



Universidad de  
Oviedo



**ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ÁREA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER Nº 18010119**

**ESTUDIO Y MEJORA DE LA EFICIENCIA DE LOS RECURSOS DEL  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA  
FABRICANTE DE PRODUCTOS DE ACRISTALAMIENTO PARA  
AUTOMOCIÓN**

**Dña. URETA LARRAURI, María  
TUTOR: D. PARREÑO FERNÁNDEZ, Jose**

**FECHA: Julio 2018**

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1. MARCO DEL PROYECTO .....	5
1.2. OBJETIVOS .....	6
1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA .....	6
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>9</b>
2.1. EL PARABRISAS .....	9
2.2. EL VIDRIO.....	10
2.2.1. Proceso de flotación.....	11
2.2.2. Vidrio básico recocido.....	12
2.2.3. Vidrio templado.....	12
2.2.4. Vidrio laminado.....	13
2.3. PROCESO DE FABRICACIÓN .....	15
<b>3. MANTENIMIENTO.....</b>	<b>18</b>
3.1. DEFINICIÓN.....	18
3.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....	18
3.3. TIPOS .....	21
3.3.1. Mantenimiento correctivo.....	21
3.3.2. Mantenimiento preventivo.....	23
3.3.3. Mantenimiento predictivo.....	24
3.3.4. Mantenimiento Cero Horas (Overhaul).....	25
3.3.5. Mantenimiento en Uso (Gestión autónoma).....	25
3.4. MODELOS DE MANTENIMIENTO .....	25
3.4.1. Modelo Correctivo.....	26
3.4.2. Modelo Condicional .....	26
3.4.3. Modelo Sistemático .....	26
3.4.4. Modelo de mantenimiento de Alta Disponibilidad.....	27
3.5. NECESIDADES DE MANTENIMIENTO .....	27

<b>4. WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM)</b> .....	<b>30</b>
4.1. QUÉ ES WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM).....	30
4.1.1. Metodologías en las que se apoya WCM .....	31
4.2. PILARES DEL WCM.....	37
4.3. GRUPOS DE MEJORA .....	39
4.4. PILAR DE FIABILIDAD.....	41
<b>5. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CON PGMWIN®</b> .....	<b>43</b>
5.1. SITUACIÓN PREVIA.....	43
5.2. PGMWIN®.....	43
5.2.1. Beneficios .....	45
5.3. SITUACIÓN ACTUAL EN REPUESTOS Y ALMACÉN .....	46
5.4. RELACIÓN CON WCM.....	49
<b>6. GESTIÓN DE COMPONENTES</b> .....	<b>52</b>
6.1. ANTECEDENTES .....	52
6.2. PASOS A REALIZAR POR EL GRUPO DE MEJORA.....	54
6.3. PASO 1: DEFINIR LA SITUACIÓN ACTUAL Y LOS OBJETIVOS.....	55
6.3.1. Actividad 1: Evaluar el nivel de stock.....	55
6.3.2. Actividad 2: Evaluar el coste.....	56
6.3.3. Actividad 3: Definir los objetivos .....	56
6.4. PASO 2: ELIMINAR MATERIAL OBSOLETO E INUTILIZADO .....	58
6.4.1. Actividad 1: Tirar material obsoleto.....	58
6.4.2. Actividad 2: Información sobre motores para buen almacenaje .....	59
6.4.3. Actividad 3: Planificar la gestión .....	61
6.5. PASO 3: REORGANIZAR LOS MATERIALES RESTANTES .....	62
6.5.1. Actividad 1: Definir repuestos para cada máquina.....	62
6.5.2. Actividad 2: Organizar el almacén .....	64
6.5.3. Actividad 3: Controlar el tiempo requerido para encontrar el repuesto .....	65
6.6. PASO 4: DEFINIR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS STOCKS .....	65
6.6.1. Actividad 1: Clasificación de los repuestos.....	65
6.6.2. Actividad 2: Análisis ABC .....	66

6.6.3.	Actividad 3: Determinar la cantidad de piezas de baja rotación .....	68
6.6.4.	Actividad 4: Determinar la cantidad de piezas con rotación normal .....	69
6.7.	<b>PASO 5: GESTIÓN DE LOS RECAMBIOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....</b>	<b>70</b>
6.7.1.	Actividad 1: Gestión de los repuestos para el mantenimiento planificado....	71
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>8.</b>	<b>PROGRAMACIÓN TEMPORAL .....</b>	<b>82</b>
<b>9.</b>	<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>84</b>
9.1.	COSTE DEL MATERIAL .....	84
9.2.	COSTE DE LOS RECURSOS HUMANOS .....	84
9.3.	COSTE TOTAL.....	85
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>

# Introducción

---

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. MARCO DEL PROYECTO

El contexto en el que se enmarca este proyecto es la mejora de la eficiencia de los recursos disponibles en el área de mantenimiento. Para ello habrá que entender la situación previa y buscar las mejores soluciones que se adapten a esta planta.

El mantenimiento se ha consolidado como uno de los puntos clave que es necesario tener en cuenta en toda planta de fabricación. Una de las ventajas que ofrece es la reducción de averías, ya que los equipos se someten a revisiones periódicas para evaluar si los componentes están en condiciones favorables de trabajo y, en caso contrario, valorar la posibilidad de sustituirlo para evitar el fallo posterior de la máquina. En muchas ocasiones esto es complicado de llevar a cabo debido a las dimensiones de las fábricas y la planificación de trabajo que tengan implantada.

En el caso de estudio, la fábrica trabaja durante los siete días de la semana, las 24 horas del día, por tanto, hay que adaptar la forma de llevar a cabo el mantenimiento a las condiciones que se presentan. Como se explicará en capítulos posteriores, en esta planta se planifican paradas de corto periodo de duración que permiten abordar las tareas de mantenimiento previstas. Sin embargo, en el día a día, surgen averías imprevistas que hacen que la línea de fabricación tenga que parar, repercutiendo en el nivel de producción y, consecuentemente, en el resultado económico.

Ante estas averías imprevistas, el objetivo se centra en reducir el tiempo en el que la máquina se encuentra parada. Como medida a este problema, en el taller de mantenimiento se tiene un número variado de repuestos que, en muchos casos, permite subsanar de forma rápida y eficaz el contratiempo. El problema que surge es encontrar la manera de llevar a cabo la gestión de todos los elementos disponibles, realizar el inventario y cómo definir su ubicación para facilitar la tarea a los operarios del taller.

El objetivo principal del proyecto es implantar una ruta estandarizada de gestión de los componentes, que sirva de base para el resto de repuestos disponibles, para crear así una dinámica de trabajo que permita favorecer el funcionamiento de la fábrica.

## 1.2. OBJETIVOS

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo principal de este proyecto es la implantación de una ruta estandarizada para la gestión de los componentes en el almacén de mantenimiento. Otros objetivos a tener en cuenta son:

- Actualizar la base de datos disponible en el PGMWin.
- Mejora de la ubicación y estado de los repuestos del almacén.
- Reducir el tiempo de búsqueda de un repuesto.

## 1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Este trabajo fin de máster se ha estructurado de la siguiente manera:

- En el capítulo 1, *Introducción*, se define el ámbito de aplicación de este trabajo, abordando los objetivos generales y presentando la distribución de los capítulos de la memoria.
- En el capítulo 2, *Antecedentes*, se realiza una breve descripción del producto que se fabrica en la planta (parabrisas), explicando cuál es el material de partida y como, tras su proceso de fabricación, se obtienen diferentes materiales en función de los tratamientos a los que se somatan. Por último, se explica el proceso de fabricación que se sigue en la fábrica del propio parabrisas.
- En el capítulo 3, *Mantenimiento*, se define el concepto de mantenimiento en la industria, además de realizar un breve resumen sobre su evolución histórica. Se identifican los tipos de mantenimiento que hay y, a continuación, se estudian los diferentes modelos. Finalmente, se explica la necesidad de mantenimiento en la planta de Sekurit.
- En el capítulo 4, *World Class Manufacturing (WCM)*, se describe el concepto del World Class y las diferentes metodologías en las que se basa para su creación. Seguidamente, se definen los pilares que rigen su aplicación en la empresa y los grupos de mejora, que son los recursos usados para lograr los objetivos fijados. El

último punto se centra en el pilar de fiabilidad, el cual corresponde al área de mantenimiento.

- En el capítulo 5, *Gestión del mantenimiento con PGMWin*, se realiza un breve resumen de la situación de los almacenes y, tras la implantación del software de gestión PGMWin, cuál es la situación actual. Además, se explica la relación que hay entre el mismo y el WCM.
- En el capítulo 6, *Gestión de componentes*, se explican las razones que llevan a mejorar el sistema de gestión de los repuestos y como, para ello, se crea un grupo de mejora. A continuación, se detalla la ruta que es necesario seguir para estandarizar el proceso de gestión.
- En el capítulo 7, *Conclusiones*, se presentan las conclusiones obtenidas tras la realización del presente trabajo.
- En el capítulo 8, *Programación temporal*, se especifican los periodos de tiempo empleados para realizar las tareas del proyecto.
- Por último, el capítulo 9, *Presupuesto*, recoge los distintos costes generados por la realización de los estudios.



# Antecedentes

---

## 2. ANTECEDENTES

En este capítulo se recoge una idea general del parabrisas, el producto fabricado en Saint-Gobain Sekurit Avilés. Se presenta una breve introducción del vidrio como material de partida, el proceso que se ha de seguir para obtener dicho material y los diferentes tipos de vidrios que se consiguen en función de los procesos a los que se somete. Por último, se explica el proceso de fabricación de los parabrisas.

### 2.1. EL PARABRISAS

El parabrisas es un vidrio único en el coche, ya que es el encargado de circular de frente al sentido de la marcha y, además, es el que proporciona la visibilidad al conductor. Esto implica que, a velocidades de circulación habituales, cualquier objeto que impacte contra él puede hacer hacerlo a gran velocidad y no debería poner en peligro la integridad ni la visión de los ocupantes [1].



**Figura 2.1.** Parabrisas de un automóvil [15]

Por todo ello, el parabrisas tiene que estar diseñado para resistir no solamente la presión del aire propia de la circulación, sino también todos los posibles impactos que se producen en el día a día sin que ningún objeto lo atraviese. Otro punto fundamental es que, en caso

de rotura, no se fragmente, lo que pueda impedir la visión hacia el frente o incluso herir a los ocupantes del vehículo.

El material que cumple con todas las exigencias de un parabrisas es el vidrio laminado, el cual posee unas características mecánicas excelentes para desempeñar estas funciones. En el siguiente apartado se hace un recorrido por el proceso de obtención de dicho vidrio.

## 2.2. EL VIDRIO

El vidrio es un material amorfo producido por la fusión de sílice y aditivos a muy altas temperaturas, y al enfriar se convierte en un material duro y brillante sin estructura de grano. El vidrio plano producido por medio del proceso de flotación es a menudo tratado posteriormente para darle ciertas cualidades o características específicas. De esta manera, la industria puede satisfacer las diferentes exigencias y necesidades de la construcción, la industria automotriz o de la energía solar. Dentro del Grupo Saint-Gobain, la marca Glass se encarga de este proceso, siendo líder de fabricación en Europa y número 2 en el mundo.

En la figura 2.2 se puede ver un esquema general, desde las materias primas que componen el vidrio hasta los diferentes materiales que se obtienen tras el proceso de flotación.

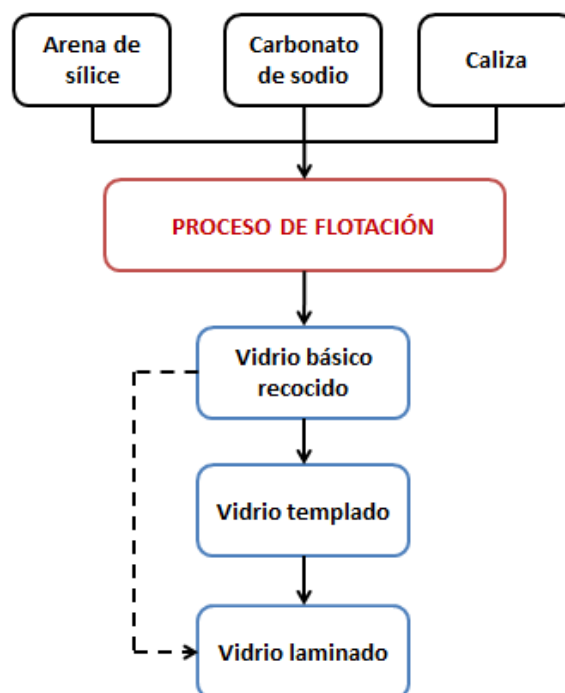


Figura 2.2. Esquema de producción del vidrio

### 2.2.1. Proceso de flotación

El vidrio está compuesto en un 75% de arena de sílice, carbonato de sodio (sosa) y caliza entre otras materias primas. Todas ellas se meten en un horno que alcanza los 1600<sup>0</sup>C de temperatura. Una vez fundido, en el baño “Float”, la masa vítrea permanece confinada en un medio cuya atmósfera es químicamente controlada, a una temperatura lo suficientemente alta y durante un tiempo prolongado para eliminar irregularidades y nivelar sus superficies hasta tornarlas planas, paralelas y brillantes, pulidas a fuego. Gracias a que la superficie del estaño es plana, la del cristal así obtenido también lo es. La lámina es enfriada lentamente mientras sigue flotando sobre el estaño, hasta que, cuando sus superficies están lo suficientemente endurecidas, emerge del mismo y continúa avanzando sobre rodillos, sin que éstos afecten su cara inferior [2].

Una vez haya enfriado lo suficiente estará preparado para ser cortado. Este enfriamiento controlado es clave en todo el proceso para evitar las tensiones internas que harían imposible el corte normal de la hoja.

Tras este proceso el vidrio pasa por una zona de inspección con láser y a continuación se corta longitudinal y transversalmente [3].

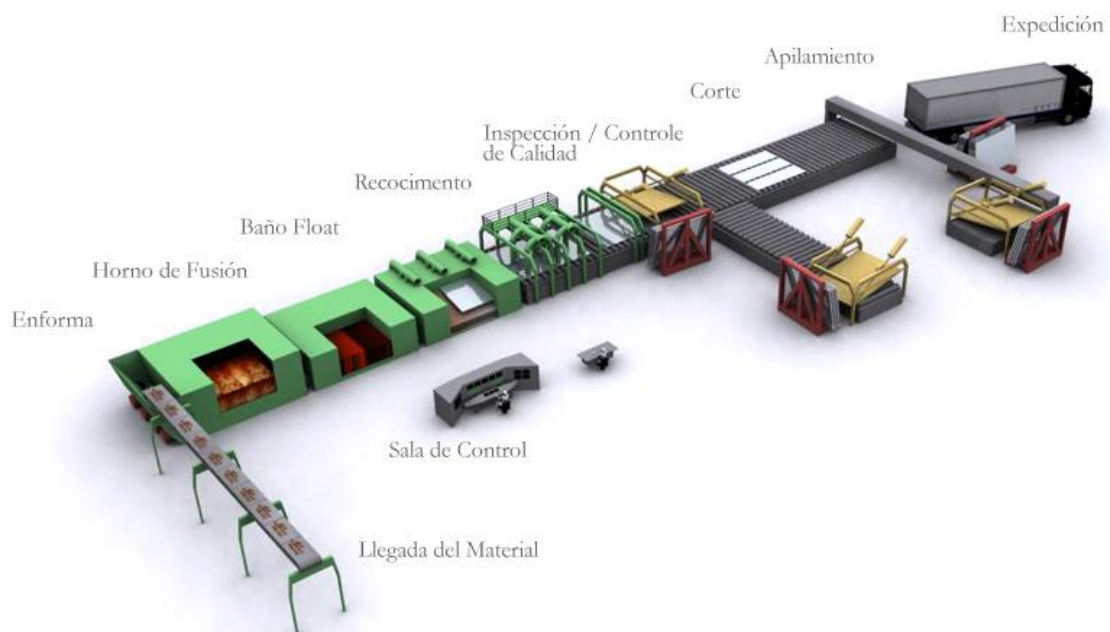


Figura 2.3. Esquema del proceso de flotación [16]

Algunas de las ventajas que presenta el vidrio fabricado por este método son:

- Superficie lisa y plana obteniendo un vidrio perfecto.
- Sin distorsión óptica.
- Sin burbujas ni piedras.
- Resistente a los ácidos alcalinos y a la corrosión.
- Especificaciones de tamaño flexible minimizando la pérdida por corte.
- Alta transmisión de luz.
- Se emplea para todo tipo de proceso (laminado, templado, espejo, serigrafía, tratamientos al ácido).
- Diseño diferenciador para los vidrios de colores.

### 2.2.2. Vidrio básico recocido

El vidrio cocido es el producto básico del vidrio plano, obtenido como primer resultado del proceso de flotación. Este tipo de vidrio tiende a romperse en pedazos grandes y dentados.

Es el material de partida en productos más avanzados a través de procesos como la laminación, endurecimiento o recubrimiento, entre otros [4].

### 2.2.3. Vidrio templado

El vidrio templado es tratado para ser mucho más resistente a la rotura que el vidrio recocido simple, lo que le proporciona una ventaja importante de seguridad en casi todas sus aplicaciones.

El vidrio templado es el vidrio recocido tratado con un proceso de templado térmico. Una hoja de vidrio recocido se calienta por encima de su punto de cocido de 600°C; a continuación, sus superficies se enfrían rápidamente, mientras que la parte interior del vidrio permanece más caliente. Los diferentes grados de enfriamiento entre la superficie y

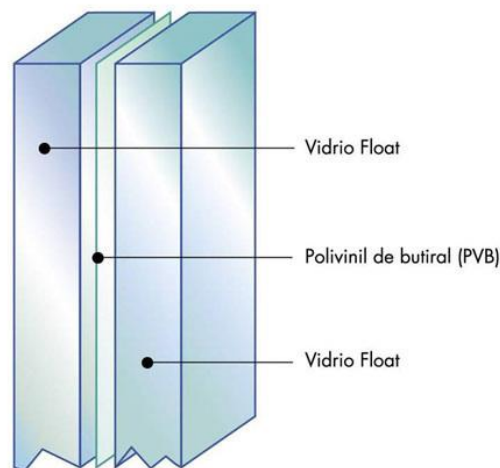
el interior del cristal producen propiedades físicas diferentes, lo que da como resultado tensiones de compresión en la superficie, equilibradas por los esfuerzos de tracción en el interior.

Estas tensiones que se contrarrestan le dan al vidrio endurecido su mayor resistencia mecánica a la rotura. Cuando se rompe, produce pequeños fragmentos, típicamente cuadrados en lugar de los fragmentos largos y peligrosos del vidrio cocido, que pueden producir cortes y heridas.

Este tipo de vidrio tiene un campo de aplicación muy amplio, tanto para edificios como para los automóviles y el transporte.

#### 2.2.4. Vidrio laminado

El vidrio laminado es un acristalamiento de seguridad compuesto por dos o más vidrios unidos entre sí por medio de una o varias láminas de butiral de polivinilo (PVB) (figura 2.4), aplicadas a presión y calor en un autoclave.



