecto, pero frecuentemente se trata del rendimiento porcentual o unidades monetarias.

Medir

La etapa de medición consiste en la investigación y descubrimiento de los factores críticos del proceso. Para ello, el equipo de trabajo realiza sesiones de *brainstorming* y revisaran los datos existentes en el histórico de la empresa, así como consultar con los encargados de la sección y la voz de la experiencia.

El objetivo será plantear diversas preguntas: ¿qué problemas hay?, ¿qué factores afectan?, ¿dónde se origina el problema?; entre otras, con el fin de construir un diagrama causa efecto o Ishikawa, en el que se plasmarán los diferentes factores de afectación y su origen, para poder enfocar correctamente el proyecto.

Será necesario comprobar cuáles son los datos disponibles y su fiabilidad, y en caso de no ajustarse al proyecto, planificar una recogida de nuevos datos que reflejen la realidad del asunto. Una vez obtenidos datos sólidos se deberán volver a plantear las cuestiones iniciales ya que esta vez se podrán justificar las respuestas con datos y permitirán clasificar los variables como X y los problemas como Y, con el objetivo de buscar la relación entre las X's y las Y's.

Analizar

En la tercera etapa, la de analizar, se utilizará lo aprendido en la fase de medición para plantear hipótesis que se confirmarán o desecharán con pruebas y con los datos recogidos con los nuevos sistemas de medición.

El objetivo será definir las causas reales de los defectos y establecer las relaciones entre las X's y las Y's; aunque en ocasiones, al obtener una base de datos nueva se descubren variables o problemas que hasta el momento habían pasado desapercibidas, por lo que es posible tener que modificar lo estudiado hasta el momento para ajustarse a la nueva realidad.

Mejorar

En la cuarta etapa tiene lugar la determinación de las soluciones a las causas efecto determinadas previamente en el contraste de las hipótesis de la etapa de análisis. Adicionalmente, se incluirán mejoras a largo plazo cuyo impacto resulta inmensurable, pero beneficiarán al proceso.

Para establecer un plan de implementación de las mejoras se utilizarán diversas herramientas como es el caso de una matriz de priorización, de la cual se obtendrá un listado con el orden lógico del trascurso de la etapa.

Finalmente, se comprobará el resultado de las mejoras aplicadas y el periodo de tiempo necesario para su actuación.

Control

El proyecto finaliza con la fase de control, la más importante de todas, ya que toda la mejora y optimización del proceso no servirá de nada si un tiempo tras el cierre del proyecto se produce un efecto rebote y recae la situación.

Esta última fase consiste en establecer las herramientas que garanticen que las variables clave se mantengan dentro de los márgenes adecuados. Se crean documentos, métodos preventivos y/o correctivos y formación que incluyen procedimientos de mantenimiento y respuesta para garantizar el rendimiento y ahorro del proyecto a largo plazo.



Il·lustració 11: Etapas DMAIC

(Fuente: PM03-ic. Six Sigma [4])

4. Estudio previo

4.1. Análisis de la merma en la empresa

Previamente a la elección del proyecto se realizó un estudio para descubrir los puntos débiles de la empresa, aquellos con una merma elevada y con fácil solución, para así enfocarse en ellos y trabajar óptimamente. Para ello tuvo lugar la creación del “mermómetro”. El mermómetro es un término acuñado en la empresa con la unión de la merma (objeto a estudiar) y el sufijo -metro (instrumento de medida); con el cual se llama a una serie de datos y gráficas que muestran las ganancias y pérdidas de la empresa.

En GAMO se utiliza el software SAP ERP como sistema de gestión de datos empresariales, una herramienta que proporciona información a tiempo real y crea un entorno de trabajo más eficiente, a la par de ser muy intuitiva y fácilmente personalizable. A través de SAP se gestionan todo tipo de datos de la empresa: desde el stock de materiales en el almacén hasta la declaración de material acabado o desechado; pero al final no acaban de ser un cúmulo de datos que pueden llevar a confusión.

Una vez comprendidos todos los conceptos que se introducen en el programa es posible transformar los datos en información, naciendo así el mermómetro como la automatización semanal de un conjunto de queries (reportes) en forma de gráficos que permiten a la empresa conocer su estado actual de forma intuitiva.

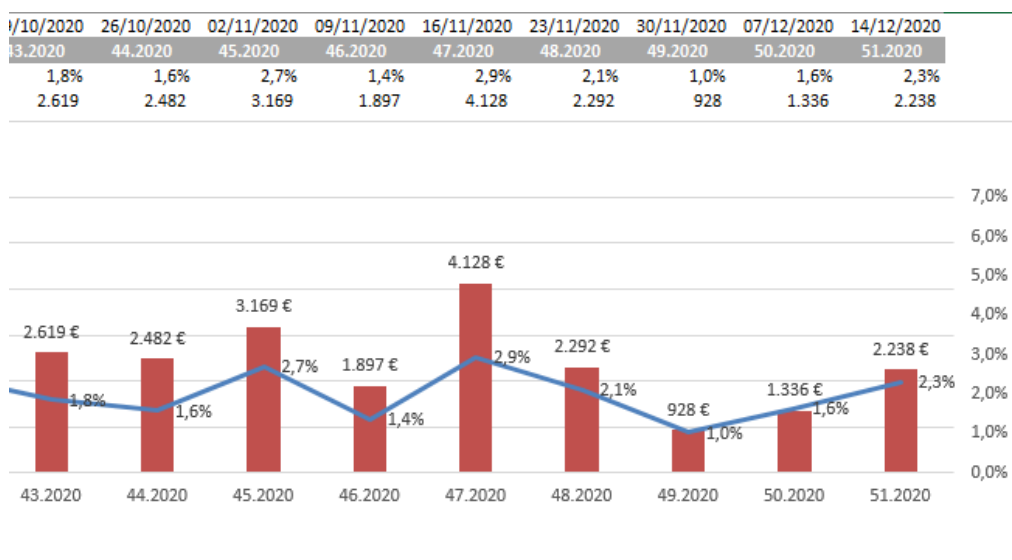


Ilustración 12: Mermómetro de las últimas semanas de 2020

(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la ilustración 12, el mermómetro muestra dos tipos diferentes de información plasmados en un gráfico: scrap en euros y scrap en tanto por ciento.

El dato en unidades monetarias se obtiene directamente de la multiplicación las unidades desechadas por el valor que le cuesta a la empresa, mientras que el porcentaje se obtiene de la división de este valor anterior entre los beneficios que han aportado las unidades completas.

Se entiende entonces que el valor que aporta mayor información es el tanto por ciento ya que, aunque parezca que entre 100€ y 1000€ haya una gran diferencia, si en el primer caso se han obtenido 500€ de ganancias y en el segundo 5000€, ambos casos implican un 10% de scrap.

4.2. Elección de la sección objetivo

Una correcta utilización del SAP permite a la empresa controlar la merma a todo nivel de detalle que desee: desde nivel general de la empresa hasta una sección en concreto. Con esta idea en mente se realizó un estudio a distintos niveles para encontrar la sección con peores números y mayor facilidad de actuación para así enfocar el proyecto de forma óptima.

Como bien está explicado en el **apartado 3.5**, GAMO Outdoor se divide en tres centros: 01 ACSA, 02 GAMO y 04 INCUDESA; por lo que el primer punto a identificar es el centro que produce mayor scrap.

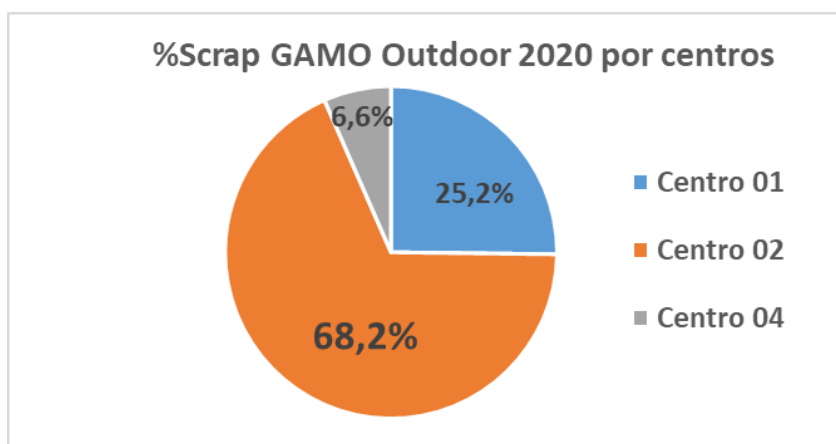


Ilustración 13: Gráfico de pastel del scrap en los centros de GAMO Outdoor

(Fuente: Propia)

Se puede observar cómo claramente la mayor parte del scrap general de la empresa reside en el centro 02. Este resultado es coherente ya que se trata del centro con mayores dimensiones y por lo tanto número de procesos productivos, con lo cual el mayor productor de desechos. El siguiente paso será desgranar el centro 02 para identificar los generadores de este scrap.

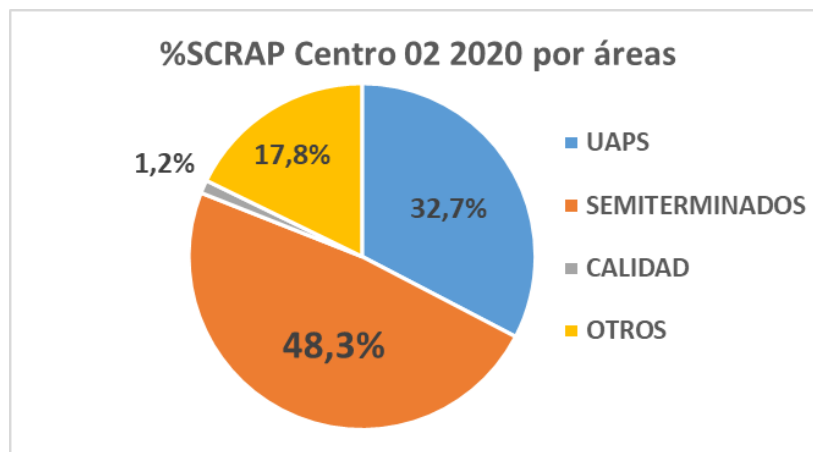


Ilustración 14: Gráfico de pastel del scrap en las áreas del centro 02

(Fuente: Propia)

Dentro del centro 02 aparece rivalidad entre el área de montaje (UAP's) y la de semiterminados y, aunque a primera vista se debería elegir semiterminados ya que supera casi en un 16% a montaje, es necesario hacer un análisis sobre que implica cada una para elegir correctamente.

Un desecho en semiterminados significa tirar únicamente materia prima en sus primeras etapas de modificación: una barra de acero en cañones o un tubo de acero en cámaras. Dada su simplicidad la materia se adquiere de manera económica y su desecho no implica un gasto sustancial.

En cambio, un desecho en montaje implica tirar un componente que ha pasado por todas las etapas del proceso hasta llegar a la línea: un grupo cañón, una culata o un grupo cámara. Estos componentes llevan consigo todo el coste de fabricación añadido.

Una vez entendido que implica un desecho en cada área se puede afirmar que, pese a que parezca que el impacto económico en montaje sea superior, unos pocos defectos suman mucho mientras que en semiterminados se necesita un gran número de ellos para igualarlo. Para entenderlo mejor, 1 cañón tirado en montaje equivale a 50 tirados en semiterminados.

En conclusión, primero se ha observado que la mitad del scrap del centro es causado por semiterminados y segundo, como se encuentra en las primeras fases se necesita un gran número para alcanzar este impacto por lo que se está desechando una gran cantidad de material, por lo que el área a enfocar es la de semiterminados.

Dentro del grupo de semiterminados se lleva a cabo la fabricación de los cañones y las cámaras, englobando el mecanizado de los primeros y la soldadura y pavonado de las segundas. Será necesario realizar otro estudio para identificar qué proceso es más crítico.

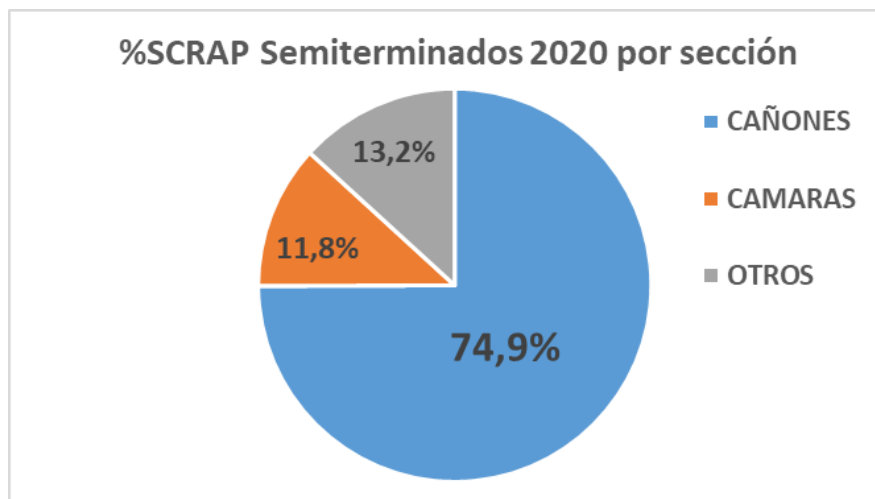


Ilustración 15: Gráfico de pastel del scrap en las secciones del área de semiterminados

(Fuente: Propia)

En esta elección no hay discusión, la fabricación de cañones conforma el 75% del scrap de la sección, no sólo porque se trata de una barra maciza en comparación con las cámaras que se trata de un tubo vacío, sino porque la producción y cantidades son mucho más elevadas.

4.3. Estudio de la sección

4.3.1. El proceso de fabricación

La sección de cañones es un taller de mecanizado compuesto por diferente maquinaria en la cual tiene lugar la transformación de barras de acero en un cañón semiterminado. Para entender el proceso y sus etapas es necesaria la creación de un diagrama de proceso o SIPOC (ver **Anexo 1. Diagrama de proceso de la fabricación de una barra cañón**).

Como muestra el diagrama, el proceso consta de cuatro etapas fijas más una condicionada por el diámetro de la barra:

Inputs:

La materia prima con la que trabaja GAMO es barra de acero 11SMnPb30 (antiguamente F212), un acero resultado con adición de plomo de mecanibilidad mejorada. Se trata de un material fácilmente mecanizable, lo cual facilita las operaciones posteriores sin perder rigidez; y de densidad relativamente baja, lo cual deriva en un cañón rígido y esbelto sin un peso elevado que afecte a la estabilidad de la carabina.

En GAMO se trabaja con barras de diferentes diámetros y longitudes según el modelo y especificaciones de carabina a conseguir:

Tabla 2: Configuraciones de barras para cañones
(Fuente: Propia)

	Ø12 mm	Ø15 mm	Barra especial
Longitud	400 mm	385mm	WH 4,5
	430 mm	450 mm	WH 5,5
	480 mm	500mm	JUNIOR

Como muestra la tabla, a GAMO llegan barras de diámetro 12 o 15 milímetros, de las cuales existen variantes de longitud según el modelo a fabricar. Por otro lado, hay tres barras diferentes para la fabricación de cañones especiales.

Taladrado:

El primer proceso por el que pasan las barras es el taladrado de su orificio interno, que tiene lugar en un centro de mecanizado compuesto por un torno de taladrado profundo (**explicado en 3.2**) y un alimentador.

El torno está compuesto por un motor principal (**ver figura 16, número 1**) que transmite su giro a un conjunto de poleas dentadas, incrementando las revoluciones de 3.000 a 6.000, aproximadamente. La polea inferior está conectada al eje principal de revolución que, hidráulicamente sujeta la barra, provocando así su giro. Paralelamente, el mismo motor conectado a un variador de frecuencia alimenta el husillo principal (**ver figura 16, número 2**) que se encarga del avance del carro que transporta la broca (**ver figura 16, número 3**).

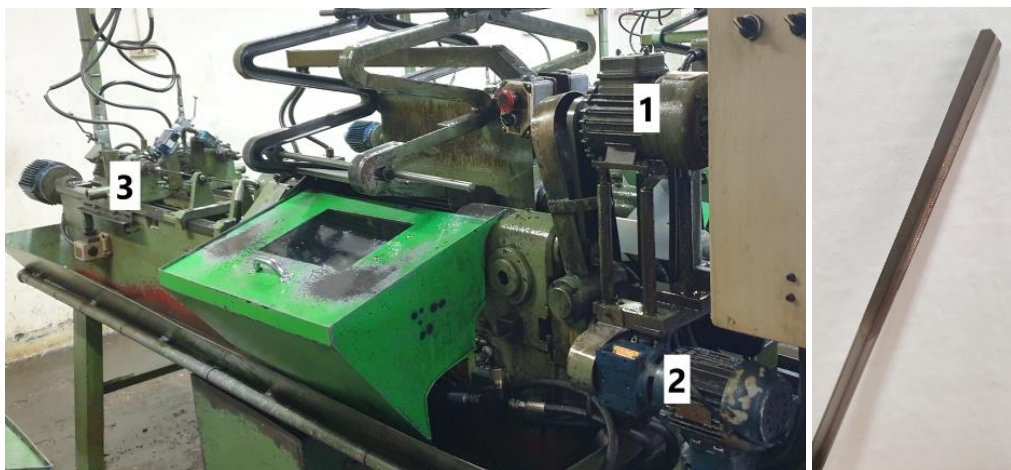


Ilustración 16: Torno de taladrado profundo y herramienta

(Fuente: Propia)

La broca está conectada a un circuito de aceite controlado por un sistema de bombas que, a través de los orificios internos de ésta, inyecta aceite mientras se taladra la barra, reduciendo la fricción y haciendo la labor de lubricación/refrigeración.

En GAMO se fabrican carabinas y pistolas únicamente de dos calibres: 4'5 y 5'5 milímetros. Para ello, inicialmente se taladra con un diámetro ligeramente inferior utilizando brocas de 4'49 y 5'49 milímetros respectivamente, y en los procesos posteriores se termina de ajustar la medida.

Una vez taladrados, el operario encargado recoge los cañones y revisa la concentricidad del agujero mediante un juego de galgas pasa/no pasa. Según el modelo de cañón a fabricar se exige una u otra desviación, siendo la más restrictiva 0,2 milímetros y la más permisiva 0,6 milímetros.

Esto es debido a que posteriormente al mecanizado se envían los cañones a un proveedor que mediante inyectado en plástico adhiere la bocacha y/o silenciador; por lo que si el agujero está altamente desviado del centro corre el riesgo de impactar con la bocacha al disparar.

Una vez verificada la concentricidad del agujero, las barras se cargan en otro alimentador que le dará paso a la escariadora.

Escariado:

El escariado [9], es un proceso de arranque de viruta que se realiza con el fin de ajustar la tolerancia de un agujero y conseguir un buen acabado superficial.

Se lleva a cabo en un centro mecanizado compuesto por una hilera de guías en las cuales se sitúan las barras ya taladradas que, una vez sujetas, se hace pasar por su interior un escariador siguiendo un movimiento lineal (a través de un husillo) y de torsión sobre sí mismo (mediante motores rotativos); consiguiendo así el acabado esperado.



Ilustración 17: Máquina escariadora y herramientas

(Fuente: Propia)

De igual manera que tras el taladrado, el operario encargado comprueba manualmente que se haya obtenido el diámetro adecuado. Siguiendo la línea del proceso, en esta etapa se consigue ajustar el diámetro interior a 4'51 y 5'51 con un acabado superficial liso y sin impurezas, preparado para continuar con el proceso y rayar el ánima.

Estriado:

Como se ha explicado anteriormente, el rayado del ánima o *rifling* es una parte crítica del proceso de fabricación ya que se trata del elemento que aporta la rotación y velocidad al proyectil, que a su vez influyen en la estabilidad de este.

El proceso se lleva a cabo en una estriadora, que no deja de ser un centro de mecanizado similar a la escariadora, pero sustituyendo la herramienta por una capaz de grabar en el ánima los surcos que darán forma a la estría. El movimiento que sigue la herramienta es de igual manera lineal a través del eje de la barra y rotativo sobre sí mismo para lograr el efecto de la estría.



Ilustración 18: Centro de rayado del ánima

(Fuente: Propia)

Una vez terminado el ciclo, se obtiene el cañón prácticamente terminado, con su calibre final ajustado a 4'50 o 5'50 milímetros y con el rayado totalmente acabado.

El proceso de estriado es altamente delicado, ya que durante el rayado se ejerce un gran conjunto de tensiones y esfuerzos en el interior de la barra, lo que causa roturas en la estructura del material y da pie a deformaciones.

Éste fenómeno ocurre principalmente en las barras de diámetro 12 milímetros, en especial las taladradas a calibre 5,5 milímetros, ya que al taladrar apenas queda pared entre el agujero y el diámetro exterior, por lo que los elevados esfuerzos de compresión y torsión provoca debilidad en el material y por consecuencia que las barras queden pandeadas.

Con tal de corregir esta deformación, únicamente las barras de diámetro 12 milímetros pasan por un proceso de enderezado, ya que son las que resultan más afectadas.

Enderezado:

El proceso de enderezado consiste en conseguir la menor variación de medidas entre un extremo y el otro, o, en otras palabras, que la barra quede lo menos pandeada posible, siendo lo ideal poder visualizarla como un rectángulo desde una vista de perfil. Para ello se utiliza una máquina nacida de la fusión de un reloj comparador con una pequeña prensa.

Primero de todo se introduce la barra en unas guías que la harán rotar junto a un reloj comparador que medirá el desplazamiento en el punto de contacto, calculando así la desviación. Una vez definida, se le aplicaran pequeños impactos con la prensa en diferentes puntos de la barra, corrigiendo así la curvatura y resultando en una barra dentro de las especificaciones.

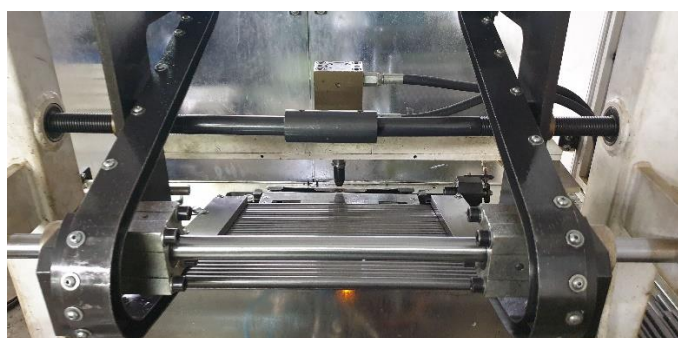


Ilustración 19: Centro de enderezado

(Fuente: Propia)

Pese a tratarse de un proceso robusto, en ocasiones la curvatura no se encuentra en la zona central sino en los extremos de la barra, por lo que se puede dar el caso de que tras completar el proceso de enderezado el cañón no cumpla los requisitos.

Por ello, una vez terminado el ciclo las barras se hacen pasar a través de una especie de buzón diseñado para aceptar cierto grado de curvatura, por lo que si es correcta pasará, pero si tiene uno o ambos extremos torcidos se descartará como desecho ya que en GAMO no se disponen de los medios para corregir el defecto.

Mecanizado:

La última etapa de la fabricación del cañón es una serie de operaciones de mecanizado en el mismo. Tiene lugar en un torno de control numérico del tipo revólver, es decir, que tiene una torreta giratoria con distintas herramientas, lo que permite el trabajo simultáneo y elimina tiempos de cambio de herramienta.

Existen una infinidad de programas de mecanizado según el modelo de cañón que se quiera conseguir, pero todos tienen en común una serie de operaciones que conforman la ranura donde posteriormente, un proveedor insertará la llamada caja cañón (punto de unión del cañón con la carabina) mediante inyectado en plástico.

