



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Estudios para la implementación de la metodología RCM en los equipos de la fase final de una industria de producción de tapaderas de conserva

TRABAJO FINAL DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Autor: Ricardo José Martínez
Corbalán Bernal**
Director: José Luis Aguirre Martínez



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, 8 de Julio de 2022

Índice

Capítulo 1.....	7
1.1 Antecedentes.....	7
1.2 Introducción y objetivos.....	8
1.3 Metodología y fases del trabajo.....	9
Capítulo 2.....	10
2. Metodología RCM.....	10
2.1. Introducción.....	10
2.2 Principios del mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM).....	10
2.3 Desarrollo de la metodología.....	17
2.4 Conclusiones de la metodología RCM.....	23
Capítulo 3.....	25
3.1 Descripción de la Instalación en la que se va a realizar el RCM.....	25
3.2 Selección y Descripción Detallada de los Equipos a Analizar.....	27
3.2.1 Razones de Selección de la línea de la fábrica.....	27
3.2.2 Personal y medios disponibles y mantenimiento preventivo actual aplicado.....	29
3.2.3 Descripción de los equipos a estudiar.....	31
Capítulo 4.....	43
4.1 Aplicación del RCM sobre los equipos seleccionados.....	43
4.1.1 Definición de objetivos.....	43
4.1.2 Creación de un grupo de trabajo.....	44
4.1.3 Selección de los equipos a estudiar.....	45
4.1.4 Contexto operacional de los equipos a analizar.....	45
Capítulo 5.....	49
5.1 Análisis FMECA.....	49
5.1.1 Evaluación de fallos con FMECA.....	49
5.1.2 Resultado de los valores NPR y de riesgo obtenidos.....	86
5.1.3 Reasignación de valores a modos de fallo.....	87
5.1.4 Matrices de criticidad.....	122
5.1.5 Evaluación de los modos de fallo críticos.....	126
Capítulo 6.....	127
6.1 Plan de mantenimiento a partir del análisis FEMCA.....	127
6.2 Hoja de decisión.....	129
6.3 Fallos a los que se le aplicará un mantenimiento preventivo.....	131
6.4 Fallos a los que se le aplicará un mantenimiento predictivo.....	133
6.5 Fallos a los que se les continuará aplicando un mantenimiento correctivo paliativo o curativo.....	133

6.6	Resumen de acciones a añadir en el plan de mantenimiento	134
Capítulo 7.....		136
7.1	Implementación y monitorización del nuevo plan de mantenimiento.....	136
7.2	Evaluación de la metodología empleada por medio de indicadores	139
7.3	Resultado de la metodología RCM aplicada.....	140
7.4	Pautas a seguir para rehacer el análisis RCM dentro de empresa en el futuro	145
Capítulo 8.....		147
8.1	Conclusiones.....	147
8.2	Desarrollos futuros	148
Capítulo 9.....		149
9.1	Bibliografía.....	149

Índice de tablas

1. Tipos de parada
2. Formato y ejemplo de valores del diagrama de pérdida de función
3. Categoría en las que se dividen las consecuencias de los fallos en función del índice de importancia
4. Categoría en las que se dividen las consecuencias de los fallos en función del criterio asignado
5. Frecuencia de fallo
6. Detección de fallo
7. Matriz de criticidad
8. Matriz de riesgo
9. Diagrama de pérdida de función en el transfer
10. Diagrama de pérdida de función en la etiquetadora y cerradora de cajas
11. Diagrama de pérdida de función en el paletizador
12. Matriz de riesgo 2
13. Detección de fallo modificada
14. Categoría en las que se dividen las consecuencias de los fallos en función del criterio asignado modificada
15. Diagrama de pérdida de función en el transfer
16. Diagrama de pérdida de función en la cerradora de cajas y etiquetadora
17. Diagrama de pérdida de función en el paletizador
18. Matriz de riesgo 3
19. Matriz de criticidad transfer 2
20. Matriz de criticidad cerradora + etiquetadora 2
21. Matriz de criticidad paletizador 2
22. Matriz de riesgo obtenida
23. Hoja de decisión
24. Acciones a añadir en el plan de mantenimiento
25. Tareas para implementar en el nuevo plan de mantenimiento

Índice de figuras

1. Esquema del proceso de implantación del RCM clásica (RCM-I)
2. Curvas características de fallo
3. Esquema de los tipos de mantenimiento
4. Pasos adicionales propuestos para la metodología RCM
5. Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos
6. Metodología de RCM ampliada RCM-II
7. Vista en planta de la instalación
8. Vista en planta de la línea a estudiar
9. Dimensiones del transfer
10. Dimensiones del paletizador
11. Útil giratorio del brazo cartesiano
12. Sensor de límite de carrera PNP para ejes
13. Cable extensor para detectores de final de carrera
14. Soportes para sensor de límite de carrera para ejes
15. Soportes para sobre carro para detección de límite de carrera
16. Montaje del acoplamiento
17. Acoplamiento elástico lado guía lineal para ejes
18. Estrella de goma de acoplamiento elástico para ejes
19. Acoplamiento elástico lado motor para ejes
20. Correa dentada para ejes (x, y, z)
21. Polea anticorrosión para ejes (x, y, z)
22. Sistema de tensado
23. Dispositivo de sujeción de correa
24. Tope de goma de carro para ejes
25. Reductora con índice 8 para ejes (x, y, z)
26. Bloque de sujeción y reenvío
27. Brida de sujeción robot útil
28. Conjunto patín-carro
29. Elementos de fijación entre ejes y robot
30. Cobertura de slot para ejes y guías
31. Esquema diagrama de decisión

Capítulo 1

1.1 Antecedentes

Este proyecto comienza con la necesidad de la empresa Bemasa Caps SA, en la cual he estado realizando prácticas de empresa por un determinado periodo de tiempo, de llevar a cabo un plan de mantenimiento de sus máquinas más exhaustivo y preciso, del que anteriormente se estaba llevando a cabo en la misma empresa.

Esta empresa dedicada a la industria conservera nace en 1990 para satisfacer la demanda del sector conservero de la Región de Murcia.

La empresa con domicilio en Carretera Torrealta (cr mu- 560) se encuentra ubicada en Molina de Segura, Murcia, frente a ella se encuentra también, otra gran empresa del sector conservero llamada Auxiliar Conservera, con la que comparte recursos y clientes.

Inicialmente, durante mi periodo en la empresa, empecé a definir tareas de mantenimiento sobre máquinas especializadas en la producción de tapaderas para latas de conserva de tipo “fácil apertura”.

A partir de la experiencia adquirida en la definición de estas tareas de mantenimiento, a la empresa le surgió la necesidad de centrar los esfuerzos de mejora de mantenimiento, en un conjunto de máquinas que componen el final de la producción de las tapaderas tipo “cap twist”, diferentes a las anteriormente mencionadas.

Este conjunto de máquinas es imprescindible para la producción de la empresa, porque si este conjunto fallase, las tapaderas no podrían ser distribuidas a los respectivos clientes y provocaría pérdidas económicas muy grandes en la producción de la empresa.

Por ello, mi labor en la empresa resultó de ayuda para poder definir mejor una metodología de mantenimiento centrada en la confiabilidad, diferente a la que se estaba realizando anteriormente en la empresa.