**Figura 2.4.** Composición del vidrio laminado [17]

Esta configuración combina las propiedades del vidrio (transparencia, dureza, etc.) con las propiedades del PVB:

- Adherencia al vidrio.

- Elasticidad.
- Resistencia al impacto.

Por ello, ante un posible impacto, la película de PVB absorberá la energía del choque al mismo tiempo que mantiene su adherencia al vidrio. Así, los trozos de éste no se desprenden y el conjunto se mantiene en el marco.

Aunque el PVB es un material opaco en su estado natural, después del proceso de autoclave se vuelve transparente, por lo que no afecta a las propiedades de transmisión lumínica.

El vidrio laminado puede estar fabricado con vidrios templados o sin temprar. Si se da el primer caso, se aunarán en un mismo cristal las cualidades que tienen los tratamientos de temple y de laminado.

Las ventajas de este tipo de vidrio son [5]:

- Mayor nivel de resistencia.
- Es un cristal prácticamente inseparable (en caso de rotura, la lámina ejerce de retención y evita que el cristal se haga añicos).
- El vidrio laminado aumenta la seguridad.
- Protege a las personas y niños frente a los riesgos de heridas en caso de rotura.
- Filtra los rayos solares ultravioletas (UV) en más de un 95%.
- Sirve para mejorar los efectos de degradación del color.

El vidrio laminado, además, se puede combinar con otras propiedades del vidrio que aumentan el confort: acristalamiento térmico reforzado, aislamiento acústico, autolimpieza, decoración...

La marca Saint-Gobain Sekurit se encarga de la fabricación de este tipo de vidrio para, tras darle la forma adecuada, obtener parabrisas para automóviles. En el apartado siguiente se explica de forma detallada el proceso de fabricación de los mismos.

### 2.3. PROCESO DE FABRICACIÓN

A la planta de Sekurit llega el vidrio fabricado en la parte de Glass en pallets de grandes dimensiones. El primer paso a llevar a cabo es desapilar los paneles de vidrio flotado (1), llamados primitivos, y proceder a su recorte. De esta forma se obtienen piezas de vidrio de menor tamaño, llamadas travers, que facilitan el manejo y evitan un desperdicio innecesario de vidrio, ya que se cortan a medida. Sobre ellos se recorta la forma del parabrisas para, a continuación, pulir sus bordes (2).

Antes de proceder a fabricar el parabrisas es necesario lavar y secar las piezas de vidrio (3) para eliminar cualquier residuo que pueda interferir en el proceso y dañar el producto.



**Figura 2.5.** Proceso de fabricación de acristalamiento para automóviles [6]

El primer paso del proceso es imprimir por serigrafía un borde esmaltado en uno de los paneles (4). Esto se hace por motivos de diseño y por protección del adhesivo en el cuerpo



del vehículo. Igualmente, se incluye información y detalles obligatorios relativos a la especificación de acristalamiento (figura 2.6).

A continuación, se produce el apareamiento en la entrada del horno (5). Esto es que dos placas de vidrio se emparejan, juntándolas en el mismo molde. Una vez en el horno se calientan a más de 600°C, donde toman forma por gravedad (6). Luego se enfrían gradualmente. A la salida del horno, las placas se vuelven a separar para posteriormente lavarlas y secarlas (7). El siguiente paso nos lleva a la sala blanca, donde se inserta una capa de PVB (butiral de polivinilo) entre las dos placas de cristal (8). Posteriormente, se hace el vacío en el túnel de sacos (9). En función de las especificaciones del cliente, se pueden adherir soportes para cámaras, espejos retrovisores, sensores o cámaras (10). Finalmente, se llevan los parabrisas al autoclave (11), donde se hace vacío completo para asegurar una adherencia total entre las dos placas de vidrio y la capa de PVB. Al final de esta etapa los parabrisas son completamente transparentes.



**Figura 2.6.** Logo de serigrafía

Antes de hacer la entrega al cliente los parabrisas tienen que pasar una inspección completa (18) que garantice que están en perfectas condiciones de calidad. Si el resultado es favorable, se prepara el embalaje para su posterior transporte [6].

# Mantenimiento

---

## 3. MANTENIMIENTO

En el presente capítulo se define el concepto del mantenimiento en la industria para, a continuación, hacer un breve recorrido por los años para ver cómo ha sido el progreso del mismo. Seguidamente, se explican los tipos de mantenimiento que existen en la actualidad y los modelos de actuación, que son combinaciones de tareas de los diferentes tipos de mantenimiento que se ajustan a las máquinas que hay instaladas en la línea. Por último, se describe el tipo de fabricación que se lleva a cabo en la planta de Sekurit y por qué es necesario tener un plan de mantenimiento.

### 3.1. DEFINICIÓN

El término mantenimiento se entiende como el conjunto de técnicas y normas que se establecen para la correcta conservación de las instalaciones y la maquinaria en una planta industrial. Gracias a estas técnicas se logra un mejor rendimiento de los equipos, que además podrán producir durante más horas y en un plazo más elevado de tiempo en buenas condiciones [8].

### 3.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Durante la Primera Revolución Industrial (1780-1830) los bienes se fabricaban de forma manual, por lo que se requería personal con altas capacidades. Este mismo personal de producción, además de realizar sus labores, cuidaba de las máquinas solo con acciones de mantenimiento correctivo, ya que no las consideraban importantes para el desarrollo del trabajo. En 1798 surgió la necesidad de mejorar el mantenimiento correctivo ya que se empleaba demasiado tiempo en las averías y, además, exigían la atención de varios especialistas debido a que las piezas rotas tenían que volver a hacerse a medida. De aquí surgió el uso intercambiable de piezas en las máquinas.

Sobre el año 1903 comienza la producción industrial masiva, lo que conllevó a un gran aumento del número de máquinas y, con ello, el tiempo invertido por los trabajadores de

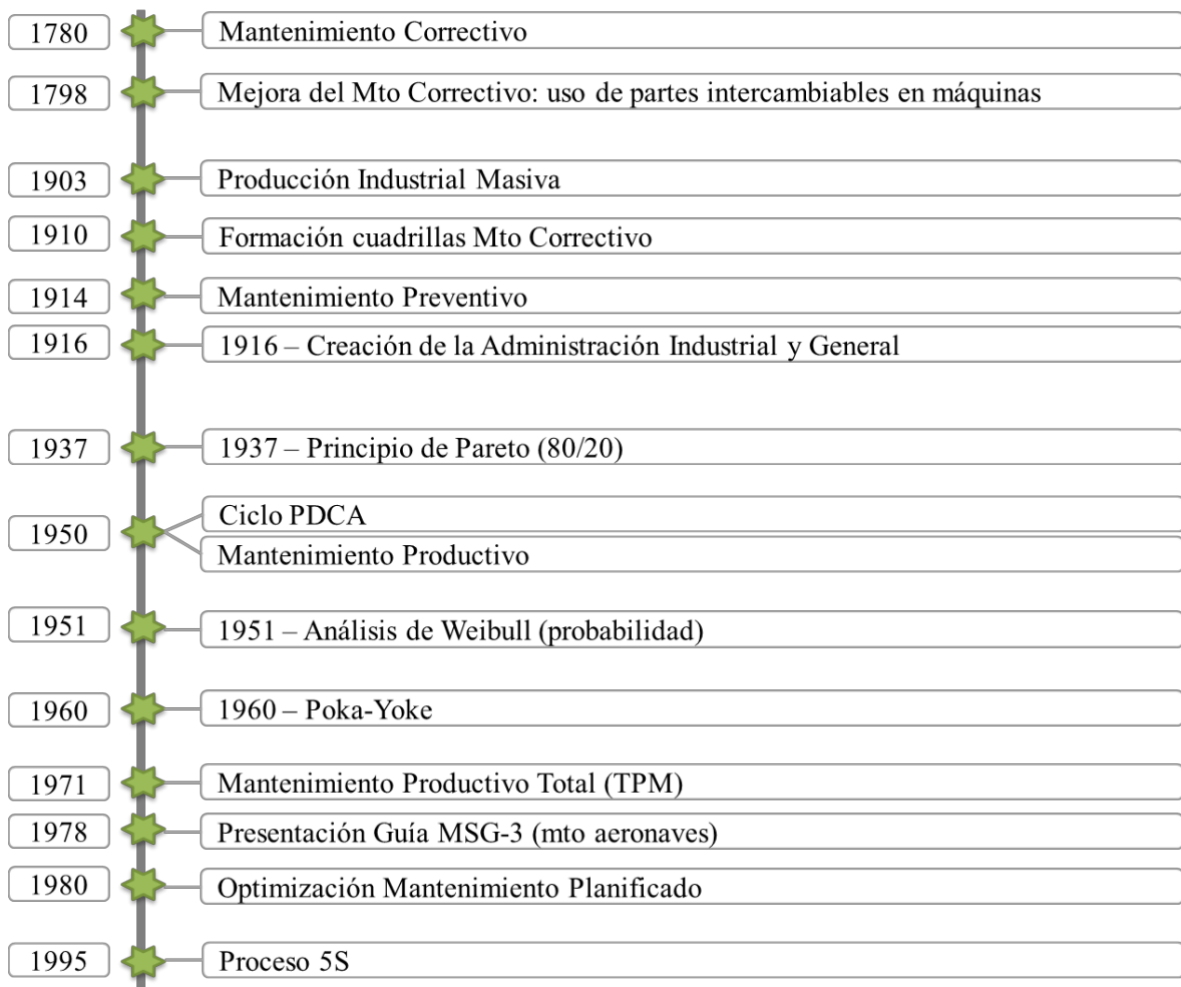
producción en hacer arreglos a las mismas era cada vez mayor. A causa de esto, en el año 1910 se formaron cuadrillas de mantenimiento correctivo con personal de baja cualificación para liberar de trabajo a este personal. El siguiente paso fue asignar al personal de mantenimiento correctivo labores de prevención para evitar que las máquinas más importantes fallaran, naciendo así los departamentos de mantenimiento preventivo (1914). En 1916 se crea la Administración Industrial y General, conformada por las áreas de previsión, organización, dirección, coordinación y control. Comienza el proceso administrativo.

En 1937, Vilfred Pareto, ingeniero, sociólogo y economista italiano, dio a conocer su regla 80/20, llamada Principio de Pareto, la cual permite establecer prioridades al determinar los ítems. Según esta teoría, si se atiende un 20% de ellos, que se corresponden con los de mayor importancia, se obtiene el 80% de los beneficios.

En el año 1950, el físico, ingeniero y economista Walter A. Shewhart ideó el ciclo de Deming, también conocido como círculo PDCA, que significa planear, hacer, verificar y actuar. Como ya se verá más adelante, filosofías de mejora continua se basan en este ciclo. Por otro lado, en Estados Unidos se creó el concepto de mantenimiento productivo, lo que enfocó el trabajo de mantenimiento a obtener tanto calidad como cantidad de producto, y no solo dedicarse al cuidado de las máquinas.

W. Weibull, matemático e ingeniero ruso, presentó en 1951 la Distribución de Weibull, de la que se deriva el Análisis de Weibull, que es una técnica utilizada para estimar una probabilidad, y se basa en datos medidos o supuestos.

En 1960 surgió en Japón la necesidad de mejorar la calidad de sus productos. Esto les hizo viajar a Estados Unidos para visitar las fábricas donde ya se trabajaba con la filosofía de mantenimiento productivo, en la que participaban en su administración obreros y supervisores. S. Shingo, ingeniero mecánico japonés que se distinguió por ser uno de los líderes en prácticas de manufactura en el sistema de control de producción de Toyota, en 1951 comenzó a usar el sistema Poka-Yoke, que es una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un proceso. Este sistema se hace indispensable cuando lo que está en juego es la seguridad de la vida humana, además de cuidar la calidad del producto o servicio proporcionado por las máquinas.



**Figura 3.1.** Evolución temporal del mantenimiento

En 1971 se desarrolla el Mantenimiento Productivo Total (TPM). Unos años más tarde, en 1978, se produjo la Guía MSG-3 por parte de la Air Transport Association, dedicada a los fabricantes de naves aéreas para que hicieran sus programas de mantenimiento.

En estas últimas décadas se suceden los hitos de una manera más progresiva, ya que el concepto de mejora continua comienza a arraigar en muchas compañías que buscan sacar el máximo rendimiento a sus recursos. En 1980 se optimiza el Mantenimiento Planificado y, además, se aplica un mantenimiento centrado en la fiabilidad en todas las industrias. En 1995 se desarrolla el proceso de las 5s, una técnica de origen japonés que permite tener un lugar de trabajo más ordenado y limpio, favoreciendo así la productividad y mejorando el ambiente laboral.

En la actualidad, se continúan aplicando técnicas introducidas a lo largo de los años, mejorándolas y adaptándolas a las necesidades de la propia fábrica. El objetivo sigue latente a lo largo de la historia, y es mejorar las instalaciones y maquinaria de forma que permita obtener un mayor rendimiento de las mismas y, consecuentemente, un mayor beneficio en la producción [18] [19].

### 3.3. TIPOS

En función de las tareas que incluyen se pueden identificar cinco tipos de mantenimiento, los cuales se pueden ver en el esquema de la figura 3.2. A continuación, se procede a explicar con más detalle cada uno de ellos [7].



Figura 3.2. Tipos de mantenimiento

#### 3.3.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es aquel cuyo fin es corregir cualquier defecto que presente la maquinaria o el equipo [8]. Existen, a su vez, dos tipologías dentro de este tipo de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo no planificado:** se refiere al mantenimiento de emergencia, es decir, cuando ocurre algún tipo de urgencia o imprevisto y se han de tomar decisiones para que la maquinaria vuelva a su funcionamiento correcto lo antes posible. A veces pueden surgir por imprevistos legales, como defectos de seguridad, aplicación de normas o asuntos de contaminación.

- **Mantenimiento correctivo planificado:** este mantenimiento se refiere al que se tiene constancia con antelación, por lo que se puede preparar al personal, los repuestos y equipos técnicos necesarios, los documentos pertinentes, etc.

Algunas ventajas que presenta este tipo de mantenimiento son:

- Las instalaciones y los equipos se mantienen más tiempo trabajando, aunque a veces por debajo de su rendimiento normal por avería.
- Los costes de las reparaciones suelen ser más reducidos, aunque no siempre, porque a veces una avería pequeña que se mantiene en funcionamiento genera una avería mayor, incrementando los costes.
- Se logra una mayor uniformidad en lo que respecta a carga de trabajo del personal encargado del mantenimiento, ya que la programación de actividades así lo facilita y lo promueve.
- Dado que el personal tiene que trabajar en buenas condiciones para que el mantenimiento sea efectivo, se logran conformar equipos muy fiables y de alta especialización en situación de fuertes medidas de seguridad.

También destacan algunos inconvenientes:

- Se pueden producir fallos en el momento de la ejecución, lo que podría provocar un retraso en la puesta en marcha correcta de todos los equipos.
- El precio de algunas reparaciones en concreto se podría elevar demasiado, algo que afecta a los presupuestos de la empresa. A veces hay que adquirir repuestos y equipos no planificados o con urgencia.
- No existe una garantía total del tiempo que pueda llevar la reparación de un fallo en concreto.
- Las roturas suelen venir en el momento más inoportuno y muchas veces en picos de producción, donde las máquinas deben trabajar a tope.

### 3.3.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se puede definir como una técnica cuya eficacia se basa en un mantenimiento enfocado a la prevención de fallos en los equipos. Con este método se busca que las actividades estén siempre controladas para que el funcionamiento sea más fiable y eficiente, previendo los errores antes de que se produzcan [8].

Este tipo de mantenimiento será muy útil en la gestión de proyectos. Es una forma excelente de evitar posibles contingencias futuras que puedan suponer un sobre coste elevado a la empresa.

En cuanto a las ventajas del mantenimiento preventivo, cabe destacar las siguientes:

- Se reducen porcentualmente los riesgos de error y fugas, que son mucho menos probables.
- En comparación con otro tipo de mantenimiento, el coste es mucho menos elevado, especialmente frente a los fallos no planificados, que se reducen considerablemente con esta técnica.
- Se reducen los paros imprevistos, lo que aumenta la productividad y los tiempos de trabajo constante.
- Permite un mayor control sobre la producción y facilita la planificación, la instalación de nuevos dispositivos, aplicación de nuevas técnicas, etc.

Por el contrario, se pueden encontrar las siguientes desventajas:

- Es más complejo diagnosticar el nivel de desgaste que sufren las piezas que forman los diversos equipos.
- Se ha de buscar un personal mucho más especializado y las recomendaciones del fabricante cobran especial valor. De lo contrario, este tipo de mantenimiento será poco eficaz y muy costoso.



### 3.3.3. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento se basa en inspecciones periódicas para determinar la operatividad y estado de los equipos. Se produce a través del conocimiento de las variables, que ayudan a descubrir el verdadero estado y la prevención de fallos [8].

La eficacia de este tipo de procedimiento se basa en la prevención de variables como vibración, presión, temperatura, etc., que actúan como indicio del estado de los equipos. Es muy técnico y requiere unos altos conocimientos de análisis, ya que se trabaja con equipos de elevada sofisticación.

En cuanto a las ventajas que se pueden encontrar, destacan:

- La operatividad de la maquinaria es más continua, ya que las pausas en caso de error son breves al detectarse de forma temprana.
- Es muy fiable, ya que usa un personal muy cualificado que realiza cálculos de alta exactitud.
- La necesidad de personal es menor, por lo que se reducen los costes en contratación.
- Los repuestos y equipos empleados tienen una alta durabilidad. Las revisiones se hacen en base a resultados, por lo que se buscan piezas que cumplan con lo estipulado.

Algunos de los inconvenientes que también presenta este tipo de mantenimiento son:

- Implica programación, por lo que una avería puede demorarse más tiempo en ser solucionada.
- Los equipos requeridos son más costosos, ya que son especiales, muy precisos y, por tanto, de un presupuesto muy elevado.
- El personal, pese a ser menor en número, ha de tener una alta cualificación. Así pues, tiene que conocer muy bien su área, pero hay menos opciones de mercado para encontrar a colaboradores realmente cualificados.

- Implementar estos equipos de alta tecnología es muy caro, ya que, al funcionar por medio de programación, los inicios son muy complejos, por lo que de entrada la inversión es muy elevada.

#### **3.3.4. Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)**

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados, bien antes de que aparezca ningún fallo, o bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano [7].

#### **3.3.5. Mantenimiento en Uso (Gestión autónoma)**

Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (toma de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Mantenimiento Total Productivo, Total Productive Maintenance) [7].

### **3.4. MODELOS DE MANTENIMIENTO**

La división de los tipos de mantenimiento realizada en el apartado anterior consiste en una clasificación teórica, pero a nivel de planta los equipos necesitan una combinación de ellos para mantener su correcto funcionamiento. Como solución a este inconveniente surgen los modelos de mantenimiento.