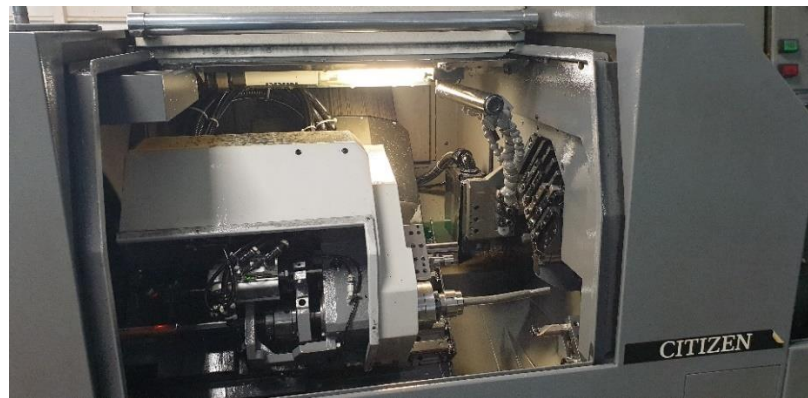


Ilustración 20: Centro de mecanizado CNC CITIZEN

(Fuente: Propia)

4.3.2. Enfoque del proyecto

Una vez entendida la sección se puede observar que se trata de un gran número de procesos cada uno con su ciencia e historia propias, por lo que se deberá valorar de manera objetiva cuales son los procesos críticos de los que nace la merma.

Para ello se utiliza de nuevo el banco de datos de la empresa para la creación de gráficos informativos que ayudarán a tomar la decisión correcta.

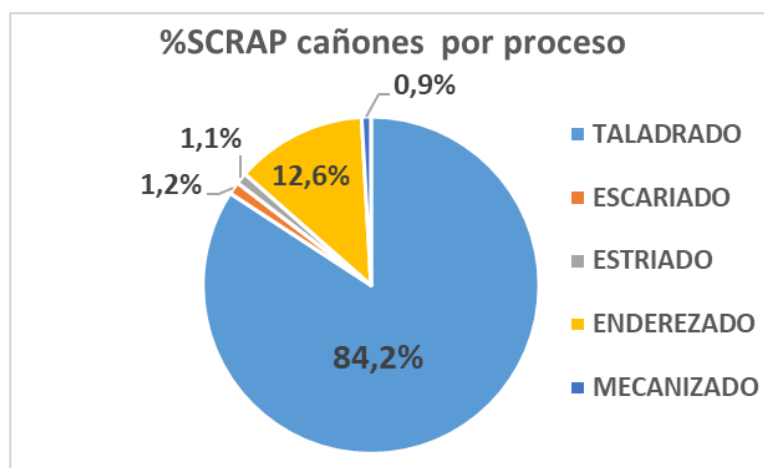


Ilustración 21: Gráfico de pastel del scrap en las etapas de fabricación del cañón

(Fuente: Propia)

El resultado obtenido tiene coherencia con lo explicado en el apartado anterior: el taladrado es un proceso crítico por la dificultad de conseguir la centralidad del agujero y el enderezado tiene el problema de la variabilidad de la zona pandeada.

Por otro lado, los procesos de escariado y estriado apenas tienen problemas ya que únicamente entran cañones correctamente taladrados y al fin y al cabo ambos procesos se consideran sencillos ya que la única operación que se realiza es en el interior de la barra; y el mecanizado al tratarse de un proceso robusto y controlado por ordenador sólo puede fallar en los cambios de referencia o averías.

Con esto en mente se decide atacar el proceso de taladrado no sólo por su alto nivel de scrap sino porque, como se puede comprobar en el diagrama de proceso, además de ser el mayor generador de desecho se trata del cuello de botella de la producción, con capacidad casi a la mitad de su proceso inmediatamente posterior.

Esta elección estratégica no solo mejorará el proceso y reducirá los desechos, sino que conseguirá un aumento de la producción en el principal cuello de botella.

4.4. Observaciones

Una vez realizado el análisis a fondo de la sección se tienen argumentos para establecer unas observaciones a modo de resumen:

- Gracias al mermómetro se obtiene una base de datos sólida que se actualiza semanalmente, idónea para dar información sobre el avance del proyecto.
- La sección de fabricación de cañones es, sin lugar a duda, el área más crítica de la empresa, no sólo por el gran número de procesos que engloba sino por la antigüedad del equipo y mal estado de la zona.
- Dentro de la sección, el proceso de taladrado es el más delicado: se trata de diez tornos con 40 años de antigüedad a los cuales no se les ha aplicado el mantenimiento correspondiente y por consecuencia cuentan con un rendimiento extremadamente bajo.
- Pese a tener una merma relativamente elevada, el proceso de enderezado se descartará en un principio debido a que el problema radica en la propia maquinaria del taller, ya que no es capaz de controlar la variabilidad del problema; por lo que la solución sería invertir en maquinaria nueva.

5. Análisis de la situación inicial

El equipo se enfrenta a la sección históricamente más conflictiva y problemática de la empresa. Probablemente sea la zona menos cuidada de la fábrica: al trabajar con aceite y por el mal funcionamiento de la maquinaria el ambiente está impregnado de partículas que ensucian los alrededores y producen malos olores. Además, al haber gran cantidad de máquinas se crea una contaminación acústica que dificulta la comunicación y el trabajo.

En cuanto al mantenimiento, no existe un plan establecido con elementos preventivos, correctivos ni predictivos; además de que por conflictos internos de la empresa el departamento de mantenimiento no presta ayuda a la sección. Esto desemboca a que son los encargados de producción los que deben encargarse de mantenimiento y reparaciones y, con el paso de los años, no han conseguido mejorar el problema y se ha impuesto una mentalidad de siempre haber funcionado mal y no haber forma de mejorar.

Se parte de un histórico de datos de 2020 bastante desfavorable:

- De todas las referencias fabricadas, de media se desecha un 27% de los cañones taladrados debido al descentramiento.
- A nivel de merma económica se obtuvieron pérdidas de un 12,25%, monetariamente hablando alrededor de 90.000€ perdidos por descentramiento.
- El 80% de la merma corresponde a tres referencias críticas: 12 480, 15 385 y 12 400.

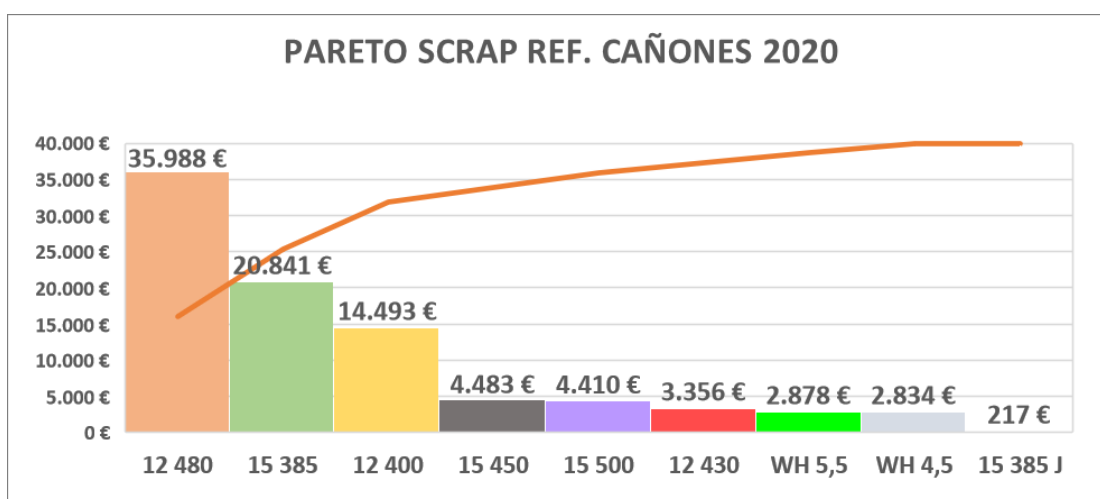


Ilustración 22: Diagrama Pareto de la merma monetaria de 2020 por referencias

(Fuente: Propia)

La maquinaria principal se trata de cinco parejas de tornos de taladrado profundo (en total 10), contruidos alrededor de 1970. En un principio estaban pensados para ser copias los unos de los otros y trabajar de la misma manera, evitando la variabilidad; pero el paso de los años y la carencia de mantenimiento ha desembocado en que, a pesar de parecer todos iguales, cada uno es un mundo y funciona de manera diferente.

No existe un torno ideal que funcione perfectamente ni tampoco un torno que sea considerado el peor, sino que de una semana a otra el que mejor trabaje puede caer en rendimiento y por otro lado el que peor trabajara se convierta en el mejor. Hay semanas que trabajan todos los tornos, pero otras que solo trabajan 7 u 8 por diferentes averías y falta de reparación, por lo que resulta imposible establecer un plan de producción; cada día se produce un numero diferente de cañones.

Además, no solo son diferentes las máquinas, sino que el descentramiento también es irregular, siendo en ocasiones muy leve y en los casos más extremos que la broca salga de la barra a mitad de ciclo.



Ilustración 23: Ejemplo gráfico de la irregularidad del centramiento del taladro

(Fuente: Propia)

En conclusión, la situación de partida es bastante desfavorable: no existe documentación alguna del proceso, la falta de mantenimiento ha deteriorado gravemente la maquinaria, existe demasiada variabilidad (10 máquinas diferentes y 9 referencias de fabricación); y, lo más negativo, una mentalidad impuesta de haber sido así toda la vida y no tener solución.

A primera vista es un mal punto de salida, pero, cuanto peor sea la situación inicial, mayor margen de mejora existe y mayor impacto causara de cara al global de la empresa.

5.1. OEE de partida

El OEE es un indicador porcentual que mide todos los parámetros fundamentales de la producción industrial: disponibilidad, eficiencia y calidad. Es la mejor métrica disponible para la optimización de los procesos de fabricación, directamente relacionada con el coste de la operación.

Cada uno de los tres parámetros engloba un número de pérdidas:

- **Disponibilidad:** paradas/averías y ajustes. Resulta de la división del tiempo productivo de la máquina entre el tiempo que podría haber estado funcionando.
- **Eficiencia:** pequeñas paradas y reducciones de velocidad. Resulta de la división de la cantidad de piezas fabricadas respecto de la cantidad total que se podría haber producido.
- **Calidad:** rechazo por puesta en marcha y rechazos de producción. Resulta de la división directa de las piezas conformes respecto al total producido, incluyendo desechadas. Es equivalente al FTQ.

En el caso del presente proyecto:

Disponibilidad

Teniendo en cuenta turnos de 8 horas en los cuales únicamente se para la maquinaria durante media hora en el tiempo de descanso a mitad de turno:

$$Disponibilidad = \frac{450min}{480min} = 93,75\% \quad (Eq. 2)$$

Eficiencia

La sección cuenta con 9 tornos de taladro profundo de los cuales, de media, aproximadamente 2 permanecen parados durante gran parte de la semana debido a averías o paradas por mal rendimiento:

$$Eficiencia = \frac{1.400 \text{ cañones}}{1.920 \text{ cañones}} = 72,92\% \quad (Eq. 3)$$

Calidad

Se tomará como métrica de calidad el FTQ calculado previamente en análisis de la situación inicial, 5.

$$Calidad = FTQ = 73,00\% \quad (Eq. 4)$$

Por lo tanto, se obtiene un OEE resultante de:

$$OEE = Disp * Efic * Cal = 93,75\% * 72,92\% * 73,00\% = 49,99\% \quad (Eq. 5)$$

El OEE es completamente inaceptable y nada competitivo, se producen altas pérdidas monetarias.

6. DMAIC Primera parte: Definir, medir y analizar

A menudo en los proyectos de Lean Six Sigma se unifican las tres primeras fases del DMAIC: Definir, Medir y Analizar. Esto es debido a que un proyecto tiene “vida” y a medida que avanzan las semanas se puede dar el caso de hacer un descubrimiento y que los objetivos e indicadores establecidos al inicio no cobren sentido.

Por ello se entiende esta primera parte como un bucle de iteraciones de definir el proyecto, medir la situación y posteriormente analizarla; encontrando por el camino otras variables o puntos clave a estudiar que te obligan a replantearte el proyecto hasta acabar de destripar la situación y tener unas bases sólidas.

6.1. Definir

6.1.1. Objetivo y alcance del proyecto

En base a la situación inicial presentada en el anterior análisis, es posible afirmar con toda seguridad que la sección precisa de un proyecto de mejora continua. Se trata de la forma más efectiva de mejora de la calidad y eficiencia en organizaciones, ya que son aquellos proyectos en los que se analizan los procesos y se realizan adecuaciones para minimizar los errores de forma permanente.

Dado que el equipo se encuentra en una situación inicial altamente problemática, el objetivo será realizar un barrido de inicio a fin del proceso y atacar el problema desde la raíz; siempre asumiendo que la mejora no tiene límites y nunca dándose por satisfecho.

El objetivo principal del proyecto será reducir la merma de la sección de mecanizado de cañones, poniendo el foco en el proceso del taladrado interior de la barra. Como ha sido mencionado anteriormente, aproximadamente el 30% de las barras taladradas son defectuosas, ese decir, de 100 barras taladradas únicamente continúan el proceso 70; lo que, a nivel monetario, se traduce como 90.000€ anuales, equivalentes a unas pérdidas del 12,25% total.

Para ello, el equipo se centrará puramente en los tornos de taladro profundo y trabajará en evitar el descentramiento de las barras, reducir ese 30% de piezas defectuosas lo máximo posible. En un principio, se marcará el alcance del proyecto con la reducción a la mitad de los 3 principales indicadores del avance del proyecto:

- **Reducción de piezas defectuosas del 30% al 15%**
- **Reducción de pérdidas monetarias semanales de 1.800€ a 900€**
- **Reducción de pérdidas monetarias semanales del 12,25% al 6,00%**

A primera vista existen sentimientos encontrados acerca de esta decisión. En primer lugar, uno puede pensar que la reducción a la mitad es algo escaso, siendo lo normal en proyectos de este tipo la reducción a partir del 85%; pero dada magnitud del proyecto (45.000€ anuales) y el histórico que tiene la sección, es una decisión prudente el no ser demasiado ambicioso y ponerse como objetivo un horizonte lejano, ya que en un futuro podría generar frustración y el abandono del proyecto. Es preferible comenzar cautelosamente y conforme avance el tiempo replantarse los objetivos si la situación lo permite.

6.1.2. Indicadores y métricas

Gracias al mermómetro del que se ha hablado con anterioridad, se puede realizar un seguimiento semanal del avance del proyecto con los siguientes indicadores: merma monetaria en € y en %.

Aunque un indicador dependa del otro, el verdaderamente importante es el porcentaje, ya que si por ejemplo aparece una semana con días festivos se fabricará menos y por lo tanto se desechará menos, y no será posible compararla con las demás. Que una semana tenga 1.000€ de scrap y otra 500€ no significa que la primera sea peor, ya que se puede dar el caso de que la primera sean 1.000€ de 10.000€ y la segunda 500€ de 5.000€; tratándose en ambos casos de un 10% de merma con la única diferencia en el volumen de producción.

A pesar de esto, es importante tener información sobre las pérdidas en unidades monetarias porque, como se explicó anteriormente, se taladran barras de distintos diámetros y longitudes, y no tiene el mismo impacto desechar una barra de longitud 400mm que una de 480mm. Con una combinación de ambos indicadores se obtiene una fuente de información robusta sobre diferentes aspectos.

6.1.3. Creación del equipo y Project Charter

Una vez establecidos los factores principales del proyecto: objetivo, alcance, indicadores y métricas; tiene lugar el último acto de la fase de definición: la creación del equipo de trabajo y la consolidación del Project Charter.

En primer lugar, lo más importante en un proyecto es el trabajo en equipo. Una de las ventajas de trabajar en unas grandes instalaciones es la variedad de personas con distinta formación y aptitudes que se pueden encontrar en ella. El objetivo de la creación del equipo es encontrar integrantes con diferentes afinidades que puedan aportar valor al proyecto, a forma de poder delegar tareas y trabajar en cohesión con un objetivo común.

En el caso del presente, al tratarse de un proyecto enfocado en el Lean Management es necesario un líder con formación en el campo: un Lean Black Belt. Este perfil se trata de una persona analítica con capacidad de resolver problemas complejos llevando soluciones óptimas y adaptándose a los cambios.

El trabajo principal lo llevará a cabo un ingeniero de procesos, aquel que trabaja en la mejora de los procesos y se encarga de la gestión, implementación y documentación de los proyectos. En este caso particular se tendrá a un ingeniero principal ayudado por un estudiante en prácticas (mi persona).

Finalmente se reunirá a un representante de los principales departamentos de la empresa. Producción, que será quien gestione los recursos disponibles y vele por el correcto funcionamiento de la maquinaria; mantenimiento, que se encargará de las modificaciones o reparaciones necesarias; y, finalmente, el departamento de calidad, que será el que evalúe toda acción que tenga impacto en el producto final.

El Project Charter o Acta de Constitución del Proyecto, es un documento explicativo que autoriza la existencia de un proyecto y cuya aprobación da comienzo al proyecto como tal. Se trata de la condensación en papel de todo lo argumentado en la fase de medición de manera precisa, clara y con transparencia. Un mal lanzamiento de acta puede resultar en un proyecto fallido, en el que se cree estrés entre los integrantes del equipo, no haya puntos de inicio y final definidos o haya malgaste de recursos.

Project Charter **PROCESS Engineering**

INGENIERÍA DE PROCESOS / PROYECTOS DE MEJORA CONTINUA

Numero de proyecto: Lider de proyecto:
 Fecha de inicio:

Area/Proceso a mejorar:

Descripción del objetivo: **Equipo de trabajo:**

Metricas	Descripción de KPI's	INICIO	OBJETIVO	ROI FINAL
Seguridad		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Calidad	FTQ de barras taladradas	<input type="text" value="70,00%"/>	<input type="text" value="85,00%"/>	<input type="text"/>
Medio Ambiente		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Entrega		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Coste	Merma semanal €	<input type="text" value="1.800 €"/>	<input type="text" value="900 €"/>	<input type="text"/>
Coste relativo	Merma semanal %	<input type="text" value="12,25%"/>	<input type="text" value="6,00%"/>	<input type="text"/>
Otros		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PAY-BACK RESULTANTE		<input type="text"/>		

Ilustración 24: Project Charter inicial

Detalle en Anexo 2. Project Charter inicial.) (Fuente: Propia)

6.2. Medir

6.2.1. Revisión de los datos existentes y planteamiento de cuestiones

Para un correcto desarrollo de la fase de medición, se recopilan todos los datos existentes sobre el proceso de taladrado para convertirlos en información. Desgraciadamente, como se ha mencionado anteriormente, la sección en general se encuentra bastante aislada de la empresa en muchos aspectos, uno de ellos el seguimiento y trazabilidad del producto.

En el punto de partida únicamente se cuenta con los números brutos del proceso: piezas defectuosas respecto buenas y el impacto económico que suponen. Esta información es válida en cuanto al seguimiento del proyecto, ya que permitirá ver la evolución y comparar el antes y el después del proceso; pero en cuanto al proyecto de mejora no tiene utilidad.

En esta etapa no sólo interesan los números, sino también entender las situaciones y CTQ (características críticas de calidad) que aparecen en el proceso y llevan a ese valor. Para ello, se realizan sesiones de brainstorming con el fin de plantear los 5 porqués y poder elaborar un diagrama causa – efecto o Ishikawa, que ayudará al equipo a ordenar y clasificar las variables.

Tras una serie de sesiones, el equipo logró definir 8 categorías de estudio:

- **Máquinas:** ¿se encuentran en buen estado?, ¿se les ha aplicado un mantenimiento correcto?, ¿están parametrizadas correctamente?, ¿hay diferencia entre las 10?, ¿funcionan todas?
- **Herramienta:** ¿el tipo de broca es el correcto?, ¿el afilado que se emplea es el óptimo?, ¿hay un protocolo de afilado según número de ciclos?
- **Material:** ¿hay variación entre las barras de la misma colada?, ¿la geometría de las barras es la óptima?, ¿el tipo de acero es el correcto para el proceso?
- **Tipo de barra:** ¿hay variabilidad según los modelos de barra?, ¿influye la longitud de la barra?, ¿y el diámetro?
- **Calibre:** ¿afecta el diámetro de la broca?, ¿es más crítico taladrar a 4,5 o a 5,5?
- **Método:** ¿se trabaja siguiendo un método definido y documentado?
- **Personal:** ¿el personal está formado correctamente?, ¿hay un responsable de sección que controla el funcionamiento?, ¿hay operarios que trabajen mejor que otros?, ¿por qué?
- **Turno:** ¿hay variación entre los 3 turnos del día?, ¿hay diferencia entre el fin de semana y el resto de la semana?

6.2.2. Parámetros por investigar

Para poder responder correctamente todas las preguntas planteadas se tiene que trabajar paralelamente en una labor de investigación para averiguar las cuestiones de gestión e histórico; y por otro lado una recolección de datos masiva con el fin de responder las cuestiones de carácter comparativo.

A nivel de rendimiento de los tornos

Se definió una hoja de recogida de datos para que fuera rellenada por el personal a cargo de la sección, con el fin de responder gran cantidad de las preguntas anteriores:

TIPO CAÑÓN	TORNO		X		X		X
TURNO: MAÑANA LONGITUD: 400 385/15 Ø BROCA: 4,5 GALGA: 0,4/0,2	1						
	2	11	0	9	0	8	0
	3	13	0	11	0	10	0
	4	14	0	13	0	11	0
	5						
	6	14	0	13	0	13	0
	7	14	0	14	0	12	0
	8	14	0	13	0	12	0
	9	11	1	13	0	13	0
	10	13	0	9	0	10	0

Ilustración 25: Hoja de recogida de datos de taladrado

(Fuente: Propia)

Se trata de una tabla sencilla en la que se recogen los siguientes datos:

- **Fecha y turno**, para averiguar la variabilidad entre turnos de mañana, tarde y noche; y comparación entre fin de semana y resto de los días.
- **Longitud del cañón**, para conocer qué tipo de barra se fabrica. No se añade diámetro porque no hay una longitud que se repita en diferente diámetro.
- **Broca** con la que se taladra, para diferenciar entre cañones de 4,5 y 5,5; y poder compararlos.
- **Galga** con la que se comprueba el centrado, para saber qué tipo de modelo se fabrica, y poder ordenarlos de más a menos restrictivo (0'2, 0'4, 0'6...).
- **Número de torno**, para comprobar si existe variabilidad entre ellos y compararlos.
- **Piezas OK y NOK**, para, además de llevar un registro de la producción por horas, conseguir un dato de FTQ (First time Quality) asociado a cada máquina.

Tras un periodo de medición se obtuvo la siguiente información en forma de gráfico de dispersión:

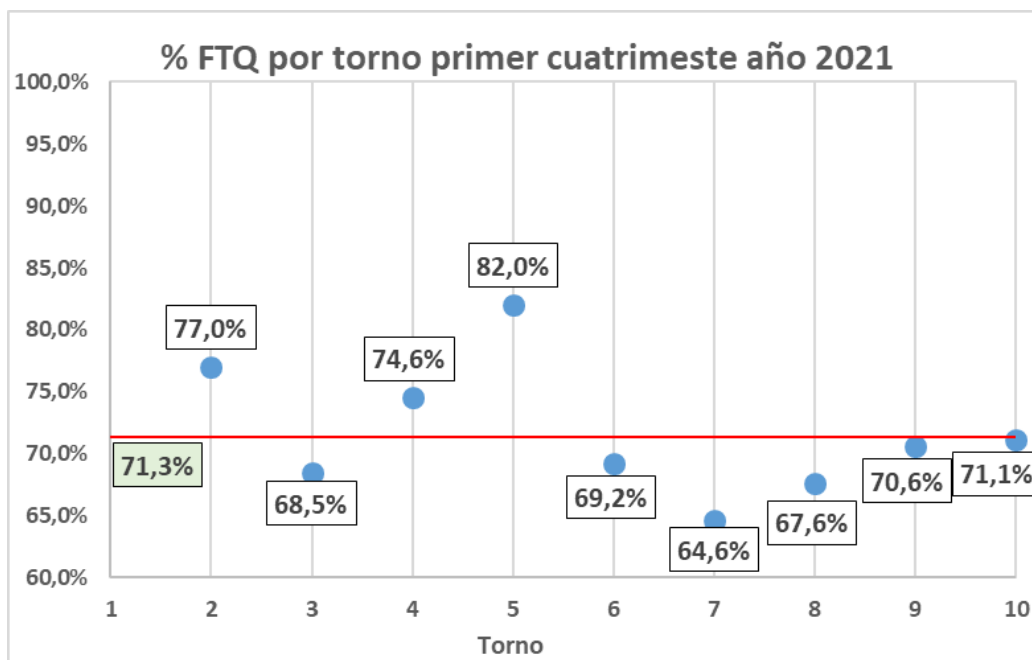


Ilustración 26: Comparativa del porcentaje de FTQ del taladrado por torno

(Fuente: Propia)

El estudio coincide con el número proporcionado por el dato bruto del sistema informativo de la empresa: los tornos trabajan aproximadamente a un 70% de aceptación; por lo que se trata de una muestra real y representativa.

