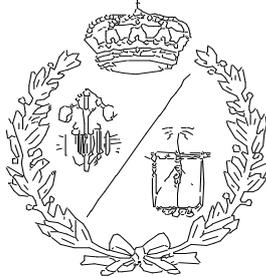


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**Análisis económico derivado del análisis y
optimización de un proceso de fabricación
(Economic analysis and optimization of an
industrial fabrication process)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Pablo Ángel Nieto Bernal

Julio - 2020

RESUMEN:

Los métodos de optimización de sistemas productivos con objetivo de la mejora del beneficio económico mediante un bajo valor de inversión fueron la piedra angular del desarrollo de la economía en Japón después de la segunda guerra mundial, siendo la empresa Toyota la principal pionera en su desarrollo e implementación.

Estas técnicas fueron desarrollándose y popularizándose a lo largo del siglo XX frente a los sistemas de producción existentes en la época hasta consagrarse prácticamente en todo el mundo a principios de siglo XXI.

No sólo proporcionan un beneficio económico sin apenas riesgo, sino que, además, busca mejorar el bienestar de cada uno de los componentes del personal dedicado al sector de la industria.

Actualmente muchas empresas trabajan bajo modelos lean, aunque muchas tienen aún mucho trabajo por delante.

En este trabajo, se proporcionará el análisis de la implementación de este método de trabajo en una de las líneas de producción en busca de la optimización de los recursos disponibles para la mejora del rendimiento de esta.

Palabras clave: Lean, Kaizen, OEE, Speed Loss, Waste.

Abstract:

Production optimization's methods were really important in Japan after the second world war providing the country an efficient economy development, being Toyota itself the precursor of these methods, which provides a "low cost high benefits" by applying them to a business.

These technics were developed and popularized during the XX's, facing the already known working methods of that time, but it was not until the beginning of the XXI century when these new technics settled all over the world.

They are not only economically worth without any risk, but they are also focused on increasing the comfort of any involved person of the process.

Nowadays, there are a lot of industries already working under the Lean system, but there are still some that may work themselves into it to improve their benefits.

This essay shows the effort of the implementation of this system in a specific production area, looking forward to the optimization of the available resources of itself and at the same time looking for an efficiency raise of the production process.

Key words: Lean, Kaizen, OEE, Speed Loss, Waste.

Agradecimientos:

En primer lugar, quiero agradecer a Pablo García, José Ramón Laso, Ricardo Suárez y Diego Fervenza por acogerme, ayudarme y supervisarme durante mi proceso de prácticas. No sólo me han enseñado muchísimo, también me han hecho sentir como si estuviera en mi casa.

A mi profesor y amigo, Don Antonio, por recordarme cuando más lo necesitaba que la voluntad firme de un joven puede mover montañas. Gracias por todo. D.E.P.

A mi amiga y compañera, Cristina Muñiz, por el apoyo incondicional de todos estos años.

Por último, infinito agradecimiento a mi madre, por empujarme una y otra vez a descubrir mis límites.

Índice

1.	Introducción.....	9
1.1.	Marco general del proyecto.....	10
1.1.1.	Objetivos generales.....	13
1.1.2.	Objetivos específicos.....	13
1.1.3.	Objetivos económicos.....	13
2.	Estudio de diagnóstico.....	15
2.1.	Lean Manufacturing.....	16
2.1.1.	Origen.....	16
2.1.2.	Las 5S.....	22
2.2.	Procesos de mejora continua.....	26
2.2.1.	Kanban.....	27
2.2.2.	Gemba.....	29
2.2.3.	Poka-yoke.....	30
2.3.	Análisis de Causa Raíz.....	32
2.3.1.	Los cinco porqués (5 whys).....	33
2.3.2.	Diagrama de Ishikawa.....	34
2.4.	Indicadores clave del rendimiento.....	36
2.5.	Máquinas o partes del proceso sujetos a análisis.....	39
2.5.1.	Diagrama de Espagueti.....	41
2.5.2.	Diagrama de Pareto.....	41
3.	Estrategia de actuación.....	44
3.1.	Metodología del proyecto.....	45
3.1.1.	Ciclo DMAIC.....	45
3.1.2.	Six Sigma.....	46
3.2.	Memoria del proyecto.....	47

3.2.1.	Primera fase: Definir.	47
3.2.2.	Segunda fase: Medir.	51
3.2.3.	Analizar.	55
3.2.4.	Mejora.....	67
3.2.5.	Control.	67
3.2.6.	Resultados generales del proyecto.....	72
4.	Análisis económico.	74
4.1.	Análisis del estado actual.	74
4.1.1.	Variables de entrada relevantes:.....	74
4.1.2.	Variables de salida relevantes.	75
4.2.	Hipótesis.....	77
4.3.	Inversión.....	78
4.4.	Análisis de rentabilidad del proyecto llevado a cabo.	79
4.4.1.	Análisis previo al proyecto.....	79
4.4.2.	Análisis posterior.	81
5.	Conclusiones y línea de trabajo futuro.	85
6.	Bibliografía.	86
7.	Índice de Tablas, figuras y fórmulas.	90
7.1.	Tablas.	90
7.2.	Figuras.	90
7.3.	Ecuaciones.....	91
8.	Anexo.	92
8.1.	Anexo 2. Pareto Tirulera 12.	92
8.2.	Anexo 3. Pareto Tirulera 19.	93
8.3.	Anexo 4. Pareto Tirulera 18.	94
8.4.	Anexo 5. Pareto Tirulera 20.	95

8.5. Anexo 6. Pareto Envasadora 13.	96
8.6. Anexo 7. Pareto Envasadora 2.	97

1. Introducción.

El tabaco es el producto de consumo con una mayor tasa de impuestos en España, siendo esta equivalente al 80% del precio total del tabaco. Dicha tasa de impuestos se compone del impuesto conocido como IVA (Impuesto de Valor Añadido) y los impuestos especiales.

[1]“El impuesto especial sobre las labores del tabaco es un impuesto indirecto que recae sobre el consumo del tabaco, gravando, en fase única, la fabricación e importación de este producto. Es un impuesto especial de fabricación”.

El objetivo de esta tasa es desincentivar el consumo en atención a políticas sanitarias además del objetivo de recaudar que tienen en general las tasas de impuestos del resto de productos. Este 80% es un porcentaje significativo si lo comparamos con otros productos también sujetos a impuestos especiales, como son la gasolina, algo por encima del 50%, o el alcohol de graduación elevada, 40%.

Este gravamen queda justificado por la propia Ley 38/1992, de 28 de diciembre, del boletín oficial del estado (BOE) de la siguiente forma:

[2]“Este doble gravamen se justifica en razón a que el consumo de los bienes que son objeto de estos impuestos genera unos costes sociales, no tenidos en cuenta a la hora de fijar sus precios privados, que deben ser sufragados por los consumidores, mediante una imposición específica que grave selectivamente estos consumos, cumpliendo, además de su función recaudatoria, una finalidad extrafiscal como instrumento de las políticas sanitarias, energéticas, de transportes, de medio ambiente, etc.

Esta adaptación de la imposición indirecta a la nueva configuración de la Comunidad como un espacio sin fronteras debe producirse de una forma armonizada para todos los Estados miembros, con el fin de que no se produzcan distorsiones a la competencia, se controlen sus efectos sobre otras políticas comunitarias y se haga posible que los impuestos se recauden por los Estados donde se produzca el consumo”.

Además de lo respectivo a recaudación fiscal, la industria del tabaco tiene un impacto notable en España, conformando un sector importante de la economía.

[3]Según los datos recogidos en La Mesa del Tabaco, este sector emplea a casi 50.000 personas, siendo que cada empleo directo genera, a su vez, 2,6 empleos indirectos e inducidos, clasificados entre:

- Cultivo, 7%. España es el tercer país de la Unión Europea en producción de hoja de tabaco, generando 3.400 empleos, siendo la comunidad de Extremadura la más dedicada a ello, con un 97% de la producción de hoja española.
- Fabricantes, 20%. La fabricación de tabaco genera unos 10.000 empleos.
- Distribución mayorista, 13%. Este sector genera alrededor de 6.300 empleos.
- Venta minorista, 60%. Siendo los estancos los responsables últimos de la venta del tabaco, el sector genera unos 30.000 empleos. Además, garantiza el control minorista y el seguimiento efectivo de producto legal. Por otra parte, las máquinas expendedoras de toda Europa tienen su origen en un 90% en la comunidad de Navarra.

La recaudación de los últimos años ha sido muy estable, por encima de los 9.000 millones de euros en la venta del tabaco, suponiendo un 5% del total de los ingresos tributarios del estado, equivalente al 0,8% del PIB o producto interior bruto.

Todo esto consolida al sector del tabaco como un sector con un impacto importante en la economía española.

1.1. Marco general del proyecto.

La empresa objeto de estudio lleva a cabo el proceso de producción en una nave industrial preparada para ello. Consta de:

- Almacenes y cámaras de acondicionado.
- Taller de producción.
- Taller de mantenimiento.
- Oficinas.
- Áreas de descanso.

Siendo el taller de producción el área principal del proceso.

El objetivo final es la fabricación de productos para diferentes marcas, correctamente envasados para, finalmente, distribuirlos.

Hay varios tipos de tabaco dependiendo de su procedencia. Mezclándolos en diferentes porcentajes se obtiene el producto solicitado por las diferentes marcas.

En primer lugar, se descarga el tabaco contenido por grandes sacos en uno de los almacenes y se clasifica para facilitar su futuro transporte.

El tabaco entra en la fase de batido, en forma de hoja. En esta fase se elimina la vena y se hace pasar la hoja por varios tamices, cada vez de menor tamaño, hasta obtener el tamaño deseado, para después almacenarse en silos.

Dependiendo de la marca que se vaya a fabricar, se extrae de los silos una u otra cantidad de cada tipo de hoja, ya batida, y se mezcla en los porcentajes deseados dentro de cajas de unos 65 kilogramos, que son transportadas por una cinta hasta una prensa industrial. La caja se cierra y se guarda a la espera del comienzo de la producción de esa labor (o marca).

Una vez elaborada la receta, la mezcla se introduce en cajas que se transportan hasta las tiruleras (Bunch rollers).

Estas máquinas enrollan el tabaco, y en algunos casos filtros, en bobinas de papel muy fino, dando lugar a lo que se conoce como “tirulo”, un semiproducto con el doble de longitud de un cigarro con cubierta de papel y en caso de llevar filtro, con doble filtro.

Posteriormente, la máquina descarga su semiproducto en unos recipientes conocidos como “bateas”. Las bateas se usan como unidad de medida, y tendrán una gran relevancia en el desarrollo de este trabajo.

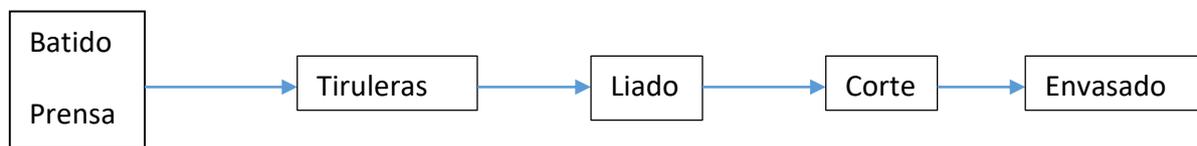
Las bateas, una vez llenas de tirulos, son transportadas a las máquinas de liado o “liadoras”.

Las liadoras son máquinas que se encargan de transformar los tirulos en cigarros, y lo hacen mediante un brazo robótico, que enrolla una hoja de tabaco, o “capa”, alrededor del tirulo, previamente humedecida mediante un dispensador en espray para evitar su rotura, razón por la que posteriormente, el semiproducto debe pasar por una cámara de acondicionado.

Una vez obtenida la humedad deseada, el semiproducto obtenido en las liadoras, de nuevo en bateas, es transportado hasta las cortadoras.

Es esencial la humedad del producto porque, de estar muy húmedo, el tabaco se ablandaría y las cuchillas quedarían atascadas al cortar los cigarros, provocando pérdidas económicas. Además, la humedad favorece la aparición de moho. Por otra parte, si el tabaco se seca demasiado, al cortar los cigarros estos se desharían, teniendo que empezar el proceso desde la fase de tiruleras.

Finalmente, los cigarros pasan otro periodo de tiempo, que varía en función de la receta inicial, en la cámara de acondicionado antes de pasar por la línea de envasado, donde se introducen en cajetillas, se envuelven en su correspondiente plástico y se forman fardos, que a su vez serán introducidos en cajas de cartón que se transportarán mediante una cinta que recorre la planta hasta el almacén.



1 "Diagrama proceso de producción planta de tabaco" (Elaboración propia).

Con la finalización de cada año fiscal se hace un análisis global de la empresa desde el que se parte para concretar los objetivos anuales del año próximo.

Para mejorar la gestión y organización, así como la efectividad de las medidas para el cumplimiento de los objetivos, es importante plantear un número limitado de aspectos a mejorar procurando no empeorar los demás.

En el caso de algunas empresas, se decide centrarse concretamente en cinco áreas (Focus 5): Seguridad, calidad de producto, servicio (cumplimiento de un volumen específico de producción anual), eficiencia del proceso de producción y desarrollo personal.

Siendo, en este caso, la mejora de la eficiencia en busca de la sostenibilidad de la fábrica objeto de estudio.

Se hace por lo tanto un análisis de los datos de la eficiencia del proceso y se plantean diversas formas de mejorar estos datos en el futuro.

1.1.1. Objetivos generales.

Es fundamental realizar un análisis completo de los datos relacionados con la eficiencia del proceso, separando cada área de este, de forma que sea posible identificar aquellas partes con unos indicadores de eficiencia cuyo margen de mejora sea más amplio para intervenirlas en primer lugar, de esta forma se consigue ampliar finalmente el beneficio económico de la línea con la menor inversión económica y de esfuerzo posible.

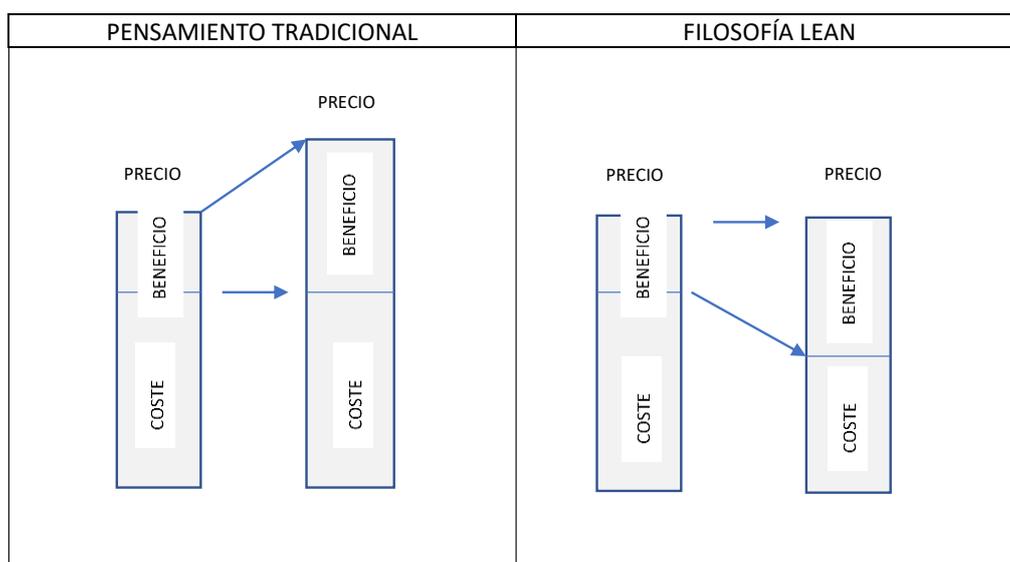
1.1.2. Objetivos específicos.

Tras observar los datos recogidos, se llega a la conclusión de que el factor que más recorta el tiempo de producción, teniendo por lo tanto un mayor impacto sobre el valor de la eficiencia (OEE), es el “Speed Loss”, por lo que es objeto principal del proyecto la detección y reducción de estas paradas en las máquinas más afectadas.

Se conoce “Speed Loss” como el conjunto de paradas inferiores a cinco minutos que el operario se ve obligado a realizar en el proceso de producción debido a problemas no considerados avería.

1.1.3. Objetivos económicos.

El proyecto objeto de estudio se basa en un modelo de gestión Lean Manufacturing, por lo que se opta por la reducción de costes para ampliar el margen de beneficios sin inversión de capital, lo que se traduce en un estudio de las causas de imperfección de la eficiencia para proponer soluciones o mejoras.



2“Pensamiento tradicional vs Lean”. (Elaboración propia).

La ausencia de inversión no supone ausencia de costes en el proyecto, es decir, el objetivo económico del proyecto trata de mejorar la sostenibilidad en el proceso productivo a largo plazo. También se pretende rentabilizar los costes de su implantación en un periodo de tiempo lo más corto posible.

2. Estudio de diagnóstico.

Desde la revolución industrial que tendría lugar en el siglo XVIII, la industria no ha parado de evolucionar a través de la constante innovación, recorriendo distintas filosofías, metodologías de producción y fabricación e incluso marcos éticos y legales.

Una de estas filosofías que ha marcado historia, fue el Taylorismo, que desarrollaba las ideas del ingeniero y economista Frederick Taylor. Trataba de cronometrar el tiempo de ejecución del trabajo para crear un sistema de remuneración basado en recompensar el esfuerzo del obrero con el fin de aumentar la productividad. Este sistema queda expuesto en el libro que el mismo Frederick Taylor escribió en 1911, "*Principles of scientific management*".

Los obreros u operarios que trabajaban bajo este sistema finalmente tenían una profunda especialización en la ejecución de tareas muy concretas y mecánicas.

La aplicación de este sistema trajo una reducción de salarios de la mano de una reducción del costo de fabricación, además de un gran rechazo por parte de la sociedad. Finalmente, a principios del siglo XX tuvo que reformularse, dando paso al fordismo, desarrollado y llevado a la práctica por Henry Ford, reconocido fabricante de vehículos, aprovechando la aparición de la clase media en la sociedad estadounidense, sin embargo, seguía habiendo una disconformidad general. El mismo Charles Chaplin, escribió, dirigió y protagonizó el largometraje "Tiempos modernos" en 1936, que resultó ser, más allá del entretenimiento en pantalla, una dura crítica a las consecuencias del capitalismo y la filosofía de trabajo en la industria.

Mientras tanto, en Japón nació el TPS, que iría evolucionando y desarrollándose hasta conformar la filosofía de Lean Manufacturing una vez los métodos de producción de Toyota se internacionalizaran.

Hoy en día, una gran cantidad de empresas dedicadas a la producción trabajan bajo esta filosofía, ya desarrollada y establecida en la sociedad.

Ha dado grandes y diversos beneficios a la industria ya que su principal objetivo es el de aumentar los beneficios económicos sin la necesidad de inversión de capital, reduciendo los desperdicios que se generan a lo largo del proceso productivo.

Además, Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo basada en las personas y en su desarrollo. No se trata de la aplicación de una lista de técnicas concretas para ejecutar las tareas de forma satisfactoria, como una receta.

[4] “La cultura Lean no es algo que empiece y acabe, es algo que debe tratarse como una transformación cultural si se pretende que sea duradera y sostenible, es un conjunto de técnicas centradas en el valor añadido y en las personas”.

Uno de los elementos que distinguen al Lean Manufacturing es la priorización del bienestar y la seguridad de cada uno de los trabajadores que intervienen en el proceso, además de destacar la necesidad de desarrollo y crecimiento de estos, para facilitar el aumento de valor añadido en el producto con el que se trabaja.

2.1. Lean Manufacturing

2.1.1. Origen

Lean Manufacturing es un sistema que deriva en su mayoría del TPS o “Toyota Production System”, que nace de la mano de Sakichi Toyoda, fundador de “Toyota Industries”.

A finales del siglo XIX el grupo Toyota era conocido por dedicarse a la maquinaria del sector textil, y fue entonces cuando Toyoda elaboró un telar que emitía un aviso por medio de una señal al trabajador cuando ocurría un error y el hilo se rompía. Esto supuso la automatización del proceso de búsqueda de fallos. Además, al provocar la propia máquina la parada del proceso, se evitaba la producción de material defectuoso, lo que acabó permitiendo que un único operario pudiera encargarse del correcto funcionamiento de varias máquinas al mismo tiempo, mejorando la productividad.

[5] El término japonés “*Jidoka*” significa automatización con un toque de humanidad "automation with a human touch" y es un concepto dentro del Lean Manufacturing que nace de esta invención de Sakichi Toyoda y sentará las bases del TPS junto a la aplicación del sistema “JIT” (Just in Time) a lo largo del siglo XX.

En 1933, Toyota funda “Toyota Motor Corporation”, como una nueva sección de la empresa dirigida por Kiichiro Toyoda, hijo de Sakichi Toyoda, que terminó por ser una empresa independiente a partir de 1937, y se especializó por petición del gobierno japonés en la fabricación de camiones para el ejército imperial japonés durante el transcurso de la segunda guerra mundial, sin embargo, el objetivo primero era la fabricación de automóviles comerciales y no fue hasta el final de la guerra cuando Toyota retomó dicho objetivo.

Para ello, la empresa tuvo que enfrentarse a unas condiciones de mercado muy distintas de las que General Motors y Ford gozaban, no pudiendo, por lo tanto, dar uso de los métodos de la producción en masa.

El mercado en el Japón de la posguerra era pequeño, la posición de los trabajadores se vio reforzada en cuanto a condiciones laborales por algunas de las normas que Norteamérica introdujo y la competitividad que presentaban las fábricas automovilísticas de cara a la exportación de sus productos era muy elevada.

Introducirse en ese sector del mercado suponía un reto considerable. Sin embargo, la innovación en los métodos de trabajo de Toyota, llevaron a la empresa a ser lo que hoy conocemos.

Se identificaron tres conceptos clave, conocidos como las “tres emes” de Toyota:

- *Muda*, desperdicio, es decir, cualquier actividad que requiere inversión de recursos y que no produce ningún tipo de valor.
- *Mura*, variabilidad en el flujo de trabajo.
- *Muri*, sobrecarga de trabajo que desemboca en cuellos de botella en el proceso.

Es evidente que la inversión de recursos en actividades que no generan valor no es deseable, pero puede llegar a ser la consecuencia de las otras dos emes, muri y mura, es decir, muri y mura serían las causas raíz de muda.

[6] “The inevitable result is that Mura creates Muri that undercuts previous efforts to eliminate Muda”.

El pensamiento Lean pretende eliminar el “muda” y por lo tanto eliminar o reducir en la medida de lo posible “muri” y “mura”.

[7]El ingeniero industrial japonés Taiichi Ohno clasifica los desperdicios en siete categorías distintas en el año 1988 y posteriormente, [8]en 1996, Womack y J. Jones añaden una octava categoría:

- Sobreproducción: elaborar más producto del que se necesita o más rápido de lo requerido.
- Tiempo de espera: transcurso de tiempo durante el que no se está produciendo debido a la falta de sincronización de dos procesos dependientes.
- Transporte: el movimiento de materiales o productos entre procesos es una inversión de recursos que no añade ningún valor al producto.
- Exceso de procesos: inversión excesiva de recursos para el procesado excesivo del producto, dando, por ejemplo, una calidad superior a la requerida, o usando una maquinaria demasiado precisa y cara para llevar a cabo una tarea genérica.
- Inventario: productos a materiales excesivos almacenados
- Movimientos: desplazamiento de máquinas o materiales que no añaden valor.
- Defectos en el producto: reparación o reutilización de material, así como reintroducción de un producto en el proceso productivo por no satisfacer las especificaciones requeridas.
- Potencial humano infrautilizado: no sacar partido del abanico de habilidades o recursos que puede ofrecer cualquier trabajador.[8]

Clasificando los desperdicios resulta más sencillo saber identificar de forma ordenada los inconvenientes que pueda haber en la producción y que estén dañando la eficiencia de una fábrica de prácticamente cualquier sector.