1.2 Introducción y objetivos

Definiendo el significado de la palabra mantenimiento, podemos decir que consiste en un conjunto de actividades que conducen a la corrección de fallos y anomalías a medida que se dan en equipos, en este caso de maquinaria industrial, y todas aquellas destinadas a que el equipo no llegue a fallar.

La maximización de la disponibilidad y el funcionamiento de los equipos, son los principales objetivos del mantenimiento, que consisten en ir minimizando su deterioro a lo largo del tiempo y preservando su valor. Es necesaria una evaluación de los resultados obtenidos durante el mantenimiento, para verificar que se cumplen los objetivos principales de la empresa.

Para implementar y mejorar las tareas de mantenimiento que se realizan actualmente en la empresa, se hará uso de la metodología RCM.

El RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad) se puede definir de la siguiente manera: “un método para identificar y seleccionar aquellas políticas de gestión de fallos que contribuyan a alcanzar eficaz y eficientemente los niveles requeridos de seguridad, disponibilidad y costes de explotación” (según la norma UNE-EN 60300:2013).

Este estudio basado en el análisis RCM, facilitará la comprensión en profundidad de los equipos que forman la línea de producción. Se realizará la selección de tareas de mantenimiento, que darán lugar a la optimización de la fiabilidad operacional de nuestra línea dentro de la empresa.

Se establecen un conjunto de actividades, que serán más efectivas para realizar el mantenimiento de los elementos más críticos que operan dentro del sistema.

El **objetivo** principal del proyecto consistirá en:

El estudio y desarrollo de un procedimiento de gestión y organización de mantenimiento, de la línea final, de una planta de producción de tapaderas de la empresa “BEMASA CAPS”, en la cual se ha estado trabajando como alumno en prácticas. Se aplicará la metodología AMFE (Análisis de Modo de Fallo y Efectos) dentro del desarrollo de análisis RCM.

Para alcanzar el objetivo principal del proyecto, será necesario cumplir con los siguientes **objetivos específicos**:

1. Conocer el funcionamiento, los fallos y la puesta en marcha de las máquinas seleccionadas sobre la línea de producción a estudiar.
2. Implementar el procedimiento seleccionado en la optimización de los recursos que la empresa posee, para hacer una valoración sobre los resultados que se han obtenido al aplicar dicho procedimiento.
3. Realizar una optimización en el mantenimiento que se lleva a cabo sobre las maquinarias para la prevención de riesgos laborales, minimizar pérdidas de rendimiento y reducir futuros fallos en las máquinas.

Los **objetivos** que se marca la **empresa** son los siguientes:

- Reducir los costes causados por las numerosas paradas.
- Conocer cuáles son los equipos y los componentes de los equipos más críticos de la línea.
- Mejorar la calidad final del producto y del proceso productivo.

1.3 Metodología y fases del trabajo

La idea inicial del mantenimiento está en constante cambio, debido principalmente a una constante automatización, mayor complejidad de las máquinas, aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento y nuevos enfoques sobre la organización y la utilización de los mismos. Entendiendo este enfoque, se pueden programar acciones previas al fallo o con el propósito de alargar la vida útil de los componentes, las empresas pueden prever los fallos de sus máquinas para reducir costes mayores en el futuro.

Este estudio llevado a cabo sobre la metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad, tiene como objetivo reducir posibles fallos en los componentes de las máquinas y alargar la vida útil de éstos.

Logrando un incremento de la disponibilidad de las máquinas y los equipos para disminuir los costes de mantenimiento.

Durante este proyecto, explicaremos la historia y el uso de la metodología del RCM, su implantación en un sistema de trabajo y los objetivos que se esperan alcanzar. Posteriormente, desarrollaremos este método en cada una de las máquinas que componen la línea de la empresa sobre las que se va a aplicar. De esta manera se obtendrán resultados que ayuden a elegir las acciones de mantenimiento más efectivas. Finalmente, estas tareas se implementarán en los equipos, con la finalidad de evaluar si los nuevos programas de mantenimiento han mostrado resultados satisfactorios para la empresa.

Este proyecto se va a estructurar siguiendo la metodología del RCM, basada en la norma UNE 60300, en la cual se establece todo el proceso a seguir para, a partir de unos objetivos, y de los resultados de aplicar una serie de análisis sobre los equipos de la planta, obtener conclusiones que nos ayuden a establecer unas estrategias de mantenimiento basado en la mejora continua.

Aunque en el trabajo se proponen todas las fases del RCM-II, este trabajo se inició con una primera toma de datos de los equipos, describiendo la función de todos los que se definieron para su estudio según criterios de la empresa. De esta forma se pudo realizar desde las primeras etapas del trabajo el análisis FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis). Este estudio constituye la parte más importante de todo el desarrollo del RCM y es la que permite definir el mantenimiento más adecuado para cada uno de los equipos.

Capítulo 2

2. Metodología RCM

2.1. Introducción

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología muy reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc. Esta metodología se ha utilizado para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo.

El RCM es una técnica dedicada a la organización de actividades y la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos. El RCM define un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad de los equipos que se mantengan. John Moubray definió el RCM como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que los activos continúen haciendo las tareas pertinentes para satisfacer las necesidades de los usuarios dentro de su contexto operacional.

En la actualidad, el RCM es utilizado con frecuencia como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de mejora en el mantenimiento de equipos complejos. También se pueden mejorar los resultados del RCM combinándolo con otras metodologías.

2.2 Principios del mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM)

2.2.1 Historia del RCM

“El RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual” – (John Moubray).

El concepto básico del RCM se inicia en la década de 1960 en EEUU. Altos cargos del ejército pensaron que el trabajo de mantenimiento en la Aviación Civil Norteamericana era no solo costoso sino que tenía un riesgo muy alto. Por lo tanto, los altos cargos del ejército se decidieron a establecer una serie de “Grupos de Dirección de Mantenimiento” (Maintenance Steering Groups – MSG) para volver a evaluar todas las operaciones sobre las aeronaves que estaban haciendo. El grupo estaba formado por los representantes de los fabricantes de aeronaves, las aerolíneas y la Fuerza Área Americana.

El concepto de mantenimiento en el ámbito de la aviación era, inicialmente, simples recomendaciones de mejora, pero acabaron convirtiéndose gradualmente en una metodología analítica con la utilización de un sistema avanzado para afianzar el motivo muy claro, que era “La forma más segura para viajar”.

El RCM se empezó a desarrollar más eficientemente para que las empresas pudieran determinar los errores en las funciones de los activos físicos y controlar las consecuencias de los fallos de los

diferentes equipos. Además, el método que se denominó 'Mantenimiento centrado en la confiabilidad' que fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines, y fue publicado en 1978, que también fue usado como la base para el MSG 3 (El método representó un considerable avanzado concepto sobre MSG 2 y MSG 1).

En 1996, la SAE (Society of Automotive Engineers) empezó a diseñar un modelo y unas normas con el RCM para establecer un estándar formal para no llevar a confusión, lo que provocaría la necesidad de desarrollar una norma para la metodología RCM.

Finalmente, en Febrero de 1999, se termina la normativa: "*SAE JA1011: Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*". Esto supondría que la norma para el RCM sirviera de ayuda para comenzar a aplicar el RCM mientras se evaluaron los procesos aconsejados por los fabricantes. Por eso, las empresas tienen la capacidad de distinguir qué procesos son RCM según la norma.