Gracias al detalle de la hoja de recogida de datos, se tiene una comparativa real entre las diferentes máquinas. A primera vista se observa que se trata de un proceso totalmente descontrolado. Prácticamente no hay dos máquinas que trabajen igual y, la que se podría llamar la mejor, dista de casi 20 puntos de la peor, según el gráfico. Además, aunque la media sea de 71'3%, apenas son 3 máquinas las que superan la barrera del 70% y compensan al resto, que se mantienen alrededor del 60%.

A nivel del tipo de barra y calibre

Respecto al tipo de barra y calibre, a pesar de haber recogido datos y tener conclusiones, no son evidencias que se puedan contrastar. Esto es debido a que, a pesar de que el sistema de medición es el mismo, no todas las barras se seleccionan bajo el mismo criterio. Con frecuencia se da el caso que una misma barra se puede escoger con una tolerancia de 0,2 milímetros para un modelo y a 0,4 milímetros para otro.

Adicionalmente, no todas las barras tienen los mismos rangos: una quizá se escoge a 0'3, otra a 0'2, en ocasiones alguna otra a 0'6, etc. Por lo tanto, no es posible hacer una comparación directa y definir

una comparativa entre diferentes longitudes y diámetros con los datos obtenidos; pero sí se pueden mencionar ciertos aspectos observados durante el trabajo de las máquinas:

- Como es de esperar, cuanto más restrictiva es la tolerancia mayor rechazo se obtiene. Las referencias escogidas a 0'2 generan más merma que las escogidas a 0'6.
- Las barras de diámetro 12 sufren más vibraciones durante el proceso que las de diámetro 15. Esto es debido a la mayor esbeltez de la barra, que provoca mayor recepción de las ondulaciones provocadas durante el taladrado. Las barras de diámetro 15 permanecen fijas durante el proceso y apenas presentan oscilación.
- Cuanto menor es la longitud de la barra, menores vibraciones aparecen; en cambio en las barras más largas se detecta una gran oscilación en el centro de la barra. Esto es ocasionado por un mal posicionamiento en los puntos de agarre, ya que a la mínima desviación de apoyo se producen oscilaciones.
- Adicionalmente se identificó un problema repetitivo: curvatura en la barra. Frecuentemente aparecen barras que presentan una cierta desviación en la rectitud de su figura, lo que provoca mal posicionamiento que deriva en vibraciones; y lo más importante: si una barra antes de taladrar ya presenta una desviación de 2 décimas de milímetro, la broca asumirá esa dirección desde el inicio y como mínimo se descentrará ese valor.

A nivel de franja horaria y semanal

En cuanto a la comparación según fecha y hora, se obtuvieron los siguientes resultados:

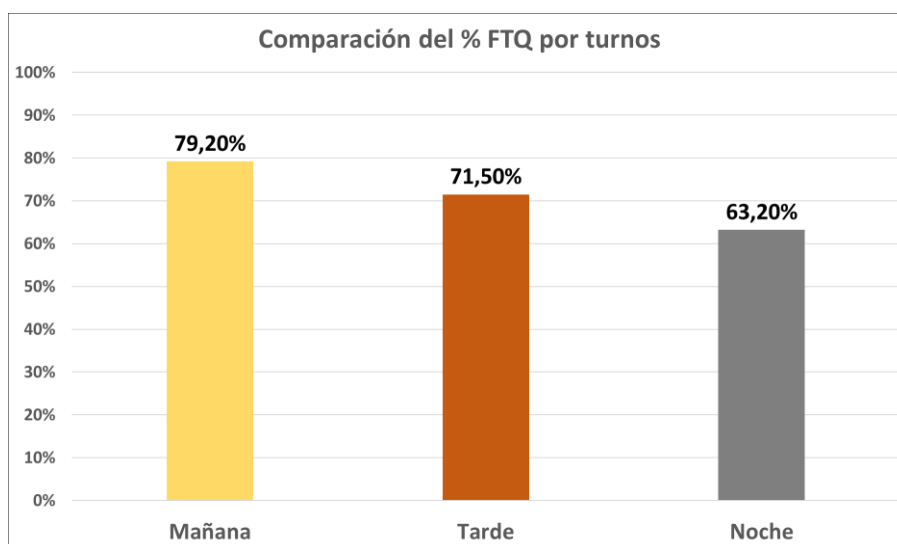


Ilustración 27: Comparación del % FTQ del taladrado según el turno

(Fuente: Propia)

Se puede apreciar una gran diferencia entre los turnos, siendo el de por la mañana el mejor, a exactamente 16 puntos de margen con el de la noche, que sería el peor. Ésta diferencia puede ser causada por un gran número de factores: diferencias en el material, diferencias en el ambiente (temperatura y humedad), fatiga de la maquinaria, cambio de personal, etc.

Sin embargo, no todos los problemas han de estar ocasionados por la maquinaria, ya que existe el factor humano, por lo que posteriormente se estudiará el porqué de la diferencia.

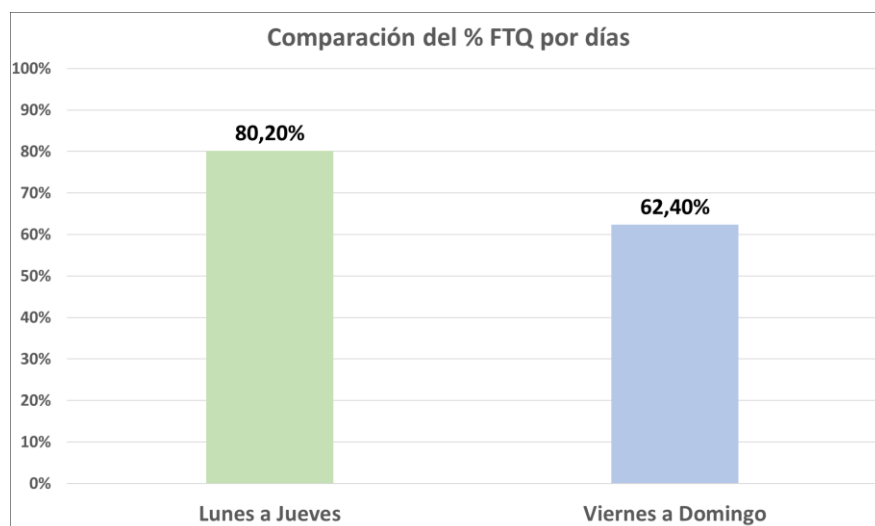


Ilustración 28: Comparación del % FTQ del taladrado según rango de días

(Fuente: Propia)

De igual manera que en la comparación por turnos, existe un abismo entre los días laborales de la semana y los turnos del fin de semana. En este caso el margen es de casi 20 puntos y, no sólo afecta en el rendimiento de las máquinas, sino que el problema de los turnos de fin de semana es que a nivel empresarial resultan más caros que los días naturales.

Por ello, se hará hincapié en el estudio de la situación, valorando incluso la eliminación de alguno de estos turnos problemáticos.

A nivel de variación en las herramientas

Paralelamente, se pidió al personal que apuntaran en un registro el número de veces que afilaban las brocas de cada máquina y qué tipo de afilado se hacía. Se distinguen dos tipos de afilado, siendo el afilado A el afilado de serie con el que vienen las brocas del proveedor; y el afilado B un tipo de afilado que realizan algunos operarios.

Tras el periodo de una semana recopilando datos se obtuvo el siguiente gráfico informativo:

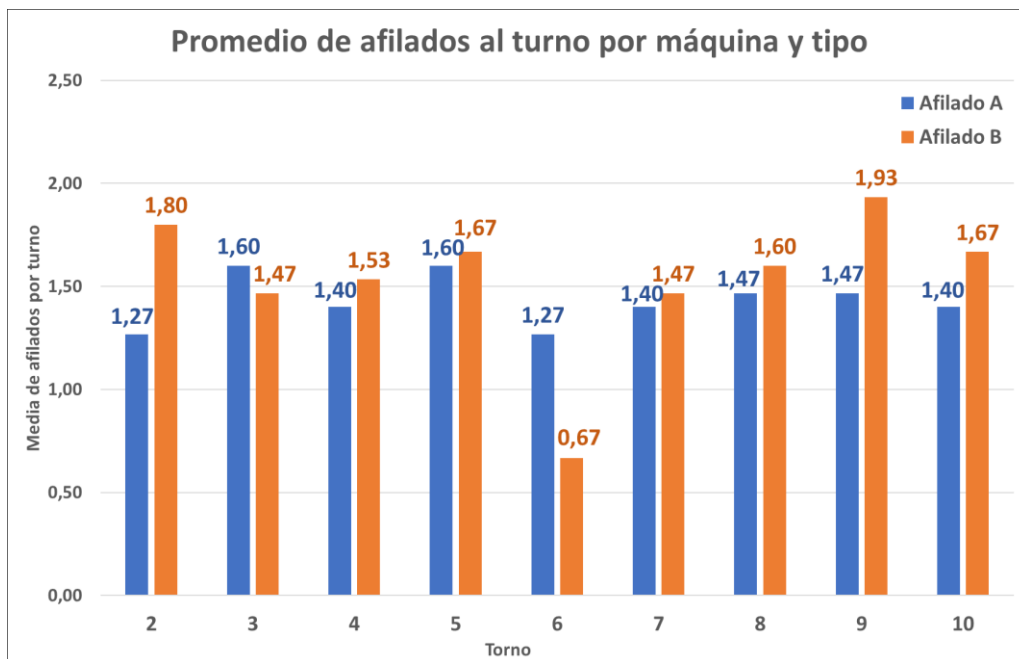


Ilustración 29: Análisis de frecuencia y tipo de afilado de las brocas

(Fuente: Propia)

Como se puede observar, de entrada, existen 2 variantes de afilado sin una instrucción definida que indique cual se debe hacer o en caso de haber opciones, en qué casos se debe hacer cada una. Por otro lado, por lo que se habla en la sección, la variante B trabaja mucho mejor que la A, pero no todos los operarios conocen el método para conseguirla; además que no está demostrada científicamente la comparación.

Además, se ve como no hay rigurosidad a la hora de afilar las brocas. No existe un método que indique la frecuencia de afilado, se puede ver como por ejemplo el torno número 9 se afila de promedio 3,4 veces al turno mientras que el número 6 sólo 1,94. Tampoco se conoce el motivo por el cual se afila una u otra ni que criterio se sigue para elegir un tipo de afilado.

Finalmente, se ha observado un problema con mucha más frecuencia de la que debería: la rotura de brocas. Debido a la naturaleza flexible del cuerpo de la broca, si durante el proceso de taladrado se encuentra algún obstáculo, bien sea acumulación de viruta, variación en la dureza del material o desgaste del filo de la broca; ésta no es capaz de avanzar y comienza a doblarse por el esfuerzo que sufre.

Si casualmente algún operario se da cuenta y consigue parar la máquina a tiempo no ocurre nada, se extrae la broca y se endereza. Si por el contrario la broca continúa avanzando, llega un momento en el que se supera el límite elástico del material y la broca se parte por la mitad. Esto lleva al paro de la

producción de barras y deja al descubierto los orificios internos por los que corre el aceite a presión, provocando un efecto fuente que ensucia los alrededores.

A nivel de gestión e histórico de la sección

Históricamente hablando, la sección de mecanizado de cañones nunca ha sido capaz de abastecer a la fábrica. Diariamente se fabrican aproximadamente 3.000 carabinas de aire comprimido, mientras que el número de cañones que salen de la sección no supera las 2.500 unidades en los mejores casos, hecho que fuerza a la empresa a trabajar turnos extra los fines de semana.

En cuanto a la maquinaria, se encuentra en mal estado de conservación, como ya se ha mencionado anteriormente. Se producen averías frecuentes de las cuales no se hace cargo el equipo de mantenimiento, sino que son los propios operarios los que han de descubrir el problema y tratar de arreglarlo. Lo más habitual es encontrarse 2 o 3 máquinas paradas durante todo un turno debido a alguna rotura o que su porcentaje de aceptación sea mínimo.

Por otro lado, aunque se cuente con 10 tornos de taladro profundo, únicamente 9 están disponibles para fabricación habitual. Esto es debido a que el torno número 1 lleva una serie de modificaciones para taladrar una referencia muy concreta, lo cual imposibilita que trabaje la lista de barras comunes. Por ello, el estudio de este proyecto se centrará únicamente en los 9 tornos habituales que trabajan la misma barra bajo una rotación de referencias común.

A nivel del método

Hablando del sistema de verificación de la tolerancia de desviación del taladro, el descentramiento, se realiza manualmente mediante un juego de calibres o galgas que funcionan con un sistema de “pasa – no pasa”.



Ilustración 30: Conjunto de calibres pasa-no pasa de medición de desviación

(Fuente: Propia)

La ilustración muestra una parte de los aproximadamente 20 calibres que tienen en la sección. A primera vista se diferencian dos tipos: macho y hembra. Ambos funcionan bajo el mismo principio, se introducen en la salida de la broca de la barra cañón introduciendo el alargó por el orificio que, cuando alcanza cierta profundidad, hace que la barra se introduzca en un capuchón que tiene el calibre.

En el caso del macho primero entra el alargó en la barra y en el caso de la hembra, primero entra la barra en el capuchón. Una vez introducidos hasta el tope se rotará completamente el calibre en el eje de la barra, recorriendo así toda la superficie y comprobando la desviación en toda la revolución. La desviación se mide en tanto por ciento, es decir, si una barra de diámetro 12 se escoge a 0'2 quiere decir que el capuchón del calibre medirá 12,4 milímetros, siendo 0'2 milímetros en radio.

Ahora bien, el problema que conlleva esta operación es que se trata de un proceso repetitivo y manual, que da pie a equivocaciones propias y a variaciones de criterio entre un operario y otro. Es posible que yo considere que, aunque la barra roce un poco con las paredes del calibre, esté dentro de especificaciones, pero quizá otra persona puede aplicar más o menos fuerza y tener un criterio diferente.

A nivel de gestión de la sección

Además, hablando sobre la variación del personal, debido a la necesidad de trabajar fines de semana y el problema mundial actual del coronavirus, la empresa se ve obligada a recurrir a empresas de trabajo temporal para contratar personal. El problema reside en la falta de método y documentación de la zona, ya que entra y sale personal nuevo frecuentemente y no se les forma adecuadamente, sino más bien mediante boca a boca y sobre la marcha.

Existen operarios más y menos implicados en el trabajo y con mayor o menor habilidad, lo que dificulta la estabilidad y robustez del proceso, ya que son muchas las operaciones y ajustes que están a cargo de los operarios. Entonces si cada operario trabaja de una manera nunca se va a encontrar la sección igual en dos turnos diferentes, lo cual dificultará la labor de investigación.

Adicionalmente, sólo hay un trabajador del departamento de producción asignado a la supervisión del funcionamiento de la sección. Esta persona sigue el turno de mañana y vela por el correcto rendimiento de las máquinas y los operarios; el problema reside en que durante el turno de la tarde y de la noche los operarios se encuentran solos por lo que, en caso de avería, desconocen cómo actuar y por otro lado, al no estar supervisados ni con una producción exigida, el rendimiento cae en picado.

6.2.3. Creación y análisis del diagrama Ishikawa

Tras haber realizado un estudio sobre la situación inicial e investigado sobre el histórico de la sección, es el momento de plasmar toda la información obtenida mediante los nuevos registros de datos que se han llevado a cabo.

El diagrama causa-efecto o Ishikawa será la condensación de todo lo aprendido hasta ahora, en el cual se segmenta el problema principal en las causas encontradas, cada una de ellas con las variables que le afectan. El objetivo será encontrar la relación directa entre las variables Y y las causas X, para poder así optimizar el trabajo de mejora.

Habitualmente un diagrama Ishikawa está formado por seis divisiones, las 6M: Mano de obra, Máquina, Medio ambiente, Material, Método y Medida. En el presente caso se ha decidido dividirlo de una manera más eficiente por la naturaleza del proyecto:

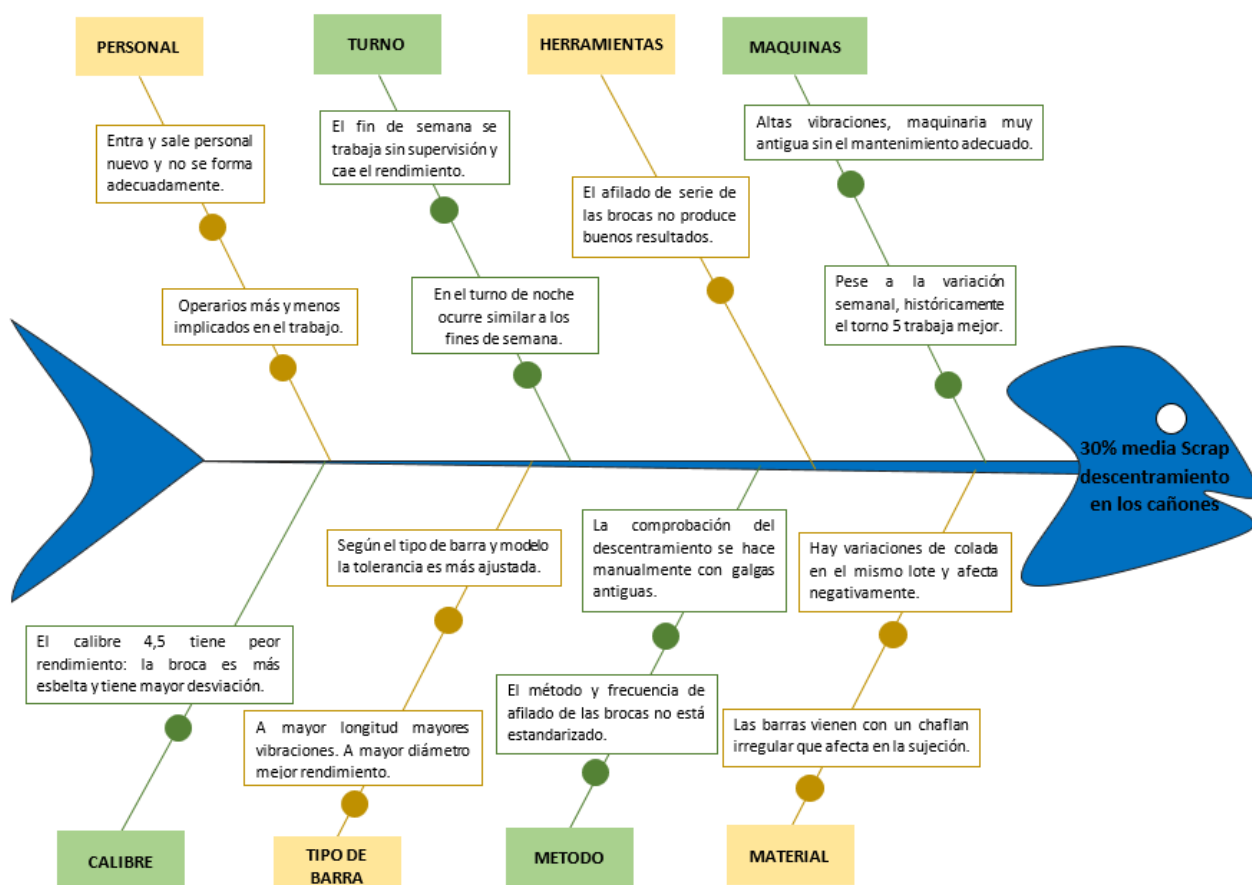


Ilustración 31: Diagrama Ishikawa del descentramiento del taladro

Detalle en Anexo 3. Diagrama Ishikawa (causa efecto) del descentramiento de cañones. (Fuente: Propia)

El diagrama Ishikawa, una vez completado, proporciona las pautas a seguir en las siguientes etapas del proyecto: análisis y mejora.

Personal y método: los operarios conforman la primera línea del proceso de fabricación ya que son los encargados de la manipulación de la maquinaria y el producto, por lo que un mal rendimiento de trabajo afecta directamente al resultado final.

Desgraciadamente, al tratarse de un problema ajeno a ingeniería, no es posible trabajar en mejorarlo; no obstante, se tratará de definir métodos e instrucciones de trabajo con tal de formar a los operarios tanto actuales como a los que se incorporen en un futuro.

Turno: de manera similar al personal, la variación de rendimiento en los turnos se encuentra fuera del alcance de ingeniería. De todos modos, se establecerán distintos controles con tal de ejercer una pequeña presión para que los trabajadores iguallen el ritmo de los del primer turno.

Adicionalmente, se cree que, tras el desarrollo del proyecto, la producción diaria crecerá de manera que sería posible eliminar turnos del fin de semana, principal fuente del problema.

Herramientas: resulta intolerable que haya variabilidad en el elemento principal de corte, la broca. Desde ingeniería se trabajará para definir un correcto sistema de afilado, con una instrucción que indique paso a paso como se deberá afilar la broca y el acabo que deba tener; además de la frecuencia.

Al estabilizar una de las principales variables se consigue cierta estabilidad en el proceso, ya que el objetivo es fijar todo tipo de variable hasta conseguir robustez.

Calibre y tipo de barra: pese a conocer las combinaciones más críticas de longitud, diámetro y calibre; no es posible hacer ningún cambio en ello ya que la empresa fabrica todo tipo de modelos y no es posible eliminar un producto por mala eficiencia en un proceso intermedio, por lo que irán rotando poco a poco en el plan de producción.

De todos modos, se podrá sacarles provecho a estas referencias críticas utilizándolas como indicadores: al tratarse de las peores referencias, se podrá apreciar evolución en el rendimiento a medida que avance el proyecto, ya que si se utilizan únicamente las referencias sencillas apenas se vería variación.

Material: en cuanto al material se ha descubierto que, dentro del mismo cestillo, cuya colada debería ser la misma, existe variación de la composición del acero; y una diferencia en la dureza y maquinabilidad provocará alteraciones en el proceso de taladrado. También se ha detectado curvatura en las barras, apareciendo una desviación de décimas de milímetro en el eje vertical de la barra que, acentúan el descentramiento.

Por último, las barras vienen de proveedor con un pequeño chaflán irregular en los extremos, que afecta gravemente en la posición de sujeción de la barra y provoca oscilaciones. Desde el equipo de calidad se investigarán los diferentes problemas, haciendo cambios en las especificaciones y planos del proveedor, si fuera necesario.

Máquinas: como se ha explicado durante la etapa de medición, al no haber seguido ningún tipo de mantenimiento el estado de los tornos es completamente desconocido. Existe mucha variación entre los 9 operativos, e incluso el mismo torno puede cambiar drásticamente el rendimiento de una semana a otra. Pese a esto, el torno número 5 parece destacar entre los demás, aún sin tener diferencias aparentes respecto a los otros, pero será nuestro punto de partida descubrir que le diferencia y como igualar los demás.

El problema principal de los tornos son las elevadas vibraciones y oscilaciones que aparecen tanto en la barra como en la broca mientras trabajan, y será el objetivo de las pruebas de análisis encontrar la raíz y eliminarla.

6.3. Analizar

En la etapa de análisis se utiliza todo lo aprendido hasta ahora para plantear hipótesis que se contrastarán haciendo pruebas y recogiendo datos. Se divide el estudio en dos bloques que englobarán todos los puntos mencionados en la fase de medición: máquina - herramienta y material. Las cuestiones respecto al personal y la gestión de la sección se trabajarán directamente en la fase de mejora por salirse del alcance de ingeniería.