Taiichi Ohno también implementó un sistema de control de producción conocido como “JIT” o “Just In Time”, que tenía como objetivo eliminar los desperdicios mencionados y se basa en la siguiente frase que, a día de hoy, la compañía Toyota mantiene en su filosofía: [9]Hacer sólo aquello que es necesario, sólo cuando se necesita y en la cantidad necesaria.

Para satisfacer la demanda de un cliente con rapidez, se necesita construir coches con eficiencia en el menor tiempo posible, para lo que aplican las siguientes pautas:

- Cuando se recibe la demanda de un coche, las órdenes de producción deben llegar al principio de la línea de producción lo antes posible.
- Las líneas de ensamblaje deben estar dotadas de todos y cada uno de los recursos necesarios para la fabricación de cualquier tipo de coche demandado.
- Cada parte de la línea de ensamblaje debe trabajar a un ritmo tal que cuando produce su semiproducto recibe al mismo tiempo de la sección precedente el semiproducto correspondiente a su parte del proceso (para no generar cuellos de botella).
- La sección precedente debe tener sólo un reducido número de material y debe producir con ello sólo el número de semiproductos que la sección siguiente requiera.

En resumen, consiste en tratar a la siguiente parte del proceso de producción como tu propio cliente y trabajar en función de la demanda de producto que tu cliente (la siguiente parte de la línea de producción) realiza.

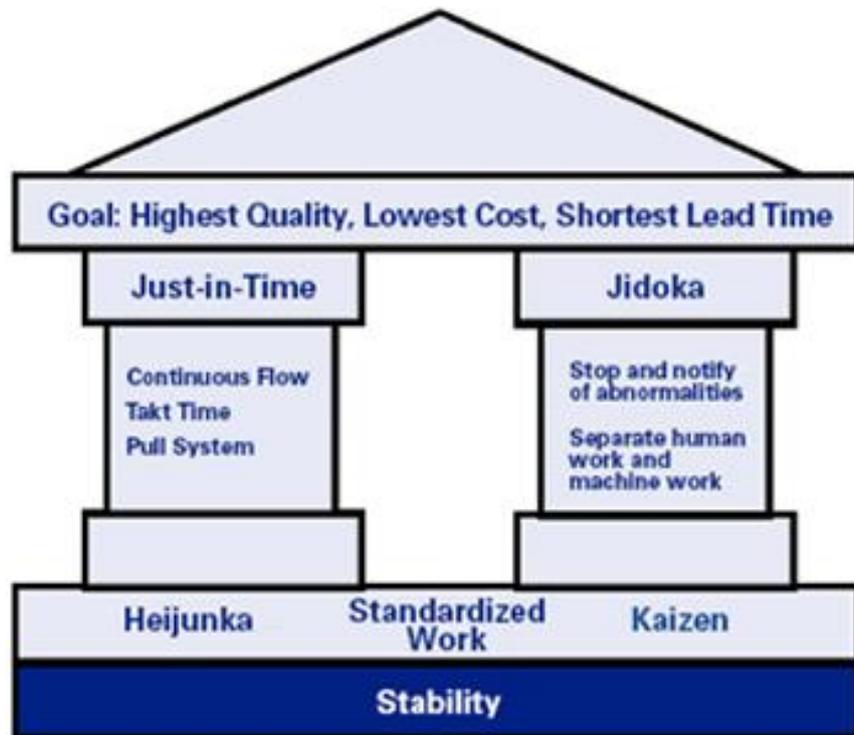
Un claro ejemplo de esto se da en las líneas de producción de una empresa tabacalera. Simplificando, la producción de tabaco que se lleva a cabo en la fábrica se divide en seis partes. La sección de batido “vende” semiproducto a prensado, prensado a tirulado, quien a su vez fabrica tirulos para la sección de liado, quienes mandan su semiproducto a la sección de corte y estos, finalmente, lo envían a envasado.

Además, es frecuente trabajar también por demanda de producto, es decir, que cada máquina tenga un pedido concreto del semiproducto que debe elaborar y enviar a la siguiente parte del proceso hasta obtener el producto que sale al mercado, el cual, incluso, es solicitado mediante un contrato con el cliente que especifica el número concreto de ese producto que quiere que sea fabricado.

Con esto quedan definidos los pilares que sostienen al TPS, aunque la base sobre la que se apoyan es tan importante como los propios pilares.

Esta base está compuesta por tres conceptos clave:

- *“Heijunka”*.
- Estandarización del trabajo.
- *“Kaizen”*.



3"The TPS House". Fuente: lean.org

Toyota define *"heijunka"* como [10]distribución equitativa del volumen de los distintos tipos de producción a lo largo de periodos de tiempo conformados en días, semanas o meses, es decir, la producción de cada modelo distinto debe estar nivelada, ya que las líneas de ensamblaje de Toyota están preparadas para elaborar distintos modelos de coche sin realizar cambios de maquinaria. El término define el sistema de producción como un sistema de producción mixto en el que distintos modelos de producto puedan ser ensamblados o fabricados en una misma línea de producción y en el que la secuencia de producción debe estar nivelada en función de la demanda de modelos por parte de los clientes.

En el centro de la base se encuentra el trabajo estandarizado, que consiste en encontrar la mejor práctica o el método óptimo de trabajo en cada parte del proceso de producción y establecerlo como método estándar.

Un trabajo estandarizado debe estar compuesto de una serie acciones o secuencia de tareas clara y factible en cada ciclo de trabajo, llamando ciclo de trabajo a la producción de una unidad de semiproducto, de forma que cualquiera de ellos sea capaz de realizarlo sin suponer una gran dificultad y se pueda establecer un ritmo de trabajo objetivo, es decir, establecer, por ejemplo, la cantidad de tirulos que puede enviar un operario a la sección de liado en una hora mediante dicha secuencia. Dicho de otra forma, establecer cuánto debe tardar un

operario en enviar 500 tirulos a la sección de liado (siguiendo con el ejemplo de una empresa tabacalera).

Otro factor clave de la estandarización del trabajo es el establecimiento de la cantidad de cada material que cada puesto de trabajo necesita tener para no presentar problemas de paradas o tiempos de espera innecesarios que no aporten en absoluto valor final al producto, es decir, estandarización de inventario para cada parte del proceso productivo.

Por otra parte, el término japonés “*kaizen*” significa “cambio a mejor” o “mejora” en el sentido literal. [11]Dentro del método Toyota, la aplicación de este concepto implica la constante mejora del proceso o de sus partes con el fin de añadir valor al producto con cada vez menos desperdicios. Sin embargo, es necesario matizar que “*kaizen*” como concepto es un poco más complejo que la simple mejora del proceso. Se trata de la implicación de todos los trabajadores que participan en la producción para descubrir de qué formas puede mejorarse cada una de las partes del proceso y no en la inversión de capital para la obtención de un equipo de mayor calidad.

[12]Jun Nakamuro, aprendiz del legado de Taiichi Ohno a través de Hitoshi Yamada, uno de los pupilos predilectos de Taiichi Ohno, describe “*kaizen*” de la siguiente forma:

- La mejora continua es una fuerza externa, *kaizen* es una fuerza interna.
- Para alcanzar *Kaizen*, debes ser capaz de sostener y conocer tus dificultades, así como las emociones negativas que generan en uno mismo.

Otro término fuertemente ligado a “*kaizen*” es “*hansei*” y se refiere a la práctica de reuniones al final de una jornada de trabajo para celebrar el éxito colectivo, así como reflexionar y hablar sobre aquello que puede mejorar, incluso si en apariencia la jornada tuvo un resultado perfecto.

La aplicación conjunta de los conceptos anteriores sobre una línea de producción dotada de estabilidad sería una demostración del TPS, cuyo desarrollo se debe originalmente a la empresa Toyota y terminó por ver la luz tras la crisis del petróleo de los años setenta.

Pero no fue hasta la década de los noventa, cuando Womack y Jones, en su libro “*The Machine that Changed the World*”, dieron el nombre occidental “*Lean Manufacturing*” al método de producción que nació de la creatividad de Sakichi Toyoda, a finales del siglo XIX, con la invención del sistema de detección de errores de aquella famosa máquina de tejer, inspirado

en el humilde oficio de su madre, y que a su vez sirvió de inspiración para las posteriores generaciones que terminaron por consolidar su empresa como una de las automovilísticas más importantes del mundo a través del TPS, conocido a día de hoy como Lean Manufacturing.

2.1.2. Las 5S

El método de las 5s es un método de trabajo desarrollado, una vez más, en Toyota. Surge en los años sesenta (siglo XX) con el objetivo de mejorar la producción mediante una considerable mejora del entorno de trabajo desde el punto de vista de los operarios o cualquier trabajador que lo ocupe dando uso de él.

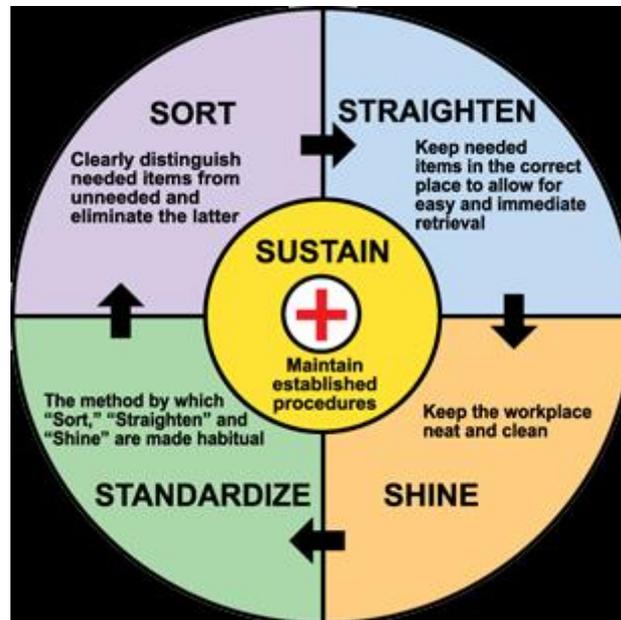
Hoy en día, este sistema no sólo se aplica a fábricas destinadas a producciones industriales. Puesto que su efectividad se hizo evidente y traía como consecuencia un mayor confort para el espacio en el que se aplicaba, se introdujo en otro tipo de áreas como hospitales o centros educativos.

[13]Es un sistema que funciona mediante la organización y la limpieza sostenida y sistemática del área de trabajo, ayudando a optimizar la productividad y la reducción de desperdicios, y se vale para ello del uso de señales visuales fácilmente identificables. Entra dentro de la filosofía Lean, y suele ser el primer método implementado por las organizaciones.

Consta de cinco pilares que proporcionan una metodología para limpiar, organizar, desarrollar y mantener entornos de trabajo productivos. Conlleva la implementación de rutinas diarias que ayuden a mantener estos entornos en el estado óptimo que se espera que tengan, siendo el propio trabajador quien se preocupa de mejorar su condición laboral aprendiendo a su vez a reducir los desperdicios, los tiempos de espera inesperados o el inventario inadecuado de materiales en máquina.

El resultado inmediato es, normalmente, la reducción de espacio necesario para el desarrollo de las tareas, la organización de las distintas herramientas, materiales o “kits” de trabajo mediante etiquetado y clasificación por color (facilidad en la identificación rápida visual) así como apartar de su zona de trabajo aquellas herramientas, materiales o “kits” que no se usan en su labor, evitando que generen desorden y malestar para el trabajador.

Se trata, además, de un método cíclico, por lo que de la misma forma que el Lean Manufacturing en general, no termina su aplicación, logrando una mejora continua con el tiempo.



4"El círculo de las 5s". Fuente: leanmanufacturinghoy.com

Dentro del círculo o ciclo de las 5s, encontramos sus cinco pilares:

- Seiri (Sort): es el primera s, y se centra en eliminar los elementos innecesarios del lugar de trabajo, incluso aquellos que no estén destinados a la labor actual del proceso productivo. Una técnica visual interesante consiste en etiquetar del mismo color todos aquellos elementos que identificamos como no necesarios para la labor actuar, reunir dichos objetos etiquetados y proceder a la evaluación del uso que tienen, de forma que se pueda tomar la decisión de desecharlos, reciclarlos o desplazarlos a otro entorno de trabajo, así como almacenarlos para posibles usos futuros.
- Seiton (Set in order): solo puede implementarse una vez acabado el seiri. Es muy importante haber despejado, en primer lugar, el entorno de trabajo. El objetivo esta vez es etiquetar las diferentes herramientas en función de su uso para ser fáciles de encontrar y depositar después de haber terminado su función, así como establecer o dividir las diferentes partes del área de trabajo, por ejemplo, pintando en el suelo los límites dentro de los que deben encontrarse las máquinas, los escritorios, los cubos destinados a los deshechos... e identificando dichos espacios mediante carteles plastificados.

- Seiso (shine): una vez apartado todo aquello innecesario y ordenado todo el material o herramientas útiles del área de trabajo, es muy importante limpiarlo y procurar que se mantenga de esta forma cada día. Un ambiente de trabajo limpio permite al trabajador identificar cualquier tipo de malfuncionamiento con mayor facilidad y rapidez. Normalmente las máquinas de cualquier industria producen vibraciones que pueden llegar a estropear la máquina si no se cuida la limpieza de sus componentes, o aumentos de temperatura excesivos debidos a películas de polvo almacenado sobre la superficie, que terminarían produciendo averías que reducirían el ritmo de producción.
- Seiketsu (standardize): una vez implementadas las tres primeras eses, el siguiente paso es estandarizar cualquier práctica que deba realizarse en el puesto de trabajo objetivo, manteniendo un control exhaustivo de todas las tareas que ya se han hecho y de las que faltan por hacer. Se trata de asignar la responsabilidad del cumplimiento de los pasos anteriores, integrándolas como actividades regulares en el puesto de trabajo, como un deber más. Una buena forma de realizar esta actividad es mediante el uso de formularios que deben rellenarse cada vez que se ejecute una tarea, o controles de tiempo de las diferentes tareas a ejecutar, de esa forma también podrá analizarse la eficiencia en el desempeño de las actividades.
- Shitsuke (sustain): se trata probablemente de la parte más difícil de implementar. Se trata de crear un hábito en las cuatro actividades anteriormente descritas, dejando de lado cualquier hábito previamente adquirido que interfiera con esta forma de proceder, y muchas veces, al implementarse, la tendencia es volver a actuar como se hacía antes de usar las cinco eses una vez transcurrido un periodo de tiempo. Por lo tanto, es muy importante tener disciplina para conseguir que con el tiempo este círculo continúe girando.

Algunos beneficios de aplicar las 5s:

- La limpieza adecuada del equipo y de ventanas, así como de ventilación que se realiza en la tercera etapa puede traer como resultado una necesidad menor de gasto energético a la hora de hacer funcionar el proceso productivo, lo que a la larga puede traer beneficios económicos.

- Trabajar en un área ordenada, sin obstáculos físicos y con un menor número de distracciones potenciales puede reducir considerablemente la probabilidad de accidentes laborales.
- No sólo la limpieza, también la reducción del espacio necesario para trabajar supone una reducción de coste energético.
- La adecuada señalización visual del entorno de trabajo, como carteles, pizarras, señales... puede usarse para mejorar la comprensión del transcurso de los procedimientos, así como del peligro que pueden suponer algunas de las actividades que el puesto de trabajo requiere. También ayuda a gestionar los desperdicios sin que se produzca una inadecuada acumulación.

Algunos inconvenientes:

- La limpieza frecuente del entorno y el uso de pinturas para confeccionar las señales que ayudan a dar orden al área de trabajo pueden obligar al uso de productos que contengan químicos o componentes que puedan llegar a producir emisiones o impactos medioambientales negativos.
- Deshacerse de todos los materiales, herramientas o útiles que ya no sean necesarios puede requerir en la primera implantación del método una alta inversión de tiempo, lo que se resume en un pico de producción de desperdicios. Además, se debe gestionar correctamente todo aquello de lo que se decida deshacerse.

El ciclo de las 5s es algo que lleva tiempo implementado en la empresa en la que se desarrolla el proyecto, sin embargo, el sistema implementado consta de una “ese” más, seguridad, y se conoce como el método de las 6s:

- Separar lo innecesario.
- Situar lo necesario.
- Suprimir la suciedad.
- Señalizar las anomalías.
- Seguir mejorando.
- Seguridad.

Esta sexta función es muy importante, ya que se pretende priorizar por encima de todo la seguridad de todos y cada uno de los trabajadores. Es muy importante, ya que no sólo es necesario un ambiente de trabajo limpio ordenado y estándar para alcanzar un rendimiento óptimo, también es esencial ser firmemente consciente de la seguridad de la integridad tanto física como mental de los trabajadores.

Para ello, se colocan en diferentes puntos de la nave una serie de dispositivos básicos de primeros auxilios, además de un fácil acceso a una sala de enfermería, en la que se dispone de cuerpo sanitario formado y preparado. También pueden instalarse barreras de protección a los elementos potencialmente peligrosos de todas las máquinas, y señalarse las distancias de seguridad que deben guardarse en caso de ser necesario. Debe proveerse de equipos de protección en todas aquellas áreas de trabajo en que sea necesario, por ejemplo, sistemas de protección auditiva, guantes, casco, botas de protección... Además, es importante establecer planes de evacuación que sean explicados periódicamente a todos los trabajadores, y que se revise con insistencia que todos cumplan las medidas de seguridad establecidas.

Otro aspecto que las empresas empiezan a tener cada vez más en cuenta es la preservación de la salud mental por parte de todos los componentes de la plantilla, ya que esta no deja de ser tan importante como la salud física, y para ello pueden hacerse campañas de concienciación mediante publicidad interna o incluso mediante charlas o conferencias.

2.2. Procesos de mejora continua.

[14]La Escuela de Organización Industrial de Madrid define mejora continua como “una filosofía que intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio”, y consta de tres características:

- Un proceso documentado: de esta forma todos conocen y entienden el funcionamiento del proceso.
- Un sistema de medición: en general, un sistema bajo el que se estudien los distintos indicadores o factores que definen la eficiencia, la productividad, el rendimiento...
- Involucración del personal: aquellas personas que forman parte del proceso relacionándose con él de forma directa deben tomar parte en la mejora continua del mismo, ya que están muy familiarizados con él.

Echando la vista atrás, Kaizen es una herramienta que trata de obtener una mejora en el proceso a través de la autocrítica sostenida en el tiempo, una mejora continua que proporcione valor añadido al producto. Por otra parte, Jidoka se refiere a la “automatización con un toque de humanidad”, y trata de eliminar los desperdicios de manera automática y de establecer la ausencia de productos defectuosos en la producción, lo que también supone un aumento del valor. Además, las 5s es un método cíclico o circular que trata de mejorar el entorno de trabajo resultando en una mejora de la eficiencia y posiblemente en una reducción de los costes energéticos en planta.

Teniendo en cuenta esto, podemos afirmar que Jidoka, Kaizen y 5s son algunos procesos o métodos de mejora continua.

2.2.1. Kanban

“Kanban” es una palabra japonesa compuesta por dos kanjis, “kan”, que significa “visual”, y “ban”, que significa tarjeta. Se trata de una técnica o método de control del flujo de trabajo de forma visual por medio del uso de tablas que representan las diferentes fases de este.

Consta de tres pasos básicos:

- Visualización del flujo de trabajo.
- Limitación del trabajo en curso.
- Dirección y gestión del flujo de trabajo.

Pendiente (2)	En proceso (1)	Finalizado
<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 25px; margin: 10px auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Tarea 4</div> <div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 25px; margin: 10px auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Tarea 5</div>	<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 25px; margin: 10px auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Tarea 3</div>	<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 25px; margin: 10px auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Tarea 1</div> <div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 25px; margin: 10px auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">Tarea 2</div>

5“Modelo Kanban simple”. (Elaboración propia).

Este es el modelo de Kanban más simple y permite visualizar con facilidad el flujo de trabajo, de forma que cada una de las columnas representa un estado del flujo y las tarjetas las diferentes tareas, que van desplazándose conforme varía su estado.

De forma visual, es fácil organizar las tareas de los diferentes componentes de un equipo de trabajo, sabiendo en cada momento qué está haciendo cada uno y asegurando que cada persona está realizando alguna tarea nivelando así la carga de trabajo entre todos los miembros, en caso de que el Kanban sea de uso colectivo, ya que también resulta muy útil el uso de una tabla individual.

Además, se puede asignar una prioridad a las tareas, seleccionando, por ejemplo, que aquellas que se sitúan en la parte superior de la tabla tienen un carácter más urgente que las situadas en la parte inferior mediante el trazo de una línea horizontal que separase estos dos tipos de tarea.

- Determinar el límite de trabajo en curso (también conocido como “WIP”, “Work in progress”).

Es importante determinar clara y explícitamente un límite en el número de tareas que puede contener cada fase de trabajo para no saturar el ciclo, ya que la aplicación de Kanban resulta inútil si se continúa añadiendo tareas en la primera columna sin haber llegado ninguna de las previas a situarse en la tercera.

Esto establece la que es probablemente la mayor dificultad del uso óptimo de este sistema, la elección apropiada del límite de WIP.

[15]“Si en una de las fases del ciclo de producción se observa que hay tareas sobre las que nadie trabaja durante mucho tiempo es porque el WIP de esa fase probablemente es alto.

Si en una fase hay gente parada durante mucho tiempo el WIP de un KANBAN probablemente es bajo”.

En la tabla de ejemplo, se ha situado entre paréntesis junto al nombre de cada estado del ciclo el número correspondiente al límite de tareas que puede haber en ese estado concreto (dos tareas pendientes o nuevas y una tarea en proceso).

- Medir el tiempo de ciclo (o “lead time”).

Se trata de medir el tiempo transcurrido desde que una tarea empieza hasta que termina.

Este paso es el que supone una mejora continua para el proceso, ya que una vez otorgada medida al tiempo de las tareas puede empezar el proceso de optimización del ciclo reduciendo el “lead time” de cada tarea hasta hacerlo lo más corto y predecible posible.

Además, mediante esta medición es muy fácil identificar la aparición o existencia de cuellos de botella en el proceso, pudiendo centrarse en solucionarlos para mejorar la eficiencia y el rendimiento.

En un Kanban colectivo o de equipo, es importante reunir a los integrantes frente a la tabla al principio del ciclo para distribuir y planificar el trabajo, así como para retroalimentarse de lo sucedido en un ciclo anterior.

El sistema de control de procesos Kanban puede implementarse en conjunto con otros sistemas de mejora continua, complementándose entre sí.

[16]Algunos beneficios observados en la implementación de este sistema:

- Mejora la comprensión del proceso.
- Mejora la calidad del producto.
- Mejora la relación entre lo que el cliente demanda y lo que obtiene.
- Mejora la motivación del equipo de trabajo.
- Mejora la coordinación y la comunicación entre los miembros del equipo de trabajo.
- Fácil identificación de problemas.

También se observan algunos desafíos en su implementación:

- Es un sistema que requiere dedicación e implicación.
- Puede resultar difícil cambiar la cultura de organización de trabajo.
- Requiere solventar problemas previos de comunicación en el entorno laboral.

2.2.2. Gemba

La palabra “Gemba” o “Genba” tiene origen japonés. Su traducción es “el sitio donde se desarrolla la acción”, aunque [17]Toyota lo define como “the place where value is added”.

La idea que Gemba aporta al Lean es que los problemas están a la vista porque los procesos y las acciones que se llevan a cabo en ellos son transparentes. Por esta razón, es importante organizar y ejecutar con regularidad lo que se conoce como “Gemba Walks”, o paseos Gemba, que consisten en un acercamiento por parte de los ingenieros al proceso productivo mediante paseos en el entorno en el que tiene lugar.

Lo que se espera de esta práctica es obtener una perspectiva externa de cada parte del proceso, para identificar aquellas áreas, por ejemplo, de una fábrica, con potencial de mejora en cuanto a rendimiento, productividad, eficiencia y sus distintos indicadores.