La norma aprobada por la SAE no representa un proceso RCM estándar. Ésta norma presenta criterios con los cuales se puede comparar un proceso: Si el proceso satisface los criterios, el usuario puede llamarlo un "proceso RCM". Si los criterios no los satisface, no debería llamarse "proceso RCM". Esto realmente no significa que los procesos que no cumplen con la norma SAE no sean procesos válidos para definir estrategias de mantenimiento, sino que el término RCM no debería ser aplicado a dichos procesos.

Actualmente, el RCM es aplicado por muchas empresas industriales. Este método se ha ido desarrollando y perfeccionando, gracias al autor John Moubray, quien desarrolló una versión mejorada del RCM-I, la Edición 2 revisada y publicada en 1997 (RCM-II), la cual consiste en la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado al ámbito de la industria, abarcando temas como las funciones de los activos físicos, fallos funcionales, análisis de modos de fallo y efecto, consecuencias de los fallos, diagramas de decisión RCM, implementación de la metodología RCM, datos de los fallos, aplicación del proceso RCM y beneficios de aplicar RCM.

2.2.2 Implantación del método

Ahora realizaremos un esquema con los pasos para aplicar la metodología RCM clásica (RCM-I):

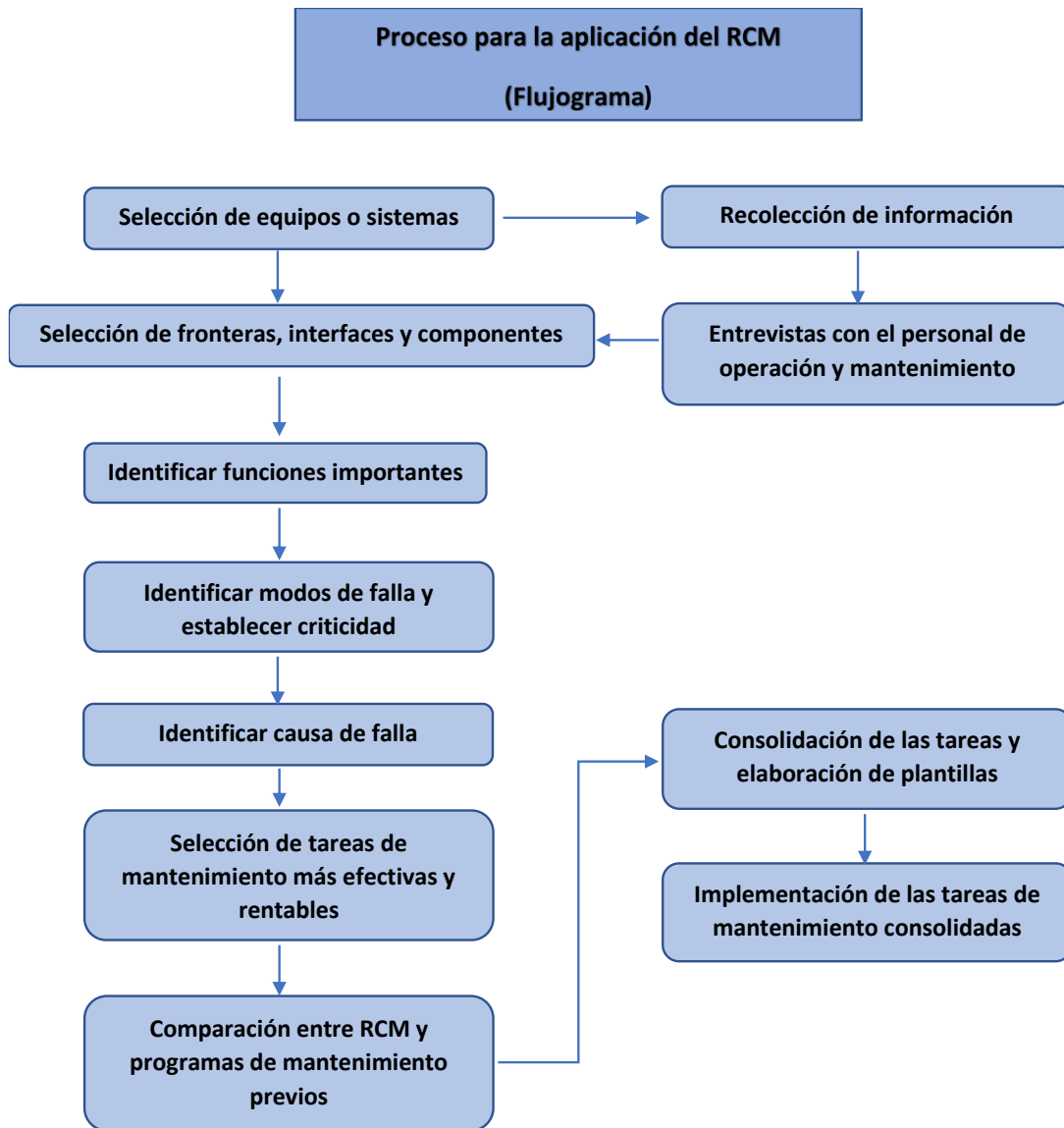


Figura 1. Esquema del proceso de implantación del RCM clásica (RCM-I)

Los principales objetivos que se persiguen con el análisis RCM, son evaluar los posibles fallos, clasificarlos y priorizar las acciones correctivas sobre estos fallos, según el nivel de criticidad de los mismos.

Cada equipo y sus componentes, fallarán en un periodo de tiempo determinado. Hay equipos que fallarán más temprano o más tarde que otros, y cada componente de los equipos tienen su propia curva de probabilidad de fallo.

Stanley Nolan y Howard Heap clasificaron seis tipos de curvas características implicadas en la metodología RCM.

No basta con admitir que todos los componentes van a fallar, también es muy importante aprender las características que poseen los fallos, para poder realizar el correcto

mantenimiento.