Máquina - herramienta

En este primer bloque el equipo se centrará en eliminar las vibraciones que aparecen en el proceso, tanto las de la barra como las de la broca. Para la barra se realizará un barrido de todos los componentes móviles del torno para descubrir en qué punto o puntos se producen, y hacer las modificaciones necesarias. En cuanto a la broca, se comenzará por definir el método de afilado óptimo y una vez esté establecido, se comprobará si existe otro factor que afecte a su funcionamiento.

Como se pudo comprobar en la etapa de medición, el rendimiento general de los tornos es bastante bajo, pero aun así existe un torno que destaca como el mejor (torno 5) y otro como el peor (torno 7). El procedimiento por seguir será desmontar y analizar cada parte de ambos tornos y tratar de buscar diferencias y semejanzas. El objetivo es descubrir qué hace diferente al número 5 de los demás y copiarlos para que, como mínimo, todos funcionen al nivel del mejor.

Material

En el segundo bloque tratará de estandarizar la materia prima que llega a la sección. Como ya se ha mencionado, dentro del mismo lote aparecen barras aparentemente diferentes en cuanto a composición y propiedades mecánicas, lo cual aumenta la variabilidad y, si se da el caso de superar las especificaciones, produce alto rechazo y en casos extremos roturas y averías. Junto al departamento de calidad se analizarán distintas muestras con tal de descubrir varianza y, en caso afirmativo, reclamar al proveedor.

Paralelamente se trabajará en el chaflán que, como se pudo ver en la fase de medición, no está mecanizado de manera regular y por lo tanto produce variaciones en el sistema de sujeción de la pieza, produciendo oscilaciones y por lo tanto desviación. Además, se estudiará si realmente algunas barras pecan de estar desviadas respecto a su eje axial.

6.3.1. Planteamiento de hipótesis

6.3.1.1. Conjunto máquina – herramienta

Dada la gran magnitud de elementos que conforman el grupo máquina – herramienta, se hará una distinción de los tres principales conjuntos que lo forman: transmisión del motor al eje, sujeción y agarre de la pieza; y afilado y acción de la broca.

Transmisión del motor al eje de giro

El primer bloque que se estudia es el conjunto que transmite la rotación del motor a la barra. Si alguno de los componentes se encuentra en mal estado arrastrará vibraciones y oscilaciones por todo el eje de giro y afectará directamente al resultado del taladrado.

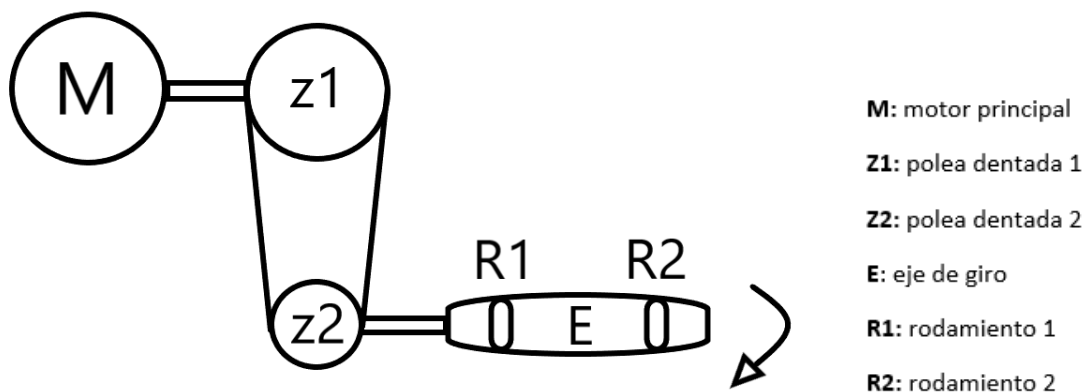


Ilustración 32: Esquema de la transmisión del motor al eje de giro del torno

(Fuente: Propia)

Como muestra la figura, el sistema se compone de un motor principal **M** que gira a 3000 revoluciones por minuto. Mediante un sistema de transmisión por poleas dentadas, de $z_1=48$ y $z_2=24$, resultando una relación de transmisión* $i=2$, duplicando las revoluciones ejercidas por el motor y resultando en aproximadamente un ritmo de 6000 revoluciones sin tener en cuenta pérdidas.

$$i = \frac{z_1}{z_2} \quad (\text{Eq. 6})$$

Una vez aumentado el giro, se transmite a un eje de rotación **E** acoplado a la salida del sistema de transmisión de poleas dentadas. Este eje gira acompañado por un conjunto de rodamientos axiales **R1** y **R2**, que compensan las tensiones y esfuerzos en el eje de revolución y finalmente transmiten el giro directamente a la sujeción de la barra.

Comienza el estudio por el motor principal, donde inmediatamente se pudo observar que se encuentra apoyado por 4 tornillos y tuercas a ambos lados, con el fin de poder regular la altura mediante su ajuste. El problema que apareció al comparar el mejor torno (número 5) con los peores fue precisamente este ajuste que se menciona: en la mayoría de los casos el motor se encontraba apoyado en diagonal o inclinado hacia adelante, además que se llegó a ver casos de faltar uno de los apoyos, creando un equilibrio inestable.

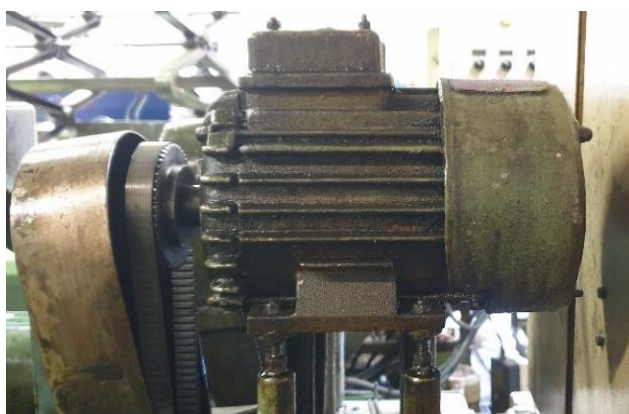


Ilustración 33: Motor principal de giro del torno de taladrado

(Fuente: Propia)

La función de esta regulación de altura es la del tensado de la correa, ya que la parte inferior de la transmisión se encuentra fija, por lo que el único ajuste posible es elevando o bajando el motor. En este punto también aparece varianza, ya que, aunque en algunos casos se encontraba correctamente, en muchos otros la tensión de la correa no estaba ajustada y producía grandes oscilaciones y golpes al transmitir el movimiento del motor.

Adicionalmente a los problemas de ajuste mencionados, el mecanismo en general aparenta sufrir mucho debido a la alta velocidad a la que trabaja, bien sea por encontrarse en mal estado o por trabajar a unas revoluciones excesivas respecto a sus especificaciones.

Al momento de llegar al eje principal de giro el equipo se dio cuenta de que el principal problema en los tornos residía allí. A pesar de no contar con pautas de mantenimiento y reparación, por lo general a todos los componentes se les había realizado alguna revisión y actualización, pero, para nuestra sorpresa, el eje principal de giro nunca se había desmontado; aun siendo la parte más importante del mecanismo de transmisión.

En un principio lo que más llamó la atención del equipo fue el juego que tenía el eje, ya que se podía desplazar hasta 1 milímetro aplicando un mínimo de fuerza con la mano, pero al desmontar el eje del peor torno se descubrió que se encontraba gripado, con óxido y los rodamientos internos completamente rotos.



Ilustración 34: Eje principal de giro gripado

(Fuente: Propia)

Con este estudio en mente el equipo es capaz de listar un conjunto de hipótesis en las que se trabajará para corregir los errores pertinentes:

- **Hipótesis 1:** La estabilización o el cambio de los motores defectuosos disminuirá las oscilaciones generadas.
- **Hipótesis 2:** La reducción de las revoluciones sin llegar a afectar al taladrado reducirá la velocidad y oscilaciones, además de aumentar la vida útil de los componentes.

- **Hipótesis 3:** El tensado óptimo de la correa de transmisión reducirá las oscilaciones.
- **Hipótesis 4:** El ajuste o cambio del eje de giro eliminará juego y oscilaciones. Además, el recambio de sus rodamientos internos reforzará al eje.

Sujeción de la pieza

El sistema de sujeción de la pieza es el encargado de, como su nombre indica, mantener la barra fija mientras se realiza el ciclo de taladrado. Una sujeción débil llevará a la pieza a quedar parcialmente libre y provocar movimiento de oscilación; y un agarre demasiado fuerte ejercerá esfuerzos de compresión a la pieza que reducirán el índice de aceptación.



Ilustración 35: Esquema del sistema de sujeción de la pieza

(Fuente: Propia)

Como bien muestra la figura, el sistema de sujeción está acoplado al eje principal de giro **E**, del conjunto de transmisión. Unido al eje se encuentra lo que se denomina el cono de reposo **Co**, que se trata de una pieza de acero en la cual reposa la barra **B** al ser fijada. Recibe el nombre de cono por la forma de su alojamiento, siendo un cono que permite el correcto ajuste de barras de distinto diámetro. Cuenta con un pequeño muelle que es comprimido al apoyarse la pieza, con el fin de acompañarla.

El otro punto de apoyo es el llamado centrador **Ce**. Recibe ese nombre ya que su función principal es la de centrar la broca con el fin de que comience el taladrado alineada; pero esta función se explicará en el apartado correspondiente a la broca. El centrador, además de lo mencionado, tiene un alojamiento similar al del cono de reposo, siendo en este caso cuadrado, y contando también con un muelle que cumple la misma función que el del otro apoyo: mantener la pieza ajustada entre ambos puntos.

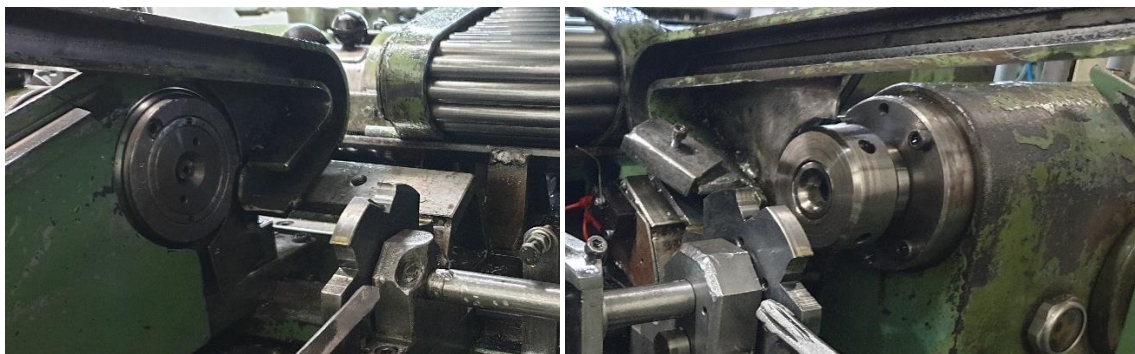


Ilustración 36: Sistema de sujeción de la pieza. Centrador y cono de reposo

(Fuente: Propia)

Teniendo en mente que el problema principal son las vibraciones y oscilaciones en la barra y tras analizar este sistema de agarre, la primera duda que se generó fue si realmente el sistema mantenía fijada correctamente la barra o si por el contrario apretaba demasiado o no lo suficiente; resultando en tensiones o juego y por lo tanto oscilación durante el ciclo. Al comprobar los muelles de ambos componentes en varias máquinas se pudo observar que no compartían dimensiones y que, no eran comprados individualmente, sino que provenían de una larga espiral que cortaban a mano cuando era necesario.

Si se analizan ambos elementos, cono y centrador por separado, se encuentra primero al cono como un cuerpo rígido y sin movimiento el cual se ajusta mediante una corona roscada, por lo que su único punto de estudio es el alojamiento de la pieza y el muelle.

Por otro lado, el centrador es quien recibe la rotación que pasa desde el motor al eje, luego al cono que se lo transmite a la barra y finalmente llegando al centrador. Para acompañar el movimiento giratorio, cuenta con un conjunto de dos rodamientos radiales unidos por un distanciador con el fin de “hacer paquete” y repartir los esfuerzos de rotación. Similarmente a lo ocurrido con los rodamientos del eje de giro del sistema de transmisión, los rodamientos se encontraban en mal estado y con el eje con juego, dificultando el giro fluido y provocando traqueteo y oscilaciones.

Únicamente teniendo en cuenta el método de agarre y suponiendo que el conjunto anterior, la transmisión del motor, estuviera correcto, sólo hay dos elementos en los que trabajar, el cono y el centrador; para lo que se plantean las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis 5:** Al variar la longitud y espesor del muelle y por lo tanto su capacidad de compresión, se conseguirá el ajuste óptimo eliminando las vibraciones y oscilaciones generadas en la sujeción.
- **Hipótesis 6:** Al cambiar los rodamientos por un conjunto nuevo se conseguirá un giro más fluido y estable.

Afilado de la broca y presión del aceite de corte

El afilado de la broca es una operación altamente delicada, un acabado erróneo puede hacer que no trabaje correctamente y, por lo tanto, aparezca mayor rechazo de piezas; o en los peores casos puede producir la rotura íntegra de la broca, que además del tiempo perdido en cambiarla y limpiar la zona, que supone un gasto económico alto.

Como se ha explicado anteriormente, existen dos tipos de afilado, el que llevan las brocas de serie al venir de proveedor, que los operarios tratan de imitar; y el afilado especial que hacen algunos de los veteranos de la sección, alegando que el rendimiento de trabajo es mucho mayor y se producen menos roturas. Esta variabilidad no es algo que se pueda permitir dado el contexto del proceso, porque si los tornos ya tienen dificultades para ser estables, sumarle otra variable como es el afilado consigue que el proceso sea aún más descontrolado.

Por otro lado, recordando el funcionamiento del torno (4.3.1), el aceite a presión que circula a través de la broca y cumple la función de refrigeración/lubricación, está controlado por un circuito hidráulico regulable. Se puede controlar la presión de salida del aceite, pero la mayoría de los reguladores están deteriorados y no mantienen la presión estable, por lo que no es posible trabajar con estabilidad.

Además, aún en el caso de tener capacidad para poder regularla, no está definido ningún valor óptimo, sino que dependiendo del día y el rendimiento se aumenta o disminuye. Claramente no es la forma correcta de trabajar, no únicamente por la variabilidad que genera, sino que una presión excesiva conlleva un gasto adicional de recursos; y una presión escasa provoca atascos y roturas de broca.

- **Hipótesis 7:** Al definir el afilado óptimo de la broca y establecer un método se eliminará variabilidad entre los operarios y se conseguirá mejor rendimiento y menor riesgo de rotura de brocas.
- **Hipótesis 8:** Al estabilizar la presión del aceite de corte a su valor óptimo se conseguirá la correcta evacuación de viruta y su trabajo de lubricación/refrigeración, sin transmitir vibraciones.
-

6.3.1.2. Material

Respecto al estudio de la materia prima, en nuestro caso acero 11SMnPb30 (antiguamente F212) resulturado con adición de plomo, únicamente se puede trabajar en el estado en el que llega a las instalaciones y en caso de no cumplir especificaciones tomar acciones; y por otra parte revisar el dimensionamiento y planos de los insertos para encontrar un óptimo que se ajuste mejor a la maquinaria.

La materia prima

El correcto cumplimiento de las especificaciones de la materia prima es un punto clave de cara a la fabricación. Un material ligeramente más o menos duro altera todo el proceso ya que, si inicialmente la máquina está parametrizada para trabajar bajo unas especificaciones, cualquier cambio implica riesgo en la eficiencia.

Históricamente se ha hablado sobre la variación que existe en las coladas del acero, que hay épocas en las que el material llega correcto, pero en ocasiones no cumple con las especificaciones y se le atribuye la culpa del mal funcionamiento de la sección.

Este factor no está en manos de ingeniería, pero junto al equipo de calidad se trabajará en estudios que puedan corroborar la variación y en caso de existir, contactar con el proveedor con tal de arreglar el problema.

- **Hipótesis 9:** La estabilización de la colada reducirá la variación de las propiedades de la materia prima y por lo tanto eliminará variables en el proceso.

Geometría de la barra

Además de la composición interna, la forma y dimensiones de la barra influyen en el proceso. El chaflán, mencionado anteriormente, se produce en el momento en que el proveedor corta las barras madre en las longitudes del inserto GAMO. Tras actuar la tronzadora se realiza un pequeño chaflán con el fin de ayudar a la barra a apoyarse en el cono de reposo, imitando su inclinación. Tras investigar una muestra de barras se pudo observar que el chaflán era completamente irregular y que, en diferentes puntos del eje de revolución, tenía inclinación y profundidad diferente.

Respecto a la desviación vertical de las barras, si inicialmente se parte de una desviación de 2 décimas de milímetro, garantiza al 100% que el taladro resultará desviado como mínimo esas décimas. El objetivo será tratar de eliminar toda variabilidad posible en la materia prima para evitar variables y que, al ser la barra un elemento fijo, las comprobaciones en la maquinaria sean más rigurosas.

- **Hipótesis 10:** El correcto dimensionado del chaflán ayudará a la sujeción de la pieza y eliminará las oscilaciones provocadas por mal ajuste.

6.3.2. Experimentación y verificación de las hipótesis

Una vez repasados los puntos críticos de cada parte del proceso y listado las hipótesis, comenzará la fase de análisis pura, mediante estudios estadísticos, de prueba y error y con matrices de

experimentos. Para un trabajo óptimo se realizarán las pruebas únicamente en el peor y mejor torno, número 7 y 5 respectivamente.

El método de trabajo será fijar todas las variables y únicamente modificar la que se esté estudiando en cuestión, para así comprobar la afectación de una única variable sin ruido ni interferencias de las otras. El objetivo será verificar las hipótesis estudiando si aparece mejoría en el torno malo y la afectación que tenga en el torno bueno, ya sea empeorar, mejorar o mantenerse igual.

6.3.2.1. Eliminación de vibraciones en la barra

Hipótesis 1: Estabilización y/o cambio de los motores.

Estado: **confirmada**

La primera hipótesis por estudiar se trata realmente de un “quick-win”, una inversión relativamente baja con un impacto rápido y eficaz. El mal estado de los motores transmitía gran parte de las vibraciones y oscilaciones a todo el conjunto: motores apoyados inestablemente por 3 patas con los tornillos sueltos o motores con un ángulo de inclinación para poder alcanzar el plano vertical del eje son condiciones de trabajo inadmisibles en una empresa.

La decisión fue rápida: sustituir los motores, ya con sus años de antigüedad, por su versión actualizada y moderna. El único cambio es que, por obsolescencia en el mercado, se adquirieron motores de 2790 rpm en vez de las 3000 revoluciones de los antiguos. Éste cambio también resulta beneficioso, como bien se comentó anteriormente, la alta velocidad a la que trabajaban derivaba en mayor oscilación en la barra; por lo que esta reducción ayudará al estudio de la **hipótesis 2**.

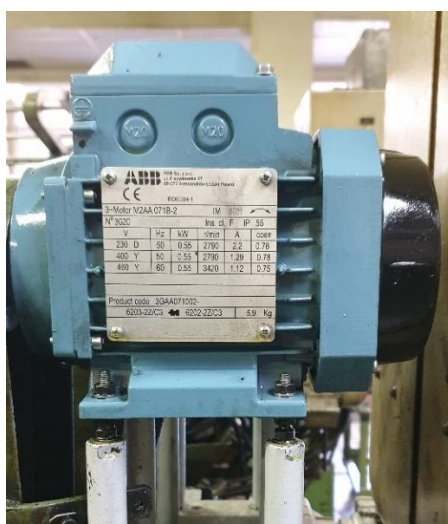


Ilustración 37: Reemplazo del motor principal del torno

(Fuente: Propia)

Tras la sustitución de los motores se pudo observar una gran reducción de las vibraciones y oscilaciones de la barra, además de mayor estabilidad en el sistema de transmisión. Adicionalmente, se redujo notablemente la contaminación acústica de la sección.

Hipótesis 2: Reducción de las revoluciones del motor.

Estado: **confirmada**

La situación de partida se trata de un conjunto de poleas dentadas $z_1 = 48$ y $z_2 = 24$, resultando una relación de transmisión de $i=2$, es decir, se incrementan las revoluciones por minuto al doble. Inicialmente se trataba de un aumento de 3.000 a 6.000 rpm (sin contar pérdidas); y tras la modificación en los motores de 2.790 a 5.580 rpm.

Esta reducción de aproximadamente 400 revoluciones resultó beneficiosa por lo que la hipótesis se podría confirmar inmediatamente, pero el objetivo es encontrar los parámetros óptimos así que se decidió realizar un listado de iteraciones con el fin de encontrar el ritmo al que el torno trabaje eficientemente.

Se mantendrá fija la polea superior z_1 y se variará la inferior con tal de encontrar la relación de transmisión que permita un trabajo óptimo.

Tabla 3: Iteraciones de los dientes de la polea dentada inferior
(Fuente: Propia)

z2	i	rpm final	Resultado
48	1,00	2790	N.A
32	1,50	4185	NOK
27	1,78	4966	OK

***N.A. = No Aplicable**

Como muestra la tabla superior se realizaron 3 iteraciones. En la primera se decidió utilizar una polea con el mismo número de dientes que la superior, consiguiendo una relación de transmisión $i=1$, con lo que al eje le llegaba directamente el ritmo base del motor. Desafortunadamente, al rotar tan lentamente la pieza, la broca sufría interferencias y provocaba dobles y casi roturas, por lo que se descartó inmediatamente.

La siguiente prueba fue dar un salto entre la primera y la situación inicial, para lo que se buscó una polea con un total de 32 dientes para conseguir relación de transmisión igual a 1'5. A pesar de poder realizarse la prueba sin apenas incidencias, el resultado fue fallido ya que se producían pequeñas interferencias en la broca y, aun no llegar a dobles ni rupturas, provocaba altas vibraciones.

El siguiente paso en el proceso de iteración fue buscar un punto medio entre la anterior prueba y la situación inicial por lo que se eligió la polea de 27 dientes, la única en este rango, con la que se consiguió una relación de transmisión de 1,78. Ésta prueba resultó ser un éxito ya que apenas presentaba diferencias con la polea de 24 dientes, con lo que se consiguió igualar el rendimiento inicial reduciendo la velocidad y vibración.



Ilustración 38: Polea dentada óptima

(Fuente: Propia)

Hipótesis 3: Tensado óptimo de la correa de transmisión

Estado: **confirmada**

Una vez sustituidos los motores y poleas dentadas se alcanza el ritmo de trabajo óptimo, sin embargo, el correcto estado de la correa de transmisión tiene la misma o incluso más importancia, ya que, aunque se envíe un 100%, si únicamente llega el 60% y arrastrando oscilaciones se volverá a la situación inicial. Por ello se comprobará si, al encontrarse correctamente tensada, se transmiten menos oscilaciones e impactos al eje principal.

Efectivamente, y como era de esperar, únicamente ajustando la altura del motor, y por tanto la tensión de la correa, se consiguió una mejor transmisión del movimiento rotativo del motor al eje principal de giro. No únicamente se consigue un giro más limpio, sino que se elimina todo tipo de vibraciones y movimientos que se originaban por el juego y los saltos de la correa.

Hipótesis 4: Cambio del eje principal de giro

Estado: **confirmada**

A pesar de las mejoras conseguidas en el sistema de transmisión gracias a la corroboración de las anteriores hipótesis, si el eje principal de giro, que transmite el movimiento directamente a la pieza, se encuentra en mal estado, todo lo trabajado anteriormente se convierte en un malgasto de recursos.

Aunque se haya segmentado por componentes, el conjunto del sistema de transmisión es un puzle en el que todas las piezas deben encajar correctamente, sino se pierde el sentido del mismo. Para ello, se trabajó en la iniciativa de reparar los ejes de las máquinas a estudiar, ambas en un estado deplorable, con el fin de conseguir su correcto rendimiento y evitar oscilaciones.