En el proceso, es muy importante la comunicación y el respeto tanto por el proceso como por las personas que durante el Gemba siguen en su puesto de trabajo ejerciendo, ya que no se trata de criticar, si no de entender en profundidad lo que ocurre, y en caso de haber algún problema poder detectar la causa raíz.

El concepto fue desarrollado por Taiichi Ohno, el cual se dice que pasaba mucho tiempo en la planta de producción observando el proceso y lo que pasaba en él.

Hay una anécdota que cuenta que siempre que Taiichi Ohno se disponía a realizar el Gemba Walk en la planta de Toyota llevaba consigo una tiza, y cuando descubría algún problema que alguno de sus empleados o él mismo no llegaban a entender, dibujaba un círculo con ella en el suelo en el que debían permanecer hasta entender el origen de este problema. Se conoce como “El círculo de Ohno”.

Los Gemba Walk, o paseos Gemba, tienen un beneficio destacable además de lo anteriormente mencionado, y es que trata de realizar un acercamiento entre los altos cargos y los operarios de fábrica o empresa, reforzando la coordinación y la confianza entre los trabajadores, lo que supone una mejora del entorno laboral.

2.2.3. Poka-yoke

La traducción de “Poka-yoke” (de nuevo con origen en Japón) es “a prueba de errores”.

El objetivo de este método es implantar un sistema de prevención de errores en la producción, lo que supone de forma directa una mejora en la calidad del producto.

Para implementar este sistema se fomenta el uso de herramientas y utensilios simples, desde el punto de vista del usuario, que pueden estar dotados, por ejemplo, de alarmas que indiquen el uso incorrecto del mismo, aunque esto supondría una elevada sofisticación. Estos objetos simples son lo que se conoce como “poka-yokes”.

[18] Pueden clasificarse en dos categorías básicas:

- Poka-yoke preventivo: consisten en ser utilizados físicamente a lo largo del proceso para disminuir las posibilidades de cometer un error.

- Poka-yoke de detección: tienen como función avisar al operario cuando un error ha tenido lugar.

Evidentemente, la primera categoría tiene un valor añadido, ya que, en el hipotético caso de reducir por completo las posibilidades de error, estaríamos ante un servicio que impide la producción de producto defectuoso. Sin embargo, un dispositivo que nos advierte de un error cometido en el proceso productivo también es valioso.

Es importante comprender la diferencia entre defecto y error. Un defecto es un resultado indebido o alejado de lo esperado, mientras un error es la causa de un resultado generalmente indebido o defectuoso.

Los poka-yoke deben tener las siguientes características:

- Deben ser simples para poder ser utilizados por cualquier trabajador.
- Su instalación debe ser sencilla.
- No deben necesitar la actuación del operador (Idealmente, deberían poder funcionar previniendo errores incluso cuando el operario no se encuentra en su puesto de trabajo).
- Son baratos.
- Deben avisar, prevenir o corregir de forma inmediata.

Como los errores humanos tienden a darse cuando nos distraemos, sentimos cansancio o incluso cuando estamos desmotivados, un buen poka-yoke es aquel que no precisa de la atención del operario, de forma que pueda prevenir cualquier error en caso de una disminución de la atención.

Ejemplos de poka-yoke:

- Dispositivos USB (sólo pueden conectarse en una posición).
- Detector de peso máximo (por ejemplo, en un ascensor).
- Un tope físico que impida la carga de un elemento en una orientación errónea.
- Conectores eléctricos con una forma concreta (enchufes, por ejemplo).

- Cubiertas de seguridad para botones de maquinaria que previenen que sean pulsados sin haberlas retirado previamente.

Una buena forma de darse cuenta de en qué áreas de la fábrica puede ser conveniente la implementación de poka-yokes es mediante la costumbre o rutina de efectuar “Gemba Walks”. La combinación de estos dos métodos de trabajo trae unos beneficios evidentes en el proceso de producción, ya que se profundiza en el conocimiento de este, abriendo camino a la inserción de elementos que pueden prevenir potenciales errores de los operarios, resultando en una mejora de la eficiencia del proceso y de la prevención de accidentes laborales.

2.3. Análisis de Causa Raíz.

La aplicación de la filosofía Lean, como ya se ha dicho, trae muchos beneficios a los procesos de producción. Sin embargo, no existen técnicas infalibles, ya que de una forma u otra los problemas aparecen.

La forma de afrontar y superar estos problemas puede marcar una diferencia muy grande en la trascendencia de su repercusión, así como la forma de detectarlos. Un ejemplo práctico sería la gestión de una gotera en el tejado de un edificio. En un principio, aparecerán humedades en el techo y las paredes, sucesos denominados como “síntomas” del problema, ya que el problema en sí es la propia gotera o filtración.

Una posible gestión sería centrarse en los síntomas del problema, tapando dichas humedades con una capa de pintura cada vez que aparezcan. Esto haría desaparecer los síntomas, sin embargo, el problema persistiría y los síntomas reaparecerían con el tiempo, solo que las filtraciones podrían llegar a agrandarse, permitiendo un mayor paso de la humedad e incluso la aparición de moho, agravando por lo tanto el problema.

El análisis de causa raíz trata de detectar la raíz del problema y solucionarlo de forma directa, de forma que este no persista ni se agrave.

Otra forma de enfocarlo sería la siguiente. Un proceso productivo que conste de diferentes fases encadenadas, las cuales dependen unas de otras de forma lineal, tiene un fallo en las primeras fases de la línea, dando un subproducto a las siguientes fases defectuoso.

En una fábrica de tabaco, por ejemplo, si en la fase de batido no se separa bien la vena de la hoja de tabaco, en las fases posteriores habría exceso de vena en los tirulos y en los cigarros, por lo que el producto no podría salir al mercado y la fábrica tendría pérdidas.

Los síntomas serían el exceso de vena en todas las fases de la producción, mientras el problema sería un fallo o avería en la batidora.

Si en lugar de atajar el problema, se destinan operarios a extraer la vena de forma manual en cada una de las fases, se estaría perdiendo el tiempo que el tabaco pasa en la máquina de batido, al no realizar esta su función correctamente, y se estaría aumentando el tiempo que un subproducto tarda en pasar a la siguiente fase de la línea, que como ya se ha hablado en el punto 2.1.1., es un tipo de desperdicio que la filosofía Lean trata de evitar, además del coste que supone desviar a los operarios de su tarea en la línea de producción.

Por esta razón, cuanto antes se ataje el problema dentro del proceso productivo, menor desperdicio se producirá y por lo tanto menores pérdidas. Así pues, la mejor gestión sería buscar la raíz del problema y solucionarlo atajando las causas de este.

Para realizar esta tarea de análisis existen algunas herramientas y métodos útiles, como los “cinco porqués” o el “diagrama de Ishikawa”.

2.3.1. Los cinco porqués (5 whys).

[19]“Los cinco porqués” es una técnica de análisis de causa raíz (RCA) que no requiere un análisis masivo de datos, comprobación de hipótesis, modelos de regresión u otras herramientas avanzadas de análisis estadístico.

Se basa en que formulando de forma reiterada la pregunta “¿Por qué?” es posible trascender más allá de los síntomas hasta alcanzar la causa raíz de un problema.

A pesar de llamarse “los cinco porqués”, es posible que para hallar la causa raíz de un problema sean necesarios menos o más de cinco iteraciones de la pregunta “¿por qué?” y su funcionamiento se respalda en la premisa de que, durante el análisis de un problema, la respuesta al porqué de un síntoma tiende a llevar a la necesidad de preguntar de nuevo.

Los principales beneficios de esta técnica son los siguientes:

- Ayuda a identificar la causa raíz de un problema.
- Permite definir la relación entre las diferentes posibles causas raíz de un problema.

- Se trata de una técnica de aplicación simple, ya que no requiere el uso de herramientas de análisis estadístico complejas.

Esta herramienta tiende a tener una mayor utilidad en el análisis de problemas en los que interviene el ser humano o en problemas de carácter cotidiano.

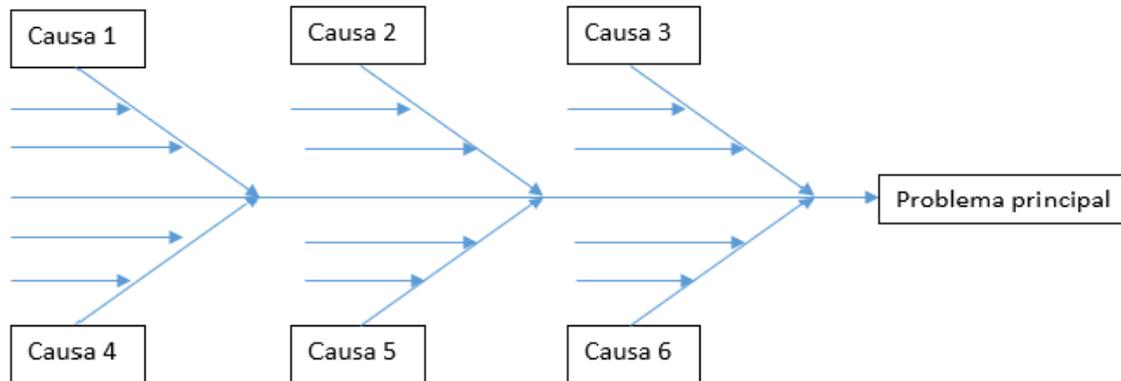
La aplicación satisfactoria de esta técnica consta de cuatro pasos:

- En primer lugar, debe escribirse el problema específico que se va a analizar. La razón es que escribirlo resulta de ayuda para poder describirlo claramente, además de facilitar la coordinación y concentración de un grupo de personas sobre dicho problema, en caso de aplicar la técnica de forma grupal.
- Preguntar el porqué del problema y escribir la respuesta justo debajo del problema, escrito en el paso anterior.
- Si la respuesta que se ha escrito en el paso dos no identifica la causa raíz del problema escrito en el paso uno, será necesario volver a preguntarse el porqué y de nuevo, tal y como se hizo en el paso dos, escribir la respuesta justo debajo de la respuesta que se dio previamente.
- Por último, debe repetirse el paso tres hasta que la persona o el grupo encargados del análisis llegue a la conclusión de que ha encontrado la causa raíz del problema. Como ya se ha mencionado, este proceso puede conllevar más o menos iteraciones en función del problema.

2.3.2. Diagrama de Ishikawa.

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pez o diagrama de causa efecto, fue desarrollado por Kaoru Ishikawa, quien fue un experto en control de calidad que se dedicaba a la administración de empresas, además de ser un reconocido químico industrial japonés, ganador de la medalla Shewhart en el año 1982 (reconocimiento anual por parte de la *American Society for quality* por el desarrollo e implantación de teorías, principios y técnicas de control de calidad).

El diagrama de Ishikawa tiene el siguiente aspecto:



6 "Diagrama de Ishikawa". (Elaboración propia).

Para explicar su funcionamiento, se divide el diagrama en distintas secciones o partes:

- En primer lugar, la "cabeza del pez", es decir, el recuadro del extremo derecho. En él debe escribirse el problema que se va a analizar.
- Los recuadros de la parte exterior del diagrama deben contener las principales causas del problema en cuestión y van unidos a la espina principal, o flecha principal horizontal, mediante flechas diagonales que representan la relación causal de estas causas y el problema.
- Las flechas horizontales que apuntan a las diagonales sirven para escribir "sub-causas" dentro de las causas principales, representando la causalidad con la causa principal mediante dichas flechas horizontales.

Estas causas secundarias categorizadas dentro de las causas principales suelen definirse mediante el uso de la técnica de los cinco porqués.

- Por último, la espina principal representa la relación entre todas las causas y "sub-causas" con el problema objeto de análisis.

[20]La eficacia del diagrama de Ishikawa se ve reforzada al usarse acompañada de una tormenta de ideas reuniendo a un equipo cuyos componentes tengan una diferente perspectiva o punto de vista respecto al problema.

2.4. Indicadores clave del rendimiento.

Los indicadores clave del rendimiento, también conocidos como “KPI” (Key performance indicator), son medidas cuantificables que se usan para determinar la efectividad o el rendimiento de un proceso.

Son diferentes dependiendo del tipo de proceso o del modelo de negocio al que se aplican, incluso existiendo algunos KPIs predeterminados en algunos de ellos, aunque lo verdaderamente importante es el uso inteligente de ellos para medir los valores de aquellos factores o indicadores que resultan ser críticos y esenciales para el éxito de la compañía.

Cada KPI debe atender un propósito específico del negocio y debe poder medirse su valor o cuantificarse para poder sacar provecho de su uso marcando unos objetivos que deben conseguirse mediante el correcto funcionamiento del proceso o mediante la mejora del mismo, que pueden suponer desde una mejora del valor del propio KPI hasta una mejora o acortamiento del tiempo necesario para alcanzar la cuantía objetivo del KPI.

[21] Hay que tener en cuenta algunos aspectos del uso de los KPIs:

- Si el negocio que intenta implementar el uso de KPIs no tiene una estrategia o unos objetivos del todo claros, sus KPIs tenderán a medir resultados económicos, lo que suele desembocar en un desequilibrio del proceso.
- Algunos KPIs pueden ser muy importantes para algunos sectores o áreas de la empresa y resultar irrelevantes para los otros, pudiendo generarse conflictos de intereses entre departamentos que deberían evitarse en la medida de lo posible.
- Para medir los KPIs es necesario que las personas que trabajan en las diferentes partes del proceso den parte del desempeño de sus funciones. Si los datos son erróneos o incompletos no podrá medirse adecuadamente el valor correspondiente a los KPIs.

Es muy importante revisar regularmente los factores que componen el análisis de KPIs, así como el sistema mediante el cual se recogen los datos para su medida.

Algunos beneficios del uso de los KPIs son:

- Visibilizan el esfuerzo y la calidad del desempeño. Si se colocan, por ejemplo, pizarras con los resultados del seguimiento de los KPIs de forma que cualquiera pueda verlos,

será fácil saber lo bien o mal que cada uno está desarrollando su función dentro del proceso, lo que puede resultar motivador.

- Ayuda a focalizar la atención de los trabajadores. Al conocer aquello que se va a medir es más fácil saber en qué centrarse para obtener una buena puntuación.
- Mantiene claras las expectativas. Al priorizar una pequeña cantidad de objetivos con un valor numérico, se sabe de forma exacta lo que se espera del trabajador, eliminando además cualquier ambigüedad en la asignación de tareas laborales.
- Aporta objetividad en la evaluación de un empleado, ya que obteniendo una medida numérica exacta en lugar de indicar lo duro que ha trabajado indica los logros y el éxito obtenido.
- Mejoría en la ejecución de las distintas tareas.
- Promueven la consistencia en el desempeño al realizar un seguimiento continuado.
- Se obtienen datos claros y concisos a evaluar por parte de los managers que bien pueden servir para tomar decisiones que influyan en la relación con clientes y el producto que se demanda.
- Ayuda a comprender el proceso y sus partes, así como las razones de su correcto o incorrecto funcionamiento.

Además del uso de cifras exactas para la medida de los distintos KPIs, es común el uso de escalas de color que clasifican el resultado de los KPIs de la siguiente forma:

- Verde. El resultado es favorable, por encima de la expectativa.
- Amarillo. El resultado es aceptable, se considera en la expectativa o lo mínimamente tolerable.
- Rojo. El resultado es inaceptable, se sitúa por debajo de la expectativa y por lo tanto requiere atención urgente para obtener una solución cuanto antes.

De esta forma, la comprensión del desempeño es mucho más fácil de comprender, ya que con un vistazo puede extraerse la información que uno necesita para volcar su atención sobre aquellas partes del proceso que necesitan un empujón o que están causando problemas en el rendimiento general del proceso.

Algunos de los KPIs que comúnmente se utilizan en la producción son: [22]

- Cantidad de producto: es esencial mantener la cuenta de lo que se produce y puede hacerse por periodos, por ejemplo, por turno o por semanas. Muchas compañías realizan comparaciones en la producción de cada trabajador para fomentar un espíritu competitivo que beneficie al proceso productivo.
- Ratio o porcentaje de rechaces: Todos los procesos producen desperdicios o rechaces, producto defectuoso, y se mide en ratio de rechaces. Minimizar esta ratio es beneficioso y mantener el control sobre él ayuda a establecer los objetivos.
- Velocidad: Las máquinas y los procesos trabajan a velocidad variable. Una velocidad baja suele suponer pérdidas en producción, mientras una alta velocidad desemboca en un pobre control de calidad, por lo que es importante trabajar en la consistencia y la constancia de la velocidad del proceso.
- Objetivos: Marcar valores objetivo para velocidad, producción, calidad... ayuda a conocer los objetivos específicos del desempeño para que los trabajadores procuren no salirse de ellos.
- Tiempo de espera (Takt time): como se mencionó previamente, se trata del tiempo de espera desde la finalización de un producto o subproducto hasta el comienzo del siguiente. Al monitorizar este KPI es fácil para los trabajadores identificar posibles cuellos de botella en el proceso.
- “Overall Equipment Effectiveness” (OEE): Indica la eficiencia del uso de las máquinas y del desempeño de los trabajadores. Se trata de uno de los indicadores más importantes y un valor alto siempre significa una buena eficiencia. Suele medirse a través de distintos factores que componen el proceso, como tiempo de avería o tiempo dedicado a la limpieza de la máquina.
- Tiempos de parada: Tiempo durante el cual la máquina se encuentra parada sin añadir valor al producto. Es también un KPI de vital importancia. Las máquinas fuera de funcionamiento no producen dinero, por lo que reducir el valor de este KPI es muy importante para aumentar el beneficio de la producción. Las organizaciones que hacen un seguimiento de este KPI requieren que los operarios plasmen de alguna forma las paradas producidas por la máquina y las razones de estas paradas en algún

tipo de documento que informe a los encargados de la producción. Normalmente se establecen códigos para las causas más habituales de forma que pueden ser revisadas con una menor urgencia.

2.5. Máquinas o partes del proceso sujetos a análisis.

Como se especificó en el punto 1.1., el proceso de producción se divide en las siguientes fases:

- Batido.
- Prensado.
- Tirulado.
- Liado.
- Corte.
- Envasado.

De entre estas seis fases, sólo cuatro serán objeto de análisis, ya que son en la que los operarios intervienen en mayor medida, siendo batido y prensado procesos casi completamente automatizados.

Por lo tanto, se estudiará a fondo el estado de las fases de tirulado, liado, corte y envasado.

A diario se realizan controles SIC en cada una de las máquinas de estas fases. Son folios de tamaño A4 divididos en dos partes. En la parte superior, el operario debe indicar la producción de subproducto obtenida en franjas de una hora, así como el subproducto defectuoso. Lo hará marcando un aspa en una tabla preconfeccionada con distintas cantidades en función de la máquina y en dicha tabla estarán marcados los valores objetivo tanto de producción como de este desperdicio.

Estos valores objetivos se revisan cada año basándose en el OEE medio obtenido durante el año fiscal anterior, la posible variación de la velocidad de la máquina para el año corriente respecto a la que registró durante el año fiscal anterior y al porcentaje de producto defectuoso.

La parte inferior consta de una tabla en la que deberán introducirse mediante el uso de aspas los valores referentes a:

- Tiempo invertido en el arranque de la máquina.
- Tiempo de avería.
- Tiempo de espera del mecánico.
- Tiempo de falta de material.
- Tiempo de falta de personal.
- Tiempo de limpieza de la máquina y del lugar de trabajo.
- Tiempo de formación.
- Tiempo de cambio de labor.

Cada uno de estos apartados tiene ocho recuadros, un por hora que dura la jornada laboral, y cada uno de estos recuadros están a su vez divididos en doce recuadros, representando cada uno de estos un periodo de tiempo igual a cinco minutos.

Esto significa que cualquier incidencia con una duración inferior a cinco minutos no puede ser introducida en el parte por el operario, sin embargo, debajo de estos recuadros se coloca un espacio destinado a que el operario informe en el caso de que alguna incidencia de dichas características se produjera de forma reiterada entorpeciendo el proceso productivo.

Todas estas pequeñas paradas inferiores al periodo establecido de cinco minutos componen lo que llamamos "Speed Loss", ya que de alguna forma representan una disminución en la velocidad de producción, aunque no reduzcan la velocidad de funcionamiento de la maquinaria del taller.

En un principio se hará un estudio general de cada una de las cuatro fases mencionadas anteriormente gracias a la información que se recoge en los partes y se introduce en una base de datos después de cada turno de trabajo. Se analizarán los tiempos de espera, el OEE, el Speed Loss... y se identificarán aquellas fases que representen un cuello de botella para el proceso.

Una vez identificadas, se hará un análisis por máquina con el objetivo de encontrar la causa raíz de estos cuellos de botella.

Para la recogida de estos datos, se aplicarán técnicas como "el diagrama de espagueti" o "diagramas de Pareto".

2.5.1. Diagrama de Espaguete

Es una técnica de representación visual del flujo físico de personas, información, materiales... en un proceso. Para elaborarlo es necesario, en primer lugar, obtener un mapa, ya sea físico o conceptual, del lugar de trabajo o de las distintas acciones a realizar en esa parte del proceso. Sobre este mapa, se dibujan los distintos movimientos del objeto de análisis mediante el trazo de líneas en un periodo de tiempo o ciclo de trabajo, comprendiendo el ciclo de trabajo como el tiempo transcurrido mientras se produce una unidad de producto.

Pueden distinguirse distintos elementos, como un trabajador y uno de los elementos que se manipulan, mediante el uso de líneas de distinto color en el mismo diagrama.

[23] Gracias a este análisis es posible identificar movimientos poco eficientes o el uso innecesario de espacios que entorpecen el desarrollo de la acción, incluso identificar el exceso de personal en un área de trabajo o la distribución inadecuada del espacio de trabajo.

Más adelante se mostrarán algunos de estos diagramas realizados y aplicados a diferentes áreas de trabajo, ya que el tiempo que se pierde en los movimientos ineficientes realizados durante las diferentes tareas que un operario debe ejecutar a lo largo de su turno de trabajo supone una parte importante del Speed Loss, de forma que la mejora de este aspecto debe traer como consecuencia una reducción de este desperdicio o "Waste".

2.5.2. Diagrama de Pareto

[24] Se atribuye el origen del diagrama de Pareto al Dr. Joseph Juran, quien bautizó como Pareto a este diagrama en honor a un economista italiano llamado Vilfredo Pareto (1848-1923), quien realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza en el que descubrió que la menor parte de la población poseía la mayor parte de la riqueza y que la mayoría de la población poseía, a su vez, la menor parte de la riqueza, estableciendo la Ley de Pareto, que afirma que la desigualdad económica es inevitable en cualquier sociedad.

El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que hoy se conoce como la regla 80/20. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas solo resuelven el 20% del problema.

Por lo tanto, el diagrama de Pareto tiene como objetivo identificar y separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los más triviales de forma que se facilite la focalización del esfuerzo en los más importantes.

El procedimiento para la realización de un diagrama de Pareto es el siguiente:

- Seleccionar categorías lógicas para el tópico de análisis identificado (incluir el periodo de tiempo).
- Reunir datos.
- Ordenar los datos de la mayor categoría a la menor.
- Calcular el porcentaje del total que cada categoría representa.
- Trazar los ejes horizontales (x) y verticales (y primario -y secundario).
- Trazar la escala del eje vertical izquierdo para frecuencia.
- De izquierda a derecha trazar las barras para cada categoría en orden descendente. Si existe una categoría "otros", debe ser colocada al final, sin importar su valor.
- Trazar la escala del eje vertical derecho para el porcentaje acumulativo, comenzando por el 0 y hasta el 100%.
- Trazar el gráfico lineal para el porcentaje acumulado, comenzando en la parte superior de la barra de la primera categoría (la más alta).
- Dar un título al gráfico, agregar las fechas de cuando los datos fueron reunidos y citar la fuente de los datos.
- Analizar la gráfica para determinar los "pocos vitales".