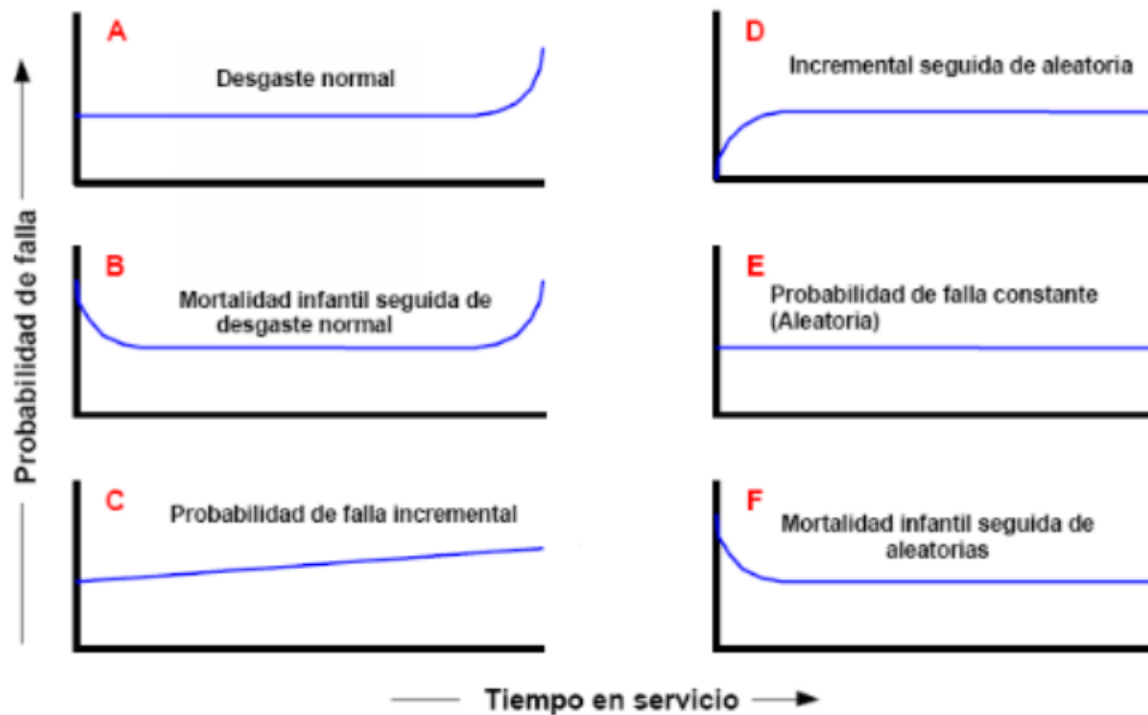


Figura 2. Curvas características de fallo

Una vez que hemos hallado y clasificado todos los fallos, tenemos que seleccionar de forma correcta en cada equipo, las tareas de mantenimiento o inspección necesarias que nos ayudarán a reducir los fallos en orden de relevancia, empezando por los más graves y terminando por los más leves.

Aquellos que afecten a la seguridad y funcionalidad del sistema y al medio ambiente, serán aquellos en los que haremos más hincapié a la hora de disminuir su criticidad en el sistema.

Para desarrollar el proceso RCM, se formularán 7 preguntas acerca del activo que se quiere analizar:

1. ¿Cuáles son las funciones del activo en su contexto operativo?
2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones?
3. ¿Qué causa cada falla funcional?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
5. ¿De qué manera afecta cada falla?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué hacer cuando una tarea proactiva no está disponible?

En el punto 3 del proceso RCM se especifican los modos y las causas de fallo, en la norma SAE JA1012 que define el modo de fallo como una situación que causa un fallo funcional primario, que lo diferencia de la causa fundamental del problema. Este paso puede llevar a confusión, al determinar las causas de fallo de los equipos, ya que nos puede llevar a equivocarnos en la búsqueda del objetivo principal del análisis, debido también, a que la norma no especifica de forma única, cómo determinar los modos y causas de fallo.

En el punto 4 se determinan los efectos de los fallos, donde se describe lo que podría ocurrir a corto y medio plazo si no se realizan las tareas necesarias para evitar o detectar un fallo

funcional. Aquí la norma SAE JA1012 no considera una forma rápida de detectar los efectos de fallos críticos, ni de categorizar los efectos de fallo, que son de gran utilidad para analizar los resultados del RCM.

La solución a estas 7 preguntas realizadas sobre cada equipo llevado al estudio, nos llevarán a la clasificación e identificación de los fallos críticos, las causas de éstos y las medidas de prevención que se llevarán a cabo sobre estos equipos.

Estos pasos del estudio del RCM los integraremos en un análisis FMECA, (que será explicado en el capítulo 4 del proyecto) junto con una correcta y meditada elección de las diferentes opciones que se llevarán a cabo sobre el mantenimiento.

En la figura siguiente se muestra un esquema de los diferentes tipos de tareas de mantenimiento que se pueden aplicar, como parte de un árbol de clasificación en función de condicionamiento:

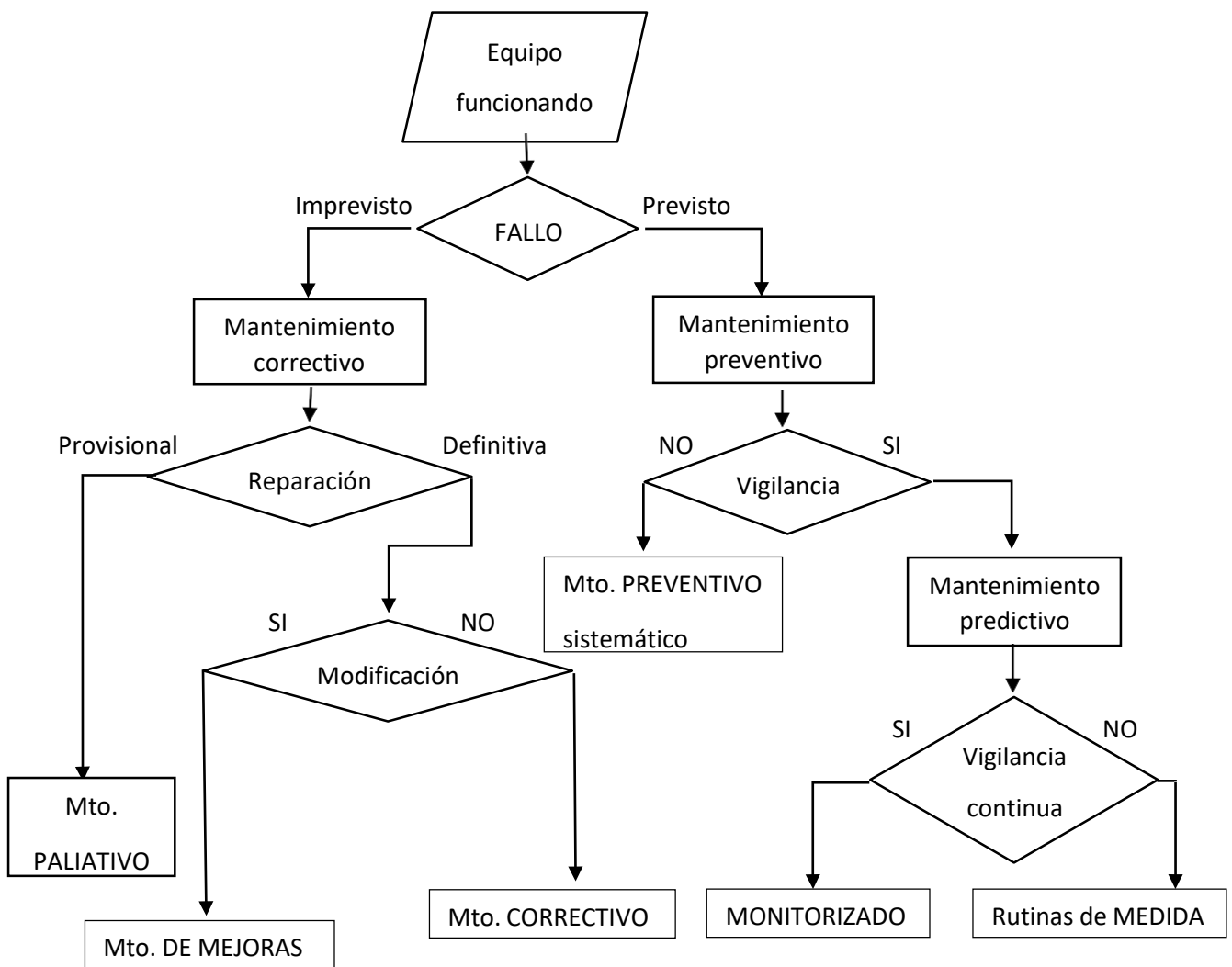


Figura 3. Esquema de los tipos de mantenimiento

Los 5 tipos de mantenimiento posibles a aplicar son los siguientes:

- **Mantenimiento correctivo paliativo:** este se aplica a la hora de identificar un problema potencial o crítico. El objetivo principal es reparar temporalmente el fallo con la finalidad de que pueda seguir funcionando antes de realizarle un mantenimiento preventivo o curativo.
- **Mantenimiento correctivo curativo:** su principal finalidad es la completa restauración del activo para que pueda alcanzar la funcionalidad deseada en una determinada condición (siendo ya por medio de su reparación o sustitución) después de haber identificado el problema.