Un modelo es una combinación de los anteriores tipos de mantenimiento en unas determinadas proporciones y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto. Además, se incluyen dos actividades en todos estos modelos que resultan indispensables, como son la lubricación y la inspección visual [7].

### 3.4.1. Modelo Correctivo

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos [7].

### 3.4.2. Modelo Condicional

Incluye las actividades del modelo anterior y, además, la realización de una serie de pruebas o ensayos, que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas se descubre una anomalía, se programará una intervención; si por el contrario todo es correcto, no se actuará sobre el equipo.

Este modelo es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja [7].

### 3.4.3. Modelo Sistemático

Este modelo incluye un conjunto de tareas que se realizarán independientemente de la condición del equipo. Se efectuarán, además, algunas mediciones y pruebas para decidir si se realizan otras tareas de mayor envergadura y, por último, se resolverán las averías que surjan.

Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo [7].

#### **3.4.4. Modelo de mantenimiento de Alta Disponibilidad**

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es en general el alto coste en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta, no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas con una vida inferior a dos años). Estas revisiones se preparan con antelación y no tiene por qué ser exactamente iguales año tras año.

El objetivo que se busca en este equipo es CERO AVERÍAS. En general no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, siendo apropiado en muchos casos realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general. Por tanto, la Puesta a Cero anual debe incluir la resolución de todas aquellas reparaciones provisionales que hayan tenido que efectuarse a lo largo del año [7].

### **3.5. NECESIDADES DE MANTENIMIENTO**

En la planta Sekurit de Avilés se trabaja 24 horas al día los 7 días de la semana, es decir, nunca se para. El problema reside en que al tratarse de grandes máquinas cualquier imprevisto puede obligar a realizar paradas que no son esperadas y que, consecuentemente, van a parar la producción. El objetivo de la fábrica es implantar un mantenimiento Cero Horas, en el que nos adelantáramos a posibles fallos y se podrían solventar antes de que ocurriesen. Actualmente, existe un mantenimiento preventivo en el que se programan determinadas paradas controladas para mejorar y/o subsanar cualquier desperfecto que se haya detectado en los momentos de producción.

A raíz de la intención de continuar mejorando el tipo de mantenimiento con el fin de llegar a conseguir cero fallos, se implanta el programa de mejora continua World Class Manufacturing (WCM) que, como se verá en el capítulo siguiente, ayudará a implantar estándares que nos permitan llegar al objetivo deseado.

World Class  
Manufacturing (WCM)

---

# 4. WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM)

La necesidad de mejora es un hecho real en todas las fábricas, tanto desde el punto de vista de aumentar los beneficios propios como de diferenciarse del resto de competidores. Debido a esto, cada vez más empresas implantan sistemas que permiten instaurar procesos de mejora permanente, en los que los conocimientos se van acumulando y la experiencia adquirida a través de los años va a permitir solucionar eventos futuros.

Uno de estos sistemas es el World Class Manufacturing (en adelante, WCM). En este capítulo se explica en qué consiste y las metodologías en las que se basa. Igualmente, se definen los pilares que lo conforman y cómo ayudan a estandarizar las acciones que se tienen que llevar a cabo. A continuación, se describen los grupos de mejora, que son los encargados de subsanar las áreas que generan pérdidas y de implantar soluciones que eviten que vuelvan a surgir en el futuro. Finalmente, se habla brevemente del pilar de fiabilidad, que es el correspondiente al área de mantenimiento.

## 4.1. QUÉ ES WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM)

El World Class Manufacturing (WCM) nació como un modelo de origen japonés para promover la mejora continua en los procesos de producción y logística [9]. Se ha ido modernizando y consolidando como un sistema integrado de gestión que promueve la total competitividad de las empresas. Está basado en la filosofía Kaizen y también toma en consideración otros modelos o programas como Total Quality Control (TQM), Total Productive Maintenance (TPM), Just in Time (JIT), o Lean, entre otros.

Su objetivo es la eliminación de todo tipo de pérdidas y derroches, y está enfocado principalmente a una reducción de gastos, lo cual se lleva a cabo a través de la puesta en marcha de una cultura corporativa que toma como eje a las personas.

El WCM se desarrolla en tres etapas que involucran siete pasos. La primera se denomina Reactiva y es la etapa en la que se identifican problemas y se toman las medidas

correctivas necesarias. La segunda es la Preventiva, en la que se capitaliza la experiencia adquirida para evitar que los inconvenientes previamente mencionados se repitan. Por último, en la fase Proactiva, el análisis y la toma de medidas apuntan a la prevención, a evitar que aparezcan nuevos problemas.

#### **4.1.1. Metodologías en las que se apoya WCM**

Como se mencionaba en el apartado anterior, el WCM se basa en los siguientes sistemas de producción.

##### **4.1.1.1. Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance, TPM)**

El mantenimiento productivo total, TPM, es el método de la gestión del mantenimiento de la empresa con la vocación de conseguir cero fallos, con la involucración de todo el personal de la empresa, y en todas las fases del desarrollo del producto, incluido el diseño [10].

El buen funcionamiento de las máquinas es un factor de suma importancia con respecto a la productividad de la planta de fabricación. Debería ser una actividad más de la empresa el registro de los posibles factores que pueden producir una avería y la elaboración de un plan que permita eliminarlos o minorarlos, buscando la optimización del mantenimiento de equipos y herramientas.

Una implantación correcta del TPM hace que el personal adopte entre sus tareas el control y seguimiento de las máquinas para un perfecto funcionamiento. De esta forma, el propio operario intentará resolver un problema menor por él mismo.

Los principales puntos del TPM se centran en técnicas proactivas y preventivas para el mantenimiento de los equipos, y son:

- Mejora enfocada. Pequeños grupos de empleados trabajan juntos para realizar de forma proactiva mejoras regulares e incrementales en el funcionamiento de los equipos, lo que permite identificar los problemas desde el principio.



- Mantenimiento autónomo. Los operadores son responsables de las tareas de mantenimiento rutinarias del equipo que utilizan, como la limpieza. Los operadores conocen mejor su equipo y libera a los equipos de mantenimiento para otras prioridades.
- Mantenimiento planificado. Las tareas de mantenimiento se programan en base a la tasa histórica de fallas del equipo, y están programados para tiempos en los que el equipo no está en uso para reducir el tiempo de inactividad.
- Gestión de calidad. Los defectos se eliminan solventando la causa raíz, resultado en una mayor rentabilidad.
- Gestión temprana de equipos. Los conocimientos adquiridos a través de las actividades anteriores de TPM se utilizan para mejorar el diseño de nuevos equipos, lo que da lugar a menos problemas de puesta en marcha.
- TPM administrativo. Aplicar técnicas de TPM a funciones administrativas para apoyar una mayor productividad.
- Formación y educación. Reducir la brecha de habilidades y conocimientos mediante la capacitación de operadores, equipos de mantenimiento y gerentes en las prácticas de TPM.
- Seguridad, salud y medio ambiente. Conseguir un lugar de trabajo libre de accidentes eliminando cualquier riesgo para la salud y la seguridad.

En definitiva, el TPM describe la alineación entre la producción y el mantenimiento para la mejora continua de la calidad del producto, la eficiencia operativa y el aseguramiento de la capacidad y la seguridad.

#### **4.1.1.2. Lean Manufacturing**

La filosofía Lean Manufacturing busca la forma de mejorar y optimizar el sistema de producción, tratando de eliminar o reducir las actividades que no añadan valor dentro en el proceso de producción [14].

Las actividades que no añaden valor al producto son aquellas que no aportan nada al cliente, ni tampoco contribuyen a avanzar en el proceso de producción. Se denominan despilfarros porque hacen menos eficiente el proceso de producción.

La clave del éxito de esta metodología es que implica la colaboración y comunicación plena de todos los niveles de la empresa. Esta nueva cultura tiende a encontrar la forma de aplicar mejoras continuas utilizando los mínimos recursos, eliminando el despilfarro, mejorando la calidad y reduciendo tiempos de producción y el coste.

Los principios básicos que rigen el Lean Manufacturing son:

- Hacerlo bien a la primera: cero defectos. Esto se debe conseguir con la detección de los problemas y su solución en el origen.
- Minimizando el derroche, excluyendo las actividades que no agregan valor al producto.
- Mejora continua, teniendo como axioma el poder garantizar la calidad del producto o servicio, tratando continuamente de aumentar la productividad y la reducción de costes.
- Procesos “pull”. Las cantidades producidas se fabrican en respuesta a la demanda, evitando de esta forma la sobreproducción.
- Flexibilidad. Tener la capacidad de poder fabricar variedad de códigos de productos diferentes y en cantidades diferentes.
- Construcción y gestión de una relación y colaboración a largo plazo con los proveedores, llegando a acuerdos para compartir el riesgo, los costes y la información.
- Cambio del enfoque principal. Al cliente no se le vende un producto, sino que al cliente se le aporta una solución.

El pensamiento Lean evoluciona permanentemente como consecuencia del aprendizaje que se va adquiriendo sobre la implementación y adaptación de las diferentes técnicas a los distintos entornos industriales o de servicios.

Con todo ello, se consiguen una serie de beneficios que la empresa experimenta internamente en los diferentes niveles de la jerarquía.

Es sumamente importante un liderazgo comprometido en la empresa, proporcionando condiciones para que los resultados se alcancen. Por ello es necesario un entorno y proceso que ayude a sus empleados a identificar y subsanar los problemas.

#### **4.1.1.3. Kaizen: Mejora Continua**

Kaizen es un término japonés que se traduce como mejora continua, el cual viene de la unión de dos palabras japonesas: KAI (cambio) y ZEN (mejorar) [13].

La idea es ir continuamente haciendo pequeños cambios o pequeñas mejoras que permite que nos acerquemos hacia la calidad y a los requisitos del cliente, estando estas mejoras enfocadas en los procesos que realizan las personas.

Para conseguir reducir costes y mejorar en calidad, se debe focalizar en los aspectos que siguen:

- Disminución de stocks.
- Optimización de la zona de fábrica y almacenes.
- Reducción de tiempos.

Los principios que rigen esta filosofía se recogen en la siguiente lista:

- No aceptar las ideas preconcebidas. No hay que aceptar algo simplemente porque ahora sea así.
- Evaluar cómo desarrollar determinada actividad, en vez de detallar como no hacerlo.
- Nunca retrasar una actividad relacionada con una propuesta de mejora: es prioritario.
- No es absolutamente necesario hacerlo todo perfecto. Tiene que funcionar, poco a poco se irá mejorando. La mejora desde la utilización es más fácil.

- No posponer la corrección de errores.
- Encontrar las ideas en la dificultad.
- Buscar la verdadera causa de los problemas o de los fallos.
- Hacer un *brain storming* en grupo.
- Validar después de realizar las pruebas de control. No dar nada por sentado.
- La mejora es constante y no tiene fin.

Es necesaria la participación de todos los estratos de la empresa. Ya que no hay un modelo único de desarrollo de estos programas, cada empresa puede encontrar el que le resulte más práctico. Lo que sí se debe hacer es seguir una serie de puntos que son comunes, y son:

- El Kaizen debe descubrir los problemas o posibles puntos de mejora.
- Se deben dar distintas soluciones o posibilidades a los problemas para obtener una mejora en el sistema.
- Valorar cada una de las propuestas y ejecutarlas.
- Darle seguimiento a las soluciones establecidas y medir sus resultados.

#### **4.1.1.4. Gestión de la Calidad Total (Total Quality Management, TQM)**

La gestión de la calidad total, TQM, es una estrategia que requiere el mantenimiento de la eficacia del proceso con el fin de generar valor para los clientes a través de productos con los requisitos cumplidos [11].

Su éxito es a través de la participación de todos los empleados de la compañía, siendo capaz de aliarse con el concepto de Lean y Six Sigma y herramientas de calidad. Estos métodos comprenden las tres etapas de la gestión y de la ejecución de la calidad que implican en el análisis de los problemas, propuestas de mejora y normalización de las mejoras conseguidas.

Los principios clave que permiten conseguir el éxito de su aplicación son:

- Producir con calidad a la primera. Implica una optimización de los procesos, reduciendo las pérdidas.
- Enfoque al cliente. Condición similar al concepto de Lean, donde los procesos de producción están adaptados y orientados según la demanda de los clientes.
- Adoptar un enfoque estratégico para mejorar los procesos. Adoptar una percepción de las tendencias actuales del mercado con el fin de alinearse con las nuevas exigencias del mercado.
- Mejora continua. Uso de herramientas tales como Kaizen, 5S, TPM en procesos internos.
- Fomentar la participación y el sentido de la igualdad de la cooperación entre los miembros de la organización. Crear condiciones para mantener a los empleados comprometidos y motivados para contribuir al proceso con propuestas de mejora a través de la formación on the job, el reconocimiento y eventos de premiación.

#### **4.1.1.5. Justo a Tiempo (Just In Time, JIT)**

Se entiende como “Just In Time” a la filosofía que busca la eliminación de todo lo que implique desperdicio en el proceso de producción, desde las compras hasta la distribución [12].

Se basa en que tanto el material intermedio como los productos acabados deben estar en su sitio justo cuando sea necesario y no antes. Además, la cantidad de estos materiales debe ser la justa para satisfacer las necesidades del cliente.

Por tanto, es un modelo productivo que se basa principalmente en la gestión o aprovisionamiento de los materiales del sistema productivo a través del sistema Pull, es decir, el material debe aportarse en el momento y la cantidad que son requeridos para su consumo.

Los objetivos de la implementación del JIT son:

- Reducir los niveles de stock produciendo justo la cantidad que nos indica la operación inmediatamente posterior.

- Disminución de inventarios de productos intermedios al mínimo, así se detectarán cuellos de botella y permitirán su mejora.
- Simplificación de toda la tarea administrativa del aprovisionamiento.
- Conseguir un flujo de producción nivelado y equilibrado.

## 4.2. PILARES DEL WCM

La misión de los pilares es ayudar a la organización a alcanzar sus objetivos utilizando talleres de mejora continua, enfocado a actividades de mejora e involucrando personal de diferentes niveles y funciones.

Se van a definir los pilares que se pueden ver en la figura 4.1, los cuales se describen a continuación.

- **Salud y seguridad (Health and Safety):** garantizar cero accidentes y cero enfermedades laborales con un sistema constante de prevención de los riesgos.
- **Medio ambiente y prevención de riesgos (Environment and Risk Prevention):** garantizar cero accidentes industriales y medioambientales, así como el mínimo impacto de las actividades con un sistema constante de prevención de los riesgos.
- **Fiabilidad (Reliability):** garantizar la fiabilidad de los sistemas de producción mediante actividades planificadas con el coste mínimo.
- **Eficiencia industrial (Industrial Efficiency):** garantizar la mejora continua de la mano de obra y de la productividad de las máquinas reduciendo las actividades de valor añadido.
- **Control de Calidad de Proceso (Quality and Process Control):** apoyar un sistema cero-defectos mediante el control del proceso, para minimizar los costes de no calidad y mejora la satisfacción del cliente.
- **Enfoque y Servicio al cliente (Customer Focus and Service):** garantizar una constante asistencia al cliente con el mínimo coste logístico mediante una cultura ágil (cero stock y cero retraso).



Figura 4.1. Pilares WCM-Saint Gobain

- **Desarrollo del personal (People Development):** por un lado, mejora del clima social y la eficiencia de la dirección RRHH, y por otro, mantener la evolución de la competencia del personal y el desarrollo de la organización orientada al enfoque WCM (identificar las lagunas de competencia y rellenarlas).
- **Innovación, Desarrollo y Crecimiento (Innovation Development and Growth):** garantizar un proceso constante de crecimiento del negocio mediante nuevos productos, nuevos equipos/tecnologías y desarrollo de nuevos mercados.

Cada pilar es un centro de conocimientos que se fundamenta en los siguientes puntos:

- **Gestión del sistema.** Se realiza una búsqueda minuciosa para detectar las áreas en las que existen pérdidas. Esto se lleva a cabo mediante análisis de costes o de la eficiencia de las máquinas, entre otros.
- **Grupos de mejora.** Los grupos de mejora son los encargados de erradicar las pérdidas detectadas en el punto anterior. Para ello se realizan, por ejemplo, talleres de mejora continua, planes de acción o actividades para el desarrollo del personal.

- **Mantenimiento de las ganancias.** Conseguida la eliminación de las causas de pérdida, hay que centrarse en controlarlas y evitar que vuelvan a surgir. Para ello se realizan controles diarios y/o semanales, controles visuales y se estandarizan las actividades.



**Figura 4.2.** Actividades del pilar

Los pilares refuerzan continuamente los fundamentos mientras éstos soportan y alimentan continuamente a los pilares.

### 4.3. GRUPOS DE MEJORA

Los grupos de mejora son grupos de trabajo cuya finalidad es solventar los puntos donde se han detectado fallos que conllevan pérdidas. Están constituidos por un responsable, operadores y supervisores a todos los departamentos de la fábrica.

Se basan en la filosofía Kaizen que, como ya se explicó anteriormente, su objetivo es eliminar los despilfarros de los sistemas productivos. Para aplicar este modelo se siguen los siguientes puntos [23]:

1. **Planear (Plan).** El equipo marca la meta a la que quiere llegar, analiza el problema y define el plan de acción.







2. **Hacer (Do).** Una vez que se tiene el plan de acción, se ejecuta y se registra.
3. **Comprobar (Check).** Pasado un cierto tiempo se analiza el resultado obtenido.
4. **Actuar (Act).** Cuando se tienen los resultados se decide si se requiere alguna modificación para actuar.



**Figura 4.3.** Puntos clave para la metodología Kaizen [22]

Además, en la empresa se hace una diferenciación de cuatro niveles en función de la dificultad que presente el problema y también del tiempo que puede llevar conseguirlo. En la tabla 4.1 se pueden ver las denominaciones de estos niveles y las características de cada uno.

**Tabla 4.1.** Niveles Kaizen en la organización

	<b>QUICK KAIZEN (QK)</b>	<b>STANDAR KAIZEN (SK)</b>	<b>MAJOR KAIZEN (MK)</b>	<b>ADVANCE KAIZEN (AK)</b>
				
<b>Tiempo de resolución</b>	Bajo (1 semana)	Medio (1 mes)	Alto (6 meses)	Muy alto (1 año)
<b>Dificultad</b>	Baja	Media	Alta	Alta

#### 4.4. PILAR DE FIABILIDAD

El pilar en el que está incluido el departamento de mantenimiento es el de fiabilidad. Su misión se resume en los siguientes tres puntos:

- **Implementar la Gestión Autónoma.** El objetivo es conseguir reducir tiempos de paradas, formando a los operarios y poniendo a su disposición materiales y herramientas para aumentar su autonomía.
- **Mejorar OEE** (Overall Equipment Effectiveness, o Eficiencia General de los Equipos). Reducir tanto el porcentaje de averías como la duración entre las mismas, para así aumentar el MTBF (tiempo medio entre fallos).
- **Reducir Costes de Mantenimiento.** Introduciendo mantenimiento preventivo y optimizando la gestión de recambios existentes.