Por incapacidad en las instalaciones, se decidió delegar el trabajo a una empresa externa especializada en servicios de mantenimiento que, ayudados del plano inicial de la pieza, consiguió duplicar los ejes exitosamente, hasta el punto de funcionar mejor de lo que se había visto en años. Adicionalmente se sustituyeron los rodamientos por unos nuevos con las mismas características, ya que se encontraban completamente gripados, lo cual ayudó a mejorar la eficiencia de trabajo (se realizará un estudio del cambio del tipo de rodamientos en fase de mejora).

Hipótesis 5: Optimización de los muelles de sujeción de la pieza

Estado: **confirmada**

Una vez se ha conseguido estabilidad en todo el conjunto anterior, el sistema de transmisión, se han fijado una gran cantidad de variables del sistema, por lo que se ganará robustez en los ensayos posteriores.

La rigidez del sistema de sujeción de la pieza se puso en cuestión debido a la variabilidad de los muelles utilizados tanto en el cono de reposo como en el centrador; que provenían de una larga espira que se cizallaba cuando eran necesarios. La primera acción tomada fue la estandarización de los muelles manteniendo las propiedades del original, para así verificar su correcto funcionamiento.

Tabla 4: Configuraciones iniciales de los muelles
(Fuente: Propia)

Muelle	Long (mm)	Espesor (mm)	N espiras
Cono	10,00	2	2
Centrador	50,00	1,8	10

Dado que el resultado de este estudio es directamente dependiente de dos variables, el procedimiento óptimo es la creación de una matriz de experimentos, donde se sitúan las posibles opciones y, mediante combinaciones se halla el óptimo.

Antes de crear la matriz se deben tener en cuenta las limitaciones del estudio:

- Las longitudes son invariables debido a los alojamientos en los que se encuentran.
- El espesor es variable y aportará mayor o menor resistencia elástica.
- El número de espiras es directamente proporcional al espesor si la longitud del muelle es invariable.

El estudio se centrará en la variación del espesor del muelle, que aportará mayor o menor constante elástica y por tanto diferentes resistencias a la compresión. Se probarán espesores inmediatamente superiores e inferiores siguiendo la siguiente nomenclatura:

- **A:** menor espesor = 1,6 milímetros
- **B:** espesor actual = 1,8 milímetros
- **C:** mayor espesor = 2,0 milímetros

Tabla 5: Listado de combinaciones de la matriz de experimentos
(Fuente: Propia)

Prueba	Muelle cono	Muelle centrador
1	A	A
2	A	B
3	A	C
4	B	A
5	B	B
6	B	C
7	C	A
8	C	B
9	C	C

Al tratarse de dos variables con tres posibilidades cada una, se obtiene una matriz de experimentos de 3^2 , que resulta en 9 distintas pruebas que se llevarán a cabo con tal de encontrar los parámetros óptimos.

Tras realizar los experimentos se llegó a la conclusión de que el muelle del centrador era un componente crítico, ya que cualquier variación resultó en mal agarre y oscilaciones en la barra. Por otro lado, el muelle del cono presentó mayor versatilidad, resultando positivo al mantener el espesor inicial y al reducirlo, pero no al aumentarlo.

Tabla 6: Resultado de las diferentes pruebas de la matriz de experimentos
(Fuente: Propia)

Prueba	Resultado
1	NOK
2	OK
3	NOK
4	NOK
5	OK
6	NOK
7	NOK
8	NOK
9	NOK

Al observar cómo reduciendo el espesor del muelle del cono el sistema trabajaba correctamente se generó la duda de si al bajarlo más se conseguiría mayor estabilidad; y por otro lado tras reflexionar en el funcionamiento del sistema de agarre se pensó que gran parte de las oscilaciones podrían estar generadas por esfuerzos de compresión en la barra generados por los muelles.

Pensar en su diseño dio que pensar que, ya que el muelle del centrador absorbía el esfuerzo generado con el agarre de la pieza, un muelle en el cono únicamente incrementaría este esfuerzo. Por ello se decidió retirar el muelle del cono, dejando el componente únicamente como zona de apoyo sin emitir tensiones.

Tras un día de trabajo con la nueva configuración se pudo observar una gran mejoría, tanto en el agarre de la pieza, ahora rígido y estable, como en el descentramiento del taladro que, una vez arreglado el sistema de transmisión y parcialmente el de agarre, se redujo drásticamente.

Hipótesis 6: Cambio de los rodamientos del centrador

Estado: **confirmada**

Para finalizar con las causas de las vibraciones en la barra, se tomó ejemplo de la situación inicial del eje principal de giro y se decidió desmontar los centradores para comprobar su interior.

El centrador se compone de un eje en el cual se sitúan un par de rodamientos axiales entre un distanciador, con el objetivo de empaquetar y repartir los esfuerzos de rotación. Estos rodamientos, como bien se explicó en el análisis de los componentes, se encontraban en mal estado por no haber recibido el mantenimiento adecuado, hasta el punto de mostrar resistencia al giro e incluso juego entre sus piezas.

La solución, de la misma manera que en el eje, fue sustituirlos por unos completamente nuevos, completamente funcionales y sin ningún tipo de juego; con lo que se consiguió la estabilidad de giro necesaria para que, junto a todas las acciones anteriores, se eliminara por completo toda vibración y oscilación en la barra durante el giro (se realizará un estudio del cambio del tipo de rodamientos en fase de mejora).

6.3.2.2. Eliminación de las vibraciones en la broca

Hipótesis 7: Definición del método de afilado

Estado: **confirmada**

Una vez estabilizadas las vibraciones y oscilaciones del material, habiendo encontrado el punto óptimo de cada componente, el siguiente paso es estandarizar los criterios de afilado de la broca; uno de los factores más críticos, por la dependencia que tiene el proceso sobre la capacidad de corte de la broca.

Lo primero de todo será entender el afilado proveniente de proveedor y el motivo por el cual, aparentemente, produce bajo rendimiento.

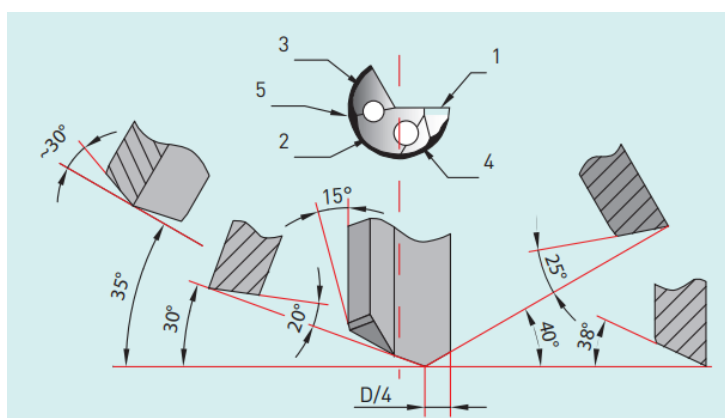


Ilustración 39: Afilado base de las brocas GUIMA

(Fuente: Catálogo brocas TBT. Guima [10])

Tras realizar diferentes pruebas con brocas totalmente nuevas y aquellas cuyo afilado trataban de imitar los operarios, se descubrió que el problema no residía en un afilado de fábrica incorrecto, sino que, debido a la complejidad de la geometría y la incapacidad de los medios, resultaba imposible para los operarios imitar el afilado original.

Por otro lado, tras estudiar el afilado especial de los veteranos de la sección se pudo observar que no realizaban ninguna acción en especial, únicamente trataban de imitar el afilado original de la misma manera que los operarios, pero amolando mayor parte del material. De esta manera conseguían retirar mayor parte del material gastado y por lo tanto conseguir mayor robustez; y adicionalmente, si

únicamente conocían ellos el método, evitaban que los compañeros inexpertos desgastaran demasiado las brocas.

La máquina de afilar de las instalaciones se trata de un cabezal rotativo ajustable que permite rotación sobre el eje vertical y variación del ángulo de incidencia; además, el cabezal rota sobre sí mismo. Con las limitaciones en mente y basándose en el afilado modelo y otras fuentes de conocimiento sobre el afilado de estas brocas, se diseñó un modelo de afilado sencillo y eficaz:

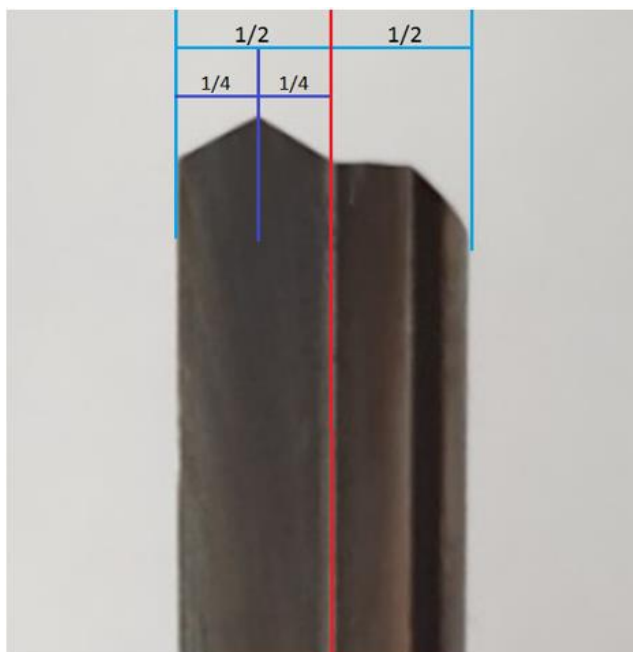


Ilustración 40: Modelo de afilado óptimo

(Fuente: Propia)

Para eliminar variabilidad y ajustes en la máquina, se diseñó el modelo de afilado utilizando los topes mecánicos del movimiento de la máquina: giro completo a izquierda y derecha, e inclinación máxima y mínima. Con ello se diseñó el afilado que muestra la imagen, presentando simetría en el filo de corte de igual manera que el original, y realizándose en 2 pasos con un total de cuatro ajustes de la máquina.

Al encontrar el método óptimo y eliminando toda variabilidad, además de establecer un frecuencial preventivo de tres afiladas al turno, se consiguió eliminar las roturas de broca (excepto en situaciones puntuales), y mejorar la eficiencia del taladrado.

Hipótesis 8: Estandarización de la presión del aceite de corte

Estado: **confirmada**

Con la metodología de afilado ya definida, el último paso para controlar las vibraciones en la broca es la estabilización de la presión de aceite de corte óptima. Anteriormente no era posible establecer un valor fijo debido a las variaciones que tenía todo el sistema en general, que obligaba a modificar la presión por precaución y para evitar roturas.

Ahora con el sistema estable es posible fijar un valor sin miedo a las averías que se pudieran provocar. Este valor deberá permanecer entre los 70 y 80 bares, zona en la cual la presión es tal que permite la correcta evacuación de la viruta, refrigera tanto la broca como la barra, y acompaña el taladrado de manera que la broca no vibra ni tiene riesgo de rotura.

Con ésta última prueba se consigue una total estabilidad en la broca, que comienza a funcionar eficientemente y se reducen las roturas de brocas de aproximadamente 10 a la semana a prácticamente 0.

6.3.2.3. Eliminación de variabilidad en la materia prima

Hipótesis 9: Ajuste del chaflán de la barra

Estado: **confirmada**

A pesar de haber ganado estabilidad en la barra al optimizar el sistema de agarra, eliminando el muelle del cono de reposo, si la pieza no se posiciona correctamente y está perfectamente alineada con el eje de giro, se producirán oscilaciones que provocarán la desviación de la broca.

El chaflán proveniente del proveedor se realiza en el momento del tronzado de la barra madre en las diferentes medidas de barra y con una metodología poco robusta, lo que deriva en chaflanes irregulares en el eje de revolución: en una zona es más profunda y en otra menos, de igual manera que el ángulo de este.

En una primera prueba se procesaron un conjunto de 50 barras en el torno de mecanizado CNC para crear por nuestra mano el chaflán con las medidas inversas del cono, para así conseguir un perfecto alojamiento. El resultado fue beneficioso ya que las barras se apoyaban correctamente y el torno trabajaba eficientemente, pero esta acción suponía añadir un proceso intermedio que aumentaba el coste y el tiempo de ciclo, bajando la producción de la sección.

Tras balancear la situación se decidió pedir al proveedor un cestillo de barras sin realizar ningún tipo de chaflán, únicamente cortadas a la medida necesaria. A primera vista no se vieron cambios respecto

a llevar el chaflán, pero se decidió cambiar el plano de la barra y a partir de ese momento pedir siempre barras sin chaflán.

El razonamiento es el siguiente: si quitando el chaflán funciona como mínimo igual que con el chaflán significa que no le aportaba ningún valor; por lo que retirarlo supondría menor coste de compra de la materia prima y eliminar la variabilidad en las barras, ya que a partir de ese momento vendrían todas exactamente igual.

Hipótesis 10: Eliminación de la variable colada

Estado: **rechazada**

Hasta ahora se ha realizado un barrido de todos los sistemas y componentes que conforman el torno de taladrado profundo, desde su motor principal hasta la broca que taladra la barra, pasando por la sujeción de esta.

Se ha encontrado la parametrización óptima de cada uno de ellos y se ha conseguido eliminar casi por completo las vibraciones en la barra y broca, eliminando variabilidad y fijando los parámetros adecuados para un trabajo eficiente.

El último punto por estudiar se trata de la materia prima en sí, su composición. Como se explicó en el análisis inicial, la irregularidad e incumplimiento de las especificaciones del material era el causante de todos los problemas asociados al taladrado. Había épocas con buenas coladas y épocas con malas coladas, donde el rendimiento bajaba enormemente.

Desde un principio el equipo de ingeniería escuchó a los veteranos de la sección, pero sin dar nada por hecho ya que se podría demostrar fácilmente con pruebas. Ahora que se han fijado todas las variables y los tornos estudiados se encuentran en su mejor punto, es posible realizar pruebas respecto al correcto estado del acero, y poder reclamar al proveedor con datos o desmentir el mito de las coladas.

Para realizar el estudio, se propuso utilizar todos los cestillos que hubiera en stock en el almacén: desde meses anteriores a la última partida en llegar; con el fin de ir variando las barras entre unos y otros y evidenciar las diferencias.

El resultado fue el esperado: una vez las máquinas se encuentran en su estado de trabajo óptimo consiguen taladrar sin problema alguno cualquier tipo de barra, sea de diferentes coladas o cestillos. Por lo tanto, con el ensayo de esta última hipótesis es posible desmentir el mito de la colada, alegando que el problema principal residía en las oscilaciones de la barra y broca.

6.4. Conclusiones

Una vez terminada la primera etapa del proyecto, es el momento de hacer una reflexión general sobre todos los puntos de este, desde los siguientes pasos a seguir tras demostrar las evidencias del cambio, hasta el replanteamiento del objetivo y alcance inicial.

6.4.1. Acciones tomadas y su impacto

Durante el primer cuatrimestre del año 2021 se han realizado diversas acciones y ensayos sobre los tornos número 5 y 7, el mejor y peor históricamente en 2020. Las pruebas se han basado en ensayo error, con investigación y experimentación científica intrínseca, y se pueden agruparlas de la siguiente manera:

Eliminación de las vibraciones en la barra:

- Cambio de los motores de giro por versión modernizada y estabilización del soporte
- Reducción del ritmo de giro transmitido cambiando la polea dentada inferior
- Tensado óptimo de las correas de transmisión
- Reparación del eje principal de giro y recambio de los rodamientos internos
- Optimización del sistema de sujeción de la pieza mediante combinación óptima de los muelles
- Recambio de los rodamientos internos del centrador

Eliminación de las vibraciones en la broca:

- Definir el método óptimo del afilado de la broca
- Estandarización de la presión del aceite de corte

Eliminación de la variación del material:

- Eliminación del chaflán irregular de las barras

Tras la implementación de las acciones presentadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

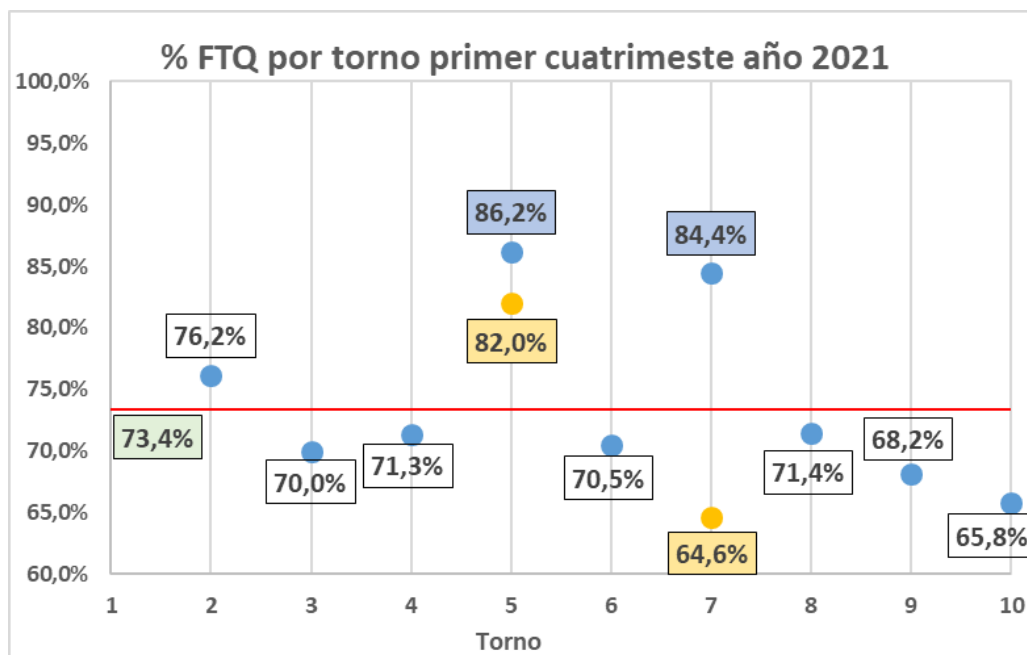


Ilustración 41: Comparativa del %FTQ por turno tras el periodo de análisis

(Fuente: Propia)

*En los tornos 5 y 7 se presenta en amarillo la situación inicial y en azul la situación tras las diferentes mejoras

El presente gráfico evidencia el logro del objetivo principal de la fase de análisis: conseguir que, como mínimo, el peor turno funcionase como el mejor; y confirmar la afectación de las pruebas sobre el mejor. Como se puede observar, el que fue el peor turno es ahora el segundo con mayor índice de aceptación; y, además, el mejor turno continúa siendo el número 5 incluso habiendo mejorado respecto al último estudio.

El resto de los tornos se ha mantenido prácticamente en la misma línea que en la situación inicial, ya que únicamente se realizaron las pruebas en los mencionados anteriormente. De todos modos, se aprecia una ligera mejora general causada por el llamado “efecto policía”: la presencia del equipo de trabajo diariamente en la sección fuerza a los trabajadores a implicarse en mayor manera.

6.4.2. Reflexión y replanteamiento del proyecto

Se ha demostrado que siguiendo un plan de acciones y aplicando diferentes mejoras es posible conseguir que todos los tornos trabajen como mínimo igual que el mejor inicialmente, como le ha ocurrido al turno número 7.

Observando el gráfico se puede pensar que se conseguirá un rendimiento general de aproximadamente un 85%, pero hay que tener en cuenta que es un acumulativo de cuatro meses, en

los cuales no se empezó a apreciar mejoría hasta pasado el segundo mes. Por lo tanto, se estima llegar a un promedio de un 90% de tasa de aceptación si se sigue el procedimiento planteado hasta ahora.

Es el momento entonces de replantear los objetivos iniciales y reestructurar el Project Charter (6.1.3):

Objetivos actualizados:

- Se ha conseguido una reducción de piezas defectuosas del 30% al 15%, y se estima poder alcanzar una reducción al **10%**.
- Se ha conseguido una reducción de pérdidas monetarias semanales de 1.800€ a 900€, y se estima poder alcanzar una reducción hasta **600€**.
- Se ha conseguido una reducción de pérdidas monetarias semanales del 12,25% al 6,00%, y se estima poder alcanzar una reducción hasta el **4,00%**.

Project Charter

INGENIERÍA DE PROCESOS / PROYECTOS DE MEJORA CONTINUA

Numero de proyecto: Lider de proyecto:

Area/Proceso a mejorar: Fecha de inicio:

Descripción del objetivo:

Reducción del Scrap en el área de semiterminados focalizando en el taladrado de las barras cañón.

 Aplicación de técnicas Lean Six Sigma.

Equipo de trabajo:

Salvador Cañas - Lean Black Belt
 Jesús Dueñas - Ingeniería de procesos
 Nicolás Alonso - Ingeniería de procesos
 Carlos Rdguez - Producción
 Diego Reyes - Mantenimiento
 M.A. Solís - Calidad y verificación

Metricas	Descripción de KPI's	INICIO	OBJETIVO	ROI FINAL
Seguridad		<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Calidad	FTQ de barras taladradas	70,00%	90,00%	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Medio Ambiente		<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Entrega		<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Coste	Merma semanal €	1.800 €	600 €	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Coste relativo	Merma semanal %	12,25%	4,00%	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Otros		<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
PAY-BACK RESULTANTE		<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		

Ilustración 42: Project Charter definitivo

(Fuente: Propia)

7. DMAIC Segunda parte: mejora

Tras la finalización de este cuatrimestre de fase de análisis han quedado claras las causas raíz del problema, las vibraciones tanto en la barra como en la broca, que provocaban la desviación de la broca durante el trabajo.

Una vez realizado el análisis con el conjunto de hipótesis a confirmar o desmentir es el momento de decidir cuáles se elegirán y su plan de implementación. Se utilizará la llamada matriz de priorización, en la cual se sitúan todas las clases de mejora y se les atribuyen una puntuación según unos criterios de selección.

Un paso previo a la construcción de la matriz será la clasificación y detalle de todas las mejoras a aplicar, provenientes de la fase de análisis o nacidas paralelamente.

7.1. Mejoras de carácter correctivo

Las mejoras correctivas son aquellas asociadas a un impacto rápido debido a un malfuncionamiento, avería o rotura de un sistema o componente. Se trata de las más habituales, pero a su vez más fáciles y rápidas de implementar.

Motor principal

Problema: motores en mal estado: juego en el eje de giro, apoyados inestablemente y en caso inclinados por dimensionamiento incorrecto del soporte. Emiten vibración y oscilaciones que se transmiten por todo el sistema.

Solución: sustitución por versión moderna del motor y correcto ajuste de su apoyo.

Beneficio: eliminación de oscilaciones generadas por el juego del eje y movimientos por su inestabilidad. Giro más fluido de la barra.

Coste: Motor ABB M2AA 71B-2, 250€/ud.

Eje principal de giro

Problema: alto desgaste por inexistencia de mantenimiento. Ejes con mucho juego y gripados; en algún caso roto. Emite vibración y oscilaciones que se transmiten por todo el sistema.

Solución: reparación del eje de giro y en caso de rotura irrecuperable sustitución por eje completamente nuevo.

Beneficio: eliminación de oscilaciones y vibraciones generadas por la inestabilidad del eje. Giro más fluido e la barra.

Coste: sustitución eje SERMA 2.500€/ud.

Correa de transmisión

Problema: la correa oscila produciendo saltos e impacto al girar. Emite oscilaciones que se transmiten por todo el sistema.

Solución: definición de un estándar y creación de instrucción de trabajo para mantenerlo **(7.3)**.

Beneficio: estabilización de la correa y trabajo fluido. Eliminación de movimiento e impactos transmitidos al sistema.

Coste: gratuito, carácter instructivo.

Sistema de sujeción

Problema: sujeción no rígida de la pieza durante el ciclo de taladrado. Se producen esfuerzos y oscilaciones sobre la barra que provocan desviación.

Solución: optimización del sistema de sujeción, definición del muelle óptimo en el centrador y eliminación del muelle en el cono de reposo.

Beneficio: se consigue una mejor sujeción de la pieza al girar, que descansa sobre el cono sin sufrir tensiones que provoquen movimiento.