Estos son los mantenimientos que se recomienda aplicar a los equipos de baja prioridad de fallo, sin cuya aplicación las operaciones de los equipos de la empresa pueden continuar con su funcionamiento normal. Su uso suele estar aplicado a equipos de baja prioridad, porque puede resultar de un valor añadido a la empresa la aplicación de una supervisión o mantenimiento de forma constante, que la sustitución o reparación de alguna avería.

Puede ser arriesgado priorizar en la aplicación de un mantenimiento correctivo a aquellos equipos que posean un índice de prioridad medio o alto. Si al aplicar un mantenimiento correctivo, no se realizasen acciones de estrategia preventivas, puede repercutir en una disminución de la vida útil de los equipos. Se presentarán problemas con costes elevados de reparación, así como, paradas de la línea inesperadas.

- **Mantenimiento preventivo:** este mantenimiento aparece como una forma de mantenimiento opuesta al mantenimiento correctivo. Ya que se pretende prevenir el fallo antes de que tenga lugar, en vez de esperar a que se produzca una avería. Este mantenimiento se realiza de manera programada y cíclica, independientemente de la condición en la que se encuentre el activo, con la finalidad de reducir fallos con graves consecuencias o evitar posibles averías.

Es imprescindible realizar este tipo de mantenimiento a equipos que posean una prioridad alta o media en el funcionamiento operacional dentro de la empresa. Si el riesgo que provoca una determinada avería es mayor, mayor será la necesidad de aplicarle un mantenimiento preventivo con la finalidad de incrementar la vida útil de los equipos.

Al tener un gran desconocimiento de la funcionalidad de los equipos, a veces, la aplicación de un plan de mantenimiento puede resultar poco eficiente y terminar en la aplicación de innecesarias acciones de mantenimiento, que repercutirán en un mayor coste y tiempo de aplicación para la empresa. Si esos son aplicados a equipos o elementos que poseen una prioridad baja, entonces se incrementarán los costes, en vez de ser aplicados mediante un mantenimiento correctivo.

- **Mantenimiento predictivo:** este es el tipo de mantenimiento más reciente y el que requerirá una mayor inversión para la empresa en cuanto a una implementación tecnológica. El principal objetivo es la prevención de las averías justo antes de que lleguen a producirse. Al producirse condiciones de funcionamiento no esperadas, antes de que se produzca el fallo, se requiere programar la reparación, para eliminar la necesidad de aplicar un mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento pone sus esfuerzos en recuperar la condición física y operacional de los equipos aplicándoles una regular supervisión. Realizando una comprobación de su rendimiento y condición, aplicando diversas técnicas de detección de fallos.

La intención es detectar el fallo en la fase oculta, es decir, antes de que se presenten síntomas de que pueda ocurrir. Se lleva a cabo un mantenimiento más riguroso, oportuno e informado. Es una forma de plantear un mantenimiento que sea rentable para aplicar a equipos de vital importancia en la empresa.

Es necesario hacer una inversión en equipos para la inspección específica de los fallos que puedan darse, para este tipo de mantenimiento. Además, se debe realizar una formación sobre el personal que las opera, para que puedan detectar e interpretar los datos proporcionados por los equipos.

- **Mantenimiento de mejora:** este tipo de mantenimiento debe efectuarse de manera que se pueda aumentar la mantenibilidad sobre un equipo o activo. Consiste en búsqueda constante de mejoras a aplicar sobre el diseño de los equipos, es decir, buscar nuevos materiales o modificar los diseños iniciales de los equipos implicados, para poder minimizar el número de fallos y el número de tareas de mantenimiento a aplicar sobre los mismos.

Antes de proceder a implementar una tarea de mantenimiento, debemos contar con diferentes factores:

- Debe minimizar los fallos o las consecuencias para que valga la pena aplicarlo.
- Debe ser factible realizarlo de forma técnica.
- Hay que comprobar que la tasa de fallos de los equipos esté directamente relacionada con la antigüedad de los mismos.
- Se debe elegir una forma efectiva de detectar los fallos, si estos no se pueden prevenir.

Si las consecuencias del fallo no se pueden paliar o evitar aplicándole los diferentes tipos de mantenimiento antes descritos, entonces se procederá a rediseñar el equipo.

2.2.3 Objetivos del método

Con un proceso RCM se pretenden conseguir los siguientes objetivos:

Seguridad e integridad medioambiental superior: el RCM considera las implicaciones medioambientales y de seguridad de cada equipo, antes de considerar sus efectos en las operaciones. Esto supone minimizar los riesgos ambientales y la seguridad relativa de los equipos.

Desempeño operativo optimizado: (rendimientos, calidad y servicio al cliente): el RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido, y proporciona pautas para decidir cuál es el mejor aplicable en cada situación. Así se asegura que se escogen los más apropiados métodos de mantenimiento para cada equipo en particular, llevándose a cabo las acciones necesarias en los casos en los que el mantenimiento no pueda resolver el problema. Este proceso de mantenimiento conduce a una mejora productiva en aquellos equipos donde se le aplica.

El RCM demuestra que es un sistema ideal para desarrollar programas para nuevos bienes, en especial, en equipos complejos en los cuales no se posee de suficiente información sobre el mantenimiento llevado a cabo sobre ellos.

Mejor relación efectividad-costo: el RCM enfoca su objetivo constante en actividades de mantenimiento que producen un mejor efecto en el rendimiento y desempeño de la línea. De este modo podemos asegurar que la inversión realizada en mantenimiento se hizo de manera prioritaria.

Si RCM se aplica de forma correcta a los sistemas de mantenimiento existentes, podemos disminuir la cantidad de trabajo de rutina destinado en cada periodo de trabajo, para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento con una carga de trabajo mucho menor.

Mayor vida útil en equipos de costes elevados: debido al enfoque centrado en el uso de técnicas de mantenimiento en condición.

Un banco de datos comprensible: todo informe de RCM termina con un registro completo y documentado de los requisitos de mantenimiento de todos los equipos implicados en el mantenimiento.

Esto facilita la adaptación a circunstancias cambiantes sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde la base. Finalmente, la información recopilada reduce los efectos de la rotación de personal, que trae consigo una pérdida de experiencia.

También provee una visión más clara de las herramientas requeridas para para el mantenimiento de cada elemento, poder predecir sobre los repuestos que deben mantenerse en stock.