Debido a la gran importancia de tener un buen sistema de gestión de los repuestos se ha decidido crear un grupo para su mejora. Esto ayudará, entre otras cosas, a reducir los tiempos que una máquina se encuentra parada en una avería. En los capítulos siguientes se explica el software que se utiliza para la gestión y los pasos que se han de seguir para llevarlo a cabo de forma adecuada.

Dada la duración aproximada de las prácticas de cuatro meses, y la dificultad del problema que se presenta, se va a realizar un Major Kaizen (MK).

Gestión del  
Mantenimiento con  
PGMWin®

---

# 5. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CON PGMWIN®

Existen multitud de herramientas de gestión del mantenimiento, particularmente, las que son asistidas por computador se denominan softwares GMAO. En este capítulo se va a describir uno de estos softwares, el PGMWin, haciendo primero una breve introducción a la situación previa del almacén. Posteriormente, se detalla cómo ha mejorado la situación tras su implantación y, finalmente, se explica la relación que tiene con WCM.

## 5.1. SITUACIÓN PREVIA

Dentro de la planta de Avilés se diferencian dos almacenes, uno general y otro dedicado al taller de mantenimiento. En el primero, la gestión general de los repuestos se hace mediante SAP, otro software para administración de recursos. El número de ítems disponibles en este almacén se ha visto reducido debido a bajas y al descenso de inmovilizado que fue trasladado al almacén de mantenimiento. En dicho almacén, se utilizan bases de datos en Excel o Access para gestionar los recursos. El número de productos disponibles, que se reparte en 3 sub-almacenes, es superior a las 3000 unidades.

Debido a esto, es necesario optimizar la gestión de stock de recambio, véase la disponibilidad, los pedidos, los plazos de entrega o la organización de almacenes, e informatizar la biblioteca técnica de máquinas y recambios.

## 5.2. PGMWIN®

El PGMWin es un software de Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) para la planificación y la gestión del mantenimiento industrial [21].



Figura 5.1. Logotipo PGMWin

Es un software modular, abierto y personalizado según las necesidades de la empresa en la que se pretende implantar. Los módulos disponibles se pueden ver en las figuras 5.2 y 5.3.



Figura 5.2. Módulos disponibles en PGMWin (1)

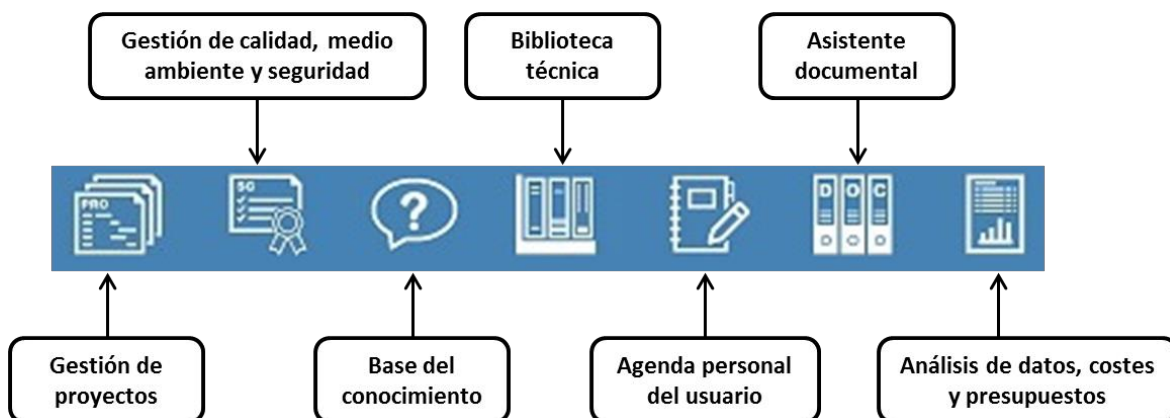


Figura 5.3. Módulos disponibles en PGMWin (2)

La implantación conlleva generar un estándar de trabajo a todo el grupo de técnicos y operarios de mantenimiento, así como al personal de fabricación. Que los resultados sean favorables se deberá a cómo se alimente el sistema por parte de los usuarios, por ello, es necesaria una implantación multidisciplinar, es decir, de todos los departamentos.

### 5.2.1. Beneficios

Con la implantación de esta herramienta se van a conseguir los siguientes beneficios:

- Mejor control, planificación y programación del trabajo.
- Mejores prácticas de mantenimiento preventivo.
- Programación automática de tareas e inspecciones rutinarias (gamas).
- Posibilidad de monitorizar tendencias en los equipos para reconocer las causas de fallo.
- Gestión informatizada de órdenes y permisos de trabajo: menos papeleo y mejor trazabilidad.
- Mejor análisis de la información para determinar las causas de averías.
- Mejor estimación de los costes de mantenimiento, lo que ayudará a mejorar la administración del presupuesto.
- Mayor capacidad para medir el desempeño de actividades a través de indicadores.
- Gestión del conocimiento en mantenimiento: biblioteca técnica, archivo documental y base de datos histórica.
- Optimización y reducción de stocks de repuestos.
- Trabajo dentro de los estándares de calidad y medio ambiente e integración de la prevención de riesgos laborales en la gestión.
- Integración con otros sistemas de gestión (SAP).

### 5.3. SITUACIÓN ACTUAL EN REPUESTOS Y ALMACÉN

Tras la implantación del software PGMWin se ha conseguido crear una base de datos de gran parte de los componentes disponibles en el almacén, estando identificados mediante un código único.

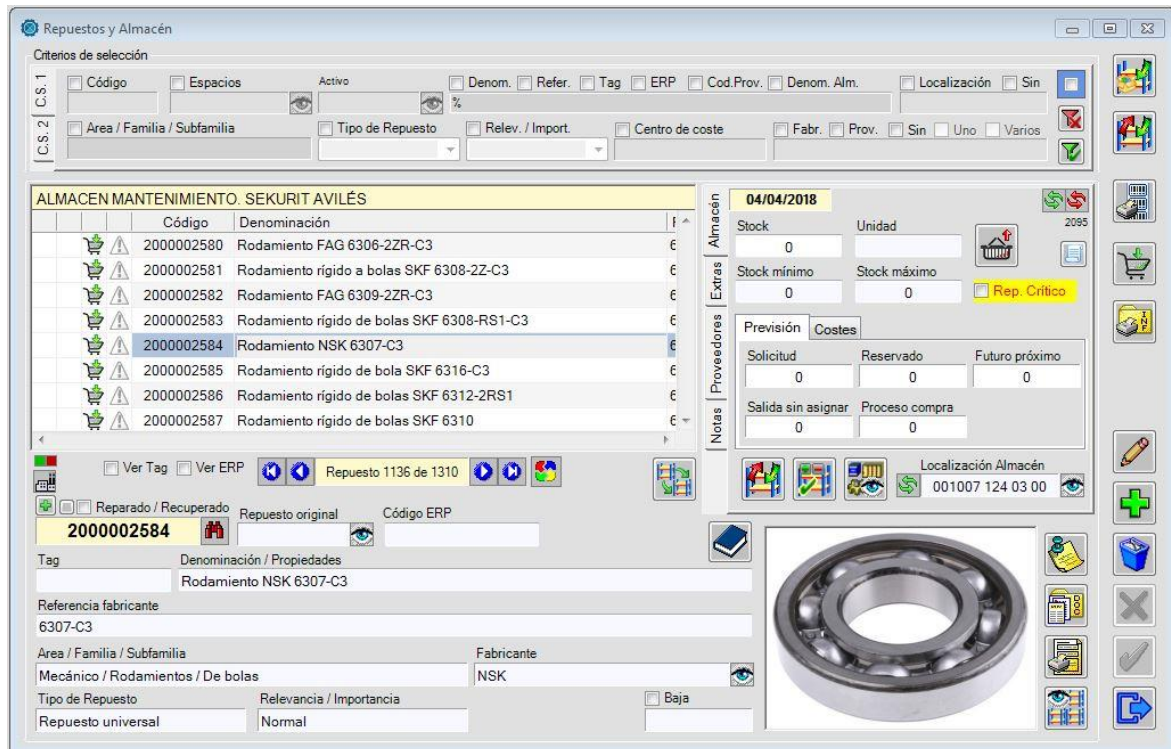
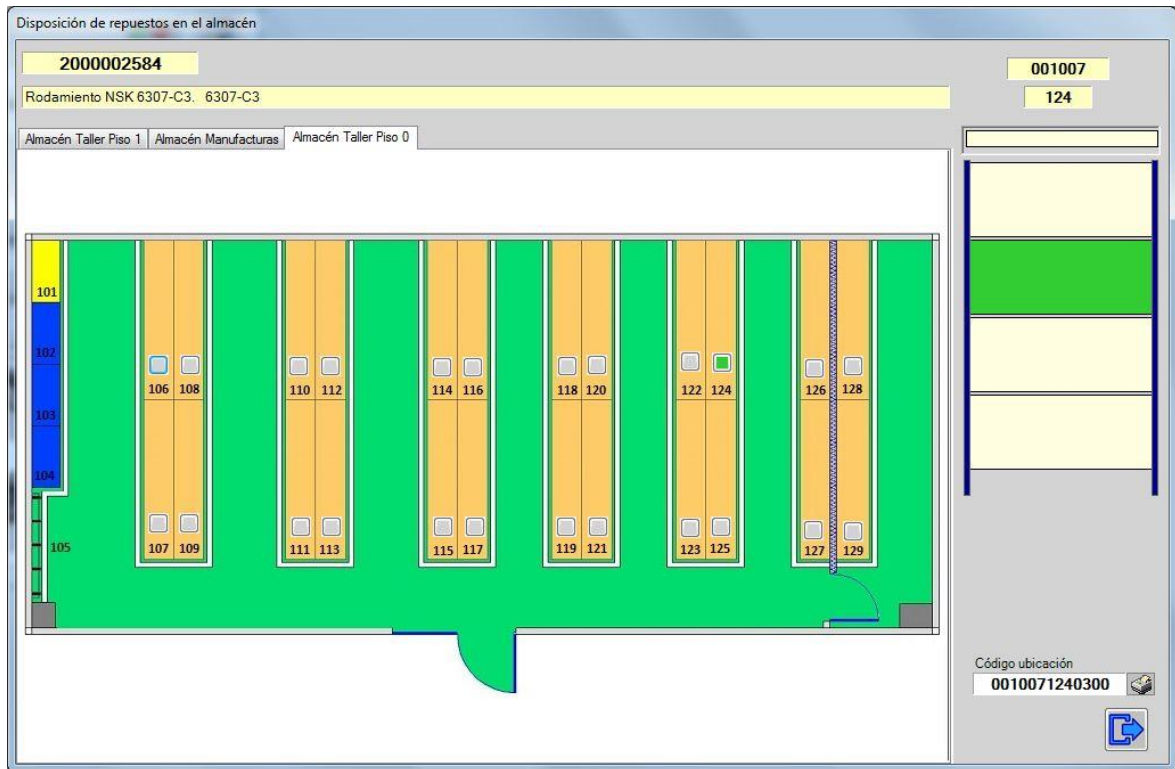


Figura 5.4. Pantalla del módulo de repuestos

Además, es posible conocer la ubicación del repuesto en cualquiera de los almacenes, hasta la precisión de poder determinar el estante en el que están (figura 5.5). Esto hace posible que ante una parada inesperada debido a una avería se pueda perder el menor tiempo posible en ir a buscar el repuesto que hace falta, ya que se podrá ir directo a su ubicación correcta. Como ya se ha visto, esto está relacionado directamente con WCM, ya que es uno de los objetivos que se buscan en la gestión de repuestos, por tanto, esta herramienta nos va a ser de ayuda para conseguir las mejoras que se pretenden con el World Class.

Además de la ubicación de almacenaje también es posible relacionar un determinado repuesto con las máquinas en las que están instalados. De esta forma, si se detecta algún fallo o anomalía, se puede ir directo a cambiar el componente sin búsquedas previas.



**Figura 5.5.** Pantalla de ubicación de los repuestos

Otro módulo que ha permitido desarrollar este programa es el archivo documental, ahora completo de información sobre las especificaciones técnicas de los repuestos que están registrados (figura 5.6).

La gestión del inventario es otra de las cosas que permite gestionar, añadiendo como entradas los materiales que se reciben de los proveedores y como salidas los repuestos que son utilizados en las órdenes de trabajo (figura 5.7). De esta forma se tiene un control de lo que llega al almacén y de lo que sale, y cuando sea necesario, bien porque el stock es cero o porque se ha llegado al mínimo, se realiza un pedido para su reposición.

Como se puede comprobar es muy amplia la cantidad de información que permite almacenar, todo ello con el objetivo de ofrecer a los usuarios todo lo necesario en un mismo lugar.

El PGMWin dispone de otros módulos, como puede ser el de gestión de órdenes de trabajo, que son los partes que se cubren cuando se van a reparar averías.



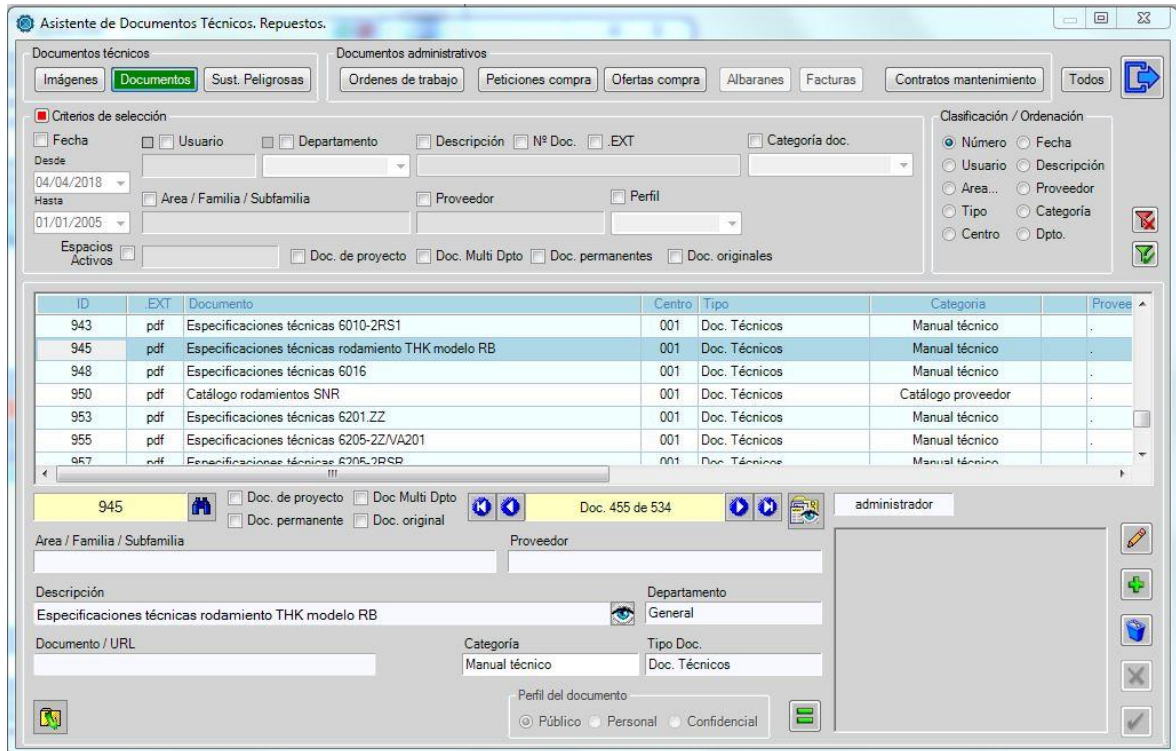


Figura 5.6. Pantalla del archivo documental

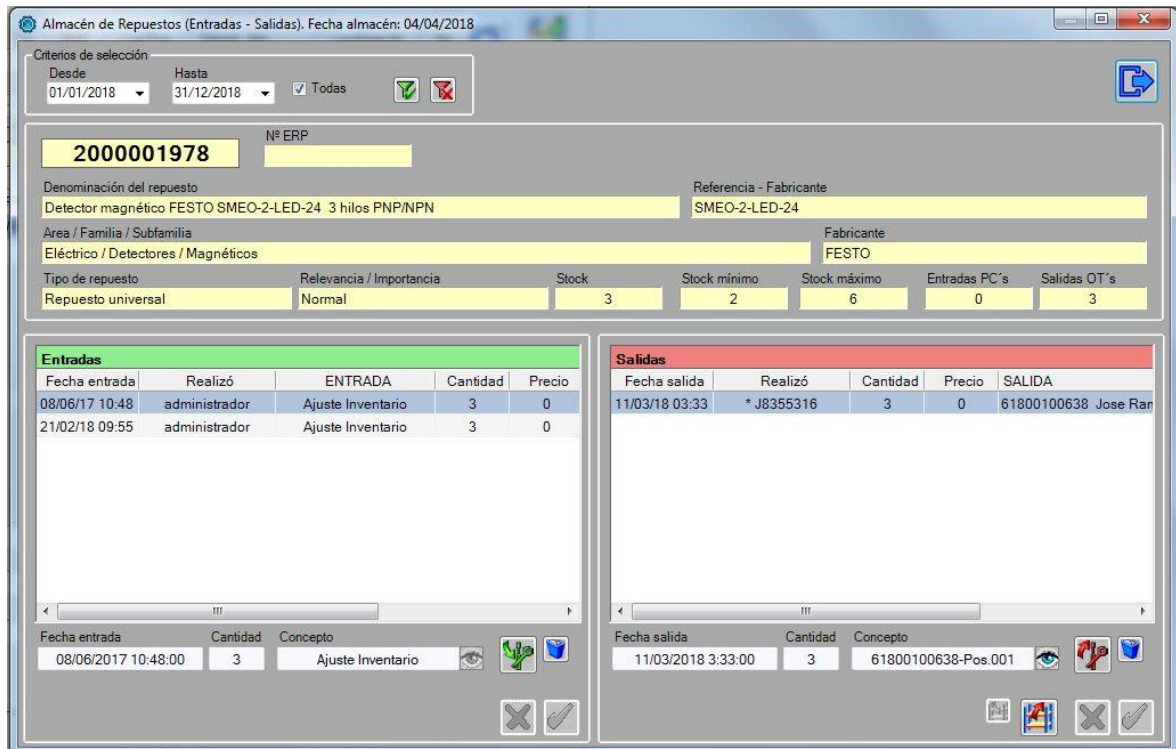


Figura 5.7. Pantalla de entradas/salidas

## **5.4. RELACIÓN CON WCM**

En el capítulo anterior se vio que dentro del WCM está incluido un pilar directamente relacionado con el departamento de mantenimiento, y es el pilar de fiabilidad. Su misión es conseguir que los equipos de la planta funcionen el mayor tiempo posible (sin paradas no planificadas) en las mejores condiciones y optimizando el coste.

Como se mencionó, los objetivos de mejora de este pilar son:

- Implementar la gestión autónoma.
- Optimización del sistema de gestión de recambios.
- Incrementar la gestión visual de las instalaciones.
- Mejora del OEE:
  - Reducción del número de averías.
  - Reducción del tiempo de averías.
- Reducir los costes de mantenimiento y optimizar el aprovechamiento de recursos.