El resultado final debería ser un gráfico de barras descendentes con las categorías ordenadas de mayor a menor valor de izquierda a derecha en el que se puede observar una diferencia evidente en el valor de las barras a partir de la categoría "x", siendo esta categoría una de las situadas más a la izquierda del gráfico.

A su vez, un gráfico lineal ascendente que parte desde la barra situada más a la izquierda del gráfico y que alcanza el valor del cien por ciento en la barra situada más a la derecha. Este porcentaje representa el impacto acumulado de las distintas categorías sobre el problema,

siendo por lo tanto la primera categoría la de mayor impacto sobre el problema, al poder considerarse la causa principal del mismo.

Se incluirán algunos diagramas de Pareto en la memoria del proyecto realizado.

3. Estrategia de actuación.

Tal y como queda explicado en el punto 1.2. el objetivo general de este proyecto es ayudar a conseguir un incremento del beneficio y la competitividad mediante la reducción de costes y mantener esa competitividad en el futuro de forma sostenible.

Además, como también se indicó en el punto 1.2., la visión de la compañía está basada en el “focus five”, siendo uno de los focos de atención la sostenibilidad. Para la mejora de este aspecto, se tomarán medidas con los valores del OEE y del porcentaje de desperdicios o waste, siendo el objetivo concreto mejorar el OEE en un siete por ciento y reducir el porcentaje de waste en un tres por ciento durante el transcurso del año fiscal.

Antes de decidir cómo proceder, se realizó un análisis de línea para un formato de producto llamado F12.

Se pudo observar en el análisis un valor añadido realmente bajo y un tiempo de inventario demasiado elevado. Se planteó el objetivo de reducir este tiempo de inventario. Para ello, se siguieron los siguientes pasos en un proyecto previo al que trata este trabajo:

- Colocar un supermercado que funciona mediante tarjetas kanban entre las fases de tiruleras y liado con un stock mínimo de seguridad de 1 día debido a que la tirulera, por su baja OEE, es un proceso más lento.
- La fase de liado es el marcapasos por lo que sólo se planifica esta fase.
- Entre la fase de Liado y el resto se funciona mediante FIFO (First In, First Out). Método de gestión de inventario, que como su propio nombre indica, se basa en dar salida o vender en primer lugar aquellos productos o subproductos que lleven más tiempo en stock).
- Por último, se pone sobre la mesa la necesidad de trabajar en las fases más lentas (tiruleras y envasado) para mejorar el OEE, lo que desembocó en el proyecto de reducción de Speed Loss.

Los resultados fueron bastante positivos:

- Aumento del valor añadido.
- Reducción del tiempo de inventario considerable.

Estas medidas supusieron un cambio importante, pero aún era necesario producir una mejora del OEE para cumplir con los objetivos.

3.1. Metodología del proyecto.

Para la realización del proyecto de reducción de Speed Loss se utiliza una estructura conocida como el “Ciclo DMAIC”, además de muchos de los conceptos explicados anteriormente, por lo que se hará referencia a ellos con frecuencia.

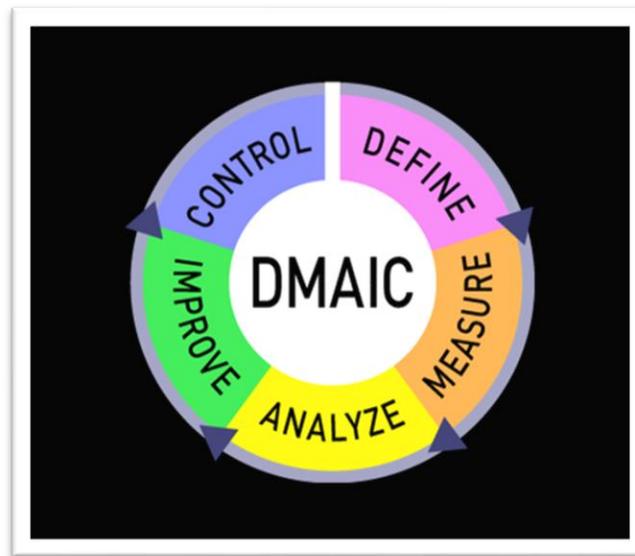
3.1.1. Ciclo DMAIC.

El ciclo DMAIC se compone de cinco fases que forman el proceso de implementación de “six sigma”.

[25]Sus fases son las siguientes:

- Define (definir): Definir quién es el cliente, los productos y servicios que solicita, así como sus expectativas. También debe definirse el comienzo y el final del proyecto y las posibles mejoras.
- Measure (medir): Desarrollar un plan de recogida de datos para el proceso, recogida de datos de la mayor cantidad de fuentes posible para determinar distintos tipos de defectos y medidas y realizar una comparación con las expectativas del cliente.
- Analysis (análisis): Identificar las diferencias entre los datos actuales de desempeño y los objetivos planteados, identificar aquellas oportunidades para mejorar y convertirlas en prioridad e identificar aquellos aspectos que pueden cambiar con facilidad.
- Improve (mejora): Crear iniciativas de mejora innovadoras mediante el uso de tecnología y disciplina o aprendizaje para proceder a su desarrollo e implementación.
- Control (control): Prevenir cualquier posibilidad de revertir la situación una vez mejorado el proceso mediante el desarrollo, documentación e implementación de un plan de monitorización del proceso y finalmente institucionalizar los cambios

producidos mediante los cambios pertinentes en los sistemas y estructuras (personal, formación, incentivos...).



7" Ciclo DMAIC". Fuente: neodatameat.com

Este ciclo está destinado a la mejora continua de procesos y procedimientos, que es, al fin y al cabo, de lo que trata el proyecto, y que constará de las siguientes cinco fases:

- Definir el problema y el proceso y alinear con las necesidades, deseos y expectativas de los clientes.
- Medir y recoger información del desempeño y eficiencia actual del proceso, desde varios puntos de vista, con el fin de enfocar el problema.
- Analizar para identificar y determinar los defectos o conflictos que conducen al problema enfocado.
- Mejorar o implementar medidas que resuelven estos conflictos y optimizan el proceso.
- Controlar el nuevo proceso implantado con el fin de mantener y sostener los beneficios obtenidos.

3.1.2. Six Sigma.

[26] Se trata de un método de trabajo para la reducción de defectos en fábrica. Fue inventado e implementado por Bill Smith en Motorola, en el año 1986, recibiendo por ello en 1988 el prestigioso "Malcolm Baldrige National Quality Award".

Posteriormente, la empresa General Electric mejoró y popularizó este método.

Aunque su más conocido antecedente, TQM (Total Quality Management), tenía una elevada complejidad en cuanto a comprensión e implementación, el método six sigma se caracteriza por ser simple, ya que se rige por el ciclo DMAIC, desglosado en el punto 3.1.1.

[27]Sigma, la letra griega, se usa en estadística para medir la variabilidad o varianza de un proceso o suceso cualquiera. El desempeño de una compañía puede medirse a través del valor que tiene sigma en sus procesos productivos. Tradicionalmente, las compañías aceptaban un valor de sigma de entre tres y cuatro, mientras que “Six Sigma” propone un estándar de seis, lo que produce una reducción significativa en los costes correspondientes a la variabilidad del proceso.

3.2. Memoria del proyecto.

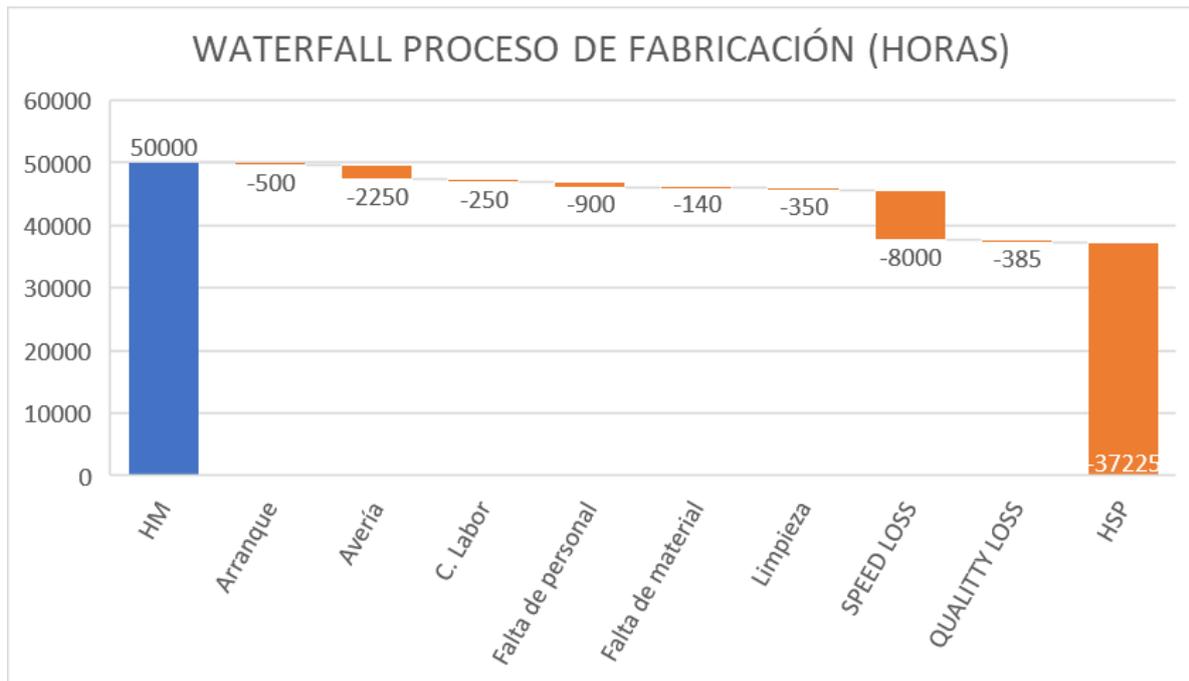
3.2.1. Primera fase: Definir.

Descripción del problema.

El proyecto nace a partir de la obtención del mapa del flujo de valor del formato F12, mostrado en el punto 3, donde al analizar el bajo OEE de estas máquinas se observa que, según el gráfico de cascada o “Waterfall” de OEE, el mayor peso de pérdida de tiempo que experimentan es debido al Speed Loss. Es decir, dentro del tiempo que se considera como tiempo de valor no añadido para el producto, la categoría de Speed Loss o “microparadas” tiene un impacto considerablemente mayor sobre el OEE que cualquiera de las demás categorías.

En esta categoría se encuentran las pérdidas debidas a velocidades inferiores a la velocidad nominal y a las denominadas “microparadas” (paradas de menos de 5 minutos).

Con la extensión del análisis a otras máquinas se observa que es la mayor causa de pérdida de OEE en la fábrica y no sólo la mayor causa de pérdida de OEE de entre las categorías correspondientes a “tiempo de valor no añadido” para el producto:



8"Waterfall del proceso de fabricación". (Elaboración propia).

Definir qué máquinas afectan al 80% del tiempo de Speed Loss.

Se tomó en cuenta el conjunto de datos recogido para cada una de las máquinas de las diferentes áreas y se observó que la distribución era la siguiente:

- Tiruleras: nueve máquinas.
- Liado: cinco máquinas.
- Corte: siete máquinas.
- Envasado: catorce máquinas.

En resumen, sumando el porcentaje de Speed Loss de estas máquinas se obtiene un valor del 80% de cada fase, y se decide trabajar sobre estas máquinas, habiendo identificado esa minoría de la que hablaba la teoría de Pareto, explicada en el punto 2.5.2., que representa el impacto mayoritario sobre el problema de la línea de producción.

Establecer objetivos de OEE y Speed Loss.

El OEE queda directamente ligado al Speed Loss de forma que cuando el Speed Loss se reduce el OEE aumenta. Es simple, ya que el Speed Loss supone tiempo en el que el producto no obtiene valor añadido, por lo que al reducirlo se puede aumentar la producción en un mismo

periodo de tiempo o reducir el periodo de tiempo en el que se fabrica una misma cantidad de producto.

En esta etapa se estableció para cada una de las máquinas seleccionadas en la etapa anterior, las que sumaban el 80% de Speed Loss en cada fase, un “base line” de Speed Loss sobre las horas máquina (tiempo total de funcionamiento de las máquinas) para cada una y un objetivo que se fijó en una reducción de este “base line” en un 10%. Cada una de las máquinas tiene los siguientes “base line” y valor objetivo.

Tiruleras			Liado			Corte			Envasado		
Tirulera 9	31,38%	28,53%	Liadora 6	13,91%	12,64%	Cortadora 20	27,43%	24,94%	Envasadora 1	30,20%	27,46%
Tirulera 19	20,32%	18,47%	Liadora 2	13,27%	12,06%	Cortadora 9	33,63%	30,57%	Envasadora 2	32,30%	29,36%
Tirulera 14	19,17%	17,43%	Liadora 5	19,95%	18,14%	Cortadora 5	17,69%	16,08%	Envasadora 3	48,34%	43,95%
Tirulera 10	40,53%	36,84%	Liadora 8	16,05%	14,59%	Cortadora 11	43,22%	39,29%	Envasadora 4	35,00%	31,82%
Tirulera 3	33,07%	30,06%	Liadora 3	18,80%	17,10%	Cortadora 19	33,40%	30,36%	Envasadora 5	41,00%	37,27%
Tirulera 8	65,00%	59,10%				Cortadora 18	13,54%	12,31%	Envasadora 6	49,22%	44,75%
Tirulera 18	18,15%	16,50%				Cortadora 6	20,38%	18,53%	Envasadora 7	19,26%	17,51%
Tirulera 12	26,41%	24,01%							Envasadora 8	23,17%	21,06%
Tirulera 20	23,44%	21,31%							Envasadora 9	33,49%	30,44%
									Envasadora 10	37,36%	33,97%
									Envasadora 11	40,15%	36,50%
									Envasadora 12	41,48%	37,71%
									Envasadora 13	34,60%	31,45%
									Envasadora 14	31,41%	29,46%

1"Base line y target". (Elaboración propia).

El valor fijado como “base line” corresponde al valor de Speed Loss dividido por las horas máquina y multiplicado por 100, por lo que el valor objetivo correspondería al respectivo valor en cada máquina de su base line menos el 10% de ese mismo base line:

$$\%Base\ line = \frac{Speed\ Loss}{H.M.} \cdot 100$$

1"Ecuación Base Line

$$\%Valor\ objetivo = \%Base\ line - (0.1 \cdot \%Base\ line)$$

2"Ecuación Valor Objetivo"

De forma indirecta, al establecer un objetivo en el Speed Loss, se está estableciendo un objetivo en la variación del OEE de cada una de las máquinas y, por lo tanto, en la variación del OEE de la línea de producción al completo.

El incremento de OEE producido por la reducción en un 10% de la base line de Speed Loss queda reflejado en la siguiente tabla para cada una de las máquinas en las que se centra el proyecto:

Tiruleras			Liado			Corte			Envasado		
Tirulera 9	49,25%	50,70%	Liadora 6	81,18%	82,22%	Cortadora 20	62,05%	63,63%	Envasadora 1	58,74%	60,39%
Tirulera 19	58,05%	59,15%	Liadora 2	80,87%	81,85%	Cortadora 9	52,55%	54,20%	Envasadora 2	52,21%	53,78%
Tirulera 14	61,92%	63,02%	Liadora 5	68,60%	69,87%	Cortadora 5	69,80%	70,94%	Envasadora 3	33,28%	34,81%
Tirulera 10	39,15%	40,65%	Liadora 8	74,46%	75,56%	Cortadora 11	51,22%	53,31%	Envasadora 4	41,01%	42,36%
Tirulera 3	46,74%	48,19%	Liadora 3	73,18%	74,45%	Cortadora 19	51,63%	53,25%	Envasadora 5	34,30%	35,63%
Tirulera 8	84,60%	85,11%				Cortadora 18	73,34%	74,26%	Envasadora 6	33,80%	35,38%
Tirulera 18	59,13%	60,12%				Cortadora 6	69,69%	71,00%	Envasadora 7	71,94%	73,22%
Tirulera 12	57,69%	59,11%							Envasadora 8	54,73%	55,91%
Tirulera 20	55,79%	57,00%							Envasadora 9	48,67%	50,20%
									Envasadora 10	49,82%	51,57%
									Envasadora 11	38,93%	40,41%
									Envasadora 12	37,88%	39,36%
									Envasadora 13	38,10%	39,33%
									Envasadora 14	45,50%	46,88%

2"Variación del OEE por reducción de Speed Loss". (Elaboración propia).

Por otra parte, se determina el impacto que el aumento de OEE en cada área supone sobre el OEE de la fábrica.

- La mejora de la fase de tiruleras provocaría un aumento de 1,2% sobre el OEE global.
- La fase de liado un 1% sobre el OEE global.
- Las fases de corte y envasado supondrían un aumento de un 1,8% cada una sobre el OEE global.

Por lo tanto, se estima, con este proyecto, obtener una mejora aproximada del 5,8% de OEE en la fábrica, lo que supondría un gran avance dentro de los objetivos de mejora de OEE en el año fiscal corriente, como ya se mencionó al principio del punto 3.

Estimación del beneficio económico del proyecto.

De la misma forma que podemos relacionar la reducción del Speed Loss en las máquinas de planta con el aumento del OEE del proceso productivo, puede relacionarse este aumento del OEE con una variación positiva en los beneficios económicos de la fábrica, que por otra parte se vería afectada por una evidente reducción del consumo.

Teniendo en cuenta estos factores y la cantidad de personal de cada máquina, se puede estimar un beneficio económico correspondiente a la implementación del proyecto debido al potencial aumento de producción aplicando los mismos costes o reduciendo los costes y manteniendo la producción actual de la fábrica intacta.

Orden de actuación y formación de equipo de proyecto.

Con los datos recogidos en este punto se decidió que la mejor forma de proceder sería interviniendo en primer lugar en las máquinas cuyo Speed Loss tenía un mayor impacto sobre

el OEE de la fábrica. Además, se formó un equipo encargado de dirigir el proyecto que constó de cuatro personas, las cuales se encargaron de realizar el “Project charter” y el plan de actuación, además de presentárselo a todos aquellos que fueran a verse implicados a lo largo del proceso.

Un “Project Charter” o acta de constitución de un proyecto es un documento que [28]autoriza formalmente un proyecto o una fase y en documentar los requisitos iniciales que satisfacen las necesidades y expectativas de los interesados.

Este documento requiere ser aprobado por: espónsor, grupo de revisión de proyecto, gerente de proyecto, gerente de calidad y todo aquel que tomara decisiones en el desarrollo del proyecto. De forma que todas las decisiones serán consensuadas y las consecuencias podrán ser asumidas por todos, dando a conocer a todos los involucrados los riesgos que están en juego.

El cuerpo de un acta constitutiva contiene las siguientes secciones:

- Sección 1: descripción del proyecto.
- Sección 2: responsables del proyecto.
- Sección 3: organización del proyecto.
- Sección 4: puntos de contacto.
- Sección 5: glosario.
- Sección 6: historial de revisiones.
- Sección 7: anexos.

La correcta elaboración de este documento es importante porque, de no ser así, puede provocar el fracaso del proyecto o un incremento importante de los costes de este.

3.2.2. Segunda fase: Medir.

Medir las velocidades reales de las máquinas y posibles cuellos de botella en las líneas.

En primer lugar, se tomó medida de la velocidad real de las máquinas a estudiar con objetivo de determinar qué porcentaje del Speed Loss se debía a un funcionamiento de las máquinas a una velocidad reducida o por debajo de la nominal y qué porcentaje de Speed Loss pertenecía a microparadas. Además, conocer las velocidades de funcionamiento de las

máquinas permite identificar posibles cuellos de botella que quizá no se hubieran contemplado previamente. En cuanto a los posibles cuellos de botella, existía un especial interés en las máquinas de envasado, ya que era (y es) la etapa más lenta del proceso.

Para medir las velocidades se realizó un estudio R&R, en primer lugar, para comprobar que el sistema de medición era aceptable. Al determinar las velocidades se utilizaron tres operadores con tres pruebas de diez repeticiones cada una.

Un estudio “R&R” es un estudio de repetibilidad y reproducibilidad y se realiza en sistemas de medición para determinar si son fiables.

Minitab, uno de los programas con mayor reconocimiento en la actualidad en el análisis estadístico, define los análisis R&R en su página de soporte de la siguiente forma:

[29]” Un estudio R&R del sistema de medición le ayuda a investigar:

- Repetibilidad: Qué tanto de la variabilidad en el sistema de medición es causada por el dispositivo de medición.
- Reproducibilidad: Qué tanto de la variabilidad en el sistema de medición es causada por las diferencias entre los operadores.
- Si la variabilidad del sistema de medición es pequeña en comparación con la variabilidad del proceso.
- Si el sistema de medición es capaz de distinguir entre partes diferentes.

Por ejemplo, varios operadores miden el diámetro de los tornillos para asegurarse de que cumplan las especificaciones. Un estudio R&R del sistema de medición indica si los inspectores son consistentes en sus mediciones de la misma parte (repetibilidad) y si la variación entre los inspectores es consistente (reproducibilidad)”.

En otras palabras, se miden la repetitividad y la reproducibilidad de un sistema de medida, siendo estas los componentes de precisión de este. La repetibilidad es una variación que causa el dispositivo, mientras la reproducibilidad es una variación causada por el propio sistema de medición.

Una vez realizado este estudio, el paso siguiente consistió en identificar máquina por máquina el porcentaje de Speed Loss de cada uno de los dos tipos, por microparadas y por funcionamiento a velocidad reducida, como se indicó previamente, para posteriormente

priorizar y establecer un plan de “Line Studies” o estudios de línea, así como pruebas de incremento de velocidad.

Esto resulta tan sencillo como comparar la velocidad a la que se supone que la máquina debe funcionar con la velocidad medida anteriormente, calcular el tiempo perdido por la diferencia de velocidad y compararlo con el Speed Loss total de la máquina.

Llegados a este punto, se realizaría una reunión a la que deben asistir todos los componentes del “Project Charter” y los jefes de línea de los dos turnos, en la que se decidiría establecer un KPI para el Speed Loss de forma que pudiera hacerse un seguimiento diario en las reuniones de cada turno de producción.

Este momento es destacable porque de alguna forma marca un antes y un después en el proyecto. Los jefes de línea se reúnen al comienzo de cada turno con los operarios correspondientes a su sección brevemente para recordar los KPIs diarios, comunicar algunas decisiones tomadas por la directiva y otros aspectos a tener en cuenta en la jornada laboral. Después de esta reunión todos los operarios estarían al día del proyecto y podrían comenzar a hacer hincapié en aquellos sucesos o elementos que afectasen al Speed Loss de las máquinas en las fichas de control de eficiencia de cada máquina y turno.

Realización de “Line Studies” para la detección de microparadas.

Con los datos acumulados tras el seguimiento del Speed Loss de cada máquina, además de sus distintas causas, se elaborarían estudios de línea con los que fuese posible determinar los distintos tipos de microparadas en cada máquina y sus tiempos correspondientes.

Esto permitiría realizar el análisis correspondiente a la siguiente fase o etapa del proyecto.

Sin embargo, no fue necesario llegar a la fase de análisis para descubrir que el mayor porcentaje de paradas se debía al atasco reiterado de tubos en las máquinas.

Realizar diagramas de espaguetti para detectar movimientos que produzca un incremento en las microparadas.