Mejora en la motivación del personal: sobre todo de las personas involucradas en las revisiones de los equipos. Esto lleva a una comprensión mucho más clara del equipo con el que se está trabajando, con una mayor implicación de los problemas de mantenimiento y sus respectivas soluciones.

Mejora del trabajo en equipo: el RCM define un lenguaje claro y conciso para todo el personal involucrado en el mantenimiento. Lo que ofrece a los operarios y al personal de mantenimiento un entendimiento claro de lo que se puede realizar para mejorar el rendimiento de los equipos implicados.

Una de las ventajas principales del RCM es que ofrece una estructura efectiva de seguimiento paso a paso, para que sean entendibles y para implicar a todas las personas responsables del equipo durante el proceso productivo.

Los resultados que otorga el RCM, son una mejor relación coste-efectividad, una mayor armonía y un mantenimiento mucho más exitoso.

2.3 Desarrollo de la metodología

Adicional al proceso del RCM-I descrito anteriormente, se pueden realizar varios pasos para aumentar la calidad del análisis y la efectividad de los resultados, considerando que se les debe dar mayor importancia a algunas actividades para lograr el éxito al aplicar la metodología. Los pasos adicionales propuestos se diferencian en 3 etapas como se muestra en la siguiente figura:

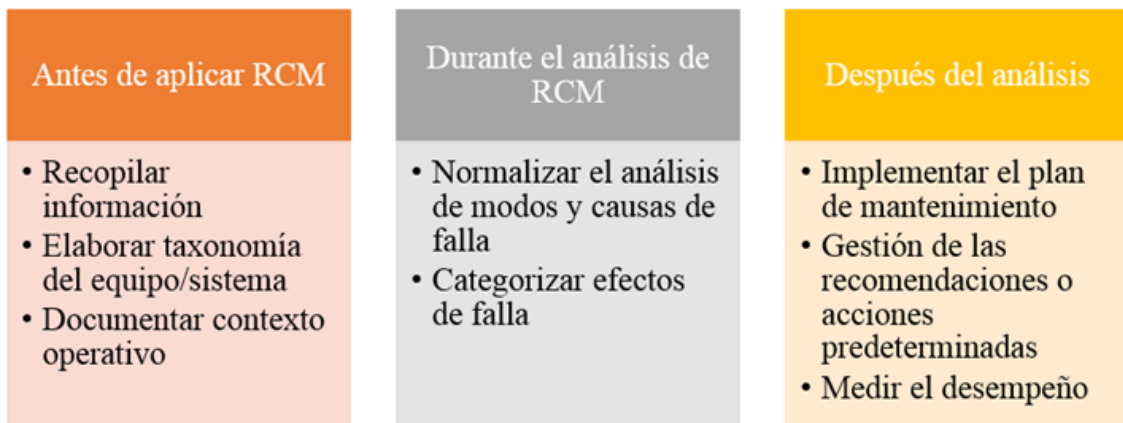


Figura 4. Pasos adicionales propuestos para la metodología RCM

2.3.1 Antes de aplicar RCM-I

Antes de iniciar el análisis se propone la recopilación y el análisis de la información correspondiente del activo que será requerido, también establecer la taxonomía y el análisis del contexto operativo del activo.

La recopilación de la información del activo es un paso previo a la aplicación de RCM que servirá como insumo. Esta información incluirá planos, diagramas, manuales, histórico de operaciones de mantenimiento, documentos que definan el contexto operativo de los equipos, así como entrevistar al personal de operación, producción y mantenimiento para extraer la información necesaria sobre el desempeño deseado de los equipos y los problemas actuales que presenten.

La norma ISO 1422 proporciona una sólida base para la recopilación de los datos de mantenimiento para equipos en instalaciones industriales y su posterior gestión de los activos durante su ciclo de vida. Debido a que se abordan equipos comunes en las instalaciones industriales, esta norma puede ser adaptada en cualquier industria que tenga activos físicos en los procesos de fabricación, de esta forma podemos utilizar esta norma para recopilar la información necesaria de los equipos a estudiar.

La norma también define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes, la taxonomía es representada en forma de pirámide como se muestra en la figura 5, representando la ubicación del equipo dentro de la organización.

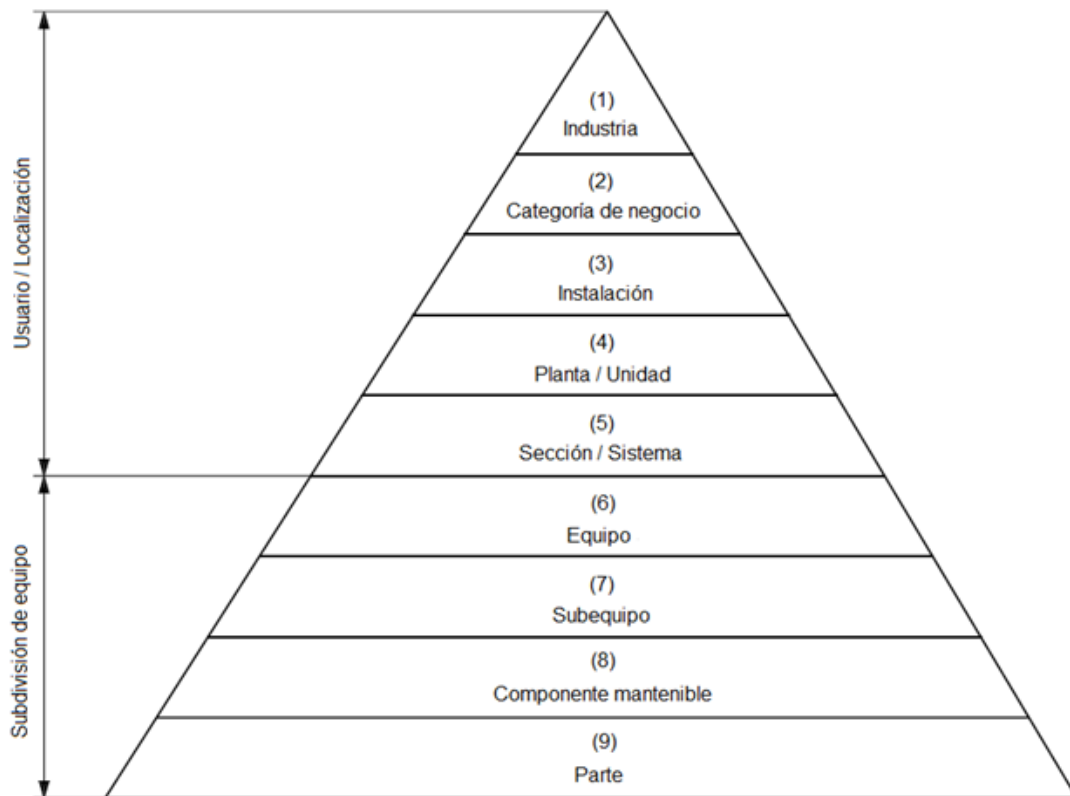


Figura 5. Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos

El contexto operativo se puede definir como el conjunto de condiciones reales del proceso bajo las cuales opera el equipo, incluyendo todos los criterios y parámetros de desempeño deseados por el usuario. Este proceso es definido a partir de los diagramas y las descripciones de los procesos en los que opera el equipo, así como las entrevistas con el personal de producción, operación y mantenimiento. Se debe analizar y entender el contexto operativo antes de iniciar el RCM.