Gracias a la implantación del PGMWin se han conseguido los siguientes puntos:

- Análisis sistemático de averías y análisis de componentes críticos o débiles.
- Construir un sistema de información en mantenimiento.
- Implantación de un sistema de gestión de repuestos.
- Desarrollar un sistema de mantenimiento preventivo avanzado y optimizar el planificado.
- Garantizar mejora continua del sistema.
- Impulsar la Gestión Autónoma y desarrollo de metodologías de mejora.
- Expansión horizontal entre líneas de las soluciones.

Además, la situación de los almacenes ha mejorado notablemente, pasando de zonas sucias y descuidadas a lugares con mayor iluminación, ordenados y mucho más limpios (figura 5.8).



a) Antes



b) Después

**Figura 5.8.** Estado del almacén

# Gestión de Componentes

---

# 6. GESTIÓN DE COMPONENTES

La gestión de componentes es una tarea que tiene gran importancia dentro del sistema de mantenimiento, ya que influye directamente en los tiempos de duración de las paradas, tanto las que son planificadas como las que no. Por ello, es uno de los objetivos de mejora dentro del pilar de fiabilidad de WCM.

En este capítulo se va a explicar de dónde surge la necesidad de gestionar los repuestos y como la forma de llevarlo a cabo es a través de un grupo de mejora. Los siguientes puntos del capítulo recorren los pasos que hay que seguir para una correcta gestión y, de esta forma, crear una dinámica de trabajo que permita estandarizar futuros componentes que se incluyan en la fábrica.

## 6.1. ANTECEDENTES

Todos los pilares que conforman la estructura de World Class están subdivididos en niveles que es necesario ir cumpliendo para que puedan otorgar a la fábrica la categoría Bronce (Bronze), Plata (Silver) u Oro (Gold).

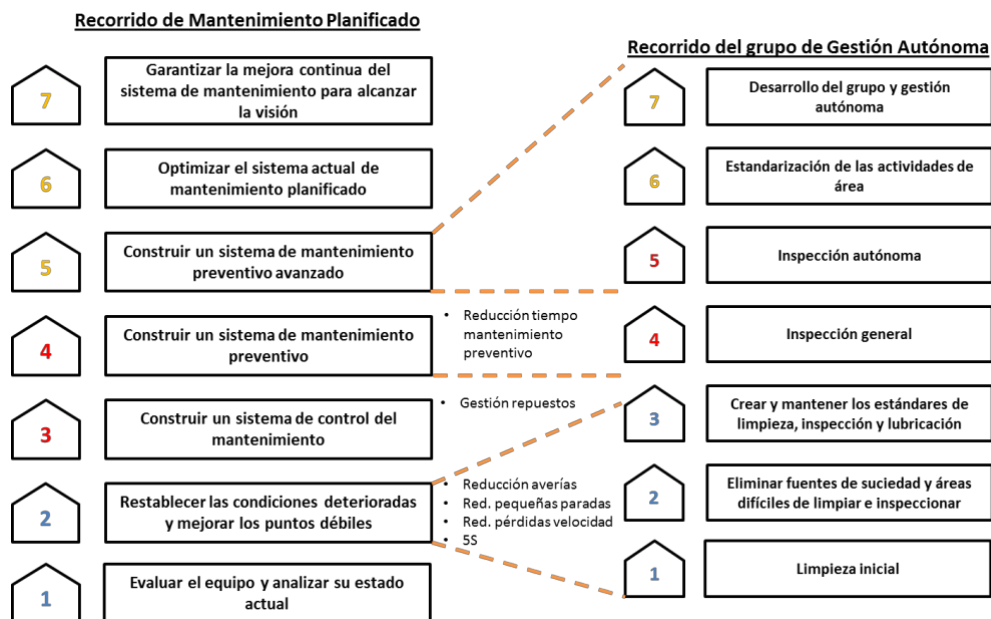


Figura 6.1. Desarrollo del Pilar de Fiabilidad

Para el caso del pilar de fiabilidad es necesario cumplimentar los niveles 1 y 2 para obtener la categoría Bronce, el 3 y 4 para la categoría Plata y, por último, los tres niveles restantes para obtener la categoría Oro. En la figura 6.1 se puede ver la estratificación del pilar, junto con algunas actividades que se llevan a cabo dentro de ese nivel y su relación con la gestión autónoma, es decir, actividades que puede hacer cada trabajador que ayuda al beneficio común de la fábrica. De forma más específica, en la figura 6.2 se pueden ver todas las actividades que corresponden a cada nivel.

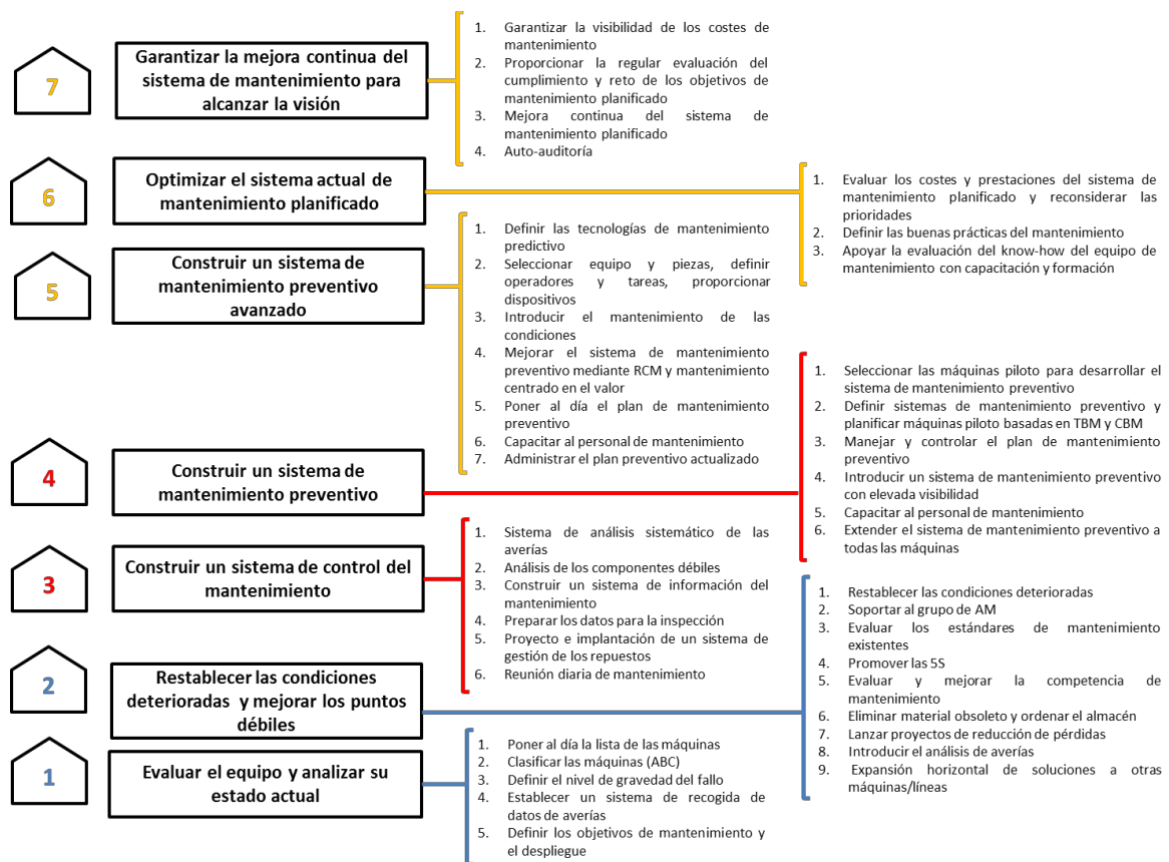


Figura 6.2. Actividades del Pilar de Fiabilidad

En la actualidad, la planta de Sekurit Avilés ostenta el nivel Plata, obtenido en el año 2017. En lo que respecta al pilar de fiabilidad, era obligatorio haber realizado hasta el nivel 3, siendo uno de los requisitos la implantación de un sistema de gestión de repuestos (figura 6.3). Por ello, en el año 2016 se instaló un software interno que permitiese tener un sistema robusto para hacer posible la gestión de los componentes disponibles en el departamento de mantenimiento.

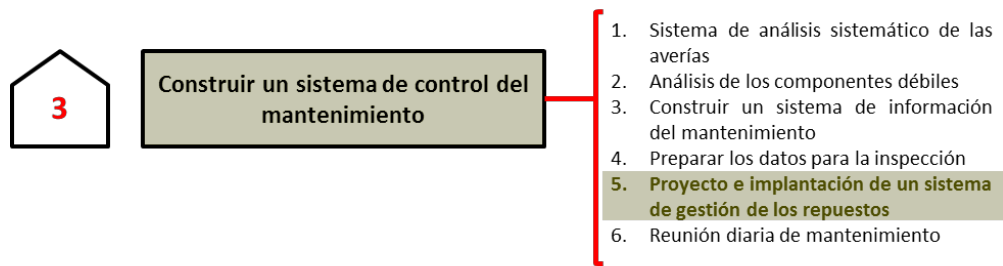


Figura 6.3. Detalle de las actividades del nivel 3

Cada inicio de año es necesario hacer un desglose de pérdidas del pilar y, en función de las necesidades previstas para dicho año, se definen los grupos que se van a llevar a cabo. Uno de los grupos que ha surgido tras el análisis es el de mejorar el sistema de gestión de los repuestos. Aunque en un primer vistazo no se observa un ahorro directo en cuanto a gasto monetario, se verá cómo va a tener efectos significativos en el tiempo de búsqueda de un repuesto, en facilitar la información de un componente al personal del taller y en tener un sistema que permita llevar a cabo el inventario de forma automatizada.

## 6.2. PASOS A REALIZAR POR EL GRUPO DE MEJORA

Para poder llevar a cabo de forma ordenada y estandarizada la gestión de componentes se define una ruta en la que se indican los pasos que se tienen que seguir para su correcta ejecución (figura 6.5). Cuando se haya completado el primer paso se podrá entonces pasar al siguiente, y así sucesivamente hasta completarlos todos [20].

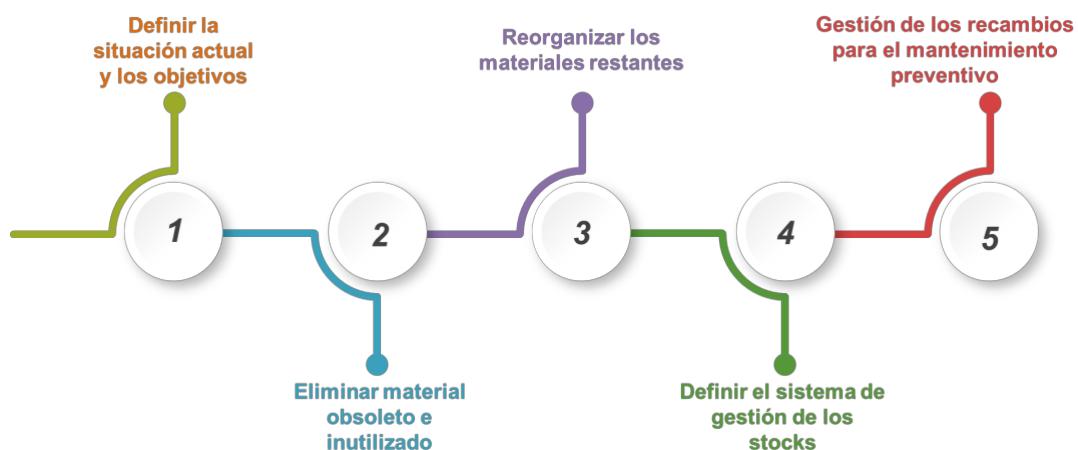


Figura 6.4. Pasos de la ruta



### 6.3. PASO 1: DEFINIR LA SITUACIÓN ACTUAL Y LOS OBJETIVOS

En muchas ocasiones no todas las piezas de repuesto están disponibles, o el espacio del almacén no se utiliza por completo, por ello, definir la situación actual va a permitir controlar las condiciones efectivas de las piezas de recambio. En este primer paso se han de seguir tres actividades, las cuales se pueden ver en la figura 6.5.

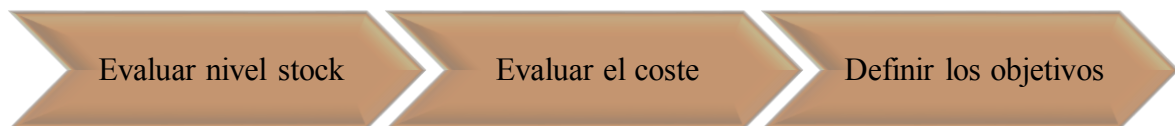


Figura 6.5. Actividades del paso 1

#### 6.3.1. Actividad 1: Evaluar el nivel de stock

El primer paso de esta actividad es ver el estado del almacén en el que nos hemos centrado. Como se puede ver en las figuras 6.6 y 6.7, hay motores por el suelo sin ningún tipo de orden, los que se encuentran en los estantes están sin identificar y los motores nuevos se apilan en el suelo en cualquier lugar.

Se hace un listado de todos ellos, apuntado las referencias que aparecen en las placas identificativas, para así poder comprobar en la base de datos si figuran asignados a alguna máquina de producción. Como realizar esta acción con todos los motores disponibles en el almacén es una tarea que abarca más tiempo que el disponible de este trabajo, únicamente se realizará el estudio de una parte de los mismos (un total de 220 motores).



Figura 6.6. Estado previo del almacén





**Figura 6.7.** Motores nuevos sin ubicación fija

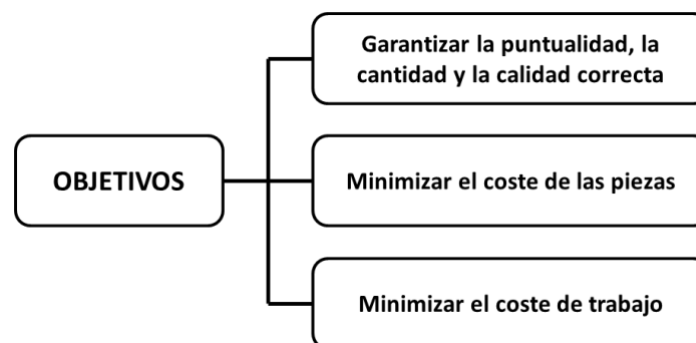
### 6.3.2. Actividad 2: Evaluar el coste

El coste de los componentes es uno de los puntos importantes a tener en cuenta en toda planta de fabricación porque va a afectar al nivel de gasto del departamento. Por ejemplo, entre dos piezas con las mismas especificaciones pero diferentes precios, se deberá comprobar si la que posee un coste menor es igual de válida que su homóloga y, en caso afirmativo, se optará por ese recambio.

En este proyecto no se va a entrar a estudiar el coste de los componentes que se están tratando, ya que es ajeno a las competencias del mismo.

### 6.3.3. Actividad 3: Definir los objetivos

En esta ruta se definen claramente tres puntos a cumplir, los cuales se pueden ver en el esquema de la figura 6.8.



**Figura 6.8.** Objetivos de la ruta

Como se puede ver, se trata de minimizar costes manteniendo una correcta gestión de los repuestos pero, para conseguir estos puntos, habrá que hacer una fuerte inversión en sistemas de ayuda a la gestión y un profundo estudio de los repuestos existentes, qué se utiliza y cuál va a ser su uso futuro.

Los objetivos relacionados con los costes no van a estar dentro del ámbito de estudio de este proyecto, ya que de eso se encarga otro departamento relacionado con otro pilar WCM y el tiempo para poder desarrollarlo completamente excede del limitado para este trabajo.

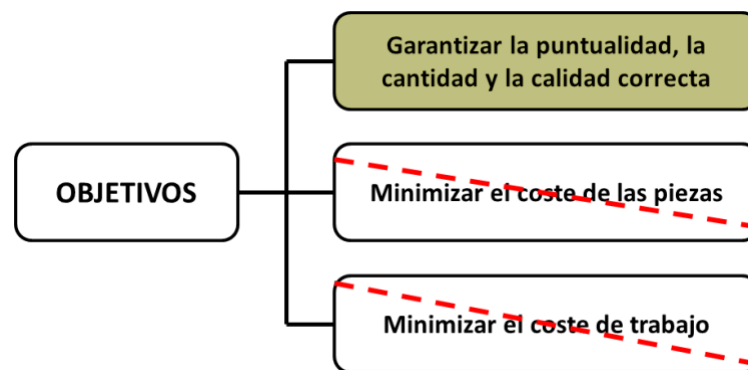


Figura 6.9. Objetivos del proyecto

Como consecuencia, el objetivo principal que se va a buscar es “Garantizar la puntualidad, la cantidad y la calidad correcta” (figura 6.9). Para ello, se va a definir la ubicación de los repuestos para mejorar el tiempo de búsqueda, identificando cada uno de los motores en el almacén y luego añadir esta información en el PGMWin.

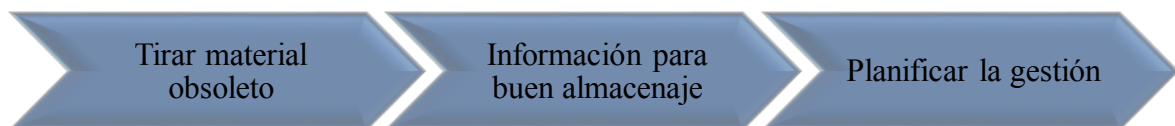
Para realizar el seguimiento de la evolución del objetivo se va a utilizar un KPI, que se define como un Índice de Prestación Clave (Key Performance Indicator). En él se van a identificar diferentes actividades y durante las semanas que dura el proyecto se irá completando en función de lo que se ha ido haciendo. Como ya se mencionó, se ha fijado un objetivo de 220 motores. Las actividades que se van a realizar son:

- **Listar.** Completar en una hoja la identificación o referencia de cada motor.
- **Introducir en PGMWin.** Crear nuevos registros para cada uno de los motores en el software.

- **Completar información.** En el PGMWin, añadir foto del componente, así como información del fabricante relativa a dimensiones, especificaciones de funcionamiento o recomendaciones que se han de tener en cuenta.
- **Definir instalación.** Identificar en la línea de fabricación a que equipo pertenece.
- **Definir ubicación en el almacén.** Buscar el lugar más conveniente para su almacenamiento y definir la ubicación mediante un código.
- **Identificación.** Colocar en cada motor una tarjeta identificativa.

#### 6.4. PASO 2: ELIMINAR MATERIAL OBSOLETO E INUTILIZADO

Tras la identificación de los motores disponibles en el almacén hay que descartar aquellos que presenten unas condiciones no óptimas para su puesta en funcionamiento. Por otro lado, hay que buscar información sobre buenas prácticas de almacenamiento, para cerciorarse que las acciones que se realizan son correctas y para modificar aquellas que no. Finalmente, se seguirá un planning para la futura gestión de los repuestos.