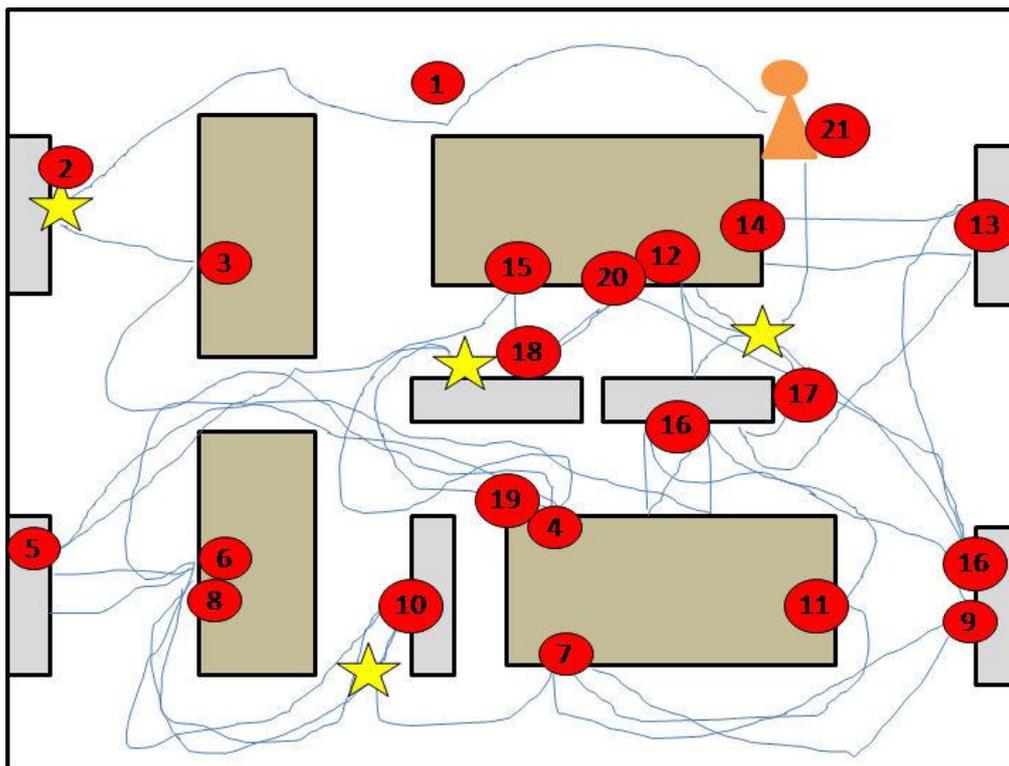
Una vez observado el abanico de causas de las microparadas se decidió comprobar en qué medida una posible falta de optimización en la distribución del área de trabajo de cada

máquina podía agravar o incrementar el tiempo que el operario dedicaba a volver a poner en marcha la máquina.

Para ello, se elaboraron los diagramas de espagueti. Como se expuso en el punto 2.5.1., es una técnica de análisis gráfico o visual de posibles ineficiencias en movimiento de objetos, personas o incluso información.

Dichos movimientos se representan mediante líneas sobre un mapa, físico o conceptual, dependiendo del tipo de área a analizar.

En este caso, se imprimieron mapas de las distintas áreas de trabajo de la fábrica correspondientes a las máquinas consideradas objeto de estudio, y varias personas se encargaron de acudir a dicho área de trabajo acompañando al operario o los operarios destinados a trabajar en el puesto dibujando mediante trazos sus movimientos a lo largo de la jornada de trabajo.



9" Ejemplo diagrama de espagueti". Fuente: pdcahome.com

De esta forma, se descubrió que, efectivamente, la distancia que el operario debía recorrer cada vez que se producía una microparada podía reducirse si se redistribuía el espacio de trabajo, sin embargo, no corresponde a esta etapa del proyecto el análisis de datos.

Realización de pruebas en las máquinas que no funcionan a su velocidad nominal.

Antes de comenzar a analizar los datos de las microparadas recogidos hasta el momento, faltaba medir aquella parte del Speed Loss correspondiente al funcionamiento de las máquinas a velocidad inferior a la nominal.

Las pruebas consistieron en poner a velocidad nominal aquellas máquinas cuyo régimen de funcionamiento estaba situado en un nivel reducido de velocidad y tomar datos de lo que ocurría, como sobrecalentamiento o consumo inapropiado.

Con la finalización de esta etapa o subetapa se dio por concluida la fase de medición, dando paso al análisis de los datos recogidos.

3.2.3. Analizar.

En la fase anterior se recogieron datos de cada una de las máquinas, se hicieron estudios de línea, o “Line Studies” y diagramas de espagueti de cada máquina, lo que supuso una cantidad de datos por analizar bastante grande, por lo que fue necesario ordenar el proceso de análisis para enfrentarse a ello.

Se decidió analizar los resultados de cada máquina de forma individual, empezando por aquellas con mayor impacto sobre el OEE.

El análisis consistió en la confección de diagramas de Pareto de los “Line Studies” y ANOVAS, además del análisis de las pruebas de velocidad realizadas en la fase anterior. También se llevaron a cabo análisis de causa raíz, durante los cuales se emplearon técnicas como el “Brainstorming”, diagramas de Ishikawa y los cinco porqués.

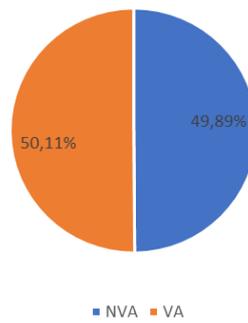
Por último, se realizó un análisis de posibles inversiones, periodo de retorno y viabilidad.

Se mostrarán a continuación los análisis de una de las máquinas para cada una de las cuatro áreas de la producción sometidas al estudio para el proyecto con sus respectivos diagramas de Pareto y otros datos recogidos, y se expondrá un resumen del análisis realizado en el resto de las máquinas, además de un análisis del conjunto total de los datos.

Análisis de la máquina Tirulera 9.

En primer lugar, a partir del estudio de línea se observa un tiempo de valor añadido bastante parejo al de valor no añadido.

Valor añadido Tirulera 9



10"VA vs VNA Tirulera 9". (Elaboración propia).

Dentro de las causas del tiempo de valor no añadido, se realiza una clasificación de mayor a menor valor para elaborar posteriormente un diagrama de Pareto y así realizar una criba de aquellas causas que suponen el 80% del impacto como ya se explicó en el punto 2.5.2.:

- Rotura de mecha: 48,75.
- Atasco de cargador: 31,50.
- Atasco de brazo: 17,00.
- Cambio de bobina: 11,00.
- Vacío de depósito de vena: 1,00.

Tomando el diagrama la siguiente forma:



11"Diagrama de Pareto VNA Tirulera 9". (Elaboración propia).

Se observa que la rotura de mecha y el atasco de los cargadores de bateas son los problemas o causas fundamentales de que el tiempo de valor no añadido sea tan amplio durante el funcionamiento de esta máquina.

La rotura de mecha supone la fabricación de producto defectuoso, por lo que debe ser descartado. Normalmente se produce por una falta o defecto en la aplicación de cola en el papel de TH, que es una capa muy fina de papel, distribuido en bobinas, en la que se envuelve el tabaco.

Por otra parte, el atasco en el cargador de bateas suele producirse al salir los tirulos en una posición inadecuada de la máquina, entrando a la batea de salida torcidos. Es un problema que atrae continuamente la atención del operario, ya que de permitir que los tirulos entren en la batea torcidos podrían terminar por caer al suelo o incluso romperse.

Es decir, cada vez que el operario se da cuenta de que los tirulos no están colocándose correctamente en la batea debe apartarse de su puesto de trabajo, desplazarse hasta el punto de salida de los tirulos, recolocar la batea y volver a su puesto, además de, por su puesto, tener que disgregar su atención para no pasar por alto este problema.

También se realizó un diagrama de espagueti para analizar los movimientos que el operario de la máquina Tirulera 9 realiza y para analizar detenidamente la distribución espacial de su puesto de trabajo.

El diagrama confirmaría que el operario pasaba la mayor parte del tiempo pendiente de los problemas del cargador de bateas, lo que dificultaba de forma considerable dirigir su atención a otras zonas.

Tras el análisis se redactó un resumen con los problemas que causaban el elevado tiempo de valor no añadido en la máquina:

- El inyector de cola se llena de tabaco, lo que produce que se atasque y se rompa la mecha.
- El operario se ve obligado a invertir demasiado tiempo en el cargador de bateas debido a reiterados atascos producidos por la llegada de tirulos torcidos a la salida de la máquina.

- Los atascos en el brazo son debidos a que se produce un desajuste en la velocidad de la cinta de entrada, conocida como "Variomat", y los mecánicos deben regularlo con la máquina en funcionamiento.
- El operario cambia manualmente las bobinas, lo que provoca una pérdida aproximada de 0,38 horas por turno, dicho de otra forma, alrededor de 6500 tirulos por turno, lo que haría que el OEE fuera un 2,5% más elevado, y el Speed Loss un 5% aproximadamente más bajo (valores en las tablas de referencia anteriores).
- La velocidad nominal de la máquina es de 550 rpm, pero está trabajando a velocidad reducida, lo que implica una pérdida aproximada de un 10% del OEE y un aumento de un 11% del Speed Loss.
- Respecto al vaciado del depósito de vena, es completamente necesario. En las fases previas al tirulado, la hoja de tabaco se somete a un tratamiento mediante el que se elimina la vena, sin embargo, en algunas ocasiones la hoja pasa a la siguiente fase del proceso sin haber extraído por completo este elemento, produciendo rechaces en tirulado.

Análisis de la máquina Tirulera 12.

En primer lugar, se obtiene un tiempo de valor no añadido del 29%, lo que representa un porcentaje notablemente menor al de la máquina anterior (Tirulera 9).

Este tiempo de valor no añadido se desglosa de la siguiente forma (diagrama de Pareto en Anexo):

	Tiempo	%
Falta de personal	46,00	44%
Cambio de bobina	21,00	20%
Atasco de mecha	15,50	15%
Quitar cajón de vena	7,50	7%
Atasco de tabaco (brazo)	7,00	7%
Arranque	4,00	4%
Atascos cargador	3,50	3%

3"Tiempo de valor no añadido Tirulera 12 (en minutos)". (Elaboración propia).

De entre estos factores, la falta de personal y el tiempo de arranque no se consideran microparadas.

Las causas del aumento de Speed Loss son, por lo tanto:

- Tiempo invertido en el cambio manual de bobinas.
- Atascos por rotura de mecha (inyector de cola).
- Retirada del cajón de vena.
- Atascos en el brazo, cinta de entrada de Variomat.
- Atascos en el cargador de bateas.

Además, una vez más, se observaría en el diagrama de espagueti que el operario dedicaba la mayor parte de su atención, aunque en este caso siendo menor que en la máquina Tirulera 9, a desatascar el cargador de bateas.

Empezó a plantearse la posibilidad de realizar una inversión en un sistema de cambio automático de bobinas y de limpiado de los cajones de vena, por lo que se calculó el ahorro que supondrían estas medidas teniendo en cuenta que el tiempo invertido en el cambio de bobina y la limpieza manual podría invertirse en aumentar la capacidad de producción de la máquina.

Habría que calcular la cantidad de producto que se elabora en una unidad estándar de tiempo y multiplicarlo por la cantidad de tiempo anual que se invierte en las acciones mencionadas, lo que se traduce en un valor económico, respecto al que se debería tener en cuenta la inversión necesaria para la obtención de los sistemas necesarios para suplir dichas tareas humanas y costes de explotación de estos.

Análisis de la máquina Tirulera 19.

En esta máquina el tiempo de valor no añadido representaba el 30% de las horas máquina, y se desglosaba en las siguientes categorías correspondientes a microparadas (diagrama de Pareto en anexo):

- Atascos por rotura de mecha.
- Atasco del brazo (cinta Variomat).
- Atascos en el cargador de bateas.

Además, en esta máquina se realizaron pruebas de velocidad. Al hacerla funcionar a su velocidad nominal se observó cómo el tiempo de valor no añadido ascendía al 67%, ya que

esto disparaba el tiempo que la máquina pasaba atascada debido a atascos en el inyector de cola.

En el diagrama de espagueti de nuevo se observa cómo el operario dedicaba gran parte de su atención a los atascos en el cargador de bateas.

Análisis de la máquina Tirulera 18.

En este caso el tiempo de valor no añadido correspondía al 34% de las horas máquina y las causas principales eran, con bastante diferencia, la falta de personal, tiempo de avería y tiempo de arranque, categorías que no corresponden a microparadas.

Se observó en uno de los turnos que había serios problemas de atascos en el cargador de bateas, sin embargo, se resolvió de forma rápida al caer en la cuenta de que una de las piezas del cargador estaba desgastada y necesitaba cambiarse.

Esta vez, el diagrama de espagueti, sin tener en cuenta el que se realizó en el turno en el que la pieza del cargador estaba sin cambiar, no mostraba una excesiva atención por parte del operario al correcto posicionamiento de los tirulos en las bateas.

Análisis de la máquina Tirulera 20.

El tiempo de valor no añadido constituía el 50% de las horas máquinas y del mismo modo que la máquina Tirulera 18, la mayor causa era el conjunto de tiempo de falta de personal y tiempo de avería.

Los principales problemas o causas del Speed Loss eran los siguientes:

- Atasco de tabaco en chimenea (alimentación de la máquina).
- Fallo de empalme de bobinas.
- Atascos por rotura de mecha (inyector de cola).

En este caso, el diagrama de espagueti mostraba que no había problemas de atascos en el cargador de bateas, sin embargo, esta máquina tenía un problema de distribución debido a su ubicación en el taller. Se trata de una de las máquinas críticas del proceso de producción, y se encuentra junto a dos envasadoras, fuera del área de tiruleras, de forma que cada vez que es necesaria la presencia de un mecánico o se necesita abastecimiento tanto de repuestos como de materiales, estos deben desplazarse desde el área de tiruleras. La máquina Tirulera 20 es la máquina más cercana al taller de tirulado, sin embargo, el no estar

situada en él requiere que tanto los operarios como los mecánicos realicen mayores desplazamientos en el transcurso de la jornada.

Se encontraron otros problemas, como la presencia de aire en el circuito de cola, lo que favorecía el atasco reiterado del inyector, o una ubicación inadecuada del cajón de rechace.

Después de esto, se decidió comprobar si la ubicación del punto denso del cigarro podía influir en el OEE de la máquina mediante un estudio ANOVA en la aplicación Minitab, cuya página de soporte define este análisis de la siguiente forma:

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

Es decir, un estudio ANOVA sirve para confirmar la correlación de variables en un suceso, en este caso, la repercusión de la variación del punto denso del cigarro en el OEE de la máquina.

Se calcularía el OEE correspondiente al punto denso predeterminado y se realizarían tres réplicas para cuatro valores distintos de punto, en representación de la distancia en milímetros del nuevo punto denso al final del cigarro.

Se muestra un estudio para un caso supuesto con los siguientes datos:

	Réplicas (OEE)		
Punto denso	1	2	3
9	70	72	71
7	73	72	73
5	75	75	74
3	73	72	73

4" Cálculo de OEE en función del punto denso". (Elaboración propia).

Y se realizaría el análisis de varianza, considerando que $P < 0.05$ se considera significativo, es decir, se consideraría que hay relación entre el punto denso y la eficiencia de la máquina.

Para comprobarlo, se utiliza la tabla de valores F de la distribución de Fisher. Al haber tres réplicas, se consideran tres grados de libertad del factor (grados de libertad del numerador).

Además, hay ocho grados de libertad del error de la distribución F, por lo que el grado de libertad del denominador es ocho.

De esta forma, buscamos el valor correspondiente a la columna tres, fila ocho de la tabla del nivel de significancia del 95% ($P < 0.05$):

n_2	5 % (normal) y 1 % (negritas) puntos para la distribución de F																
	n1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.43	19.45	19.45	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87	3.84	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53	3.49	3.44	3.41	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.24	3.20	3.15	3.12	
	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.56	5.48	5.36	5.28	

5"Tabla de la distribución F de Fisher". Fuente: UAM.

El valor obtenido se compara con el estudiado en el análisis Anova, $F = 13,5$.

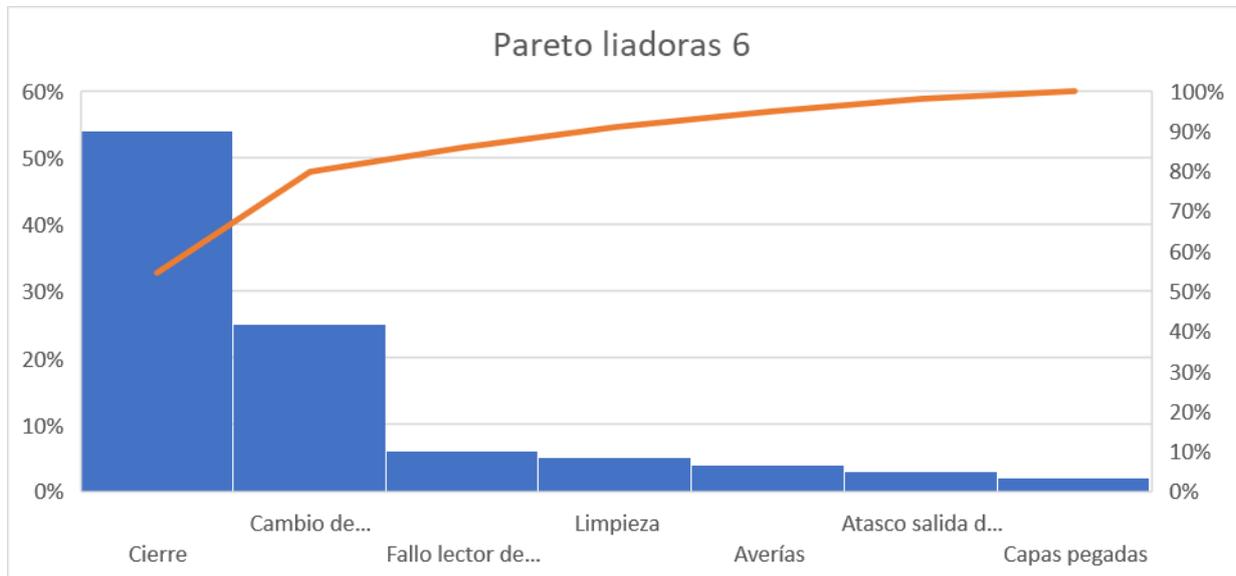
Al obtener un valor de la distribución de Fisher mayor al correspondiente en las tablas para los grados de libertad asignados con $P < 0,05$ se confirmó que existe influencia en la ubicación del punto denso sobre el OEE de la máquina debido al cumplimiento de las dos condiciones del estudio Anova para la distribución propuesta:

- $F > F_{tablas}$
- $P < 0.05$

Análisis de la máquina Liadora 6.

A diferencia del resto de áreas, las máquinas de liado se colocan por grupos que elaboran el mismo formato. Es decir, no existe una única máquina Liadora 6, si no que habría varias distribuidas en grupos.

Se realizó un estudio de línea individual de cada máquina y con ellos se confeccionarían sendos diagramas de Pareto. Finalmente, se elaboró un diagrama de Pareto que reunía los datos del tiempo de valor no añadido de todas las máquinas Liadoras 6:



12"Diagrama de Pareto Liadoras 6". Fuente: (Elaboración propia).

En el caso de las liadoras, el tiempo de valor no añadido es muy bajo, en este caso del 8%, y se clasifica en las siguientes categorías principales:

- Cierre.
- Cambio de bobina manual.
- Fallo en el lector de capas.
- Atasco en la salida de cigarros.
- Capas pegadas.

Esta vez, cada diagrama de espagueti recogería el movimiento de un operario a lo largo de su jornada laboral ocupando cuatro máquinas simultáneas en funcionamiento.

Como las máquinas deben estar preparadas para fabricar distintos subproductos en función del producto final que se desea obtener, es importante optimizar dicho proceso de cambio de labor, o podría llegar a producir ralentizaciones innecesarias, no durante la producción en sí, si no durante los tiempos necesarios para la adaptación de la línea a las necesidades de la fábrica.

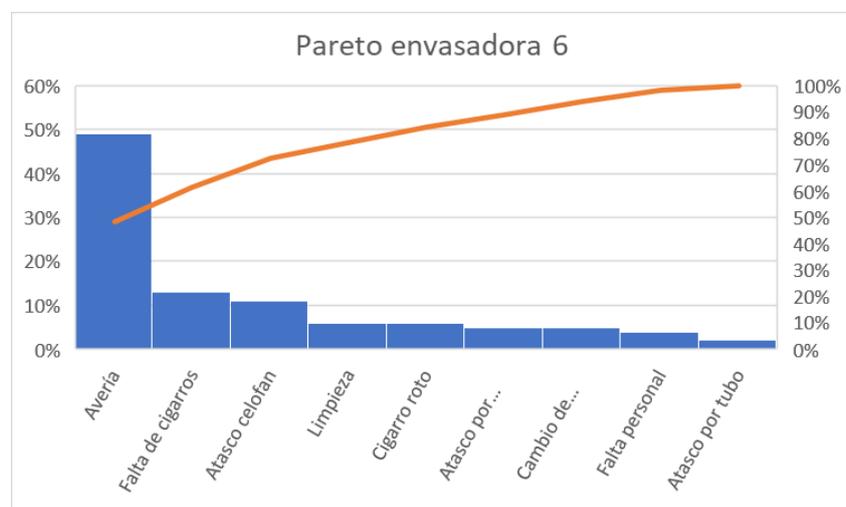
Otro aspecto importante y para tener en cuenta, en relación con el párrafo anterior, suponiendo que cada labor use un tamaño de bobina distinto, es importante ordenarlas

correctamente, por ejemplo, en jaulas, para evitar confusiones y elaboración de productos erróneos, lo que daría lugar a verdaderas pérdidas de eficiencia.

En la fase de liado es necesario el uso de cola, y es importante que su distribución sea correcta, teniendo en cuenta que se trata de un fluido, sería necesario tomar las medidas necesarias para evitar atascos en la distribución del envase a la máquina y para evitar posibles desparrames en el suelo del taller, por lo que, se podría, por ejemplo, diseñar un envase para la cola adecuado y cómodo en el uso.

Análisis de la máquina Envasadora 6.

En el estudio de línea se obtuvo un tiempo de valor no añadido del 46%, y se dibujó el siguiente diagrama de Pareto a partir de los line studies realizados:



13"Diagrama de Pareto Envasadora 6". (Elaboración propia).

En el destacan las siguientes categorías referidas a microparadas:

- Atasco del celofán.
- Cigarro roto.
- Atasco por gaveta.
- Cambio de bobina.
- Atasco por tubo.

Además, se observaría que la máquina funciona a velocidad reducida, varias revoluciones por minuto por debajo de su velocidad nominal, lo que significa el envasado de una cantidad considerable de producto menor a la que podría y debería abarcar.

Esto implica también una reducción considerable del OEE de la máquina, estimándose que podría aumentar aproximadamente un 10% simplemente trabajando a velocidad nominal.

Otro posible problema es que después de un atasco en la máquina, esta no pueda arrancarse simplemente apretando el botón de arranque por un problema en el sistema eléctrico, y requiera reiniciar la máquina cada vez, perdiendo una cantidad importante de tiempo en el proceso.

Se trazó un diagrama de espagueti en el que se observaría que la zona en la que el operario encajona los fardos estaba muy alejada de la zona de carga de bateas y de la zona en la que la máquina envasa los cigarros en packs, de forma que los atascos y los cambios de bateas procedentes de las máquinas de corte (fase anterior al envasado) producían pérdidas de tiempo más prolongadas de lo debido.

Análisis de la máquina Envasadora 13.

Los estudios de línea presentaron un tiempo de valor no añadido del 65% y las categorías de tiempo perdido en las microparadas eran las siguientes:

- Atascos por cigarros (entran torcidos en la bajada de alimentación).
- Atascos en la enfardadora, producidos por fallo de vacío al enrollar el polietileno.
- Cambios de bobina manuales.
- Ajustes de bobinas de aluminio.
- Atascos en el cargador de bateas.
- Fallos al aplicar el polietileno individual de cada pack (distinto del aplicado a los fardos).

Además, se realizaría un diagrama de espagueti, en el que no se observó ningún tipo de anomalía en la distribución del área de trabajo, y un diagrama de Pareto de las categorías de tiempo de valor no añadido (diagrama de Pareto en anexo).

Análisis de la máquina Envasadora 2.