2.3.2 Durante el análisis

Durante el análisis de RCM, se proponen formas de desarrollar el modo de determinar los modos y causas de fallo y categorizar los efectos de los fallos a través del grado de criticidad (NPR) de los elementos de los equipos.

La norma ISO 14224 define el modo de fallo mediante la observación del mismo, es decir el modo de fallo puede ser el síntoma que nos indique la ocurrencia de un fallo.

Esta norma también nos proporciona una lista de los modos de fallo que pueden ser utilizados como puntos de partida para determinar los modos y las causas de los fallos, después se puede aplicar una técnica de análisis, como es el diagrama causa-efecto, para encontrar las causas de los fallos.

Existen también bases de datos de fallos como el sistema OREDA, que nos presenta datos estadísticos sobre los fallos de equipos en instalaciones. Tomando como punto de partida los modos de fallo, se pueden usar las tablas de OREDA que nos relacionan estadísticamente los modos de fallo con los componentes del equipo o con las características del fallo.

Con el fin de proporcionar una mejor visión del impacto de cada efecto de fallo definido en el RCM, se propone incluir la categorización de los fallos a través del nivel de criticidad de los mismos, definidos a través del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) correspondiente. Este parámetro, es función de la evaluación cualitativa de los criterios de severidad, detectabilidad y ocurrencia. Estos criterios se definieron para realizar la evaluación del nivel de criticidad de los fallos.

2.3.2.1 Descripción y principios del método FMECA

El FMECA (que en español quiere decir: Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad) es una herramienta diseñada para identificar y analizar los modos de fallo potenciales que se encuentren en las diferentes partes de los elementos de un sistema, los efectos que pueden provocar estos fallos en el sistema, la forma de evitar los fallos y reducir sus efectos en el sistema.

Al formar una parte muy importante de la metodología RCM, hay que seguir los siguientes pasos para definirla con precisión:

- **1º) Establecer el objeto de análisis e identificar los componentes del equipo.**

Primero, se debe definir de forma correcta el sistema a analizar teniendo en consideración cuáles son los límites del sistema, qué partes van a estar excluidas del análisis y cuáles deben incluirse en el análisis FMECA. Al igual que, es muy importante tener en cuenta las condiciones ambientales y de operación a las cuales va a estar trabajando el equipo.

Es muy importante, haber recopilado previamente toda la información necesaria de la línea a analizar. La lista de materiales, componentes eléctricos, mecánicos, esquemas eléctricos, planos, datos técnicos y las descripciones fundamentales de los equipos. Y si fuera necesario, también se debe consultar a los proveedores y a los fabricantes de los equipos que vamos a analizar, para recopilar toda la información necesaria.

Es necesario entender el correcto funcionamiento de la línea para poder llevar a cabo un buen análisis FMECA. Este puede llegar a ser algo complejo de gestionar debido a su complejidad. Sin embargo, para que no nos resulte demasiado tedioso de realizar, debemos dividir la línea en unidades o equipos, de forma que tenga sentido la relación existente entre todos los equipos que componen la línea estudiada para la elaboración del producto final.

- **2º) Identificar modos de fallo potenciales, sus causas y efectos.**

A partir de este momento, se deben realizar pequeños análisis FMECA de cada equipo por separado para obtener los modos de fallo totalizados y comprobar como afectan estos a unos componentes de los equipos u a otros. Es necesario, dentro de lo posible, simplificar el análisis, debido a que, si queremos profundizar más en el análisis, éste será más complicado de analizar posteriormente.

Para el desarrollo del análisis FMECA, se usará una plantilla que normalmente se resumirá en una hoja de cálculo, como puede ser Excel. Un posterior análisis del método, hará que esta plantilla evolucione y continúe variando. En cada componente de la máquina, se debe analizar cualquier elemento que pueda fallar y provocar un resultado inaceptable al conjunto del equipo.

- **3º) Evaluar la criticidad del modo de fallo**

Con el método FMECA se toman en cuenta tres variables: el índice de severidad, el índice de frecuencia/ocurrencia y el índice de detección. Con estas conseguiremos obtener la criticidad de cada modo de fallo. Evaluando así, la severidad y los efectos resultantes de cada modo de fallo.

- **4º) Definir acciones correctivas**

Por último, se deben definir acciones correctivas, cuyos objetivos sean la reparación temporal o completa de los fallos, formando parte del análisis del RCM explicado anteriormente en el Capítulo 2. Estas acciones correctivas estarán orientadas a la búsqueda de los problemas detectados y la búsqueda de soluciones.

2.3.2.2 Objetivos del método FMECA

El principal objetivo del método es la clasificación de los efectos potenciales de fallo, ya sean por detectabilidad, ocurrencia y severidad, priorizando así todas las acciones necesarias para resolverlas que puedan evitar futuros fallos. Además, deben servir para establecer una base en la planificación del mantenimiento de los equipos.

Dentro de los aspectos positivos que cabe destacar de FMECA, nos encontramos con la posibilidad de: acotar posibles puntos de inicio de fallos potenciales, mejorar la fiabilidad del sistema, priorizar las acciones correctivas en función del riesgo que percute cada situación y la máxima solvencia a la hora de solucionar los fallos, debido al profundo conocimiento de las máquinas.

Las limitaciones que nos presenta el método son, la consideración de los fallos de forma individual y no de forma colectiva, lo que conlleva que sea un proceso lento y tedioso, que involucra a muchas personas y necesita de una constante actualización.

2.3.3.3 Funciones principales y secundarias del equipo

Cada equipo posee unos propósitos de trabajo determinados, es decir, deben tener funciones específicas dentro de su contexto operacional. Podremos distinguir dos tipos de funciones fundamentales en los equipos, que iremos definiendo más adelante, las primarias y las secundarias.

Las razones primarias serán aquellas a las que el equipo se le fueron asignadas en el momento de su diseño y concepción iniciales. Al fallar alguna de estas funciones elementales, el equipo fallaría, provocando paradas de producción.

A las funciones secundarias, las definiremos como aquellas que esperamos que los equipos realicen, además de las funciones primarias por las que fueron concebidos, es decir, funciones dedicadas a la seguridad y a la comodidad a la hora de trabajar con los equipos.

2.3.3.4 Identificar modos de fallo de los equipos

Podemos atender a la definición de fallo funcional como: el estado en el tiempo, en el cual los activos no pueden alcanzarlos estándares de ejecución esperados, trayendo como consecuencias el fallo del activo o que el activo no pueda cumplir con las funciones por las que fue diseñado, de forma total o parcial.

Podemos definir los modos de fallo como las causas físicas de cada fallo funcional. Dicho de otra manera, los modos de fallo son aquellos que provocan las pérdidas de las funciones totales o parciales de los activos, dentro de su contexto operacional. El análisis y estudio del método debe centrarse en el estudio de cada modo de fallo.

Los principales factores que originan los modos de fallo son los siguientes: corrosión, suciedad, abrasión, erosión, mala lubricación, mal engrase, operación inadecuada, ensamble de piezas incorrecto, utilización de materiales incorrectos, etc.