**Figura 6.10.** Actividades del paso 2

##### 6.4.1. Actividad 1: Tirar material obsoleto

Una vez realizado el inventario de los motores que hay en el almacén, el siguiente paso es deshacerse de aquellos que, o bien ya no están ubicados en ningún lugar de la línea, o en los que no se puede asegurar su correcto funcionamiento. En la figura 6.11 se pueden ver parte de los motores que han sido desechados debido a estas condiciones.



**Figura 6.11.** Motores retirados

#### **6.4.2. Actividad 2: Información sobre motores para buen almacenaje**

Cuando un motor se almacena por un largo periodo de tiempo, antes de la puesta en operación, la máquina permanece expuesta a influencias externas, como fluctuaciones de temperatura, humedad, agentes agresivos, etc. Las partes externas mecanizadas, como eje, bridas y los espacios vacíos en el interior de la máquina, como los de los cojinetes, de la caja de conexión y de los devanados, quedan expuestos a estos agentes. Como consecuencia, tras periodos prolongados de almacenamiento, la resistencia de los devanados puede disminuir, los cojinetes y las partes mecanizadas pueden oxidarse y las propiedades del lubricante de los cojinetes pueden ser alteradas.

Todas estas influencias aumentar el riesgo de fallas en el funcionamiento o daños en la máquina durante la puesta en operación [25].

##### **6.4.2.1. Lugar de almacenamiento**

Las máquinas eléctricas es preferible almacenarlas en locales cerrados, cubiertos, limpios, ventilados, exentos de humedad y de agentes corrosivos, así como libres de vibración y de variaciones bruscas de temperatura.

Es necesario también que el local de almacenamiento posea red eléctrica para alimentar las resistencias de calentamiento.

De igual forma, el espacio alrededor de cada máquina almacenada debe ser suficiente para que el operador de mantenimiento pueda tener acceso fácil para realizar las inspecciones y las evaluaciones periódicas necesarias.

#### 6.4.2.2. Mantenimiento durante el almacenaje

Para que los motores almacenados mantengan las características originales, así como para evitar problemas durante la puesta en operación, hay que realizar inspecciones periódicas y archivar los registros de las mismas.

Algunas de las inspecciones que hay que llevar a cabo son:

- **Inspección de la pintura.** Además de una función estética, la pintura sirve también como protección contra la corrosión. En caso de estar dañada, es necesario repararla.
- **Inspección de las partes mecanizadas.** Las superficies mecanizadas expuestas de los motores tienen que estar revestidas con un agente anticorrosivo, el cual hay que mantener hasta la instalación de la máquina.
- **Inspección de las cajas de conexión.** Durante las revisiones es necesario inspeccionar las cajas de conexión con el objetivo de detectar cualquier señal de humedad, corrosión o fallas en el sellado. Hay que ver el estado de los aisladores, conectores y barras de conexión de los conductores y sustituir los que presentan señales de hendiduras, pedazos quebrados u otros daños físicos.
- **Inspección de las escobillas.** Cuando la máquina posea escobillas eléctricas, éstas deben ser levantadas en el portaescobillas o retiradas de la máquina durante el periodo en que permanezca almacenada, para así evitar la corrosión de los anillos colectores o del conmutador. Hay que cubrir los anillos colectores con parafina o con una fina película de aceite, la cual hay que retirar completamente antes de poner en funcionamiento la máquina.

### **6.4.2.3. Preparación para el servicio**

Para garantizar el buen funcionamiento de una máquina eléctrica que haya permanecido almacenada o parada durante un largo periodo, se deben seguir una serie de procedimientos antes de ponerla en operación:

- La máquina debe ser retirada del embalaje con cuidado, evitando daños a la pintura o a las partes externas mecanizadas.
- Inspeccionar la máquina externamente, principalmente la pintura, partes mecanizadas, bridas, eje.
- Efectuar una limpieza completa de la máquina y remover la protección anticorrosión de las partes mecanizadas externas.
- Los cojinetes deben ser inspeccionados y lubricados antes de la puesta en operación.
- La resistencia de aislamiento de los devanados debe ser medida y respetar los valores mínimos recomendados por la norma IEEE-43.
- En las máquinas con escobillas hay que inspeccionar los anillos colectores o el conmutador, y recolocar las escobillas en los portaescobillas asegurándose del libre movimiento de las mismas dentro de los alojamientos.
- Verificar el funcionamiento de todos los accesorios.
- La traba del eje debe ser retirada y guardada para ser utilizada cuando la máquina necesite ser transportada.

### **6.4.3. Actividad 3: Planificar la gestión**

El objetivo principal de hacer una planificación para la gestión es evitar la situación de tener el almacén lleno de productos de los que no se tiene constancia de si están en condiciones de funcionamiento. Por esta razón, y para facilitar el procedimiento, se sigue un diagrama (figura 6.12) que va a permitir determinar si el elemento bajo estudio puede continuar almacenado o si, por el contrario, hay que desecharlo.

Consiste en hacer una serie de comprobaciones y, en función de las respuestas que se van obteniendo, se toma un camino u otro. Si finalmente se llega a la conclusión de mantenerlo, es porque se puede asegurar que ese repuesto se puede usar ante una parada imprevista. Si se da el caso contrario, es preferible eliminarlo antes de que produzca un fallo en la línea de fabricación y éste pueda extenderse a máquinas colindantes.

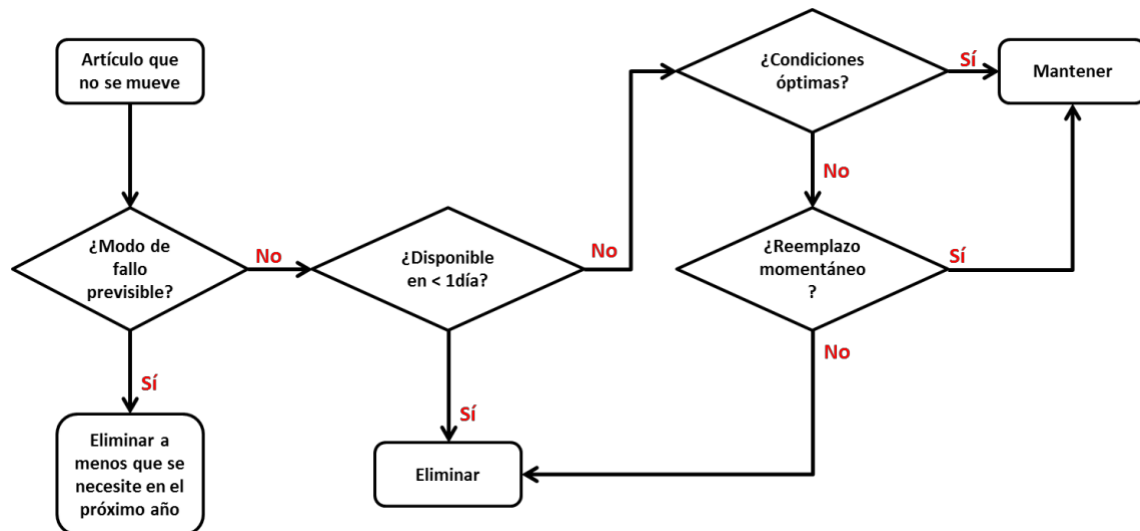


Figura 6.12. Diagrama de planificación

### 6.5. PASO 3: REORGANIZAR LOS MATERIALES RESTANTES

En este punto ya se han eliminado todos los materiales obsoletos, por lo que ahora es de suma importancia ordenar e identificar los motores restantes para poder tener un mejor control de la situación del almacén. Como guía, se tienen las actividades de la figura 6.13.

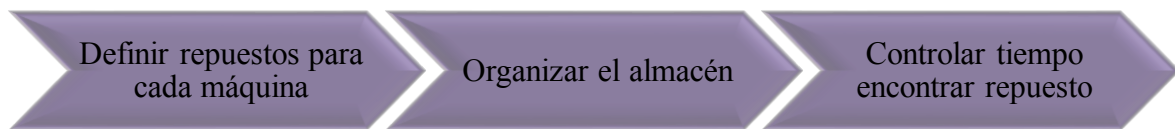


Figura 6.13. Actividades del paso 3

#### 6.5.1. Actividad 1: Definir repuestos para cada máquina

La línea de fabricación está compuesta por una gran cantidad de máquinas, y cada una con diferentes elementos mecánicos asociados a ella. Para tener un buen control y que sea accesible a todos los operarios, se ha desarrollado un sistema mediante QR que,



escaneando el código con un dispositivo móvil, proporciona los elementos que componen dicha máquina.

En la figura 6.14 se puede ver un ejemplo de estos paneles, colocado en uno de los transportes de la manufactura.



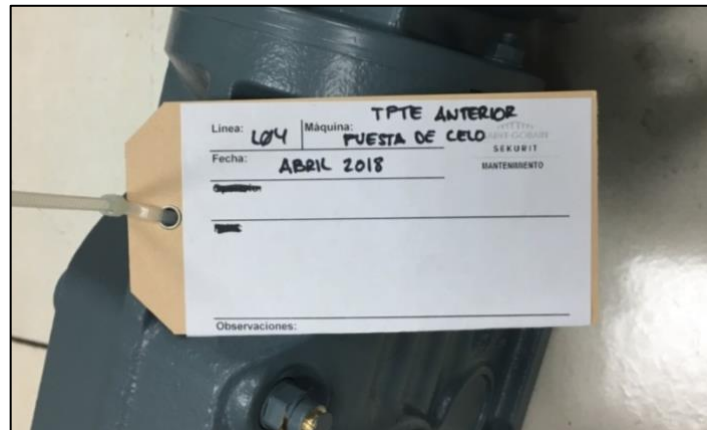
**Figura 6.14.** Cartel identificativo colocado en una de las máquinas



**Figura 6.15.** Cartel en detalle

Por otro lado, es necesario identificar aquellos motores que estén en el almacén o hayan llegado para sustituir a antiguos. Para ello, se les coloca una tarjeta donde se especifica la línea a la que pertenece, la máquina en la que está instalado y la fecha en la que se almacena o en la que se le ha realizado la última revisión (figura 6.16).





**Figura 6.16.** Etiqueta identificativa en un motor

### 6.5.2. Actividad 2: Organizar el almacén

Un correcto almacenamiento va a facilitar mucho la tarea de búsqueda de un componente en el momento que sea necesario. Para ello, se identifican los estantes de forma numérica, así como las baldas de las mismas.

Para ayudarnos a ordenar el almacén se han adquirido nuevas estanterías, como las que se pueden ver en la figura 6.17.



**Figura 6.17.** Estanterías nuevas

### 6.5.3. Actividad 3: Controlar el tiempo requerido para encontrar el repuesto

Cuando ya se tiene todo en su lugar definitivo habrá que hacer un seguimiento del tiempo que tarda un operario en ir hasta el almacén y encontrar el repuesto que está buscando. Lo ideal es estar dentro de un intervalo de tiempo predeterminado y, en caso de superarlo, buscar la explicación de por qué ha ocurrido.

Lo deseable es mejorar continuamente la estructura del almacén y el modo de búsqueda de la pieza para llegar a optimizar el proceso y, de esta forma, conseguir disminuir los tiempos.

## 6.6. PASO 4: DEFINIR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS STOCKS

A este cuarto paso se llega tras haber reorganizado el almacén. Dentro de las tareas que hay que realizar se encuentra la clasificación de los repuestos y su análisis según la categoría ABC, y también se determina el stock de los componentes. Aunque estas últimas actividades no forman parte del ámbito de este proyecto, se expondrá un ejemplo.

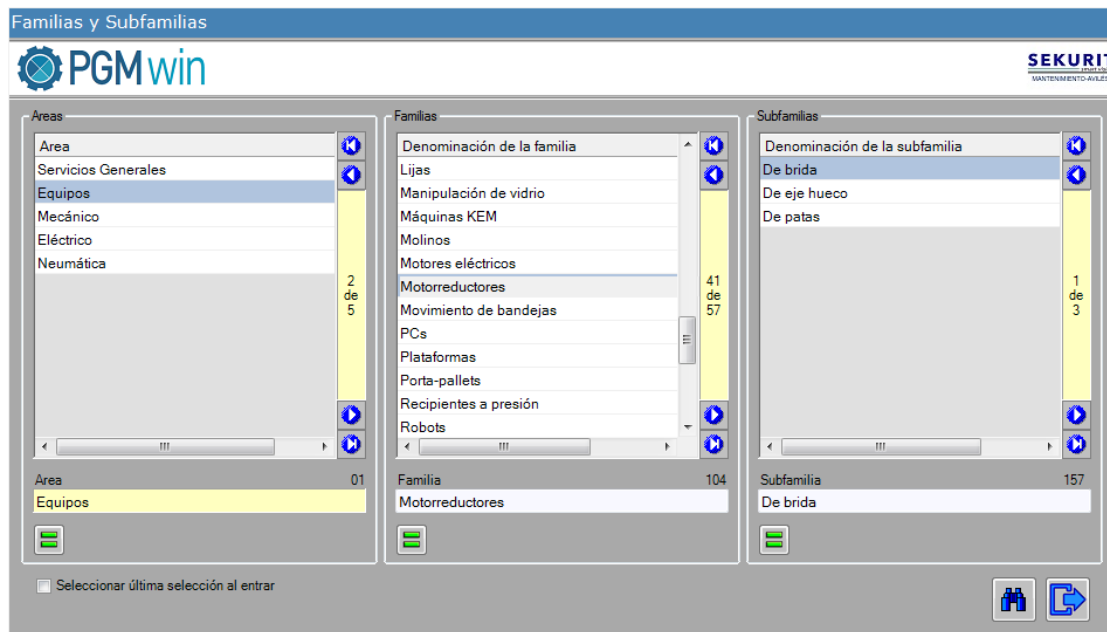


**Figura 6.18.** Actividades del paso 4

### 6.6.1. Actividad 1: Clasificación de los repuestos

La clasificación de repuestos se puede llevar a cabo de muchas maneras distintas, cada una de ellas en función de las necesidades de cada fábrica. Algunos ejemplos para realizarla podrían ser su índice de rotación, la criticidad de uso o el valor monetario de los componentes.

En el caso de esta planta, la clasificación se realiza por área y, a su vez, por familias de piezas. Incluso hay un tercer apartado en el caso de que exista alguna característica diferenciadora.



**Figura 6.19.** Clasificación de los repuestos en el PGMWin

De esta forma se tienen agrupados todos los componentes de una misma clase y es más sencillo poder encontrarlos en el almacén. En la figura 6.19 se puede ver un ejemplo de cómo se lleva a cabo con el programa PGMWin. Así, cuando se necesite buscar una determinada clase de repuesto, se puede crear un filtro por la familia a la que pertenece y se encontrará de manera más rápida y sencilla.

### 6.6.2. Actividad 2: Análisis ABC

El análisis ABC se utiliza para hacer una clasificación de los repuestos en función de sus efectos sobre las siguientes características: seguridad y salud, calidad, funcionamiento, impacto en la producción, frecuencia de averías y mantenimiento.

Para hacerlo de forma ordenada y seguir en todos los casos el mismo procedimiento, se utiliza el diagrama de la figura 6.20. En él, se va evaluando el componente y según el efecto en las características mencionadas, se toma un camino u otro. Completando todos los puntos se llega a la valoración final.

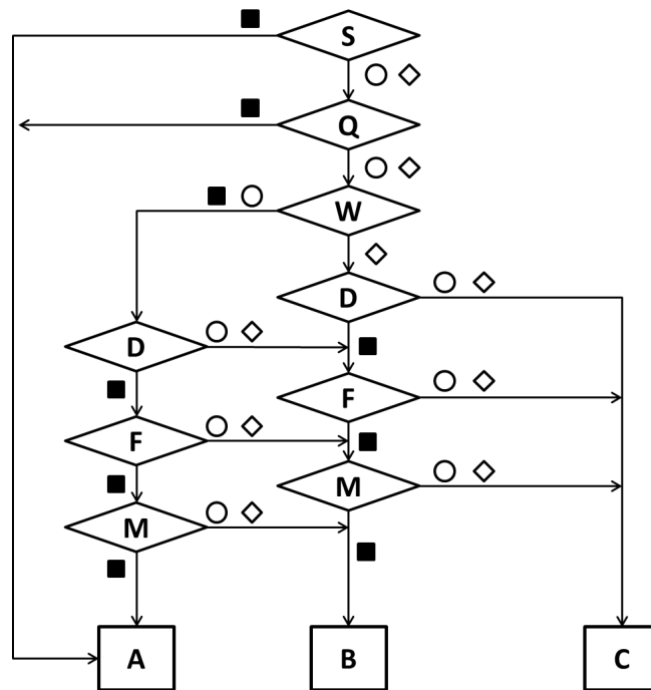


Figura 6.20. Clasificación ABC de los repuestos

Tabla 6.1. Leyenda de clasificación

		Símbolos de clasificación		
		■	○	◇
<b>S</b>	Seguridad y Salud	Efecto fuerte	Efecto medio	Ningún efecto
<b>Q</b>	Calidad	Efecto significativo	Efecto medio	Ningún efecto
<b>W</b>	Funcionamiento	24 horas/día	8-24 horas/día	8 horas/día
<b>D</b>	Impacto en la producción	Las averías interrumpen la línea o crean pérdidas de producción	Sólo raramente las averías interrumpen la línea o crean pérdidas de producción	Las averías no interrumpen la línea o crean pérdidas de producción: son fáciles de reparar
<b>F</b>	Frecuencia	3 averías en 1 mes a 1 avería en 2 meses	1 avería en 2 meses a 1 avería en 6 meses	Menos de una avería cada 6 meses
<b>M</b>	Mantenimiento	MTTR > 4 horas Coste > 500€	MTTR 1 ~ 4 horas Coste 150 ~ 500 €	MTTR < 1 hora Coste < 150€

### 6.6.3. Actividad 3: Determinar la cantidad de piezas de baja rotación

Se definen las piezas de baja rotación como aquellas que permanecen inmovilizadas en el almacén un largo periodo de tiempo, por ejemplo, porque su vida útil es muy larga.

Como ya se mencionó anteriormente, esta actividad no entra dentro de la aplicación de este proyecto pero se describe el modo de llevarlo a cabo y se ejemplifica para su mejor entendimiento.

#### 6.6.3.1. Previsión del consumo

Para la previsión de consumo se hace uso de la fórmula 6.1.

$$CM \text{ nuevo} = CM \text{ anterior} \cdot \frac{R + 1}{[CM \text{ anterior} \cdot T] + 1} \quad (6.1)$$

Donde CM es el consumo medio previsto, T es el intervalo de tiempo considerado y R es el consumo real en dicho periodo de tiempo T.

Un ejemplo del uso de esta fórmula se expone a continuación.