En el análisis de la Envasadora 2, el tiempo de valor no añadido constituiría el 29% del total de horas máquina, distribuidas en las siguientes categorías:

	Tiempo	%
Falta de cigarros	32,50	26%
Cambio de bobina	25,50	20%
Caída batea	16,00	12%
Atasco sector 1	13,00	10%
Limpieza	12,00	9%
Falta de personal	10,00	8%
Atasco sector 2	7,00	5%
Fallo de cajita	5,50	4%
Atasco suciedad en caja	4,00	3%
Falta de papel	3,50	3%

6" *Categorías de tiempo de valor no añadido Envasadora 2". (Elaboración propia).*

Se observa que uno de los problemas principales se repite, el cambio manual de bobinas. Una posible vía para afrontar este problema sería aumentar el diámetro de las bobinas, de forma que cada una de ellas tuviera una mayor duración y no fuera necesario realizar tantos cambios en un turno.

Las máquinas de envasado usan dos bobinas simultáneamente, una para las cajetillas y otra para los fardos. Usar bobinas de un diámetro superior supondría, en cada caso, el siguiente ahorro aproximado de unas 30 horas anuales, teniendo en cuenta los datos establecidos anteriormente.

Una vez más, este "waste" o desperdicio de tiempo supone la reducción de potencial ganancia económica, estimable considerando la cantidad de producto que la máquina en cuestión es capaz de elaborar en el tiempo determinado.

Los atascos por falta de cigarros se deberían a bateas con los cigarros descolocados de las fases anteriores (problema que se vio en los puntos anteriores que resulta relevante) o incluso por bateas incompletas (de forma que el al haber exceso de espacio libre, al girarse la batea para su colocación en la Envasadora, los cigarros quedasen desparramados en el interior de ella), y para introducirlos a la máquina se invertiría demasiado tiempo corrigiendo este error arrastrado de fases anteriores.

Por otra parte, el sector dos es la parte de la máquina encargada de etiquetar los fardos, y al producirse un atasco podría llegar a tenerse que deshacer manualmente el fardo para volver a introducir el semiproducto a la máquina, perdiendo una cantidad considerable de tiempo.

Otro problema sería el atasco de las cajitas por suciedad. Las cajitas, o packs, donde se introducen los cigarrillos, llevan barniz, y quedan residuos durante la aplicación que producen los atascos, por lo que cada cierto tiempo es necesario parar para limpiarlas.

Se dibujaría el diagrama de espagueti identificando varios problemas de distribución. La jaula de papel reciclado más cercana del taller estaba ubicada demasiado lejos del puesto del operario y en el área de trabajo solo habría una escalera, necesaria para el cambio de bobinas y para desatascar las cajitas, por lo que el operario se vería obligado a transportarla cada vez que debiera ejecutar una de las dos tareas y la escalerita no estuviera en la ubicación adecuada.

3.2.4. Mejora.

Esta etapa del proyecto podría dividirse en dos fases:

- Coordinación de departamentos para llevar a cabo un plan de implantación de todas las posibles medidas de mejora.
- Comienzo de ejecución del plan de mejora tras decidir cuáles de entre las medidas discurridas son viables.

Debido al gran número de acciones generadas durante el proyecto fue necesaria la fijación de una reunión semanal entre departamentos para coordinar, actualizar y establecer un plan para cada una de estas acciones, lo que ha ayudado, entre otras cosas, a mejorar considerablemente la comunicación entre personas.

Gracias al éxito en la coordinación y la elaboración del plan de actuación, la implantación de las medidas, que serán expuestas en la siguiente etapa del proyecto, no tuvo apenas complicaciones.

3.2.5. Control.

Tras la implantación de las medidas en las máquinas estudiadas, se realizó un seguimiento diario con el objetivo de comprobar que el proyecto estaba llegando a su meta de mejora del OEE mediante la reducción del Speed Loss, suponiendo un beneficio económico positivo para la empresa.

A continuación, se exponen las medidas tomadas en cada máquina y el seguimiento pertinente:

Control de máquina Tirulera 9.

Tras un tiempo de seguimiento de los KPIs de la máquina, se observó una mejora tanto en el OEE como en el Speed Loss:

- OEE: 53,8%. Originalmente tenía un OEE del 49,25% y se planteaba como objetivo alcanzar el 50,70%, por lo que se cumplió con creces.
- Speed Loss: 28,08%. Originalmente tenía un valor del 31,38% y el objetivo planteado era el de alcanzar un 28,53%, por lo que también se cumplió este aspecto.

Las medidas que se tomaron fueron las siguientes:

- Se colocaron unas piezas paralelas (poka-yoke) en el circuito del tabaco justo en la zona del aplicador o inyector de cola, para que este no perdiera tabaco, lo que hacía que el inyector se atascara y no pudiera aplicar bien la cola en el papel, lo que producía la rotura de la mecha.
- Se realizaron nuevas pruebas de velocidad y finalmente fue posible hacer que la máquina funcionara a velocidad nominal.
- Se realizaron ajustes en las piezas del cargador de bateas de forma que sus desplazamientos fueran más suaves, lo que supuso una leve mejora en este aspecto.
- Por último, se colocaron unas poleas extensibles que impedían los desajustes de velocidad de la cinta de entrada o "Variomat", que producían atascos en el brazo de carga del tabaco.

Control de la máquina Tirulera 12.

El control de los KPIs de OEE y Speed Loss tuvieron los siguientes resultados:

- OEE: 61,4%. El valor original era de 57,69% y se planteó como objetivo alcanzar un 59,11%, por lo que se superó con creces.
- Speed Loss: 22,65%. El valor original era 26,41% y el objetivo era reducirlo hasta un 24,01%, por lo que, de la misma forma que el OEE, se superó con creces el objetivo.

Las medidas de mejora que se tomaron para obtener estos resultados fueron:

- Tras varias pruebas de velocidad se hizo posible hacer funcionar la máquina a la velocidad nominal, como ya ocurrió con la Tirulera 9.
- Se colocaron, igual que en la Tirulera 9, unas poleas extensibles para evitar irregularidades en “Variomat”, previniendo atascos del brazo.
- Se cambiaron algunos elementos de la máquina que no funcionaban correctamente. El display de velocidad, por ejemplo, seguía marcando el valor de la velocidad reducida cuando la máquina ya funcionaba a velocidad nominal.

Control de la máquina Tirulera 18.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- OEE: 61,5%. El valor del que se partía era de un 59,13% y el objetivo era alcanzar un 60,12%, lo que resultó bastante positivo.
- Speed Loss: 14,31%. Originalmente la máquina tenía un Speed Loss del 18,15% y se planteó como objetivo alcanzar un 16,50%, lo que se cumplió sobradamente.

Una de las valoraciones realizadas con la mejora de esta máquina es que la mejora de Speed Loss realizada debería haber mejorado el OEE en mayor medida. Aunque el resultado se consideró satisfactorio, se deduce que han podido surgir nuevos problemas que afectan al OEE sin perjudicar el Speed Loss.

Las medidas que se tomaron fueron las siguientes:

- Cambio de pieza desgastada del cargador de bateas (ya comentado en la fase de medición).
- Se ajustó la velocidad a la nominal.
- Se realizaron ajustes mecánicos en varios dispositivos de la máquina que tendían a producir averías o fallos que aumentaban el tiempo de valor no añadido sin incidir en el Speed Loss.
- Ajustes en el display de velocidad.

Control de la máquina Tirulera 19.

En este caso el seguimiento de los KPIs resultó bastante decepcionante:

- OEE: 53,1%. Se partía de un OEE del 58,05% y el objetivo era alcanzar un 59,15%.

- Speed Loss: 24,53%. Originalmente tenía un valor del 20,32% y el objetivo era alcanzar un 18,47%.

Tras las pruebas que se realizaron en la fase de medición, se realizaron más pruebas de velocidad y trató de forzarse el funcionamiento de la máquina a velocidad nominal, 1200 rpm, sin embargo, esto trajo las consecuencias descritas arriba. Aumentaron los atascos por rotura de mecha, empeorando el Speed Loss y el OEE de forma considerable.

Se intentó solucionar creando un patrón de limpieza del inyector de cola, pero sólo se consiguió reducir el impacto.

Actualmente, se han dado por terminadas las pruebas de velocidad, por lo que la máquina vuelve a funcionar en su régimen original, y se ha mantenido el protocolo de limpieza del inyector, por lo que se seguirá realizando un control de los KPIs para ver cómo evoluciona.

Control de la máquina Tirulera 20.

Se obtuvieron los siguientes datos de control de KPIs:

- OEE: 60,4%. Se partía de un 55,79% y se planteaba alcanzar un 57%, por lo que el resultado fue muy satisfactorio.
- Speed Loss: 19%. El valor original era 23,44% y el objetivo era reducirlo hasta el 21,31%.

Las medidas impuestas fueron las siguientes:

- Se instaló un sistema para que no entrara aire en el circuito de cola, reduciendo considerablemente los atascos del inyector y los consecuentes atascos de la máquina por rotura de mecha.
- Se hicieron cambios en el punto denso del cigarro para optimizar el OEE aprovechando el estudio de ANOVA realizado durante la etapa de análisis, desplazándolo 5mm hacia el final del cigarro.

Aún faltan por aplicar algunas medidas en esta máquina, como el ajuste de los distintos dispositivos que la componen, por lo que se espera una mejora más significativa tanto del Speed Loss como del OEE en el futuro.

Control del grupo de máquinas Liadora 6.

Se realizó el siguiente control de KPIs:

- OEE: 83,7%. Se partía de un 81,18% y se pretendía alcanzar el 82,22%.
- Speed Loss: 12,37%. Originalmente era un 13,91% y el objetivo era reducirlo hasta el 12,64%.

Las mejoras realizadas fueron las siguientes:

- Se cambiaron las resistencias de frenado en el motor de algunas de las máquinas porque se observó que estaban desgastadas.
- Se realizó un análisis de dosificación de cola, cuyo resultado permitió su optimización.
- Se instaló en dos de las máquinas de cada grupo un sistema de pulverizado que evitó las frecuentes paradas realizadas para limpiar la máquina.
- Se hicieron pruebas con distintos tipos de soporte para las bobinas y se encontró un modelo que facilitaba el cambio, lo que mejoró considerablemente el OEE.

Aún se siguen haciendo estudios de estandarización para los depósitos de cola, pero no se espera un gran aumento del OEE, aunque si una disminución del riesgo de un posible accidente que pueda provocar un parón inesperado de la línea.

Control de la máquina Envasadora 6.

Se observó la siguiente evolución en el control de KPIs:

- OEE: 35,5%. Al inicio del proyecto tenía un valor del 33,80% y el objetivo era alcanzar un 35,38%.
- Speed Loss: 43,47%. La máquina partía de un Speed Loss del 49,22% y se pretendía reducirlo hasta un 44,75%.

Los cambios se produjeron gracias a las siguientes acciones de mejora:

- Se instaló un sistema de refrigeración en el sector 2 (sector de etiquetado) para evitar su excesivo aumento de temperatura, causa de sus reiterados fallos.
- Instalación de fotocélulas que avisan al finalizarse las bobinas de polietileno y de aluminio, permitiendo un cambio de bobinas más rápido.
- Se sustituyó la placa de arranque por un nuevo sistema eléctrico.

Control de la máquina Envasadora 13.

Los KPIs evolucionaron de la siguiente forma:

- OEE: 42,3%. Originalmente tenía un valor del 38,10% y el objetivo era 39,33%.

- Speed Loss: 28,06%. Desde un 34,60% se pretendía conseguir que se redujera hasta el 31,45%.

Las medidas que se tomaron fueron las siguientes:

- Instalación de un sistema de arranque en cascada.
- Instalación de fotocélulas que avisan al finalizarse las bobinas de polietileno y de aluminio, permitiendo un cambio de bobinas más rápido.
- Solicitud y prueba de uso de bobinas de polietileno con un diámetro igual al doble del original.

Control de la máquina Envasadora 2.

Se obtuvo la siguiente evolución de KPIs:

- OEE: 54,6%. Se partía de un OEE de 52,21% y el objetivo era aumentarlo hasta el 53,78%.
- Speed Loss: 28,27%. Se partía de un 32,30% y el objetivo era reducirlo hasta el 29,365%.

Las medidas que se implantaron fueron las siguientes:

- Cambio de la placa sobre la que se apoyan las bateas en el cargador debido a su inestabilidad.
- Reconstrucción del circuito eléctrico del sector 2, generador de numerosos atascos.
- Cambio de la fotocélula que avisa del correcto montaje de las cajitas o packs de tabaco, ya que no captaba bien los defectos.

3.2.6. Resultados generales del proyecto.

En general, se considera que se han alcanzado los objetivos propuestos salvo la excepción de la máquina Tirulera 19, en la que las pruebas de velocidad de la máquina supusieron un error que empeoró la situación de los KPIs de la máquina. Sin embargo, esto no eclipsó la mejora general del OEE de la fábrica y la reducción del Speed Loss.

Además, no fue posible el estudio y la intervención del área de corte debido a que era necesario y esencial adaptarse a las necesidades de producción por encima del proyecto.

No se da el proyecto por concluido, ya que aún quedan algunas medidas por implantar y se pretende abordar en un futuro no muy lejano el área de corte, aunque se considera que se

han obtenido y analizado resultados suficientes como para mostrar satisfacción por el trabajo realizado por todos y cada uno de los que colaboraron con el proyecto.

El equipo del proyecto, una vez finalizada esta etapa, sacó las siguientes conclusiones personales al respecto:

- “Hemos sido ganadores y nos hemos enriquecido con nuestro trabajo”.
- “Vemos mejoras positivas con la implementación de nuestras soluciones”.
- “Si hemos podido alcanzar este logro, tenemos la capacidad para poder proponernos objetivos superiores y alcanzar logros mayores”.

4. Análisis económico.

4.1. Análisis del estado actual.

Para estudiar la viabilidad técnico-económica del proyecto en curso, se realiza un análisis basado en el modelo input-output, también conocido como modelo Leontief, en honor al economista que lo desarrolló y recibió el premio nobel de economía en el año 1973 debido a este modelo de análisis.

Se trata de establecer unas variables de entrada que representan las características principales del proyecto en cuanto a los costes del mismo y estudiar mediante la variación de los inputs el valor de los outputs o variables de salida, directamente dependientes de los inputs.

Al tratarse de un proyecto que carece de una inversión de capital evidente, como podría ser una inversión de capital en la renovación de las máquinas que componen la línea de producción de la fábrica, la variación de los inputs resulta limitada, pero no por ello es menos importante la realización del análisis de rentabilidad, esencial en la ejecución de cualquier tipo de proyecto.

4.1.1. Variables de entrada relevantes:

- Aumento de la eficiencia: Se trata de la variable más importante a tener en cuenta, ya que el valor de la eficiencia de las máquinas repercute directamente en la producción de la fábrica, lo que, a su vez, resulta la fuente única de ingresos. El valor de la eficiencia define los beneficios económicos y la capacidad de producción.
- Coste del proyecto: como ya se ha dicho, la ausencia de una inversión de capital no significa que el proyecto carezca de coste. Más adelante se desglosarán los gastos que supone llevar a cabo el proyecto desde su planificación hasta su implementación.
- Costes de mantenimiento: el proyecto requiere implantación de medidas en el taller, observación de los resultados prolongado en el tiempo y un mantenimiento de las máquinas, lo que conlleva, además, un coste de personal encargado de las tareas descritas. Constituirán un gasto anual que se tendrá en cuenta a la hora de obtener los outputs.

- Tasa de descuento: se trata de un valor de entrada esencial para el cálculo de rentabilidad. [31] “Es el coste de capital que se aplica para determinar el valor presente de un pago futuro”. Una cantidad de dinero no tiene el mismo valor en el presente que en el futuro por una razón muy simple, el futuro es incierto y siempre existe la posibilidad, por remota que sea, de no recibir la cantidad de dinero que en el presente tiene un valor concreto. Es decir, no es lo mismo recibir un importe en el instante que acontece que tener que esperar a recibirlo en un plazo de tiempo determinado, siendo menor el valor de dicho importe cuanto mayor es el plazo de tiempo que separa el momento actual del momento de recepción del importe.

La tasa de descuento sirve para calcular el valor actual del dinero que va a recibirse en un plazo de tiempo determinado y se utiliza en distintos métodos de análisis de rentabilidad.

No sólo es importante saber qué es la tasa de descuento, también es importante saber calcularla. Por ejemplo, si se trata de un proyecto financiado con fondos propios, la tasa de descuento se relaciona con el “coste de oportunidad”. Si se financia con fondos ajenos, debe tener mínimo el valor del tipo de interés de la entidad que va a encargarse de la financiación del proyecto. Si la financiación fuese mixta se podría establecer mediante el cálculo de la media del coste de oportunidad y del tipo de interés de la entidad... También es importante tener en cuenta el nivel de riesgo de la inversión para definir el valor de la tasa de descuento.

En el caso del proyecto tratado en este documento, la financiación es responsabilidad de la propia empresa, sin recurrir a ningún tipo de entidad financiera, por lo que se considera su valor igual al del coste de oportunidad.

4.1.2. Variables de salida relevantes.

- V.A.N.: Sus siglas significan “Valor Actual Neto”. [32] “El valor actual neto es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión”.

Consiste en sumar los distintos flujos de caja producidos en un periodo de tiempo con el valor que tendrían en el presente, permitiendo analizar la rentabilidad de un proyecto.

El VAN tiene como magnitud la moneda del país en el que se lleva a cabo el proyecto, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$VAN(\text{€}) = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t}$$

3"Ecuación del VAN".

Siendo "k" la tasa de descuento, I_0 la inversión inicial (en el caso del proyecto estudiado, se tomará el valor respectivo a los costes de la implantación del proyecto), "Q" es el flujo de dinero para cada periodo "t" y "t" los periodos de tiempo estudiados. De este modo, una vez calculado el VAN, puede clasificarse la rentabilidad de la siguiente forma:

- VAN = 0€. El proyecto no genera beneficios ni pérdidas para el periodo de tiempo establecido.
 - VAN > 0€. El valor actualizado del flujo de dinero generará beneficios para la tasa de descuento seleccionada en el periodo de tiempo establecido.
 - VAN < 0€. El proyecto va a producir pérdidas, por lo que no es una inversión a tener en cuenta.
- T.I.R.: de este modo se conoce a la "Tasa Interna de Retorno". Corresponde con el valor de la tasa de descuento para el que el VAN es igual a cero. [33] Sirve para identificar el beneficio o la pérdida que produce en porcentaje la inversión en un proyecto.

Se calcula despejando la siguiente fórmula:

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+TIR)^t}$$

4"Ecuación del TIR".

En función del valor obtenido de la TIR se decide si el proyecto de inversión se acepta o no:

- TIR > k: Se acepta el proyecto de inversión.
- TIR = 0: Si el proyecto mejora la competitividad de la empresa y no hay una alternativa mejor, puede llegar a aceptarse, aunque no genera un beneficio directo.
- TIR < k: El proyecto debe rechazarse.

- Payback: [34] También conocido como plazo de recuperación. Se trata, de nuevo, de un criterio para evaluación de inversiones a través del análisis del tiempo requerido para recuperar una inversión.

La versión más simple tiene lugar al contemplar flujos de caja constantes, es decir, un importe anual no variable en, por ejemplo, el coste de mantenimiento del proyecto.

Para saber el plazo de tiempo necesario para recuperar la inversión basta con dividir el importe invertido por el flujo de caja.

En caso de que los flujos de caja sean variables, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{Q_t}$$

5"Ecuación del Payback".

Siendo "a" el número del periodo inmediatamente anterior hasta recuperar la inversión inicial, I_0 la inversión inicial, "b" la suma de flujos hasta el final del periodo "a" y "Q" el flujo de caja en el año en que se recupera la inversión.

Este criterio tiene un inconveniente, y es que a la hora de calcularlo es imposible tener en cuenta futuros imprevistos que hagan variar el flujo de caja.

4.2. Hipótesis.

El éxito técnico-económico del proyecto depende de la consecución del objetivo de reducción de Speed Loss que resulte en un aumento de OEE considerable como para producir unos beneficios económicos suficientes para compensar, en el menor periodo de tiempo posible, el coste del proyecto, así como en la sostenibilidad de este, lo que implica superar también los costes de explotación y mantenimiento del proyecto.

Como se describió previamente, se espera alcanzar el objetivo establecido obteniendo un incremento de la eficiencia de la línea de producción.

Al quedar directamente asociado el incremento de OEE con la reducción de costes, o aumento del beneficio económico, se estudiará la rentabilidad del proyecto en función del incremento de eficiencia alcanzado, de forma que quede clara la dependencia del éxito en la rentabilidad.

4.3. Inversión.

Como se mencionó anteriormente, el proyecto no constó de un desembolso de capital con objetivo de comprar nueva maquinaria. La implantación de la filosofía Lean, sin embargo, conlleva gastos de personal, explotación y mantenimiento.

El periodo de tiempo durante el que el proyecto se desarrolló fue de un total de tres meses, en el que varios equipos de personas intervinieron. Además, el proyecto pudo constar de un jefe de proyecto, un gerente de calidad y un gerente del proyecto.

Si el proyecto lo hubieran llevado a cabo cinco grupos de cuatro personas, un jefe de proyecto, un gerente del proyecto y un gerente de calidad que hubieran trabajado en turnos de ocho horas cinco días a la semana a lo largo de los tres meses, podríamos estimar el coste de personal estableciendo un valor a cada hora trabajada por cada uno de los participantes.

Este valor depende de cada empresa, por lo que, para continuar con el análisis, se establecerán unos valores genéricos que den una idea aproximada del análisis de rentabilidad de un proyecto como el que se describe en este trabajo.

- Sueldo de un operario: 1.050€.
- Sueldo del gerente calidad: 2.400€.
- Sueldo del gerente proyecto: 2.700€.
- Sueldo del jefe del proyecto: 3.050€.

Teniendo en cuenta la implicación de veinte operarios durante tres meses, el coste de personal sería de 87.450€.

El gasto de explotación no sólo incluye el coste de personal o de mano de obra, también tiene en cuenta todos los gastos que la empresa realiza llevando a cabo su actividad habitual. Algunos ejemplos serían material de oficina, teléfonos de empresa, línea de internet o ADSL...

En este caso se estimarán los siguientes gastos:

- Material de oficina: 80€ al mes.
- Ordenadores: 900€ en total.
- Teléfonos de empresa: 80€ en total.
- Contrato con línea telefónica e internet: 150€ al mes.

En total, el gasto sería de 1.670€.

Por otra parte, sería necesaria también la estimación de los costes de mantenimiento, que comprenderán, en su mayoría, el salario del personal dedicado a su efectucción.

El mantenimiento será realizado por cinco operarios, es decir, uno por cada grupo de los destinados al proyecto, y su salario será, como ya se especificó antes, de 1.050€.

Además, se designará un coordinador de mantenimiento con un sueldo de 1.250€ mensuales, que se encargará de supervisar el trabajo de los operarios a su cargo.

De esta forma, podría establecerse el gasto de mantenimiento en un total de 6.500€ al mes.

En resumen:

- Gasto de implantación del proyecto en el periodo de tres meses: 89.120€.
- Gasto de mantenimiento mensual: 6.500€.

Por otra parte, es necesario fijar un valor de la tasa de descuento aplicada al proyecto.

En los proyectos de inversión pública este valor oscila entre un 4% y un 5%, por lo que para el supuesto a estudiar se fijará en un punto medio, un 4,5%.

4.4. Análisis de rentabilidad del proyecto llevado a cabo.

Para llevar a cabo el análisis de rentabilidad se tomarán los valores calculados en el apartado anterior a partir de precios y salarios genéricos y se tomarán valores simulados de beneficio en función del incremento de eficiencia obtenido a partir de la implementación del proyecto.

4.4.1. Análisis previo al proyecto.

La expectativa era una reducción del 10% de Speed Loss, lo que debería traer un aumento del OEE aproximado del 5,8%.