Coste: gratuito por únicamente cambiar la referencia de un muelle y ahorro por eliminar el otro.

Dimensiones de la barra madre

Problema: la existencia de un chaflán irregular dificultaba el correcto posicionamiento de la barra en el cono de reposo, lo cual alteraba su alineación con el eje de giro y provocaba desviación.

Solución: eliminación del chaflán.

Beneficio: la barra permanece más estable durante el giro.

Coste: gratuito, ahorro de un proceso intermedio del proveedor.

7.2. Mejoras de carácter preventivo

Las mejoras de carácter preventivo son aquellas asociadas al mantenimiento del equipo sobre un nivel de servicio determinado. Son de carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no sufra ningún problema con el fin de evitarlo antes de que surja.

En ocasiones son ajustes o acciones fijas aplicadas en puntos críticos para evitar problemas futuros, sin periodicidad.

Poleas dentadas

Problema: la configuración de las poleas dentadas transmite un ritmo de giro demasiado elevado para la operación. Produce desgaste y malfuncionamiento de los componentes a largo plazo.

Solución: cambio de la configuración de las poleas para situar el punto óptimo de giro.

Beneficio: reducción del ritmo de giro y por lo tanto menor impacto en la barra. Prolongación de la vida útil de los componentes como es el caso de los rodamientos: reducir 1000 rpm son 525.000.000 al año que traducidas a distancia son 82.500km; ahorro de 2 vueltas a la tierra al año.

Coste: poleas dentadas T5-27-Z27 30€/ud.

Rodamientos del eje

Problema: se tratan de rodamientos de tipo axial, pero en el eje se producen esfuerzos tanto en la dirección del eje como radialmente, por lo que a largo plazo se producirá mayor desgaste.

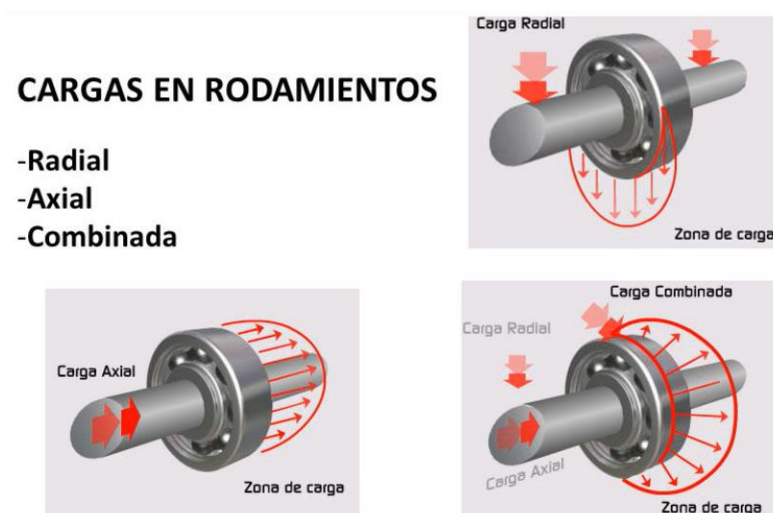


Ilustración 43: Diferencias en las cargas de los rodamientos

(Fuente: ESTEIAT, Sistemas Mecánicos)

Solución: sustitución de rodamientos axiales por angulares

Beneficio: los rodamientos angulares permiten la absorción de los esfuerzos en ambas direcciones, y a la larga mejorará su vida útil y necesidad de recambio.

Coste: rodamientos SKF 7200 12€/ud.

Rodamientos del centrador

Problema: se trata de un par de rodamientos de tipo axial, separados por un distanciador con el fin de empaquetar y funcionar solidariamente. A largo plazo reduce el tiempo de vida útil.

Solución: sustitución del conjunto por un rodamiento de agujas

Beneficio: el rodamiento de agujas establece una línea de apoyo por cada uno de sus cilindros en comparación a los de bolas que crean únicamente un punto de apoyo. Se producirá un mejor reparto de los esfuerzos y alargar la vida útil.

Coste: rodamientos SKF K18x42x12 21€/ud.

Exceso de temperatura en el cuerpo del torno

Problema: las altas temperaturas producidas en el eje de giro sumado al rozamiento y desgaste de los componentes provocan el gripaje de las piezas.

Solución: aprovechamiento de un orificio de fuga para insertar aceite refrigerante (solución provisional, se deberá estudiar la implementación de un sistema automatizado).



Ilustración 44: Sistema provisional de lubricación/refrigeración del eje de giro

(Fuente: Propia)

Beneficio: la adición de aceite hará la función tanto de lubricar como de refrigerar la zona, disminuyendo las temperaturas y el juego que provocan las dilataciones. A largo plazo evitará el gripaje y mejorará la vida útil del sistema.

Coste: por determinar

7.3. Mejoras a nivel de gestión

Se entiende como gestión el llevar a cabo las responsabilidades sobre un proceso, teniendo en cuenta la preocupación por las estructuras y recursos para que tenga lugar; además de la coordinación de sus actividades.

Como bien se ha mencionado durante todo el documento, la sección de mecanizado no trabaja bajo ningún método establecido más allá de lo básico, cargar y descargar la maquinaria y hacer pequeñas pruebas de calidad del producto. El objetivo de este tipo de mejoras será la correcta formación del personal con la ayuda de una serie de instrucciones de mantenimiento y trabajo de primer nivel con el fin de trabajar homogéneamente y de la manera más eficiente posible.

El carácter de estas mejoras será puramente correctivo y preventivo, e irán ligados con algunas de las mejoras ya listadas, como puede ser la comprobación y tensado de las correas o el método y frecuencial de afilado. Adicionalmente, se establecerán medios y criterios para la recogida de datos y control de la sección, que se mostrará en la última fase del proyecto: Control.

7.4. Matriz de priorización y plan de implementación

Una vez definida cada mejora es el momento de crear la matriz de priorización, en la cual se expondrá el listado de mejoras y se les dará una puntuación en distintos ámbitos:

- Efectividad: resultante del balance entre la eficacia y eficiencia de la propuesta
- Viabilidad: la probabilidad de llevar cabo una propuesta exitosamente
- Impacto: efecto producido en el sistema producido por la mejora en cuestión
- Coste: a nivel económico, el coste relativo de implementar la propuesta
- Riesgo: si existe algún peligro o consecuencia preocupante por la implementación de la mejora (e.g. utilizar productos químicos)

La forma en la que se evalúa cada categoría es con una puntuación del 1 al 5, siendo el primero una situación desfavorable y el segundo el mejor caso. Por ejemplo, si obtiene un 5 en impacto significa que la mejora será claramente visible y positiva, un 5 en coste querrá decir que se trata de un precio muy asequible; y finalmente un 1 en riesgo significará alto nivel de peligro.

El objetivo será obtener la suma de todas las categorías y ordenarlas de mayor a menor, situando al principio las mejoras críticas que se deben priorizar; y al final aquellas mejoras que, dado el caso, se pueden obviar.

Tabla 7: Matriz de priorización de las mejoras propuestas
(Fuente: Propia)

PROBLEMA	MEJORA	Efectividad	Viabilidad	Impacto	Coste	Riesgo	TOTAL	Prioridad
Eje principal gripado	Reparación del eje	5	5	5	3	5	23	1*
Revoluciones de giro muy elevadas	Reducción con cambio de polea	5	5	5	5	5	25	1
Correas de transmisión con juego	Instrucción de tensado óptimo	5	5	5	5	5	25	1
Afilado incorrecto y variable de la broca	Instrucción de afilado óptimo	5	5	5	5	5	25	1
Presión de aceite de corte variable	Estandarización de la presión del aceite	5	5	5	5	5	25	1
Sujeción inestable de la barra	Eliminación del chaflán de la barra	5	5	5	5	5	25	1
Operarios sin formación adecuada, variabilidad	Definición de instrucciones de trabajo y formación	5	5	5	5	5	25	1
Sujeción inestable de la barra	Optimización de los muelles de sujeción	5	5	4	5	5	24	2
Motores deteriorados e inestables	Recambio de motores	5	4	5	4	5	23	3
Rodamientos del eje incorrectos	Sustitución por modelo adecuado	4	4	3	4	5	20	4
Rodamientos del centrador incorrectos	Sustitución por modelo adecuado	4	4	3	4	5	20	4
Alta temperatura de trabajo y gripaje	Implementación de sistema de lubricación refrigeración	4	3	4	3	5	19	5

A pesar de tener una puntuación de 23, se puede observar que la primera mejora listada se trata de la reparación del eje. Los únicos dos puntos que le faltan están asociados al precio, ya que se trata de un trabajo con un coste elevado; pero debido a su gran impacto y al mal estado en el que se encuentran todos, es una acción que ha de realizarse con toda prioridad.

7.5. Prueba piloto

En el caso de este proyecto no será necesario el periodo de pruebas piloto para corroborar el avance e implementación de las mejoras. Como ya se vio al finalizar la fase de análisis, ambos tornos mejoraron en mayor o menor medida, por lo que ya es muestra suficiente de la eficacia de las propuestas.

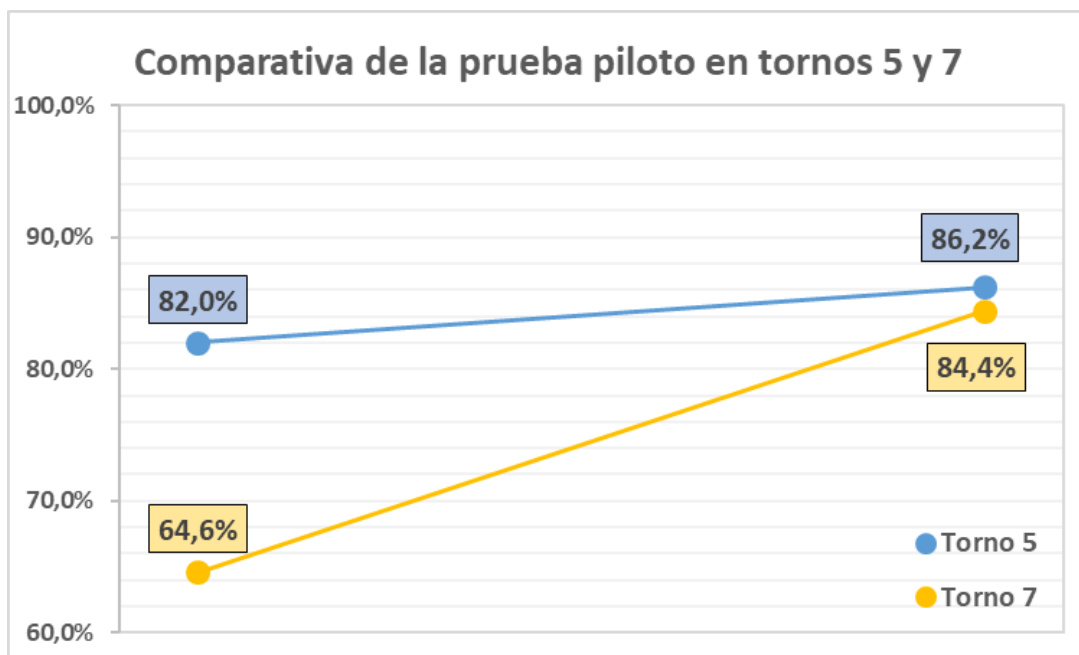


Ilustración 45: Comparación del inicio y final de las pruebas piloto, fase de análisis

(Fuente: Propia)

La ilustración muestra una clara mejora de alrededor de un 20% en el peor de los tornos, que debería aplicarse en el resto y situarlos sobre esa media. En el caso de la máquina 5 las pruebas no tuvieron tanto impacto ya que el estado en el que se encontraba inicialmente no era tan desfavorable.

8. DMAIC Tercera parte: fase de control

Una vez establecido el plan de implementación de las mejoras tiene inicio la última etapa del DMAIC, la fase de control. Esta etapa es a menudo considerada como la más importante de los proyectos, y a su vez la que menos se aplica en situaciones reales. El objetivo de la etapa de control será establecer una serie de sistemas que permitan monitorizar el seguimiento de la sección y un listado de acciones que eviten un efecto rebote futuro.

A pesar de haber conseguido una gran mejora en la sección, si se abandonara ahora el proyecto seguramente sufriría una recaída al cabo del tiempo y se volvería a la situación inicial. La finalidad de la etapa es mantener los estándares definidos durante el proyecto mediante el seguimiento continuo y protocolos de respuesta frente a problemas; para asegurar que en un periodo de 50 años no se pierda el progreso conseguido.

8.1. Factores por controlar

Como se ha podido ver durante el desarrollo del proyecto, a pesar de tratarse de una gran cantidad de factores críticos, se pueden englobar las características críticas para la calidad (CTQ) en tres pilares en los cuales se apoya el FTQ del proceso: vibraciones en la barra, vibraciones en la broca y gestión de la sección.

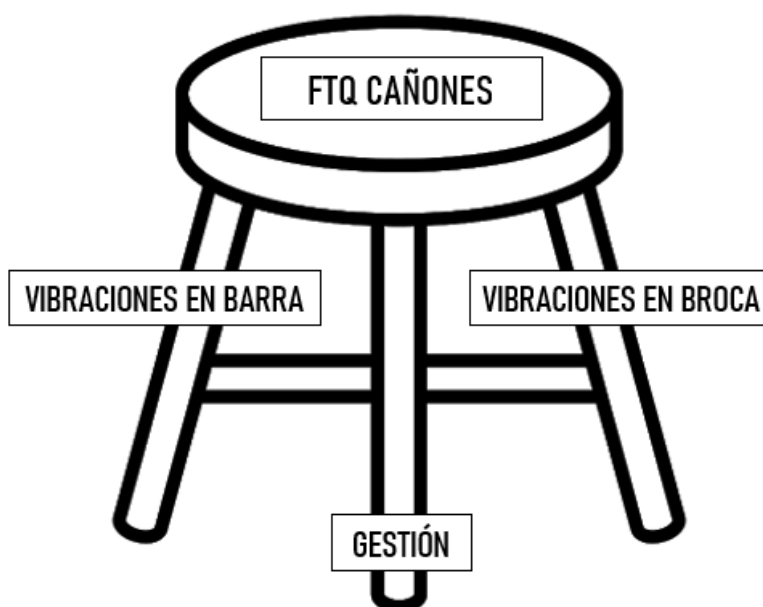


Ilustración 46: Representación gráfica de las CTQ del proceso de taladrado

(Fuente: Propia)

Como muestra la imagen, para conseguir un correcto funcionamiento de la maquinaria y por lo tanto un FTQ positivo, se necesita del equilibrio de estos tres factores. En el momento que uno de ellos falla se pierde la estabilidad del equilibrio y pasa a ser inestable.

Con el fin de controlar la robustez de los grupos será necesario un seguimiento de los indicadores que muestren el correcto rendimiento (KPI) y la definición de estándares y los métodos para mantenerlos estables: mantenimiento correctivo y preventivo.

8.2. Sistemas de control de KPI's

El primer paso para definir un correcto sistema de control es la monitorización de los indicadores clave de desempeño (KPI). En el caso de nuestro proyecto, y como ha sido visto a lo largo del mismo, estas métricas de calidad serían:

- FTQ de los tornos: conocer la calidad directa de la maquinaria según las piezas conformes respecto a las totales fabricadas, por torno, y seguir su evolución.
- Productividad del proceso: directamente relacionada con el FTQ, cuanto menor es el rechazo más aumenta la capacidad de producción.
- Merma semanal: proveniente de la relación directa entre el coste de desechar las piezas defectuosas y el beneficio potencial de producir al 100%. Permite un seguimiento semanal de las pérdidas a nivel monetario y a nivel porcentual.

Como se puede ver, éstos KPI's son los indicadores usados a lo largo del proyecto por el equipo para el correcto seguimiento, mediante la recolección de datos de producción y la creación del llamado mermómetro; por lo que no es necesaria la creación de un nuevo sistema de captura de datos, sino la correcta implementación automática en la sección. Para un correcto traspaso del sistema de medición desde el equipo de ingeniería al responsable de la gestión del área será necesario proporcionar los medios de trabajo y la formación necesaria para un trabajo óptimo y eficiente.

Dado que el área de mecanizado de cañones no ha recibido mucha atención ni evolución tecnológica con el paso de los años, se habituará un espacio de trabajo para el gerente de la sección, dotada con un equipo informático de ordenador e impresora con el cual poder realizar la gestión de datos e información pertinentes.



Ilustración 47: Espacio habilitado para el control de KPI's y gestión

(Fuente: Propia)

Gracias a la implementación del espacio, la sección no depende de tareas triviales como que el equipo de ingeniería recoja y compute los datos o proporcione las hojas de recogida de producción; se ha ganado cierta independencia para la autogestión del área.

Por lo tanto, tras la implementación del sistema de recogida de información y una pequeña información en informática y el manejo de datos, la sección gana información sobre el funcionamiento a tiempo real de la maquinaria y permite un correcto seguimiento de la evolución semanal.

8.3. Instrucciones de mantenimiento

Una vez establecido el sistema de seguimiento y control de los indicadores clave, es el turno de la definición de los planes de acción a seguir con tal de evitar futuras reincidencias o en su defecto a corregirlas en el momento de su aparición para cortar de raíz y mantener los estándares establecidos.

El sistema mediante el cual se controlará el cumplimiento y correcto funcionamiento de la maquinaria es la definición de instrucciones de mantenimiento tanto correctivas como preventivas de primer y segundo nivel.

8.3.1. De primer nivel

El mantenimiento de primer nivel se define como aquellas operaciones básicas que realiza el mismo operario a pie de máquina, previamente formado, con el fin de realizar comprobaciones, arreglos o ajustes que aumenten la capacidad para producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Según lo estudiado durante el proyecto, se implementará un listado de instrucciones de mantenimiento de primer nivel que englobarán las siguientes acciones:

- Afilado sistemático de la broca.
- Estabilización de la presión de aceite al valor definido.
- Comprobación del correcto funcionamiento de componentes tales como muelles y rodamientos.
- Aplicar la refrigeración y lubricación del sistema mediante el vertido de aceite.

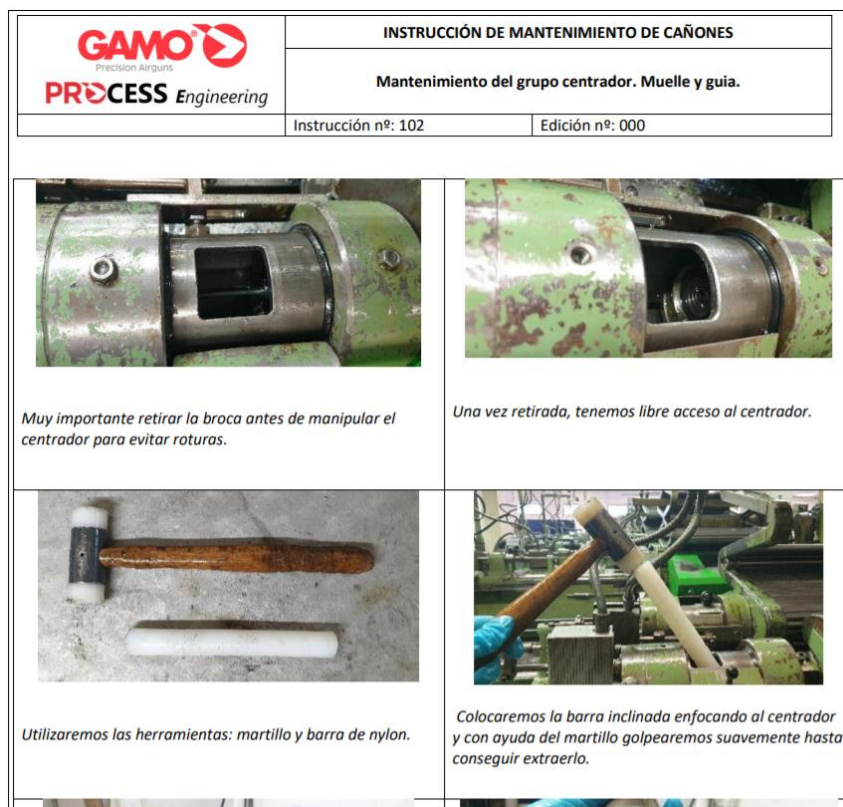


Ilustración 48: Ejemplo de instrucción de mantenimiento del grupo centrador

(Fuente: Propia)

Como bien muestra la imagen, se tratan de instrucciones sencillas y de fácil entendimiento donde aparece una fotografía muy visual de la acción, acompañada de un pequeño texto explicativo.

Instrucción en detalle en **Anexo 4. Ejemplo de instrucción de mantenimiento. Grupo centrador.**

8.3.2. De segundo nivel

Por otro lado, el mantenimiento de segundo nivel sería aquel que necesita de intervenciones con un ligero grado de dificultad y precisión, por lo que a menudo son realizadas por el equipo de mantenimiento de las empresas.

Según lo estudiado durante el proyecto, las tareas asignadas para este grupo serían las siguientes:

- Ajuste de la tensión de las correas de transmisión.
- Sustitución preventiva de los rodamientos del eje por nuevos.
- Sustitución preventiva de los rodamientos del centrador por nuevos.



Ilustración 49: Ejemplo de instrucción de mantenimiento. Tensado de las correas

(Fuente: Propia)

9. Cierre del proyecto

Tras aproximadamente 5 meses de trabajo tiene lugar el cierre oficial del proyecto a día 1 de junio de 2021, en una situación completamente opuesta a la inicial. En este periodo se ha completado el conjunto de etapas que conforman el DMAIC, además de un periodo extra destinado al traspaso desde el equipo de ingeniería para comprobar la autonomía de la sección.

El conjunto de tornos de taladrado al completo ha sido cambiado según el plan de implementación de las mejoras de manera progresiva, hasta llegar al punto del cambio por completo. También se ha formalizado el conjunto de instrucciones de trabajo y mantenimiento y formado adecuadamente a todo el personal del área; además de preparar un plan de incorporación para la correcta formación de nuevos empleados futuros.

Gracias a la habituación del espacio destinado al gerente, la sección ha ganado autonomía y transparencia con los datos, que se consiguen a tiempo real y aportan información constructiva. Como ha sido mencionado anteriormente, tras un seguimiento por parte del equipo, se han delegado todas las responsabilidades al personal para analizar la evolución, resultada positiva.

9.1. Consolidación de objetivos

9.1.1. Reducción de la merma

Al repasar los objetivos propuestos:

- **Reducción de piezas defectuosas del 30% al 10%**
- **Reducción de pérdidas monetarias semanales de 1.800€ a 600€**
- **Reducción de pérdidas monetarias semanales del 12,25% al 4,00%**

Las metas propuestas se centraban en la reducción del scrap o chatarra proveniente de las piezas defectuosas por el descentramiento del taladro. En un principio se propuso reducir la situación de partida a la mitad, y durante el transcurso del proyecto se actualizó a la tercera parte, debido a los resultados optimistas de las pruebas.

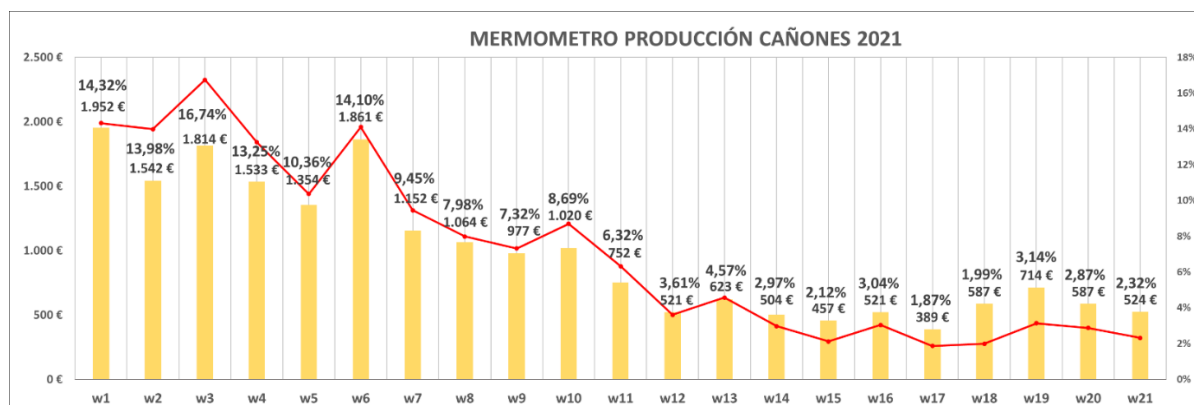


Ilustración 50: Mermómetro de la fabricación de cañones en el cierre del proyecto

(Fuente: Propia)

El gráfico (detalle en **Anexo 5. Mermómetro de la fabricación de cañones en la situación de cierre del proyecto**) presenta la evolución anual de la merma en la fabricación de cañones. Se puede observar como en las primeras semanas se mantiene en valores elevados, y es a partir de la semana 7 cuando se comienza a apreciar una bajada de la tendencia; fecha coincidente con el inicio de las pruebas y pequeñas mejoras.