- Consumo anterior = 3 piezas/año
- Consumo del último año (RM) = 2 piezas
- T = 1 año

$$\text{Nuevo consumo medio previsto} = 3 \cdot \frac{2 + 1}{[3 \cdot 1] + 1} = 2,25$$

#### 6.6.3.2. Definir y mantener la disponibilidad al nivel de servicio requerido

Para poder definir y mantener la disponibilidad a un nivel de servicio específico se utiliza el siguiente método que permite calcular el número de piezas de recambio que deben formar el stock en función de dicho nivel de servicio (SL).

$$SL = \sum_{i=0}^N \frac{(a\lambda T)^i \cdot e^{-a\lambda T}}{i!} \quad (6.2)$$

Los parámetros se definen como sigue:

- SL es la probabilidad de tener en stock una pieza de recambio cuando se necesita.
- N es el número de piezas de recambio a tener en stock.
- a es el número de piezas de recambio (del mismo código) usadas en el sistema para una reparación.
- $\lambda$  es la tasa de fallos.
- T es el tiempo requerido para reponer existencias.

Se expone un ejemplo para entender el uso de esta fórmula:

- $a = 1$  (sólo se necesita una pieza para reparar una avería)
- $\lambda = 0,4$  avería/día/año
- $T = 3$  meses
- $a\lambda T = 1 \cdot \frac{0,4}{12} \cdot 3 = 0,1$

$N =$  Número de piezas de recambio a mantener en stock

$N = 0 \rightarrow 90,48\%$  de cobertura,  $9,52\%$  riesgo

$N = 1 \rightarrow 99,53\%$  de cobertura,  $0,47\%$  riesgo

$N = 2 \rightarrow 99,98\%$  de cobertura,  $0,02\%$  riesgo

#### 6.6.4. Actividad 4: Determinar la cantidad de piezas con rotación normal

Las piezas con rotación normal son aquellas de uso frecuente, porque se consideran básicos en las máquinas y es recomendable tener disponibilidad en el almacén. Este tipo de piezas pueden ser rodamientos, electroválvulas o detectores, entre otros.

Al igual que la actividad anterior, ésta no entra dentro de la aplicación de este proyecto pero se describe el modo de llevarlo a cabo y se ejemplifica para su mejor entendimiento.

#### 6.6.4.1. Previsión del consumo

La demanda esperada se va a calcular mediante la fórmula 6.3.

$$\begin{aligned} \text{Demanda esperada} &= \\ &= A \cdot (\text{demanda real}) + (1 - A) \cdot \text{demanda prevista} \end{aligned} \quad (6.3)$$

Donde A es un coeficiente entre 0 y 1 que indica el nivel de confianza en la demanda prevista. Normalmente A está comprendido entre 0,3 y 05.

Se expone un ejemplo a continuación.

- Demanda prevista = 5 piezas/mes
- Demanda del mes precedente = 7 piezas/mes
- A = 0,3

$$\text{Demanda esperada} = 0,3 \cdot 7 + (1 - 0,3) \cdot 5 = 5,6 \text{ piezas/mes}$$

### 6.7. PASO 5: GESTIÓN DE LOS RECAMBIOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Alcanzado el último paso, toca gestionar los repuestos para el mantenimiento preventivo. Como se explicó en capítulos anteriores, éste se encarga de controlar el funcionamiento de las máquinas y así prever posibles fallos que puedan surgir.

Las actividades de este quinto paso se pueden ver en la figura 6.22. La actividad 1 es la que actualmente está implantada en la fábrica, mientras que el mantenimiento predictivo, al cual se refieren en las actividades 2 y 3, tiene una previsión de implantación para el 2021.

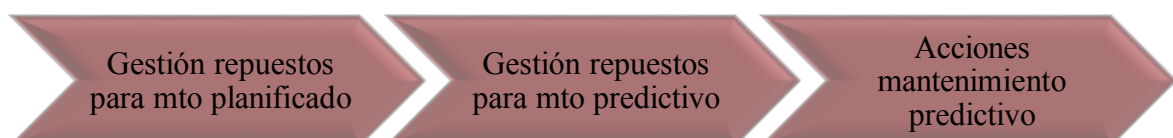


Figura 6.21. Actividades del paso 5

**6.7.1. Actividad 1: Gestión de los repuestos para el mantenimiento planificado**

Esta actividad consiste en tener disponibles los componentes que van a ser necesarios para realizar la reparación de un equipo. El modo de llevar a cabo esta tarea va a depender del tipo de mantenimiento que se esté realizando en cada caso.

En la planta de Sekurit Avilés se realizan diferentes tipos de mantenimiento, como son el correctivo y el preventivo. También se realiza el denominado como mantenimiento de oportunidad, que aprovecha momentos de parada de una máquina para realizar alguna reparación. Como se puede comprobar y, como ya se había mencionado en el capítulo de *Mantenimiento*, es muy complicado aplicar un solo tipo, por lo que se realizan varios y se complementan unos a otros. Es importante mencionar también que todas las reparaciones de averías se realizan con la máquina parada.

Para llevar a cabo un control más visual y que sea accesible a todos los operarios del taller, se dispone de una serie de paneles que se van completando según las acciones de ese mes (figuras 6.22, figura 6.24 y figura 6.25).

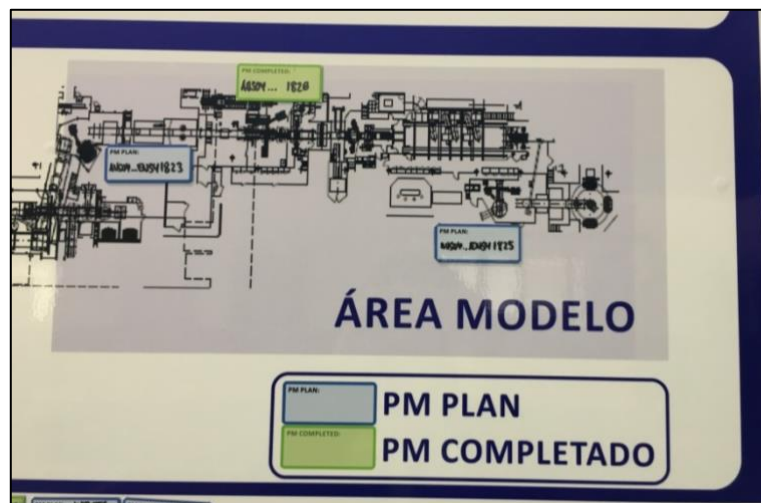


**Figura 6.22.** Tablero de mantenimiento preventivo en el taller

En el caso del mantenimiento preventivo, al comienzo de cada año se planifican una serie de gamas, que son inspecciones específicas para la máquina objeto de estudio, donde se indica la fecha en la que se tienen que realizar. En caso de que en esa revisión se detecte



una anomalía, se toma nota de ello y se determina una fecha para su arreglo, que dependerá por un lado de la disponibilidad de la máquina por parte de fabricación y, por otro lado, de la disponibilidad del repuesto, de si hay que pedirlo o si ya se tiene en fábrica. Dentro de este tipo de mantenimiento también se engloban aquellas acciones que dependen de la vida útil de los elementos que componen la máquina. En estos casos se sabe cuándo puede ocurrir el fallo, por lo que se fija una fecha anterior a ese momento para poder hacer el cambio, lo que va a permitir saber cuándo hay que pedir el repuesto y tenerlo disponible en el almacén. En la parte izquierda del tablero de la figura 6.22 se pueden ver los planes de mantenimiento fijados para el mes que corresponda. Estos carteles se colocan en la zona en la que hay que realizar una inspección y se cambian a color verde cuando ya se ha realizado (figura 6.23).



**Figura 6.23.** Detalle del panel de mantenimiento

Otro tipo de mantenimiento que hay que afrontar es el correctivo no planificado. Éste surge cuando hay una avería imprevista y obliga a parar la producción. En estos casos, se suele tener disponibilidad de pequeños repuestos en el almacén que facilitan arreglar de manera rápida la máquina. Pero no siempre hay todos los materiales necesarios, por lo que se buscará una solución que permita arrancar la producción y se dejará indicado el repuesto necesario para poder pedirlo al proveedor correspondiente. Una vez que se haya recibido, se podrá aprovechar un momento en el que haya alguna parada para arreglar adecuadamente la máquina. En la figura 6.24 se puede ver en la parte izquierda las averías





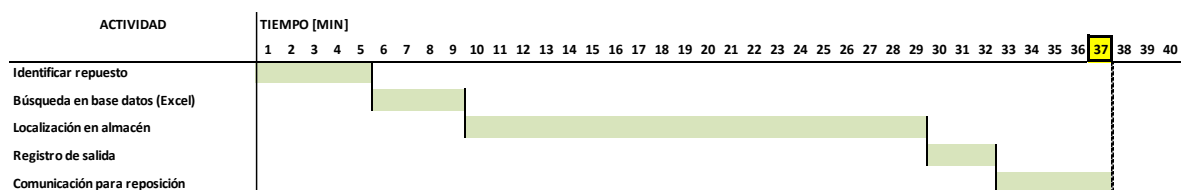
# Conclusiones

---

## 7. CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto se ha estudiado la manera de mejorar las herramientas disponibles en el departamento de mantenimiento. Para ello, se comenzó explicando los tipos de mantenimientos existentes a nivel industrial para, a continuación, entrar en la herramienta de mejora continua que hay implantado en esta compañía, que es el World Class Manufacturing. Este tipo de metodología busca constantemente mejorar las acciones que se realizan, aprendiendo de errores pasados y conseguir que no se repitan en el futuro. El WCM divide la fábrica en pilares, que corresponden cada uno a un área de actuación. En el caso que concierne a este proyecto, que se centra en el departamento de mantenimiento, se estudió el Pilar de Fiabilidad.

Se explicó detalladamente el funcionamiento del software de gestión del mantenimiento disponible, con el que se evidencia el efecto positivo que tiene a la hora de gestionar los repuestos. Este software sirve de base de datos para los componentes disponibles en el almacén y permite tener registrada la ubicación exacta del mismo. Uno de los objetivos de este proyecto era reducir el tiempo de búsqueda del repuesto cuando surgiera una avería. Como se puede ver en la figura 7.1, antes de tener implantada esta herramienta el tiempo medio era de 37 minutos, mientras que ahora el tiempo medio de búsqueda es de 21 minutos (figura 7.2).



**Figura 7.1.** Tiempo medio de duración búsqueda repuesto en el pasado

Conseguir esta reducción de tiempos trae consigo otra serie de beneficios, como es que el tiempo de parada de la máquina también se reduce y la producción puede arrancar antes.

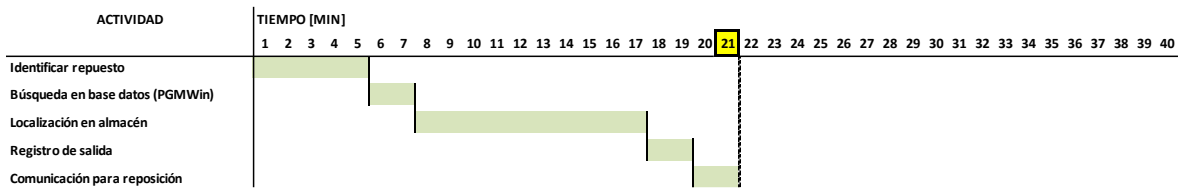


Figura 7.2. Tiempo medio de duración búsqueda repuesto actualmente

Finalmente, se realizó un estudio pormenorizado de los pasos necesarios para mejorar el sistema de gestión de los repuestos. Como se había indicado, se creó un índice de prestación clave (KPI) que permite visualizar el avance de las tareas en las semanas de duración del proyecto. Además, se logró el objetivo fijado de implantar la ruta en 220 motores. En la figura de la evolución del KPI (figura 7.3), al ser un gráfico acumulado, la cantidad total de motores a la que se llega es la suma de los 220 por cada actividad.

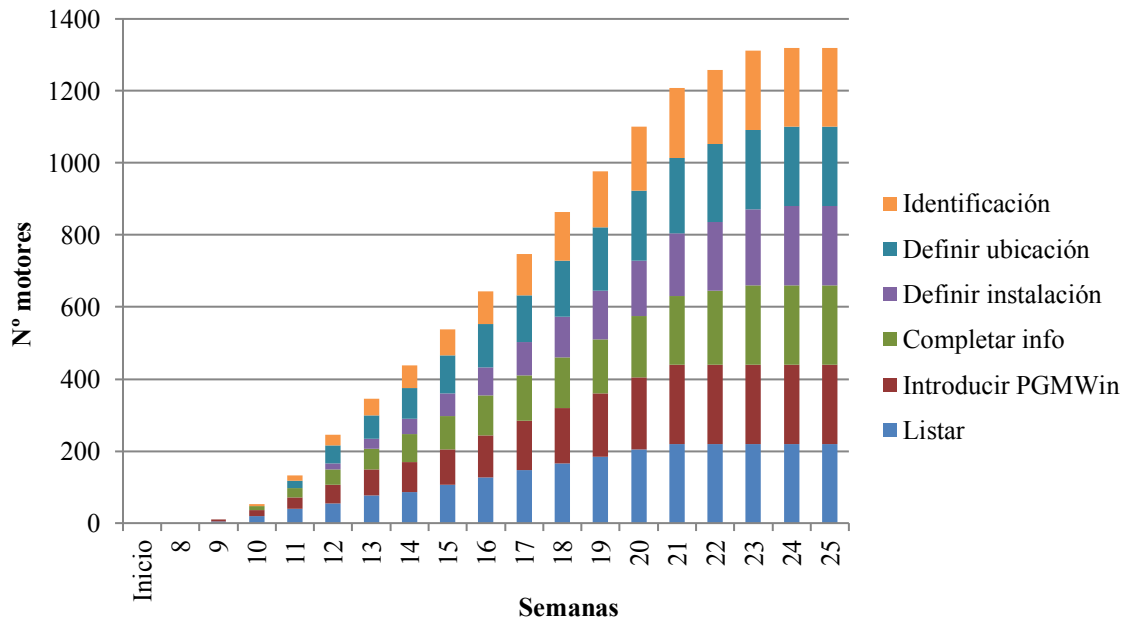


Figura 7.3. Gráfico de la evolución del KPI

En los gráficos posteriores se puede ver la evolución de cada una de las tareas de forma individual, certificando que se alcanza en todos los casos los 220 motores. En la figura 7.4, correspondiente a la tarea “Listar”, se puede ver que dio comienzo en la semana 9 y se logró llegar al objetivo en la semana 21.

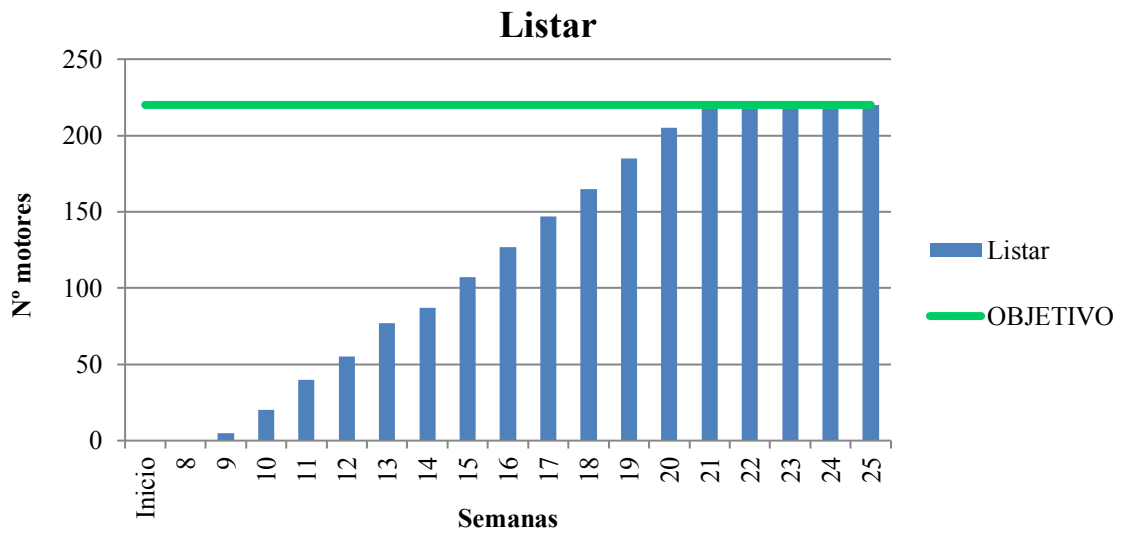


Figura 7.4. Gráfico de la evolución de la tarea “Listar”

Al mismo tiempo que se comenzó a listar los motores, se fue introduciendo la información en el software PGMWin (figura 7.5). Esta tarea se terminó en la semana 21.

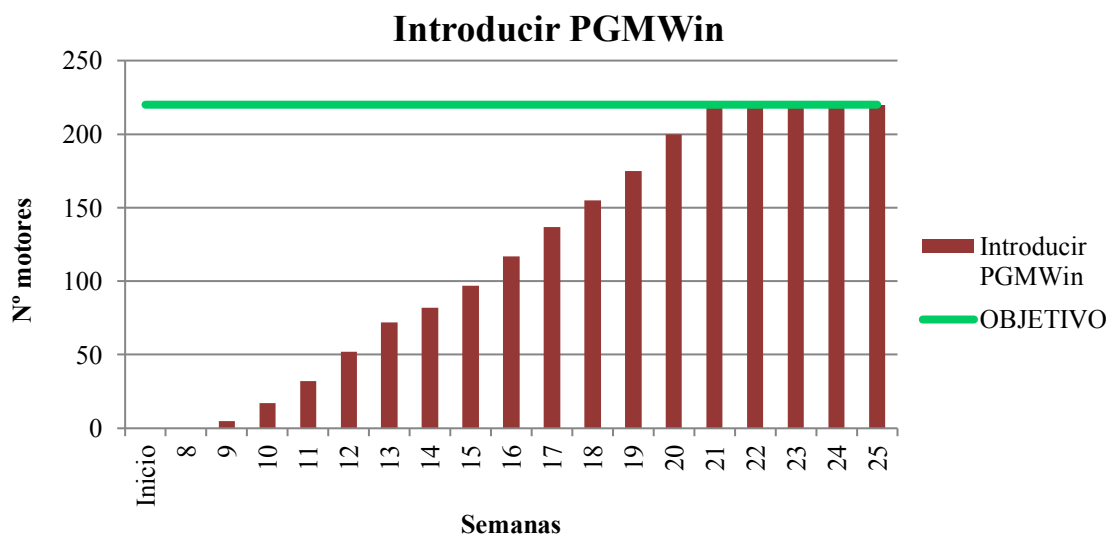


Figura 7.5. Gráfico de la evolución de la tarea “Introducir PGMWin”

Además de introducir la referencia del motor que correspondiese, había que ir añadiendo información complementaria que sirve de ayuda en cuanto a características específicas de tamaño, potencia o condiciones de funcionamiento (figura 7.6). Se comenzó en la semana 10 y se pudo dar por terminado en la semana 23.