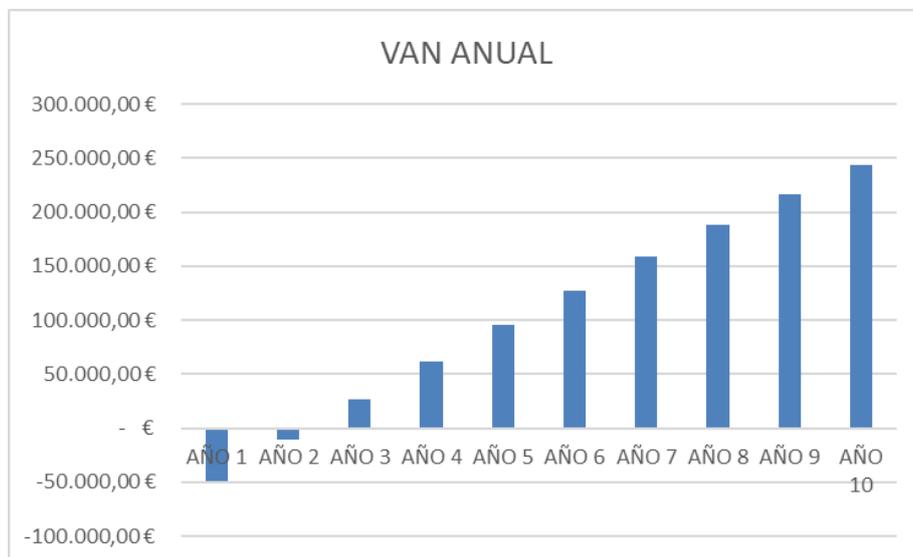
Se va a suponer que el aumento del 5,8% de OEE trae consigo un aumento de la producción tal como para considerar unos beneficios aproximados de 30.000€ por trimestre.

Coste de implantación	Beneficio anual	Coste de mantenimiento anual	Tasa de descuento	Flujo de caja
89.120,00 €	120.000,00 €	78.000,00 €	0,045	42.000,00 €
VAN (5 años)	95.259,02 €			
VAN (10 años)	243.214,16 €			

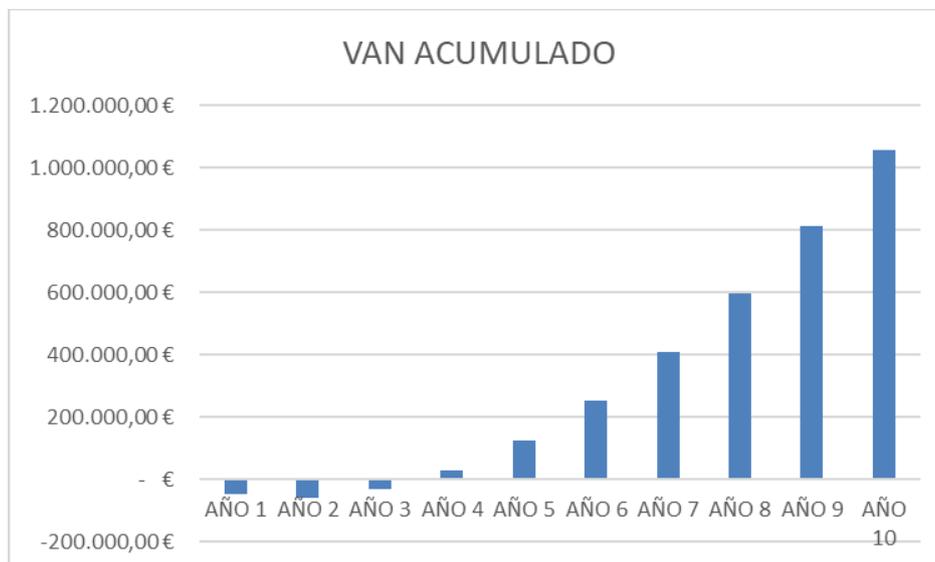
7" Cálculo del VAN". (Elaboración propia).

Se ha calculado el VAN para un periodo de cinco y diez años obteniendo, en ambos casos, un resultado positivo, lo que significa que el produce beneficios para ambos periodos de tiempo.

Con los cálculos realizados es posible graficar la evolución anual del valor del VAN y su valor acumulativo con el paso de los años:



14" Evolución anual del VAN, análisis ex ante". (Elaboración propia).



15" VAN acumulado, análisis ex ante". (Elaboración propia).

Se ha tomado como valor del flujo de caja el beneficio anual producido gracias al proyecto menos su coste anual de mantenimiento, y como inversión inicial el coste total de implantación en el periodo de duración de este.

El siguiente paso sería el cálculo correspondiente al TIR:

Datos TIR		TIR (5 años)	38%
-89120	Coste de implantación	TIR (10 años)	46%
42000	Beneficio neto año 1		
42000	Beneficio neto año 2		
42000	Beneficio neto año 3		
42000	Beneficio neto año 4		
42000	Beneficio neto año 5		
42000	Beneficio neto año 6		
42000	Beneficio neto año 7		
42000	Beneficio neto año 8		
42000	Beneficio neto año 9		
42000	Beneficio neto año 10		

8" Cálculo del TIR". (Elaboración propia).

Resultando una tasa interna de retorno en cualquier caso superior al 4,5% que se estableció como tasa de descuento, por lo que quedaría evidencia, una vez más, de la rentabilidad del proyecto.

Finalmente se realiza el cálculo del Payback. Como el flujo de caja se ha considerado constante, el cálculo resulta sencillo:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Coste proyecto}}{\text{Beneficio neto anual}} = \frac{89120 \text{ €}}{42000 \frac{\text{€}}{\text{año}}} = 2,12 \text{ años}$$

6" Cálculo del Payback ex ante".

Lo que significa recuperar el capital invertido en los gastos de la implementación del proyecto 2,12 años después de haberlo finalizado.

4.4.2. Análisis posterior.

Una vez finalizado el proyecto y obtenido el incremento de eficiencia en la línea, se puede realizar un análisis que compare la rentabilidad del proyecto real con la rentabilidad que se esperaba al analizarlo desde la expectativa inicial del incremento del 5,8% en el OEE.

Como no se pudo abordar una de las áreas de la línea de producción, el incremento de la eficiencia, aunque ha resultado positivo, no ha sido tan alto como se pretendía.

Si el incremento general del OEE fue de un 4,9% y se estimó un beneficio de 30.000 € en un trimestre para un incremento del 5,8%, mediante una regla de tres podemos establecer una nueva cifra de beneficio manteniendo el valor de los costes del proyecto.

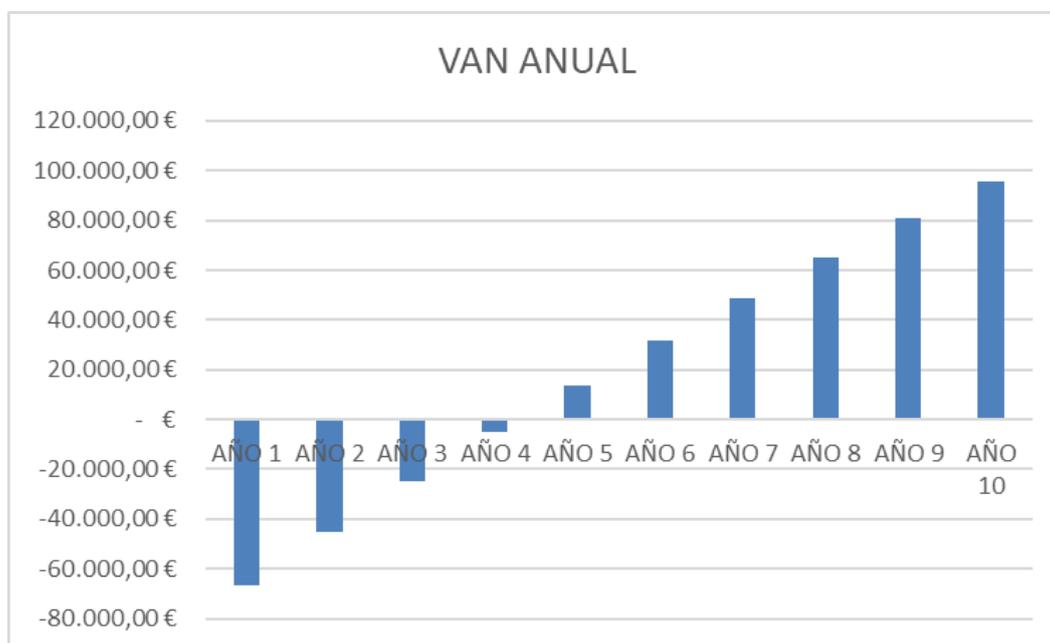
Con esta nueva hipótesis, el beneficio anual sería de unos 101.380€, y de nuevo, podríamos calcular los indicadores anteriores:

Coste de implantación	Beneficio anual	Coste de mantenimiento anual	Tasa de descuento	Flujo de caja
89.120,00 €	101.380,00 €	78.000,00 €	0,045	23.380,00 €
VAN (5 años)	13.517,66 €			
VAN (10 años)	95.879,35 €			

9" Cálculo del VAN". (Elaboración propia).

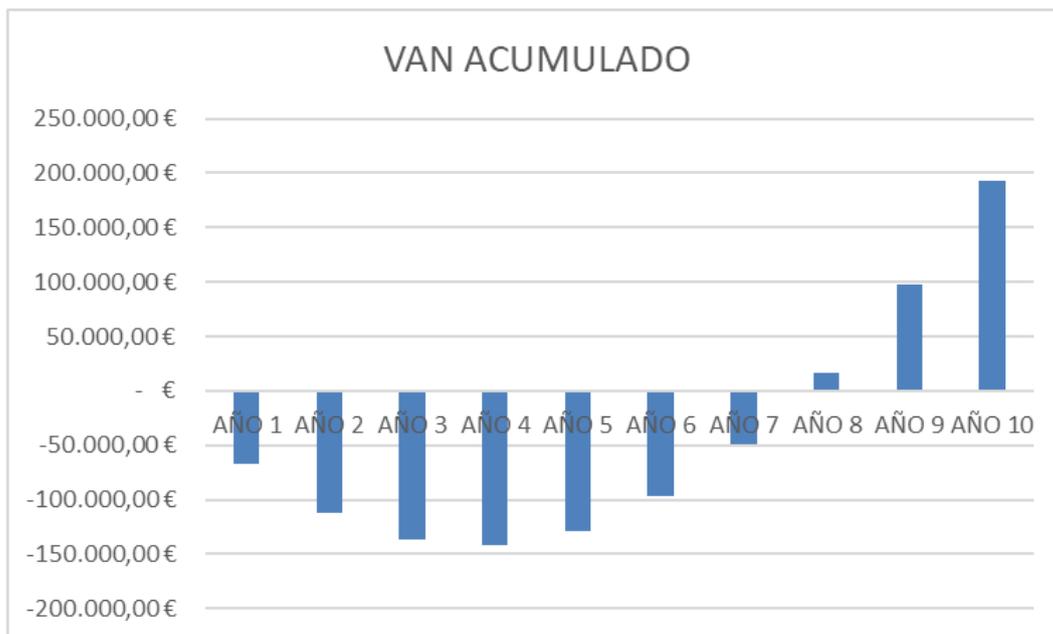
Aún resulta un VAN positivo, lo que indica que el proyecto resultaría rentable incluso sin haber cumplido con el incremento de eficiencia que en un principio se estimó.

De nuevo, resulta interesante visualizar los datos calculados y su evolución con el paso de los años:



16" Evolución anual del VAN, análisis ex post". (Elaboración propia).

En este caso, es notable el hecho de que el VAN no resulta positivo hasta el quinto año, mientras en la gráfica del análisis previo a la ejecución del proyecto, el tercero ya resultaba positivo.



17"VAN acumulado, análisis ex post". (Elaboración propia).

En cuanto al VAN acumulado, de nuevo se retrasa el valor positivo, sólo que esta vez hasta el octavo año, siendo en el cuarto año del análisis previo cuando sucedía.

La rentabilidad se ha reducido con respecto a las predicciones de forma considerable, siendo en esta situación el valor del VAN para un periodo de diez años similar al que se obtuvo anteriormente para el periodo de cinco años, lo que indica una rentabilidad similar, pero en el doble de tiempo.

Datos TIR		TIR (5 años)	10%
-89120	Coste de implantación	TIR (10 años)	23%
23380	Beneficio neto año 1		
23380	Beneficio neto año 2		
23380	Beneficio neto año 3		
23380	Beneficio neto año 4		
23380	Beneficio neto año 5		
23380	Beneficio neto año 6		
23380	Beneficio neto año 7		
23380	Beneficio neto año 8		
23380	Beneficio neto año 9		
23380	Beneficio neto año 10		

10" Cálculo del TIR". (Elaboración propia).

De la misma forma que el VAN, el TIR se ve reducido, aunque sigue estando por encima del valor de la tasa de descuento seleccionada, 4,5%.

Por último, se realizaría el cálculo del Payback y se obtendría el plazo de tiempo en el que se llegaría a recuperar el dinero invertido en los gastos del proyecto:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Coste proyecto}}{\text{Beneficio neto anual}} = \frac{89120 \text{ €}}{23380 \frac{\text{€}}{\text{año}}} = 3,81 \text{ años}$$

7" Cálculo del Payback ex post".

Necesitando, en este caso, más de un año más para recuperar el coste que en el caso que se habría estimado antes de realizar el proyecto.

5. Conclusiones y línea de trabajo futuro.

Con los casos analizados en el apartado anterior, queda constancia no sólo de la importancia de la realización de un análisis económico y de rentabilidad previo a la ejecución de un proyecto, sino que se muestra la importancia de establecer objetivos reales y factibles, ya que, de no ser así, las consecuencias pueden llegar a ser nefastas para la situación de cualquier empresa.

Hay que afrontar una serie de gastos en la realización de un proyecto que en principio va a producir un beneficio, siempre y cuando se ejecute de forma correcta, y si no se consiguiera obtener dicho beneficio habría que seguir afrontando dichos gastos.

En el caso del proyecto objeto de estudio, los beneficios obtenidos son suficientes para rentabilizar la ejecución del proyecto, aunque en un principio pudo hacerse una sobreestimación debida a un exceso de optimismo en el planteamiento de los objetivos de mejora de la eficiencia.

De ahora en adelante, debe mantenerse una observación rutinaria sobre la eficiencia de la línea, además de, por supuesto, realizar el mantenimiento pertinente de los cambios realizados en las distintas máquinas que forman parte del proceso y se debe seguir tratando de mejorar la eficiencia en la medida de lo posible mediante propuestas e iniciativas por parte de los ingenieros de la fábrica, así como del personal dedicado al seguimiento del proyecto.

Por otra parte, sería interesante abordar el área de corte, ya que en el proyecto que se ha estudiado no fue posible por razones de volumen de producción, pero sin lugar a dudas, se podría constituir un pequeño equipo de operarios dirigidos por un jefe de proyecto que se encargase de llevar a cabo la parte restante del proyecto en dicha sección recopilando datos, realizando diagramas de Pareto y de espagueti, buscando la causa raíz y proponiendo métodos de mejora para la eficiencia que puedan llevarse a cabo ampliando el beneficio económico de forma que llegase a asemejarse en el análisis económico al estudio realizado antes de la ejecución del proyecto.

6. Bibliografía.

- [1] Wolters Kluwer. “Impuesto especial sobre las labores de tabaco” [En línea]. Disponible en: <https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content> [Consulta: 14-junio-2020].
- [2] Boletín Oficial del Estado. “Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales” [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/1992/12/28/38/con> [Consulta: 22-junio-2020].
- [3] Mesa del tabaco. “Datos del sector” [En línea]. Disponible en: http://www.mesadeltabaco.es/pub_datosector.lasso [Consulta: 14-junio-2020].
- [4] J.C. Hernández, A. Vizán, *Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: EOI, Escuela de organización industrial, 2013.
- [5] Toyota. “Toyota Production System. Jidoka” [En línea]. Disponible en: https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/?_ga=2.214410775.1884728985.1585846824-428986330.1585846824 [Consulta: 14-junio-2020].
- [6] J. Womack (2006, junio 7). “Mura, Muri, Muda?” (Lean Enterprise Institute) [En línea]. Disponible en: <https://www.lean.org/womack/DisplayObject.cfm?o=743> [Consulta: 14-junio-2020].
- [7] T. Ohno, *The Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. Portland: Productivity Press, 1988.
- [8] J.P. Womack, D.T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Nueva York: Simon&Simon, 1996.
- [9] Toyota. “Toyota Production System. Just-In-Time” [En línea]. Disponible en: https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/?_ga=2.149270710.1616577973.1592170739-428986330.1585846824 [Consulta: 14-junio-2020].
- [10] B. Jay Coleman, M. Reza Vaghefi, “Heijunka (?): A key to the Toyota production system”, *Production and inventory management journal*, vol. 35, pp. 31-35, abril-1994.
- [11] C. Marchwinski, J. Shook. *Lean Lexicon: a graphical glossary for lean thinkers*. (Quinta edición). EE. UU.: Lean Enterprise Institute, 2014.
- [12] J. Nakamuro, “Kaizen: Lost in Translation” [En línea]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/kaizen-lost-translation-jun-nakamuro-1> [Consulta: 14-junio-2020].

- [13] United States Environmental Protection Agency. “Lean Thinking and Methods – 5s” [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/sustainability/lean-thinking-and-methods-5s> [Consulta: 15-junio-2020].
- [14] M.V. Flores (2010, octubre 26). “Definición de mejora continua” (Escuela de organización industrial) [En línea]. Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/mariavictoriaflores/definicion-de-mejora-continua/> [Consulta: 15-junio-2020].
- [15] J. Garzas (2012, abril 19). “Cómo lograr el mejor WIP de un Kanban” [En línea]. Disponible en: <https://www.javiergarzas.com/2012/04/el-mejor-wip-de-un-kanban.html> [Consulta: 17-junio-2020].
- [16] L.D. Pérez. (2015). “Kanban un enfoque práctico para su adopción en proyectos de ICT” (Universidad De la Empresa) [En línea]. Disponible en: http://www.asiap.org/AsIAP/images/JIAP/JIAP2015/Presentaciones/Roja/Martes/Roja_15_12hs.pdf [Consulta: 17-junio-2020].
- [17] Toyota (2013, mayo 31). “Genba – Toyota Production System Guide” [En línea]. Disponible en: <https://blog.toyota.co.uk/genba-toyota-production-system> [Consulta: 17-junio-2020].
- [18] N.K. Shimbun, *Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects*. Tokyo: Ltd., 1987.
- [19] iSixSigma-Editorial. “Determine the root cause: 5 whys” [En línea]. Disponible en: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/cause-effect/determine-root-cause-5-whys/> [Consulta: 17-junio-2020].
- [20] J.A. Doshi, J.D. Kamdar, S.Y. Jani, S.J. Chaudhary. “Root Cause Analysis Using Ishikawa Diagram For Reducing Radiator Rejection”. IJERA, vol.2, Issue 6, pp.684-689. Noviembre – Diciembre de 2012.
- [21] F. John Reh (2020, marzo 19). “The basics of key performance indicators” [En línea]. Disponible en: <https://www.thebalancecareers.com/key-performance-indicators-2275156> [Consulta: 17-junio-2020].

- [22] “UNLOCKING EFFICIENCIES. Measuring Performance KPIs With Visual Management Tools”. Red Lion, York, Pennsylvania, White paper. [En línea]. Disponible en: https://www.redlion.net/sites/default/files/140/122/White%20Paper%20-%20Unlocking%20Efficiencies_1.pdf [Consulta: 17-junio-2020].
- [23] K. Senderská, A. MAREŠ, Š. VÁCLAV. “SPAGHETTI DIAGRAM APPLICATION FOR WORKERS’ MOVEMENT ANALYSIS”. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 79, Iss. 1, 2017.
- [24] M. Sales (2002, julio 28) “Diagrama de Pareto” [En línea]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/diagrama-de-pareto/> [Consulta: 17-junio-2020].
- [25] M. Sokovic, D. Pavletic, K. Kern Pipan. “Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS”. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 43, nº 1, pp.476-483, noviembre-2010.
- [26] iSixSigma-Editorial. “Remembering Bill Smith, Father of Six Sigma” [En línea]. Disponible en: <https://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/history/remembering-bill-smith-father-six-sigma/> [Consulta: 17-junio-2020].
- [27] T. Pyzdek (2000, diciembre 21). “The Six Sigma Revolution” [En línea]. Disponible en: <http://www.bxlnc.com/download/The-Six-Sigma-Revolution.pdf> [Consulta: 17-junio-2020].
- [28] J.A. García Ramírez (2013, abril 15). “El project charter” [En línea]. Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/15/el-project-charter/> [Consulta: 17-junio-2020].
- [29] Minitab, soporte. “¿Qué es un estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) del sistema de medición?” [En línea]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study/> [Consulta: 17-junio-2020]
- [30] Minitab, soporte. “Qué es ANOVA?” [En línea]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/> [Consulta: 17-junio-2020].

- [31] R. Vázquez Burguillo. “Tasa de descuento” (Economipedia) [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-descuento.html> [Consulta: 17-junio-2020].
- [32] V. Velayos Morales. “Valor Actual Neto (VAN)” (Economipedia) [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html> [Consulta: 17-junio-2020].
- [33] A. Sevilla. “Tasa Interna de Retorno (TIR)” (Economipedia) [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html> [Consulta: 17-junio-2020].
- [34] V. Velayos Morales. “Payback o plazo de recuperación” (Economipedia) [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/payback.html> [Consulta: 17-junio-2020].

7. Índice de Tablas, figuras y fórmulas.