La variabilidad presentada entre semanas es causa de la rotación de las referencias que, independientemente del estado de los tornos, afectan en mayor o menor medida a la merma; bien sea por mayor inestabilidad en el proceso o por el elevado precio de desechar las barras. De todos modos, la tendencia es a la baja, acentuándose en el inicio de las mejoras, semana 10, y estabilizándose una vez acaba el periodo de implementación de las mejoras, en la semana 15.

A fecha de cierre de proyecto se tiene, *year to day*, una merma media de 974€ semanales y un 7,05%. Aparentemente no se ha llegado a la meta propuesta, pero en el cálculo se está teniendo en cuenta el inicio del año, cuando aún no se habían hecho apenas acciones, por lo que se están arrastrando resultados que no volverán a repetirse.

Al fijarse a partir de la semana 10, cuando se comienzan a implementar las mejoras, se obtiene una tendencia de 576€ semanales y un 3,75%, siendo un éxito sobre lo propuesto; con un pequeño margen para el efecto rebote que supondrá el cierre del proyecto y por tanto relajación del personal.

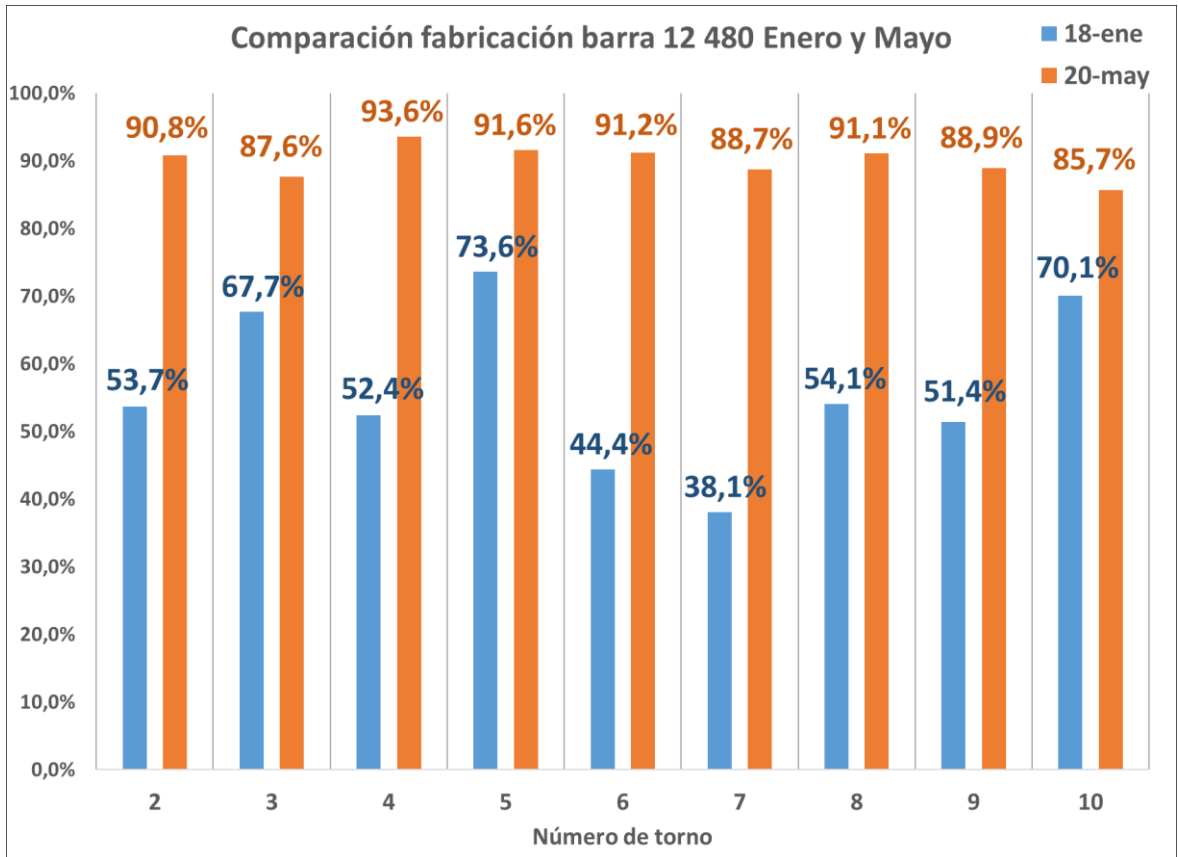


Ilustración 51: Comparativa de la fabricación del worst case antes y después del proyecto

(Fuente: Propia)

Lo que se muestra en la comparativa se trata, a modo de conclusión de la consolidación, de la comparación directa de la fabricación de la referencia de barra más crítica (12 480) a inicios del proyecto y en su última producción. El principal problema de la barra era su elevada longitud, la mayor de entre todos los modelos, que provocaba grandes oscilaciones en todo su cuerpo mientras realizaba el ciclo de trabajo.

Las vibraciones junto a la “debilidad” del inserto debido a su reducido diámetro, provocaban como se puede observar unos rendimientos de, en casos extremos, hasta un 60% de media. Se ha conseguido entonces aumentar el FTQ de la sección en el *worst case* en un 30%.

9.1.2. Aumento de la capacidad de producción

El gran impacto de las mejoras no está presente únicamente en la eliminación de gran parte de los desechos, sino que tirar menos significa directamente producir más, por lo que si antiguamente se necesitaban 3 días para completar la comanda ahora se necesitan 2.

Según los registros de producción antiguamente se producían alrededor de 1.900 cañones conformes a lo largo del día, mientras que durante el transcurso del proyecto se han apreciado jornadas de hasta 2.500 unidades, significando un aumento del 30% de la producción.

La consecuencia directa de este aumento es la sobreproducción y exceso de stock, que se ha conseguido evitar mediante la eliminación de los turnos de fin de semana, que como se mencionó en el análisis de causas efecto tenía gran variabilidad y bajo rendimiento para el coste adicional que supone a la empresa su llevada a cabo; por lo que se producen mayores beneficios.

9.2. OEE final

Una vez finalizado el proyecto y haber consolidado los objetivos, es el momento de calcular el nuevo OEE y compararlo con el inicial:

Disponibilidad

La disponibilidad permanece igual que en la situación inicial, turnos de 8 horas en los cuales únicamente se para la maquinaria durante media hora en el tiempo de descanso a mitad de turno:

$$Disponibilidad = \frac{450min}{480min} = 93,75\% \quad (\text{Eq. 7})$$

Eficiencia

La eficiencia ha mejorado notablemente debido a la reparación y optimización de todo el conjunto de maquinaria, eliminando por completo los paros de máquinas por ineficiencia y dejando únicamente paros por cambios de referencia y pequeños ajustes como el afilado. Además, se ha aumentado la producción inicial.:

$$Eficiencia = \frac{2.350 \text{ cañones}}{2.500 \text{ cañones}} = 94,00\% \quad (\text{Eq. 8})$$

Calidad

Cumpliendo el objetivo propuesto de reducir las piezas defectuosas al 10%, obtenemos.

$$Calidad = FTQ = 90,00\% \quad (\text{Eq. 9})$$

Por lo tanto, se obtiene un OEE resultante de:

$$OEE = Disp * Efic * Cal = 93,75\% * 94,00\% * 90,00\% = 79,3\% \quad (\text{Eq. 10})$$

Por lo tanto, el proyecto ha resultado ser un éxito, mejorando el OEE de un 49,99% inicial a un 79,3%; un total de un **29,31%**.

9.3. Next Steps

Una vez consolidados los objetivos y concluido el proyecto es hora de migrar a otra área de la empresa o bien comenzar de cero con otros proyectos o mejoras en la misma sección que no se hayan podido realizar por falta de tiempo o estar fuera de los objetivos principales. Se listan una serie de propuestas a mejorar en la sección:

Implementación de un sistema automático de lubricación/refrigeración

A pesar de haber mejorado en este aspecto a lo largo del proyecto, lo que se ha propuesto es únicamente un “parche” al problema real. La acción de rellenar un recipiente con aceite e introducirlo en el cuerpo del torno mediante un biberón es una acción repetitiva y sin valor alguno fácilmente automatizable para conseguir estabilidad y eliminar mano de obra.

El sistema se compondría de una recirculación de aceite que, impulsado por una bomba, entraría a la cavidad del torno donde realizaría la doble acción de lubricación y refrigeración, para después dirigirse a un sistema de refrigeración que reduzca la temperatura de este. Una vez adecuado, el aceite volvería al ciclo para conseguir estabilidad en el sistema y evitar futuras roturas.

Implementación de un sistema de visión artificial para comprobar el descentramiento de los cañones

De igual manera que mencionado en el aceite, la comprobación manual de la tolerancia cañón por cañón es un proceso repetitivo que no aporta valor y además consume mucho tiempo del operario, aproximadamente 2 horas al turno. Además, el conjunto de calibres se encuentra deteriorado y resulta imposible que dos personas tengan el mismo criterio a la hora de decidir si un cañón es bueno o malo.

Por ello, se propone la instalación de un sistema de visión que, tras posicionar la barra, compruebe por óptica el estado de la concentricidad del taladro y rechace en caso de defecto. Al implementarlo en el cargador del proceso inmediatamente posterior, el escariado, se eliminaría la etapa intermedia del ciclo: descarga del torno – comprobación del centrado – carga en el escariador; transportando directamente las barras al cargador y recogiendo las desechadas del contenedor de rechazo.

Implementación de un sistema de recogida de datos automático SCADA y un GMAO

Mediante la implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), las instalaciones ganarían la capacidad de supervisar los procesos industriales a distancia, así como obtener información a tiempo real sobre la producción y estado del equipo; eliminando etapas intermedias como la supervisión y reportes por parte del personal.

Una correcta gestión de un sistema SCADA es el punto de partida para industrializar una empresa y dar el primer paso a una industria 4.0.

Por otro lado, el software de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO), se trata de una aplicación similar al SCADA, pero destinada al mantenimiento del equipo. Mediante la proporción de tabletas o puntos informáticos en cada área, se permite la creación de órdenes de mantenimiento tanto preventivas como correctivas, las cuales el equipo de mantenimiento habrá de aceptar mediante la Tablet, donde quedará registrado el tiempo de paro, de reparación y los costes asociados a ello.

El óptimo uso de un GMAO proporciona transparencia en la información relevante al mantenimiento y sirve de ayuda para la creación de proyectos de mejora asociados a los paros repetitivos de la maquinaria.

10. Análisis Económico

10.1. Presupuesto

10.1.1. Asociado a las pruebas

Tabla 8: Resumen de la inversión asociada a las pruebas de la fase de análisis
(Fuente: Propia)

ITEM	Elemento	Precio/ud	Unidades	Coste total
1	Motor ABB M2AA 71B-2	250 €	2	500 €
2	Polea T5-27-z48	30 €	2	60 €
2	Polea T5-27-z32	30 €	2	60 €
2	Polea T5-27-z27	30 €	2	60 €
3	Eje de giro (SERMA)	2.500 €	2	5.000 €
4	Conjunto muelles cono/centrador	20 €	12	240 €
5	Rodamientos del centrador SKF K18x42x12	21 €	4	84 €
			Total	6.004 €

*IVA Incluido.

La tabla muestra un resumen de la inversión asociada al conjunto de hipótesis desarrolladas durante la fase de análisis. Estas pruebas tuvieron lugar únicamente en 2 máquinas para poder valorar su impacto, por ello el número de unidades.

En el caso de los rodamientos del centrador son 2 para cada torno y en el caso del conjunto de muelles son 6 para cada torno.

10.1.2. Asociado a las mejoras

Tabla 9: Resumen de la inversión asociada a las mejoras de la fase de mejora
(Fuente: Propia)

ITEM	Elemento	Precio/ud	Unidades	Coste total
1	Motor ABB M2AA 71B-2	250	7	1.750 €
2	Eje de giro (SERMA)	2.500 €	7	17.500 €
3	Polea T5-27-z27	30 €	7	210 €
4	Rodamientos del eje SKF 7200	25 €	18	450 €
5	Rodamientos del centrador SKF k18x42x12	21 €	14	294 €
6	Biberones de plástico para aceite	4 €	9	36 €
Total				20.240 €

*IVA Incluido

La tabla muestra un resumen de la inversión asociada al plan de implementación de las mejoras definidas durante la fase de mejora. Las mejoras son aplicadas generalmente sobre 7 máquinas debido a que las otras 2 ya están incluidas en el balance de la fase de análisis y pruebas.

De igual manera que en el caso anterior, los rodamientos tanto del centrador como del eje son un par para cada torno. En el caso de los biberones de aceite es un total de 9 por tratarse de una nueva mejora a nivel general.

10.1.3. Asociado al coste del personal

Tabla 10: Resumen de la inversión asociada al coste del personal
(Fuente: Propia)

ITEM	Empleado	Coste empresa / hora	Horas	Coste total
1	Becario	8€	540	4.320 €
2	Ingeniero de procesos	40€	300	12.000 €
3	Director de ingeniería	50€	44	2.200 €
4	Empleado de producción	35€	44	1.540 €
5	Empleado de mantenimiento	35€	44	1.540 €
6	Empleado de calidad	35€	44	1.540 €
			Total	23.140 €

La tabla muestra un resumen del coste aproximado para la empresa de la implicación de los diferentes integrantes del equipo de trabajo.

En primer lugar, se muestra al becario autor del proyecto, con una implicación total de 540 horas de duración del contrato de prácticas en empresa.

En segundo lugar, se muestra al ingeniero del departamento de procesos, la segunda persona más implicada en el proyecto, aproximadamente la mitad de las horas que el becario debido a otras cargas de trabajo.

Finalmente, los demás integrantes del equipo aparecen con una participación de 44 horas, equivalentes a las reuniones semanales durante la duración del proyecto (22 semanas).

10.2. Beneficio

10.2.1. Asociado a la reducción de merma

Con el objetivo cumplido de reducir la merma media semanal de 1.800€ a 600€, se obtiene un ahorro medio de 1.200€ semanales. Anualizado, teniendo en cuenta 50 semanas, supone un beneficio de:

$$\text{Beneficio} = 1.200 \frac{\text{€}}{\text{semana}} * 50 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 60.000\text{€ anuales} \quad (\text{Eq. 11})$$

Durante 2020 se llegó a la cifra de 90.000€ debido al scrap de cañones, si durante 2021 siguiera la tendencia y se ahorraran 60.000€ quedaría un scrap anual de 30.000€, exactamente un tercio de la inicial.

Además de reducir los desechos, la mejora y optimización de las máquinas significa también la reducción de incidencias recurrentes en las máquinas, como era la rotura de brocas, aproximadamente 2 cada semana. Anualizado:

$$\text{Beneficio} = 2 \frac{\text{brocas}}{\text{semana}} * 50 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} * 100 \frac{\text{€}}{\text{broca}} = 10.000\text{€ anuales} \quad (\text{Eq. 12})$$

Evitar la ruptura de las brocas y que únicamente se cambien por desgaste supone un ahorro de 10.000€ anuales.

10.2.2. Asociado al aumento de capacidad de producción

La reducción de merma está directamente relacionada al aumento de la producción, ya que al desechar menos piezas se necesita menos material y tiempo para cumplir las comandas. En GAMO se trabajan los 5 días hábiles a la semana en 3 turnos de 8 horas, además de dos turnos adicionales de 12 horas en fin de semana en el que trabajan 2 operarios.

Gracias al aumento de producción en un 33%, de 2500 a 3300 cañones diarios, es posible eliminar uno de los turnos del fin de semana, dejando el otro como reserva para emergencias y pudiendo aumentar igualmente la producción general. Por lo que para la planificación de turnos semanal se pueden eliminar a dos de los operarios de ETT.

$$\text{Beneficio} = 2 \text{ operarios} * 20 \frac{\text{€}}{\text{h}} * 1750 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 70.000\text{€ anuales} \quad (\text{Eq. 13})$$

10.3. Balance económico

Tabla 11: Resumen financiero del proyecto
(Fuente: Propia)

ITEM	Descripción	Inversión	Beneficio
1	Pruebas fase de análisis	6.004 €	-
2	Mejoras fase de mejora	20.240 €	-
3	Personal implicado	23.140 €	-
4	Reducción de la merma semanal	-	60.000 €
5	Reducción de rotura de brocas	-	10.000 €
6	Aumento de la capacidad de producción	-	70.000 €

Inversión total	49.384 €
Beneficio total	140.000 €
PAYBACK	0,35

*IVA incluido

Tal y como muestra el periodo de recuperación (Payback) del análisis, la inversión inicial llevará un total de 0,35 años en recuperarse por la empresa. Este número supone un gran éxito debido a la magnitud monetaria de la que se habla en el proyecto, alrededor de 140.000€ anuales, con una inversión prácticamente minúscula analizándola a largo plazo.

Por la parte económica el proyecto ha resultado ser un éxito que, gracias a los ahorros futuros se podrá invertir en mejoras adicionales como las mencionadas en los Next Steps del proyecto **9.3**.

11. Análisis del impacto ambiental

La huella ecológica del proyecto, aunque aparentemente se pueda pensar que la reducción de desechos implica reducción de impacto ambiental, es prácticamente nula o muy similar a la inicial.

De todos modos, se presentará un análisis general sobre el tratamiento de los residuos del proceso: acero en forma de barras desechadas y viruta y el aceite de corte sobrante.

11.1. Barras de acero desechadas y viruta

Tal y como muestra el **Anexo 6. Certificado de destrucción controlada de barras de acero desechadas**; tanto las barras de acero desechadas por errores de fabricación como la viruta resultante de las diferentes operaciones de mecanizado son recogidas periódicamente por un gestor de residuos que se encarga de su correcta destrucción.

Las barras desechadas pasan por un proceso de corte por cizalla con tal de obtener trozos de un máximo de 15 centímetros, que son posteriormente vendidos a una fundición local que los transforma de nuevo en materia prima.

Se puede afirmar un impacto ambiental nulo ya que, a pesar de reducir notablemente el volumen de acero desechado, no implica un mayor impacto ecológico.

11.2. Aceite de corte y refrigerante

El aceite de corte es común en todos los procesos: taladrado, escariado, estriado y mecanizado; y se trata de un aceite COGECUT MV 15 (ver especificaciones en **Anexo 7. Extracto de la ficha técnica del aceite de corte COGECUT MV 15**).

Este fluido circula a través de un ciclo cerrado de bombeo y las únicas pérdidas que se producen son a través de la recogida de viruta y trozos de acero, al quedarse impregnado en ellas. Por ello, en el momento de almacenar estos residuos hasta el momento de su recogida son depositados en un doble contenedor con orificios en la parte inferior del primero, para que así gotee el aceite y se almacene en el segundo.

En el momento de la recogida de los residuos de acero se retira también el aceite acumulado y se almacena en un depósito especial, listo para su recogida y tratamiento posterior (ver detalle en **Anexo 8. Certificado de recogida del aceite de corte**).

Como se puede observar en la ficha técnica del fluido, se trata de un aceite sin nocividad para el medio ambiente, ya que no cuenta con sustancias PBT (persistentes, bioacumulables y tóxicas) ni mPmB (muy persistentes y muy bioacumulables), además que se trata de biodegradable.

A pesar de no tratarse de un aceite nocivo para el medio ambiente, como bien indica el certificado de recogida, gracias a su regeneración por parte del gestor se ahorran 13.500Kg de CO₂ emitidos a la atmósfera y 150 toneladas de extracción de petróleo.

Conclusiones

La mayor dificultad a la hora de realizar el proyecto presentado ha sido el cambio de una mentalidad y metodología de trabajo individualista y reacia al cambio. La construcción y coordinación del equipo fue un duro camino al principio dada la negatividad y visión pesimista de la mejora de la sección, pero a medida que se evidenciaron los resultados se consiguió mejorar la cohesión y rendimiento.

El objetivo principal era la reducción de la merma en la sección señalizada en un 50%, enfocando el problema en el taladrado de las barras cañón; un objetivo aparentemente ambicioso al inicio pero que se pudo consolidar e incluso superar dada la fecha del cierre del proyecto. De cara a la empresa significa un gran impacto, no sólo por el dinero ahorrado por la reducción de los desechos, sino por el gran aumento de producción y gestión que se produjo en la sección; por encima de las expectativas.

En cuanto a los objetivos no cumplidos o en este caso las mejoras adicionales no implementadas por falta de tiempo, explicadas en Next Steps, se encuentra la automatización e industrialización del área mediante sistemas de captura de datos y gestión informatizada; que serían la guinda para dar por finalizado el proyecto una vez dado el paso a la industria 4.0.

No obstante, las acciones implementadas consiguen unos ahorros anuales de 60.000€ únicamente hablando de las pérdidas causadas por piezas defectuosas, con un periodo de recuperación de 0,35 años; notablemente positivo respecto al volumen que comporta. En cuanto al impacto medioambiental, a pesar de tratarse de un mínimo por la correcta gestión de la empresa, no se ha podido reducir ya que el volumen de acero no varía su impacto, y en el caso del aceite donde sí tiene afectación no varía ya que las barras procesadas son las mismas, se desechen o continúen el proceso.

Por último y para finalizar la memoria, además de todo lo mencionado anteriormente el presente proyecto servirá como ejemplo a la empresa de una correcta metodología de resolución de proyectos y de lo que se puede lograr mediante un trabajo en equipo, ordenado y coordinado.

Bibliografía

[1] GAMO, GAMO España [En línea]. Sant Boi de Llobregat: GAMO, 2021.

Consulta: 18 de febrero 2021. Disponible en: <https://www.gamo.com/>

[2] About air gunning, GAMO [En línea]. Sant Boi de Llobregat: GAMO 2018.

Consulta: 23 de febrero 2021. Disponible en: <http://www.aboutairgunning.com/es/aire-comprimido-funcionamiento/>

[3] Ánima rayada. En: *Wikipedia* [En línea]. Wikimedia Foundation, 2021.

Consulta: 24 de febrero 2021. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81nima_rayada

[4] Taladradora. En: *Wikipedia* [En línea]. Wikimedia Foundation, 2021.

Consulta: 01 de marzo 2021. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Taladradora>

[5] Taladrado profundo. En: *Wikipedia* [En línea]. Wikimedia Foundation, 2021.

Consulta: 01 de marzo 2021. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Taladrado_profundo

[6] ISCAR, Tools Argentina [En línea] Argentina: ISCAR, 2021.

Consulta: 16 de marzo 2021. Disponible en:
<https://www.iscar.com/Products.aspx/countryid/27/ProductId/71>

[7] Seis Sigma. En: *Wikipedia* [En línea]. Wikimedia Foundation, 2021.

Consulta: 25 de marzo 2021. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Seis_Sigma

[8] PM03-ic, PM03-ic [En línea] Perú: OM03-ic, 2021.