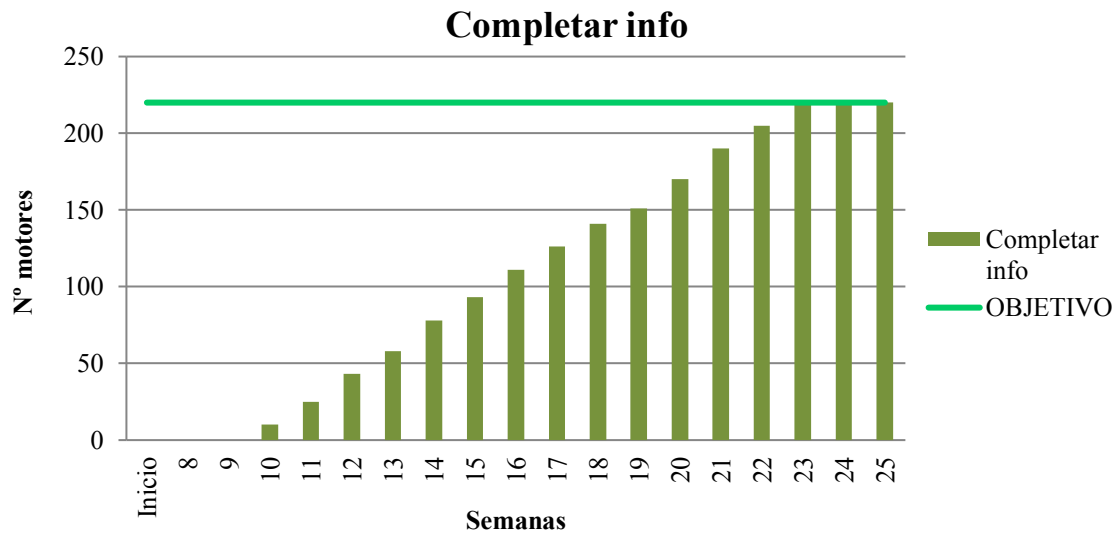


Figura 7.6. Gráfico de la evolución de la tarea “Completar información”

Otra de las tareas era definir la instalación a la que pertenecía ese motor (figura 7.7). Para este paso se tardó un poco más de tiempo en empezar, ya que previamente era necesario tener un conocimiento de las diferentes partes de la fábrica para así saber en qué zona se estaba trabajando. Se comenzó en la semana 12 y se terminó en la semana 24.

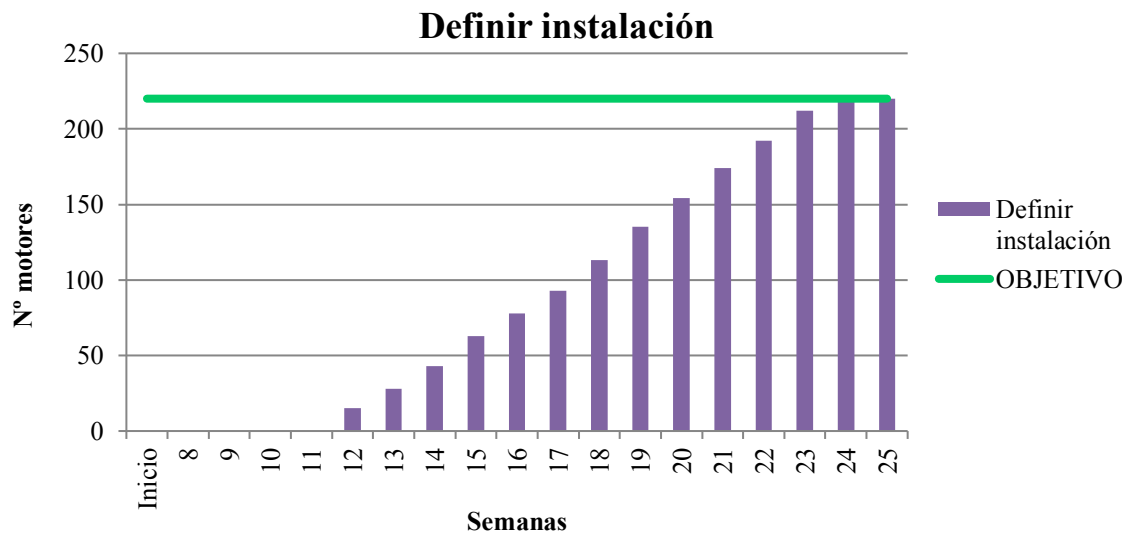


Figura 7.7. Gráfico de la evolución de la tarea “Definir Instalación”

Además de la ubicación en planta, es de suma importancia localizar el motor en el almacén (figura 7.8). Otorgarle el lugar adecuado, que esté correctamente colocado e identificada esa posición va a permitir que el tiempo de búsqueda se reduzca, ya que se va a ir de forma



directa a por él. Con esta tarea se ayuda a mejorar el objetivo de reducción del tiempo de búsqueda del componente. La tarea empezó la semana 11 y se concluyó en la semana 23.

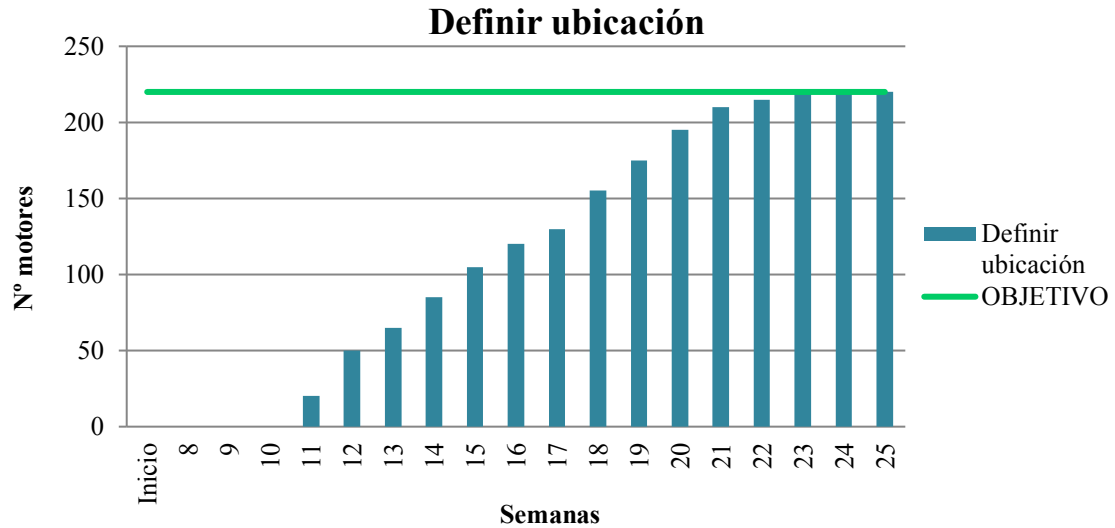


Figura 7.8. Gráfico de la evolución de la tarea “Definir ubicación”

Finalmente, es necesario colocar una etiqueta identificativa en cada uno de los motores para que no haya confusión entre ellos (figura 7.9). La tarea dio comienzo la semana 10 y se terminó en la semana 23.

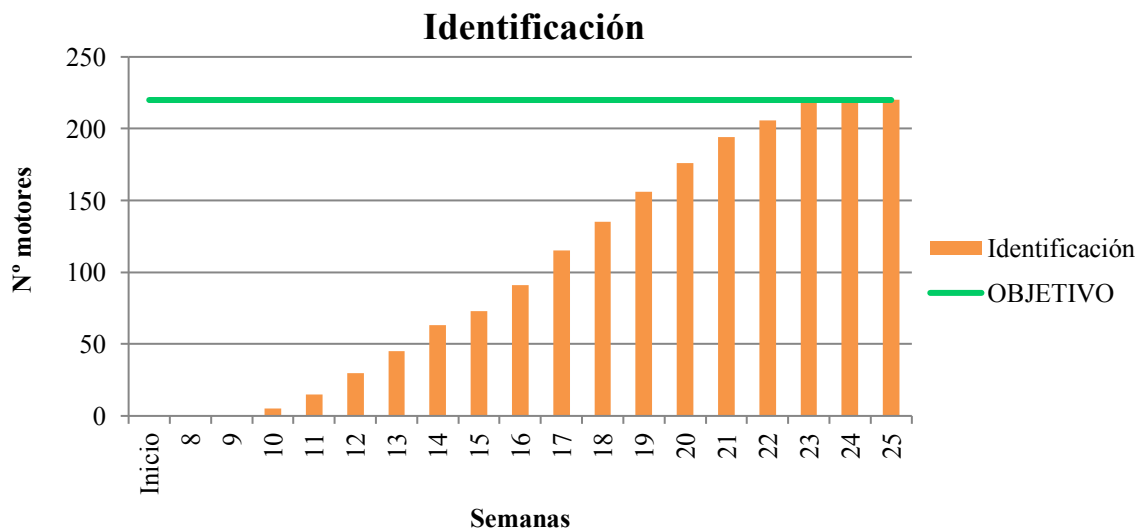


Figura 7.9. Gráfico de la evolución de la tarea “Identificación”

# Programación Temporal

---

## 8. PROGRAMACIÓN TEMPORAL

Este capítulo recoge la duración de las tareas que se han seguido para la realización de este proyecto. Se presenta mediante un diagrama de Gantt, que es una herramienta utilizada para planificación y programación de las mismas. Permite una sencilla y cómoda visualización de las acciones previstas, además de realizar el seguimiento y control de cada una de las etapas, y permite reproducir gráficamente las tareas, su duración y secuencia [24].

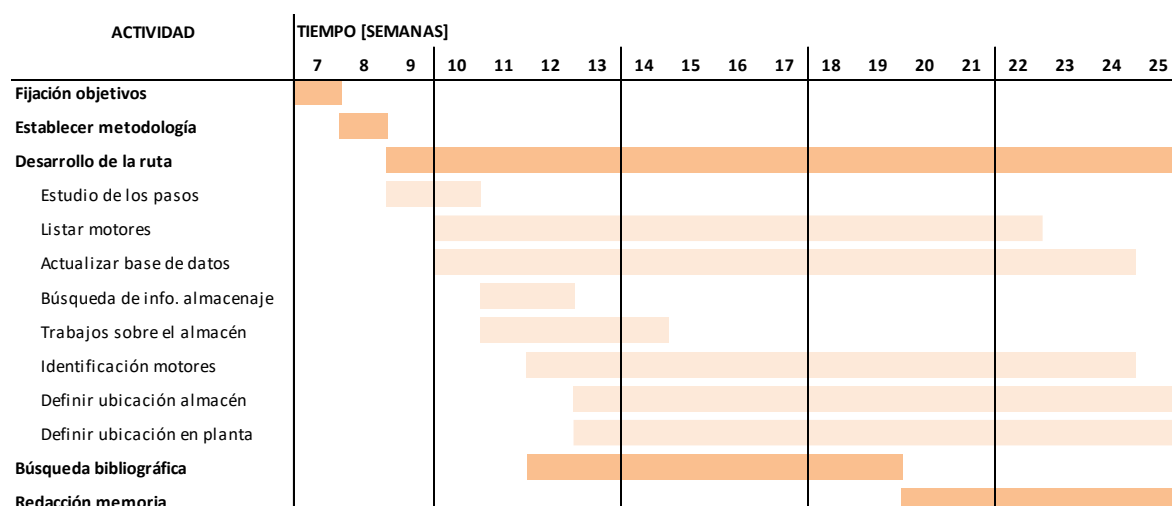


Figura 8.1. Diagrama de la programación temporal

Como se puede ver en la figura 8.1, en algunos casos es necesario haber terminado una tarea para dar comienzo a la siguiente y, en otros, ambas tareas se solapan porque se pueden llevar a cabo simultáneamente.

# Presupuesto

---

## 9. PRESUPUESTO

En este capítulo se detallan los costes asumidos para poder llevar a cabo el proyecto. Se dividen en dos categorías, una centrada en el coste material que ha sido necesario adquirir y otra los recursos humanos empleados. Para concluir, se presenta el coste total.

### 9.1. COSTE DEL MATERIAL

En este primer apartado se consideran los costes materiales de los elementos necesarios para la organización del almacén, como son las estanterías y las uniones necesarias para montarlas, y la licencia del programa PGMWin que se usa para la gestión de mantenimiento.

**Tabla 9.1.** Coste del material

CONCEPTO	COSTE/UD [€/ud]	UNIDADES	COSTE [€]
Estanterías grandes	424,80	5	2.124,00
Estanterías pequeñas	242,28	2	484,56
Uniones para estanterías	11,05	8	88,40
Licencia de programa	2.570	1	2.570,00
<b>Total</b>			<b>5.266,96</b>

### 9.2. COSTE DE LOS RECURSOS HUMANOS

En este apartado se consideran los gastos derivados del tiempo empleado por las personas para poder llevar a cabo el trabajo. Se van a diferenciar en:

- Horas personal externo. Coste asociado a la contratación de personal externo para las tareas de limpieza del almacén, eliminación de material obsoleto, montaje de las estanterías y reubicación de los materiales restantes.
- Horas de campo. Aquellas dedicadas a identificar los motores, a ubicarlos en las máquinas de la línea de fabricación y a definir su nueva localización en el almacén.

- Horas de estudio. Aquellas dedicadas a buscar información referente a los motores, a completar los datos disponibles en la base de datos, es decir, la parte documental de la ruta.
- Horas de realización de la memoria. Éstas son las que se dedicaron íntegramente a realizar el estudio bibliográfico y la redacción de la memoria.

**Tabla 9.2.** Coste de los recursos humanos

CONCEPTO	COSTE/HORAS [€/h]	HORAS	COSTE [€]
Horas personal externo	24	160	3.840,00
Horas de campo	30	150	4.500,00
Horas estudio	35	280	9.800,00
Horas memoria	30	60	1.800,00
<b>Total</b>			<b>19.940,00</b>

### 9.3. COSTE TOTAL

Para finalizar se presenta la tabla 9.3 en la que se recoge el coste total de ambos apartados y se aplican los porcentajes correspondientes a los gastos generales, el beneficio industrial y el IVA, obteniéndose un coste final de proyecto igual a treinta y seis mil, doscientos noventa y cinco euros con cincuenta y un céntimos.

**Tabla 9.3.** Coste total

CONCEPTO	COSTE [€]
Material	5.266,96
Recursos humanos	19.940,00
<b>Total bruto</b>	<b>25.206,96</b>
Gastos generales (13%)	3.276,91
Beneficio industrial (6%)	1.512,42
<b>Total parcial</b>	<b>29.996,29</b>
I.V.A. (21%)	6.299,22
<b>Coste total</b>	<b>36.295,51</b>

# Bibliografía

---

# 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Parabrisas y seguridad: el vidrio laminado - Blog Carglass.* [Online] Disponible en: <https://www.carglass.es/blog/parabrisas-vidrio-laminado/>
- [2] *Vidrio Andino | VIDRIO FLOTADO.* [Online] Disponible en: <http://vidrioandino.com/vidrioflotado/>
- [3] *Vidrio flotado: características y proceso de fabricación.* [Online] Disponible en: <http://www.cristalyvidrio.com/vidrio-flotado/>.
- [4] *Características de los vidrios laminados y templados.* [Online] Disponible en: <http://vilssa.com/caracteristicas-de-los-vidrios-laminados-y-templados>
- [5] *Tipos y ventajas del vidrio laminado - CLIMALIT®.* [Online] Disponible en: <http://climalit.es/blog/el-vidrio-laminado/>
- [6] La fabricación de cristales para automóviles. [pdf] Disponible en: [http://www.saint-gobain-sekurit.com/sites/default/files/saint\\_gobain\\_sekurit\\_la\\_fabricacion\\_de\\_cristales\\_por\\_automoviles.pdf](http://www.saint-gobain-sekurit.com/sites/default/files/saint_gobain_sekurit_la_fabricacion_de_cristales_por_automoviles.pdf)
- [7] *Tipos de Mantenimiento.* [online] Disponible en: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- [8] Tipos de Mantenimiento Industrial. Ventajas de cada uno | Aldakin. [Online] Disponible en: <http://www.aldakin.com/tipos-de-mantenimiento-industrial-ventajas-inconvenientes/>.
- [9] *World Class Manufacturing y el desarrollo de personas excepcionales | Economix.* [Online] Disponible en: <http://www.economixtv.com/columna/world-class-manufacturing-y-el-desarrollo-de-personas-excepcionales>.
- [10] TPM: Mantenimiento Productivo Total - Lean Manufacturing 10. [Online] Disponible en: <https://leanmanufacturing10.com/tpm-mantenimiento-productivo-total>.
- [11] TQM (Total Quality Management): Gestión de la calidad total. [Online] Disponible en: [https://leanmanufacturing10.com/calidad-total-tqm#5\\_principios\\_clave\\_del\\_TQM](https://leanmanufacturing10.com/calidad-total-tqm#5_principios_clave_del_TQM).



- [12] Definición de metodología just in time o justo a tiempo y cómo aplicarla. [Online] Disponible en: <https://leanmanufacturing10.com/just-in-time>.
- [13] *KAIZEN: Mejora continua. Cómo implantarla en el proceso de producción.* [online] Disponible en: <https://leanmanufacturing10.com/kaizen-mejora-continua>
- [14] *Metodología Lean Manufacturing: Qué es y cómo implantarla.* [Online] Disponible en: <https://leanmanufacturing10.com/>.
- [15] *Cuidados prácticos del parabrisas de tu auto - Parabrisas Vidriopal.* [Online] Disponible en: <http://www.parabrisasvidriopal.cl/cuidados-practicos-del-parabrisas-de-tu-auto/>
- [16] *Reciclar Vidrio.* [Online] Disponible en: <http://reciclarvidrioconciencia.blogspot.com/>
- [17] *Vidrio Laminado - Tecnología, seguridad y calidad SEGTEC.* [Online] Disponible en: <http://www.segtecvidrio.com/vidrio-laminado/>
- [18] *LINEA DEL TIEMPO EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.* [online] Disponible en: <https://prezi.com/xfmdktzhociw/linea-del-tiempo-evolucion-del-mantenimiento-industrial/>
- [19] Capítulo 1. Evolución del mantenimiento. [pdf] Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n3%20\(para%20Inform%C3%A1tica\)/2011/rivera\\_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n3%20(para%20Inform%C3%A1tica)/2011/rivera_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf)
- [20] Consultora EFESO
- [21] *EGEOTEC - Soluciones Técnicas de Asistencia al Mantenimiento.* [Online] Disponible en: <http://www.egeotec.com/aplicaciones.html>
- [22] Kaizen - Manufactura Inteligente. [Online] Manufactura Inteligente. Disponible en: <http://www.manufacturainteligente.com/kaizen/>
- [23] Metodología kaizen, qué es, cómo se aplica y cómo afecta a tu negocio. [Online] Antevenio. Disponible en: <https://www.antevenio.com/blog/2017/05/que-es-la-metodologia-kaizen/>
- [24] *¿Qué es un diagrama de Gantt y para qué sirve? | OBS Business School.* [Online] Disponible en: <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/diagramas-de-gantt/que-es-un-diagrama-de-gantt-y-para-que-sirve>

- [25] Almacenamiento de máquinas eléctricas girantes de mediano porte. [pdf].  
Disponible en: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-almacenaje-de-maquinas-electricas-girantes-de-mediano-porte-articulo-tecnico-espanol.pdf>