7.1. Tablas.

1"Base line y target". (Elaboración propia).	49
2"Variación del OEE por reducción de Speed Loss". (Elaboración propia).	50
3"Tiempo de valor no añadido Tirulera 12 (en minutos)". (Elaboración propia).	58
4"Cálculo de OEE en función del punto denso". (Elaboración propia).	61
5"Tabla de la distribución F de Fisher". Fuente: UAM.	62
6"Categorías de tiempo de valor no añadido Envasadora 2". (Elaboración propia).	66
7"Cálculo del VAN". (Elaboración propia).	79
8"Cálculo del TIR". (Elaboración propia).	81
9"Cálculo del VAN". (Elaboración propia).	82
10"Cálculo del TIR". (Elaboración propia).	83

7.2. Figuras.

1"Diagrama proceso de producción planta de tabaco" (Elaboración propia).	12
2"Pensamiento tradicional vs Lean". (Elaboración propia).	13
3"The TPS House". Fuente: lean.org	20
4"El círculo de las 5s". Fuente: leanmanufacturinghoy.com	23
5"Modelo Kanban simple". (Elaboración propia).	27
6"Diagrama de Ishikawa". (Elaboración propia).	35
7"Ciclo DMAIC". Fuente: neodatameat.com	46
8"Waterfall del proceso de fabricación". (Elaboración propia).	48
9"Ejemplo diagrama de espagueti". Fuente: pdcahome.com	54
10"VA vs VNA Tirulera 9". (Elaboración propia).	56
11"Diagrama de Pareto VNA Tirulera 9". (Elaboración propia).	56
12"Diagrama de Pareto Liadoras 6". Fuente: (Elaboración propia).	63
13"Diagrama de Pareto Envasadora 6". (Elaboración propia).	64
14"Evolución anual del VAN, análisis ex ante". (Elaboración propia).	80
15"VAN acumulado, análisis ex ante". (Elaboración propia).	80
16"Evolución anual del VAN, análisis ex post". (Elaboración propia).	82
17"VAN acumulado, análisis ex post". (Elaboración propia).	83
18"Diagrama de Pareto Tirulera 12". (Elaboración propia).	92
19"Diagrama de Pareto Tirulera 19". (Elaboración propia).	93
20"Diagrama de Pareto Tirulera 18". (Elaboración propia).	94

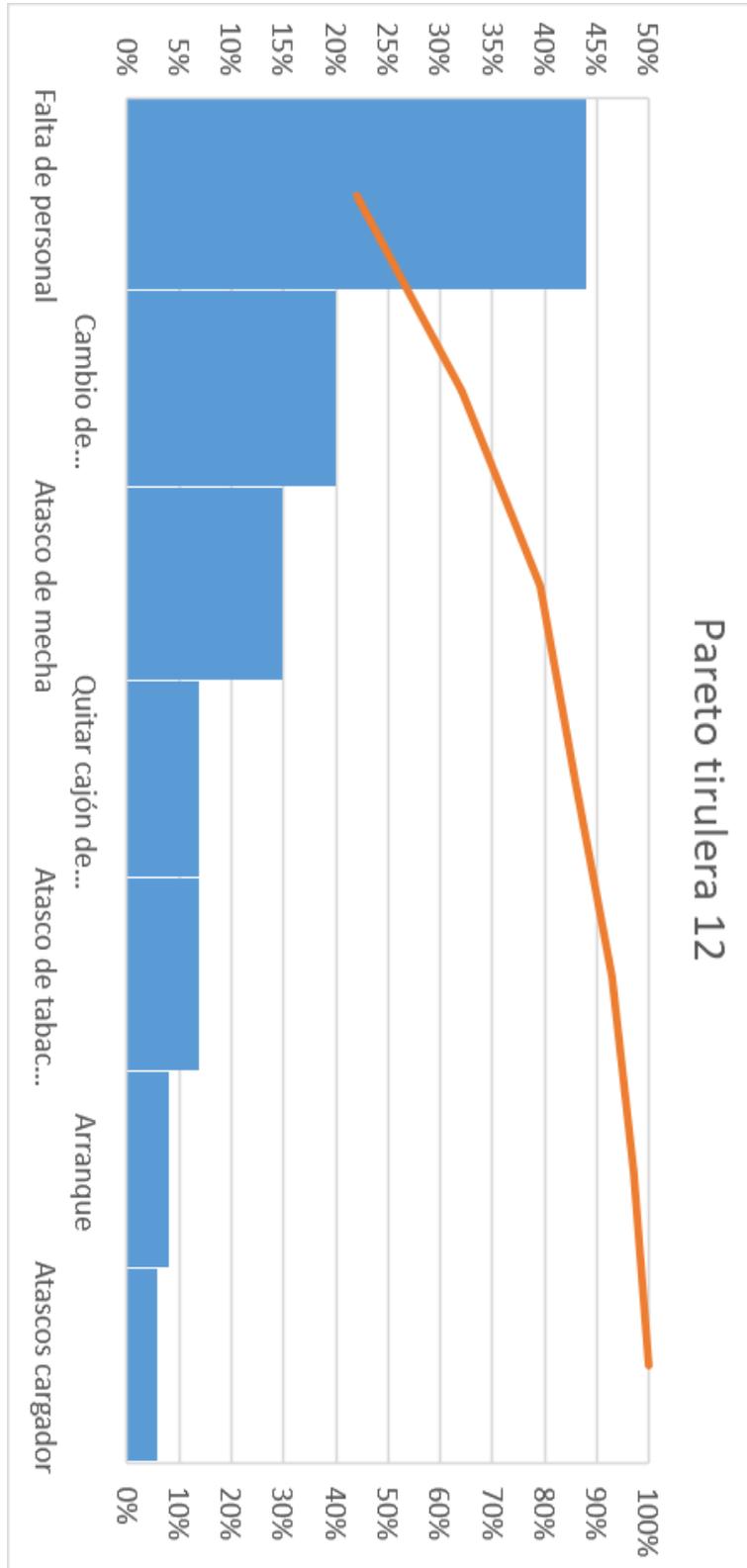
21"Diagrama de Pareto Tirulera 20". (Elaboración propia).	95
22"Diagrama de Pareto Envasadora 2". (Elaboración propia).	97

7.3. Ecuaciones.

1"Ecuación Base Line"	49
2"Ecuación Valor Objetivo"	49
3"Ecuación del VAN".	76
4"Ecuación del TIR".	76
5"Ecuación del Payback".	77
6"Cálculo del Payback ex ante".	81
7"Cálculo del Payback ex post".	84

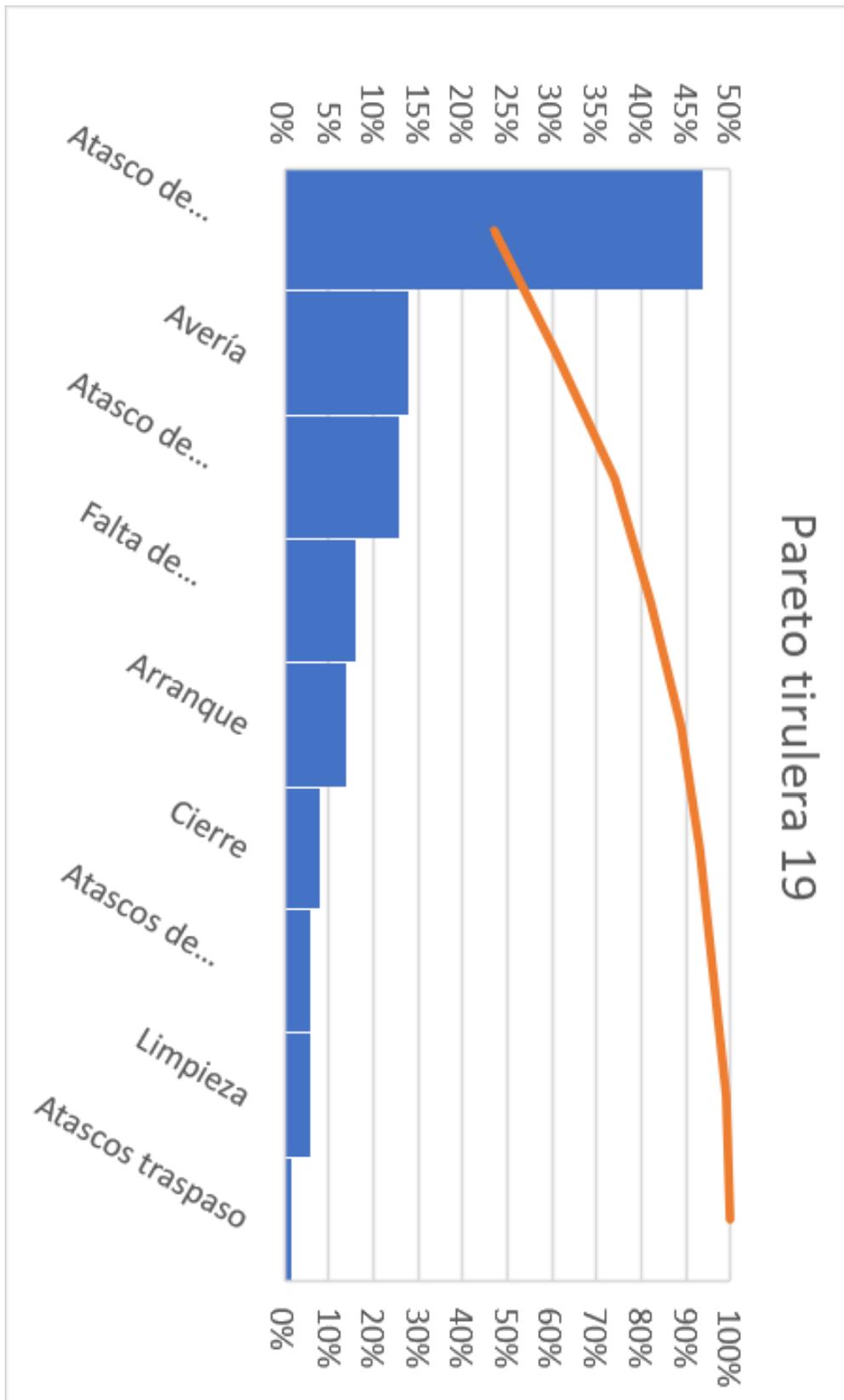
8. Anexo.

8.1. Anexo 2. Pareto Tirulera 12.



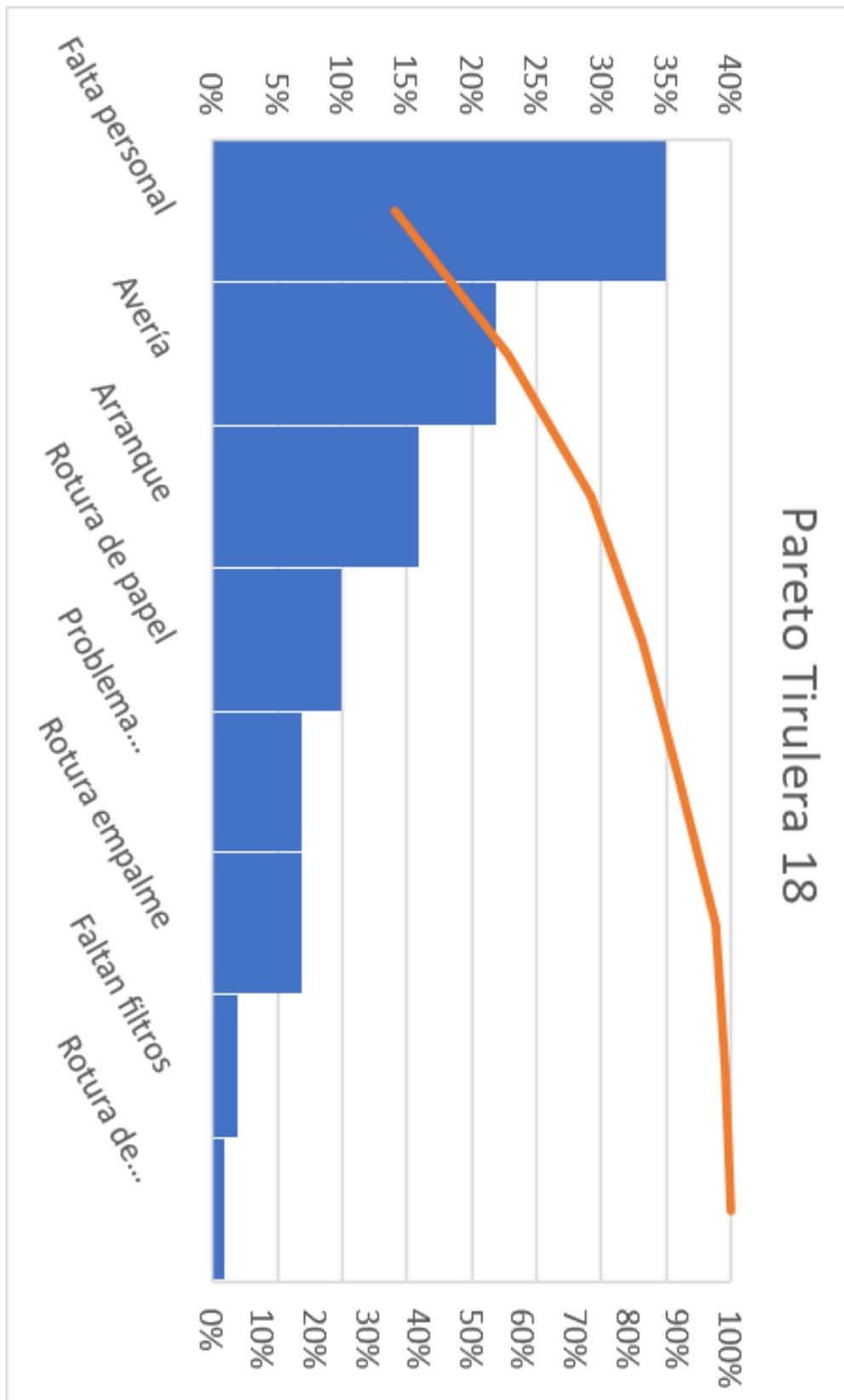
18"Diagrama de Pareto Tirulera 12". (Elaboración propia).

8.2. Anexo 3. Pareto Tirulera 19.



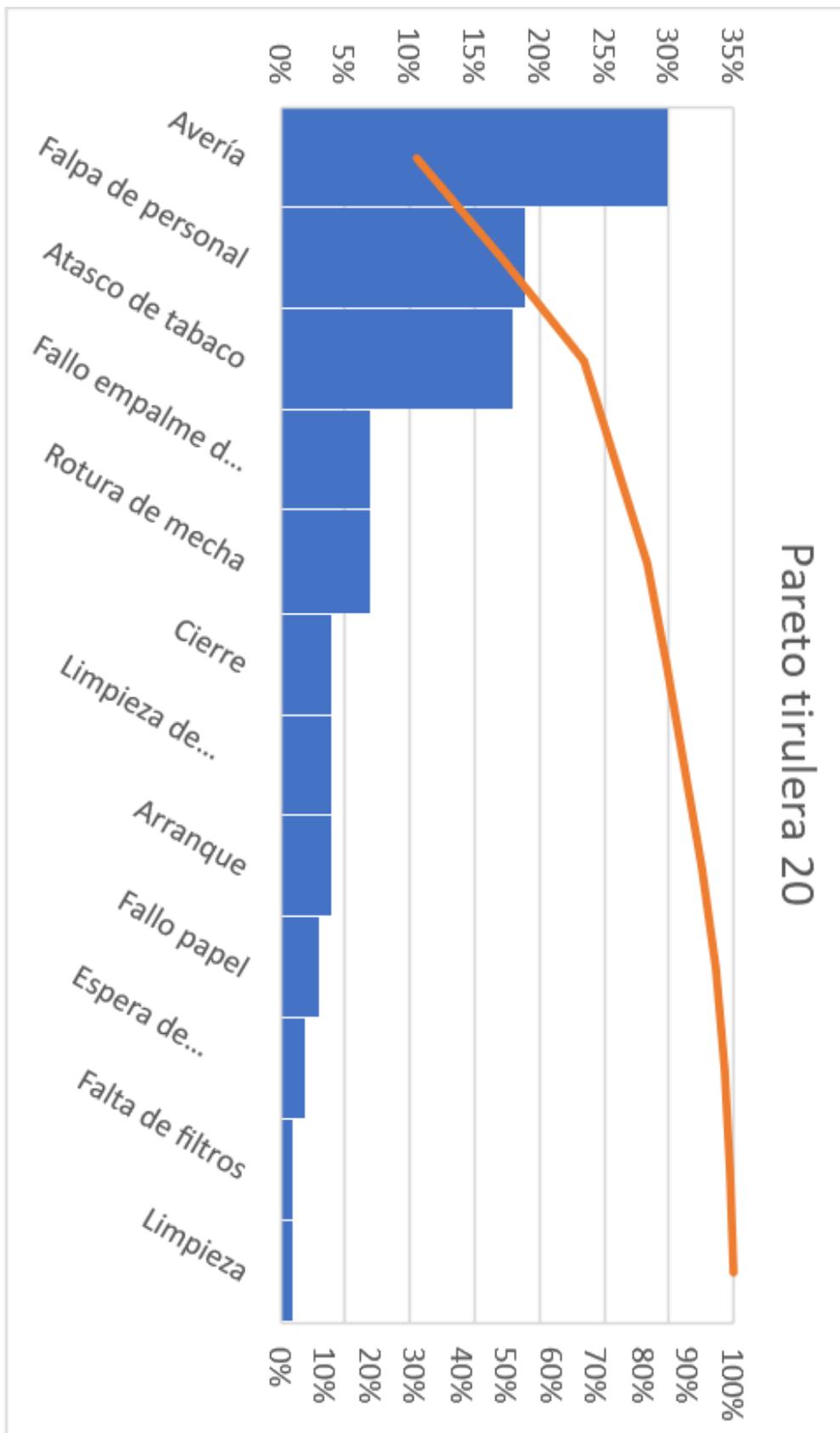
19"Diagrama de Pareto Tirulera 19". (Elaboración propia).

8.3. Anexo 4. Pareto Tirulera 18.



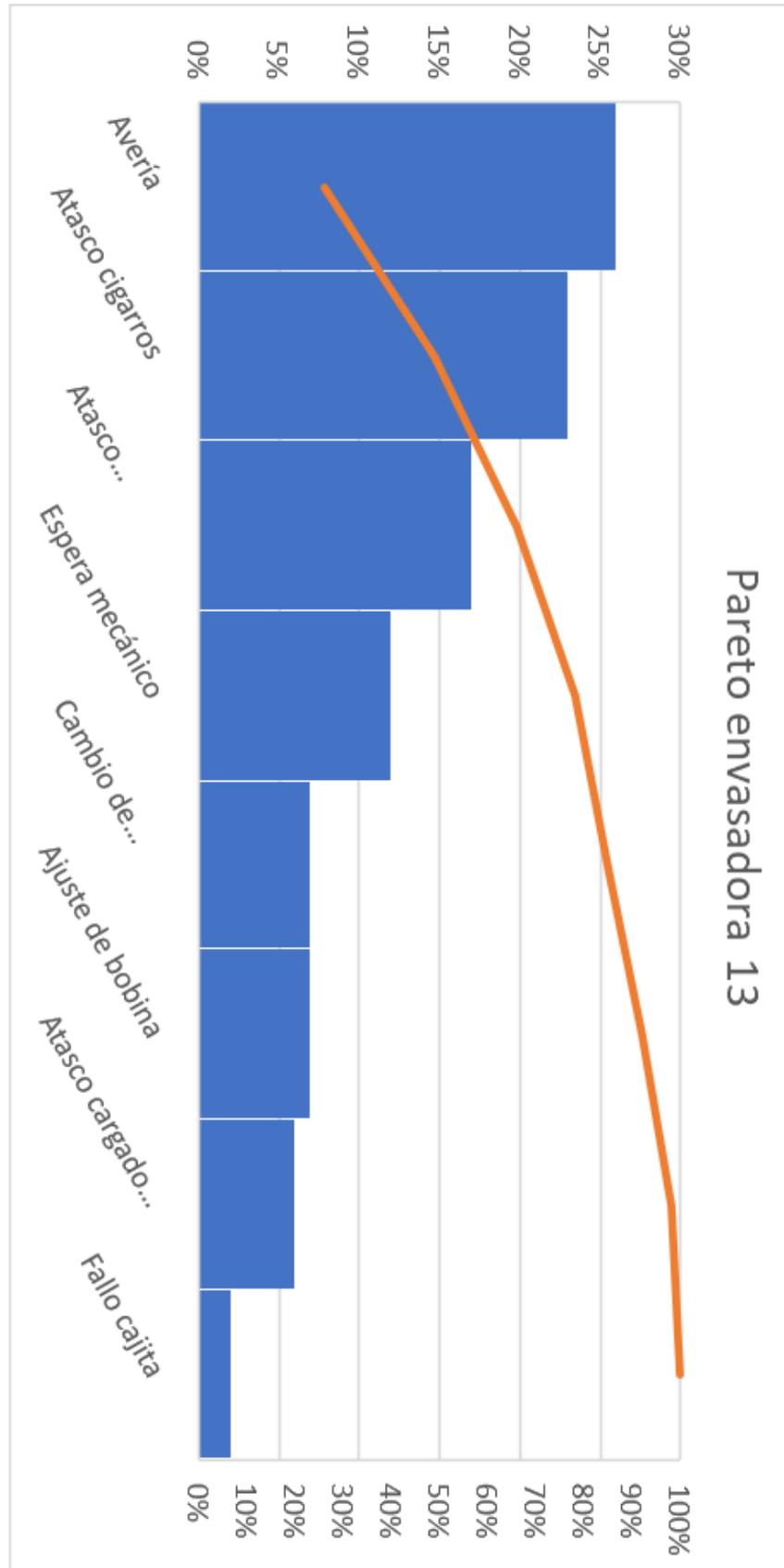
20"Diagrama de Pareto Tirulera 18". (Elaboración propia).

8.4. Anexo 5. Pareto Tirulera 20.



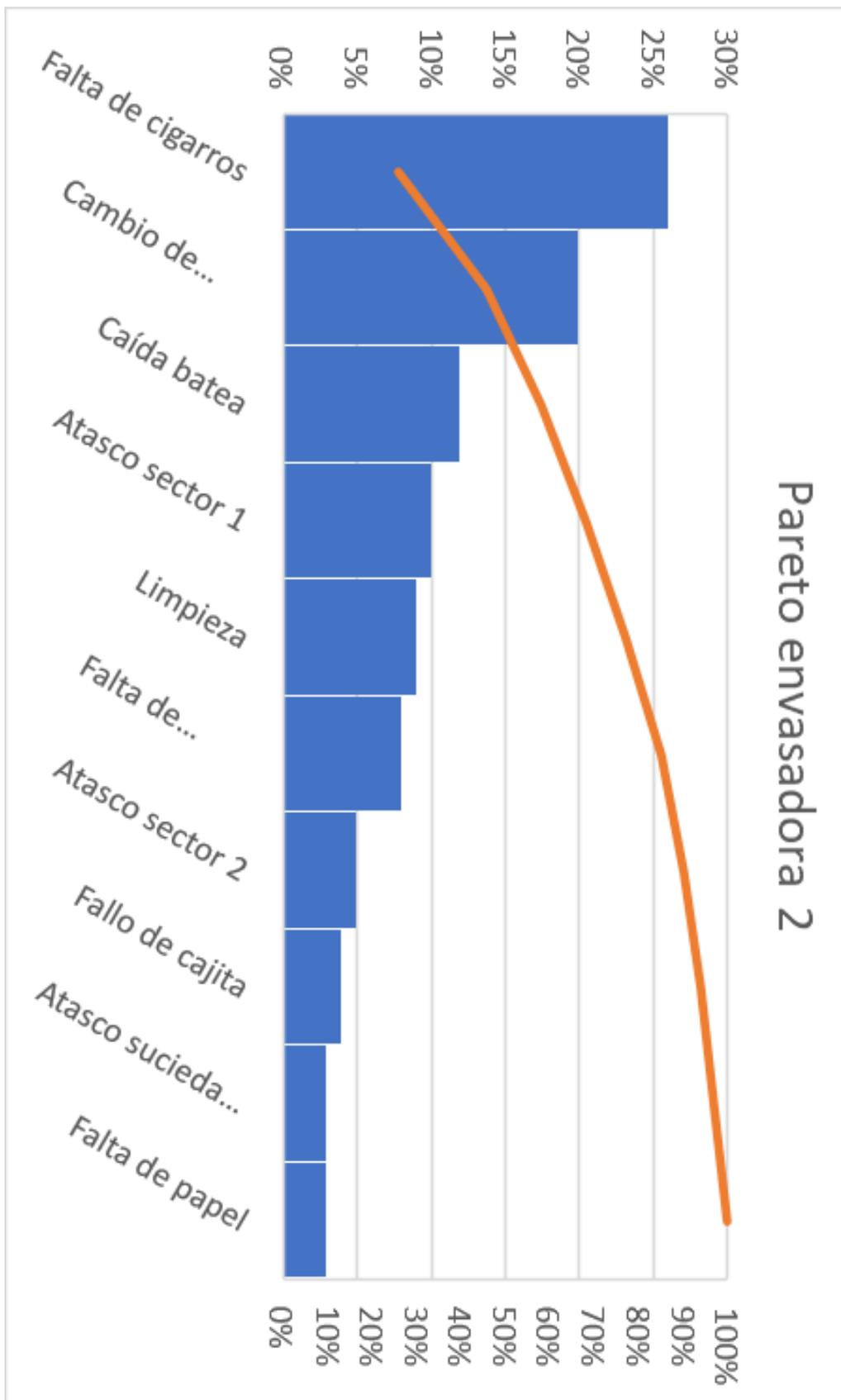
21"Diagrama de Pareto Tirulera 20". (Elaboración propia).

8.5. Anexo 6. Pareto Envasadora 13.



"Diagrama de Pareto Envasadora 13". (Elaboración propia).

8.6. Anexo 7. Pareto Envasadora 2.



22"Diagrama de Pareto Envasadora 2". (Elaboración propia).