Consulta: 25 de marzo 2021. Disponible en: <http://pm03-ic.com/six-sigma/>

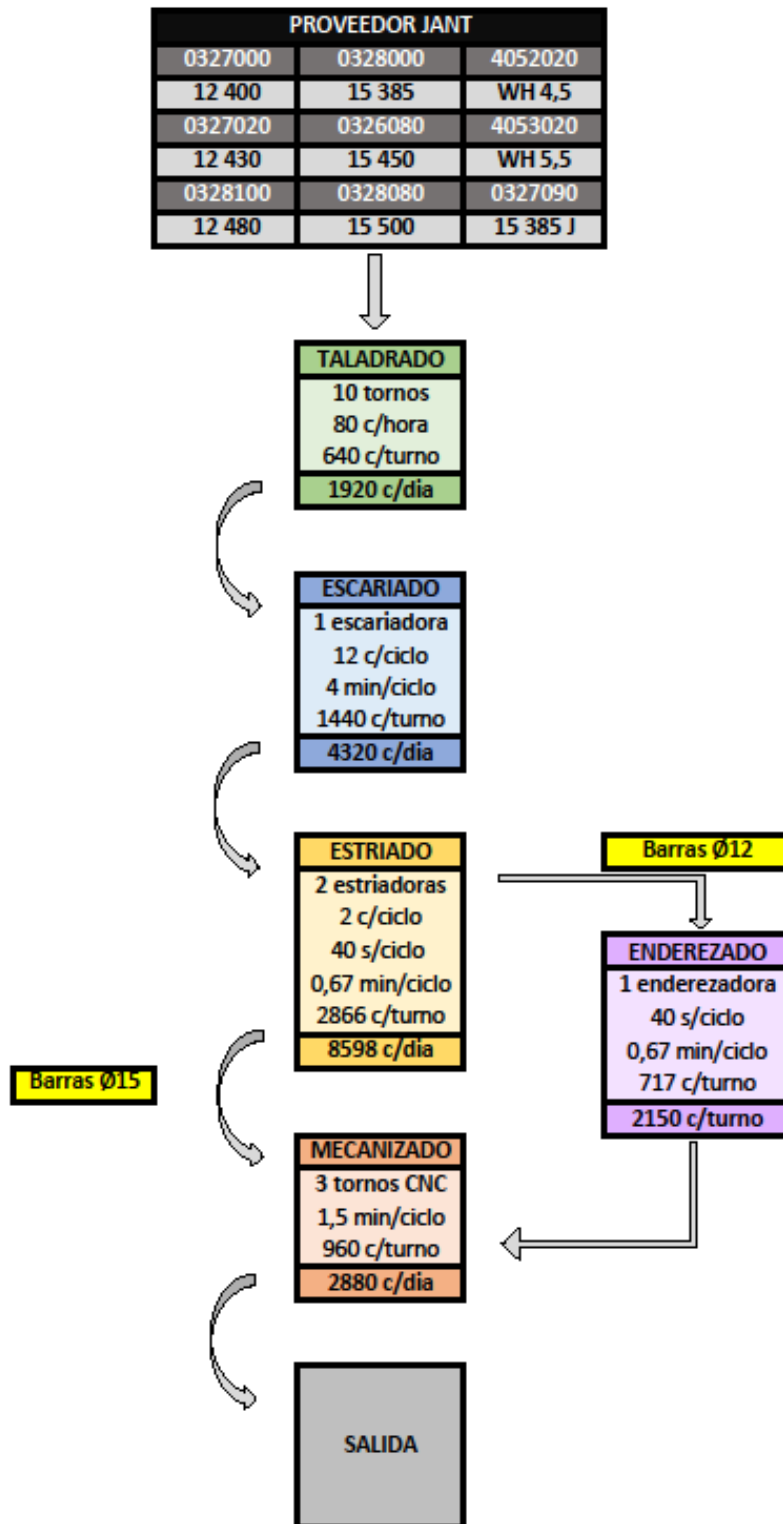
[9] Escariado. En: *Wikipedia* [En línea]. Wikimedia Foundation, 2021.

Consulta: 30 de marzo 2021. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Escariado>

[10] GUIMA, TBT [En línea] Alemania: TBT, 2011.

Consulta: 25 de marzo 2021. Disponible en: http://www.guima-mh.com/pdf/HERRAMIENTAS-DE-CORTE/BROCAS-TALADRADO-PROFUNDO-TBT/Catalogo_TBT.pdf

Anexo 1. Diagrama de proceso de la fabricación de una barra cañón



Anexo 2. Project Charter inicial

Project Charter

INGENIERÍA DE PROCESOS / PROYECTOS DE MEJORA CONTINUA

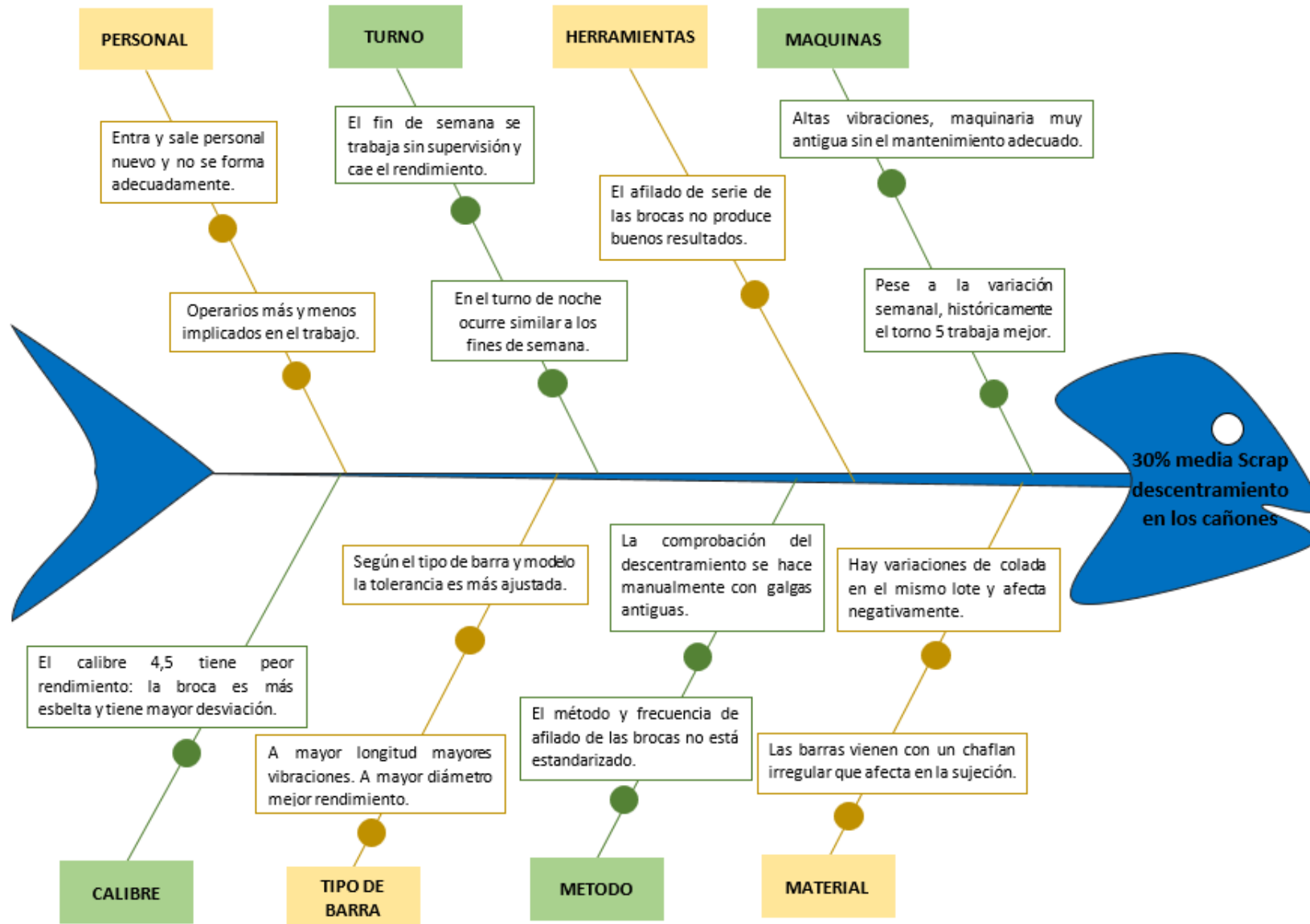
<p>Numero de proyecto: <input style="width: 150px;" type="text" value="EK 21 01"/></p> <p>Area/Proceso a mejorar: <input style="width: 150px;" type="text" value="Área de Semiterminados"/></p>	<p>Lider de proyecto: <input style="width: 100px;" type="text" value="S. Cañas"/></p> <p>Fecha de inicio: <input style="width: 100px;" type="text" value="15.12.2020"/></p>
---	---

<p>Descripción del objetivo:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> Reducción del Scrap en el área de semiterminados focalizando en el taladrado de las barras cañón. Aplicación de técnicas Lean Six Sigma. </div>	<p>Equipo de trabajo:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> Salvador Cañas - Lean Black Belt Jesús Dueñas - Ingeniería de procesos Nicolás Alonso - Ingeniería de procesos Carlos Rdguez - Producción Diego Reyes - Mantenimiento M.A. Solís - Calidad y verificación </div>
--	---

Metricas	Descripción de KPI's	INICIO	OBJETIVO	ROI FINAL
<i>Seguridad</i>		<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
<i>Calidad</i>	FTQ de barras taladradas	70,00%	85,00%	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
<i>Medio Ambiente</i>		<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
<i>Entrega</i>		<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
<i>Coste</i>	Merma semanal €	1.800 €	900 €	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
<i>Coste relativo</i>	Merma semanal %	12,25%	6,00%	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
<i>Otros</i>		<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
PAY-BACK RESULTANTE		<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		








<p><u>INICIO</u></p> <p>Descripción:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Se parte de una situación inicial de unas pérdidas anuales de aproximadamente 90.000€ en el área de semiterminados ocasionados únicamente por el taladrado de las barras cañón.</p> <p>El problema reside en el centramiento del taladro interior de las barras. De cada 100 barras taladradas se desechan de media 30 por no cumplir la tolerancia establecida.</p> <p>El objetivo a primer nivel es la reducción a la mitad de éstas pérdidas siguiendo un modelo de desarrollo Lean Six Sigma, aplicando las mejoras necesarias de reparación, mejora o industrialización.</p> </div>	<p><u>FINAL</u></p> <p>Descripción:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 200px; margin-top: 10px;"></div>	
¿QUÉ HEMOS APRENDIDO?		
FACTOR A CONTROLAR	METODO	CRITERIO
	Qué: Cómo: Quién: Dónde: Cuándo:	OK? NOK?
Fecha de cierre:		Pendiente

Anexo 3. Diagrama Ishikawa (causa efecto) del descentramiento de cañones



Anexo 4. Ejemplo de instrucción de mantenimiento. Grupo centrador.

	INSTRUCCIÓN DE MANTENIMIENTO DE CAÑONES	
	Mantenimiento del grupo centrador. Muelle y guía.	
	Instrucción nº: 102	Edición nº: 000
	<p><i>Muy importante retirar la broca antes de manipular el centrador para evitar roturas.</i></p>	
	<p><i>Una vez retirada, tenemos libre acceso al centrador.</i></p>	
	<p><i>Utilizaremos las herramientas: martillo y barra de nylon.</i></p>	
	<p><i>Colocaremos la barra inclinada enfocando al centrador y con ayuda del martillo golpearemos suavemente hasta conseguir extraerlo.</i></p>	
	<p><i>En la mesa de trabajo, colocaremos el soporte en el tornillo de banco.</i></p>	
	<p><i>Colocaremos el centrador ayudándonos de los orificios del soporte, para evitar que rote.</i></p>	

	<p>INSTRUCCIÓN DE TRABAJO</p>
 <p><i>Utilizaremos la herramienta: llave allen con mango.</i></p>	 <p><i>Con la ayuda de la llave, desenroscaremos el tornillo que sujeta la guía del centrador.</i></p>
 <p><i>Desmontamos el conjunto y comprobamos el estado de la guía.</i></p>	 <p><i>A la izquierda, guía golpeada en mal estado.</i> <i>A la derecha, guía en buen estado.</i> <i>En caso necesario, desechar y cambiar por una nueva.</i></p>
 <p><i>Utilizaremos la herramienta inferior o en su defecto el destornillador superior.</i></p>	 <p><i>Con la ayuda de la herramienta, desenroscaremos para liberar el alojamiento del muelle.</i></p>



INSTRUCCIÓN DE TRABAJO



Desmontamos el conjunto y limpiamos la cavidad y el muelle con ayuda de la pistola de aire.

Comprobamos el estado del muelle. En caso necesario cambiar por uno nuevo.



Volvemos a montar el centrador.

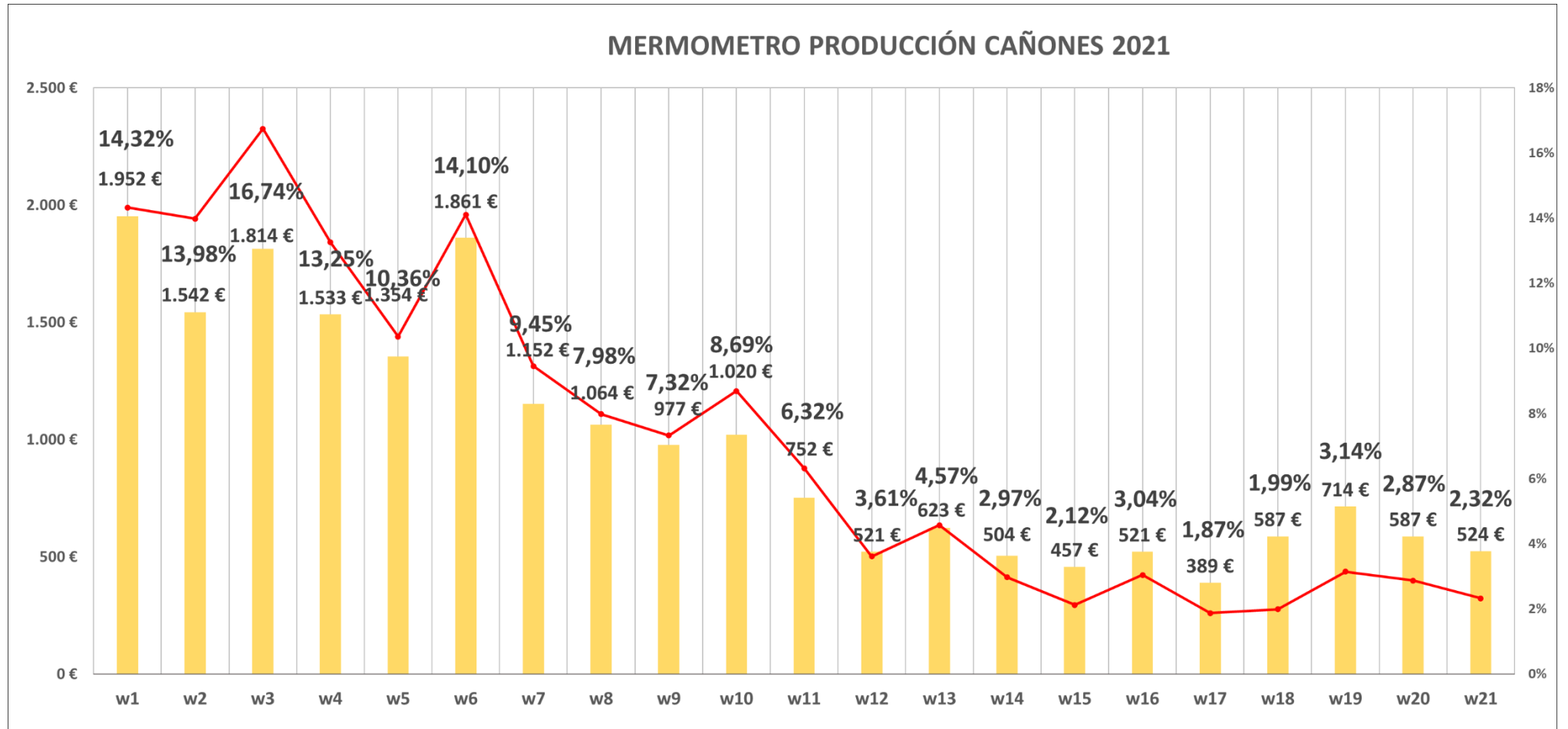
A la hora de fijar la guía con la llave allen, apoyar el centrador sobre la esquina del soporte con tal de ejercer una leve compresión del muelle.



Volver a colocar el centrador en su alojamiento.

Si es necesario, golpear suavemente con el martillo.

Anexo 5. Mermómetro de la fabricación de cañones en la situación de cierre del proyecto



Anexo 6. Certificado de destrucción controlada de barras de acero desechadas



Ferros Cristòbal, S.A.
GESTIÓ INTEGRAL DE RESIDUS

CERTIFICADO DE DESTRUCCIÓN

CLIENTE: GAMO OUTDOOR

LOCALIZACIÓN: ST. BOI DEL LLOBREGAT

MATERIAL: DESTRUCCIÓN CAÑONES

SE PRECISAN FOTOS: SI

SE PRECISA ACTA NOTARIAL: NO

SE PRECISA MUESTRA DEL MATERIAL
DESTRUIDO: NO

SE PRECISA CERTIFICADO: SI

FECHA: MAYO 2021

Reg. Merc. de Barcelona, núm. de l'ul 1109115, núm. de foli 211, volum 0030, llibre 0204, de la Sec. 2ª, lra 1a - C.I.F. A-38461905

C/ Garbí, 5 - Pol. Ind. Can Volant - 08150 PARETS DEL VALLÈS - Tel. 902 636 736 - Fax 93 573 76 01 - www.ferrocristobal.cat - info@ferrocristobal.com

EMPRESA AGREMIADA N.º 0011



Gestor Autoritzat: E-697.00
Transp. Autoritzat: T-781



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



Ferros Cristòbal, S.A.
GESTIÓ INTEGRAL DE RESIDUS

CERTIFICADO DE DESTRUCCIÓN

En Parets del Vallès a día **25/05/2021**, la empresa GAMO Outdoor de St. Boi, solicita un certificado de destrucción y correcta gestión ambiental, de 1 viaje de cañones para su destrucción, mediante cizalla automática TEKNOS de 900 tons/cm(2).

Este material ha sido recogido por nuestro transporte homologado **4646 FKX** con el código T-781, con destino a nuestra planta de Parets del Valles homologada con el código E-697.00, el día **21/05/2021**.

El peso total ha sido de **4.080 Kgs.**

Este material ha sido introducido en cizalla automática, marca TEKNOS, quedando cualquier cañón cortado a un tramo máximo de largo de 15 cms.

Reg. Merc. de Barcelona, núm. de Jul 105616, núm. de foli 211, volum 9000, llibre 8224, de la Sec. 2ª, lra 1ª - C.I.F. A-08461965

C/ Garbí, 5 - Pol. Ind. Can Volart - 08150 PARETS DEL VALLÈS - Tel. 902 636 736 - Fax 93 573 78 01 - www.ferroscristobal.cat - info@ferroscristobal.com

EMPRESA AGREMIADA N.º 0011



Gestor Autoritzat: E-697.00
Transp. Autoritzat: T-781



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



Ferros Cristòbal, S.A.

GESTIÓ INTEGRAL DE RESIDUS

Esta operación ha sido supervisada en todo momento por un operario de nuestra factoría, que ha realizado fotografías adjuntas.

Este material será vendido a la fundición Celsa de Castellbisbal, para que una vez fundidos los cañones representen materia prima, dando así por finalizado el certificado de destrucción con buenas prácticas medioambientales y según la legislación vigente.

Aprovechamos la ocasión para enviarles un cordial saludo,

Atentamente,



Jordi Hdez.
Supervisor destrucciones



C/ Garbí, 5 - Pol. Ind. Can Volant - 08150 PARETS DEL VALLÈS - Tel. 902 636 736 - Fax 93 573 76 01 - www.ferroscristobal.cat - info@ferroscristobal.com

EMPRESA AGREMADA N.º 0011



Gestor Autoritzat: E-697.00
Transp. Autoritzat: T-781



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



Anexo 7. Extracto de la ficha técnica del aceite de corte COGECUT MV 15

Fecha de revisión 06/01/2017

No. FDS 30259

Revisión 1

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD COGECUT MV 15 EP

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1. Identificador del producto

Nombre comercial	COGECUT MV 15 EP
Núm. de producto	163580, SDS

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	Líquido de corte Destinado únicamente a usos industriales o profesionales.
--------------------	--

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Proveedor	MacDermid Espanola S.A. Carrer Coneixement, 6 Parc Industrial Gavà Park 08850 - Gavà (Barcelona) 34 93 634 13 80 34 93 634 13 51
Persona De Contacto	sdsit@macdermid.com

1.4. Teléfono de emergencia

Número de teléfono de emergencia 24 h	+44 1235 239 670
---------------------------------------	------------------

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

3.2. Mezclas

Destilados (petróleo), fracción nafténica ligera tratada con hidrógeno		40 - <60%
N.º CAS: 64742-53-6	No. CE: 265-156-6	Número De Registro: 01-2119480375-34
Clasificación (CE 1272/2008) Tox. asp. 1 - H304	Clasificación (67/548/CEE) Xn;R65.	
Aceites residuales (petróleo), desparafinados con disolvente		1 - <5%
N.º CAS: 64742-62-7	No. CE: 265-166-0	Número De Registro: 01-2119480472-38
Clasificación (CE 1272/2008) No clasificado.	Clasificación (67/548/CEE) No clasificado.	
Polysulfides, di-tert-dodecyl		1 - <5%
N.º CAS: 68425-15-0	No. CE: 270-335-7	Número De Registro: 01-2119540516-41
Clasificación (CE 1272/2008) Acuático crónico 4 - H413	Clasificación (67/548/CEE) R53.	

El texto completo de todas las frases R e indicaciones de peligro (frases H) figura en la sección 16.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad

No se espera que el producto sea nocivo para el medio ambiente. Sin embargo, ello no excluye la posibilidad de que grandes o frecuentes derrames puedan tener un efecto nocivo o dañar el medioambiente. El producto no contiene halógeno orgánicamente ligado.

12.1. Toxicidad

En base a los datos disponibles los criterios de clasificación no se cumplen.

12.2. Persistencia y degradabilidad

Degradabilidad

Se supone que el producto es biodegradable.

12.3. Potencial de bioacumulación

Potencial bioacumulativo

El producto no contiene ningunas sustancias consideradas bioacumulativas.

Coefficiente de reparto

No se conoce.

12.4. Movilidad en el suelo

Movilidad:

El producto no es miscible con agua y se dispersa en la superficie del agua. El producto contiene compuestos orgánicos volátiles (COV) que se evaporan fácilmente de todas las superficies.

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB

Este producto no contiene sustancias PBT o mPmB.

12.6. Otros efectos adversos

Ningunos conocidos.

Anexo 8. Certificado de recogida del aceite de corte



Regeneració
d'olis usats i
industrials

**CERTIFICAT ANUAL DE
RECOLLIDA DE RESIDUS**

Catalana de Tractaments d'Oli Residual, CATOR, certifica que durant el període comprès entre el 01/01/2019 i el 31/12/2019 ha proporcionat un servei de Recollida i Regeneració d'oli usat amb les següents característiques:

Declaració de Residus

Empresa		Codi de productor
GAMO OUTDOOR, SLU		P-02652.1
Transportista		Codi Transportista
CENTRE DE TRANSFERENCIA T-62		T-614
Gestor	Codi de Gestor	Quantitat
SIRCAT (BCN)	E-1448.13 (CENTRE DE TRANSFERENCIA T-62)	4500,00 Kg
Tipus Residu		Quantitat Total
130307	Oli transformador, dielèctric, tractament tèrmic	4500,00 Kg
Destí Final	Tractament	Centre
CATOR	Regeneració V-22	Alcover (Tarragona)

Informació de petjada

Regenerant el seu oli usat amb CATOR ha contribuït a evitar:



13.500 KG
de CO2 que s'haurien emès a
l'atmosfera combustinant-lo



150 TN
d'extracció de petroli per a
produir nous lubricants

Cator.
Oli Usat Usat, T-62, Pla del Regal
08191, Pineda de Mar (Barcelona)

Fran Morera González
Cap de Logística



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est