También existen los fallos ocultos, que son un tipo de modo de fallo poco frecuente de encontrarse en condiciones normales de funcionamiento. Estos fallos, no tiene un impacto directo, pero si pueden sacar a la luz fallos serios y múltiples. La única manera posible de evaluarlos, es realizando un mantenimiento predictivo sobre los equipos.

2.3.3 Después del análisis RCM-I

Una vez obtenidos los resultados, al haber aplicado la metodología RCM, es preciso asignar tareas para asegurar la correcta implementación y ejecución del plan de mantenimiento y las recomendaciones obtenidas.

Para que se pueda implementar el plan de mantenimiento, es preciso asignar las necesarias responsabilidades para revisar, afinar y cargar el plan en el sistema que llevemos a cabo para la gestión del mantenimiento, así como su correspondiente seguimiento para asegurar la correcta implementación.

A su vez, se deben asignar las necesarias responsabilidades para su revisión, evaluación y puesta en marcha de las recomendaciones que nos han surgido durante el análisis del RCM.

La correcta medición del desempeño es una de las partes más importantes para corroborar la efectividad del RCM, que puede ser realizado a través de indicadores de desempeño de mantenimiento, relacionados con las correspondientes recomendaciones. En la figura 6 se muestra la metodología de RCM ampliada.

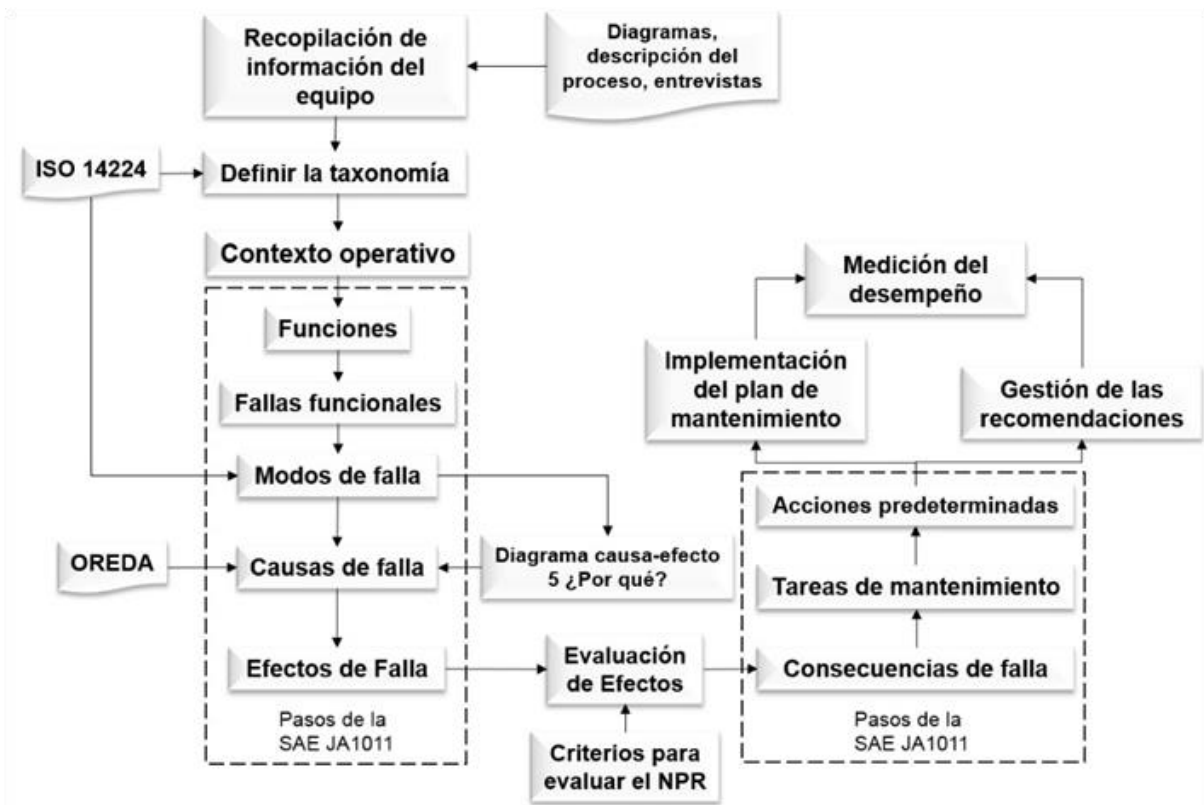


Figura 6. Metodología de RCM ampliada RCM-II

2.4 Conclusiones de la metodología RCM

Esta metodología está desarrollada en el mantenimiento centrado en la confiabilidad ampliada tomando como referencia la norma SAE JA1011 y considerando la norma ISO 14224 como definición de la taxonomía del equipo, el análisis de modos y causas de fallo también con el uso de la norma ISO 14224 y bases de datos como el sistema OREDA, la evaluación del nivel de criticidad de los fallos (NPR), realizar la correspondiente implementación del plan de mantenimiento a través de los resultados mostrados y la medición de del desempeño como los pasos necesarios para aplicar esta metodología.

El primer paso de recopilación de la información del activo a analizar, se destaca la importancia de que la información recopilada sea de calidad y el analista asegure que se conozca bien el activo antes del análisis. Cuando se define el contexto operativo del equipo y la taxonomía de acuerdo con la norma ISO 14224, facilita la aplicación de la metodología, ya que ayudan al usuario a conocer los elementos y el contexto operativo antes de definir las funciones. La información se estructura al mismo tiempo que se inicia el análisis, al establecer el contexto operativo y la taxonomía del equipo para comenzar el análisis de las 7 preguntas del RCM.

El análisis de modos y causas de fallos nos asegura una estructura que contemple las causas-raíz para aplicar los diagramas de decisión de la norma SAE JA1012. La evaluación del nivel de criticidad de los fallos con NPR, nos proporcionará una visión rápida y efectiva de los efectos más importantes relacionados con los fallos del equipo y la rápida identificación de los efectos de los fallos más importantes.

El RCM actual, en el cual nosotros nos centraremos, está basado en la norma UNE-EN 60300-3-11:2013 sobre la gestión de la confiabilidad. La norma describe el proceso RCM de manera completa y proporciona información sobre cada una de las siguientes fases:

- **Inicio y planificación del RCM:** donde se determinan los objetivos del análisis, se determina el contenido y se desarrolla el contexto operativo para cada elemento.
- **Análisis de los modos de fallo:** donde se recopila y analiza cualquier dato, se realiza una partición funcional, se identifican funciones, modos de fallo, efectos y su criticidad.
- **Selección de las tareas de mantenimiento a aplicar:** donde se evalúan las consecuencias de los fallos, se selecciona el método más apropiado y eficaz de gestionar los fallos y se determina el intervalo de las tareas.
- **Implementación del método:** se identifican los detalles de las tareas de mantenimiento, se priorizan acciones, se racionalizan los intervalos de aplicación de las tareas y se evalúan los efectos del envejecimiento.
- **Mejora continua:** se monitoriza la eficacia del mantenimiento, los objetivos de seguridad operativos y económicos y se realiza la evaluación de los efectos del envejecimiento.

Capítulo 3

3.1 Descripción de la Instalación en la que se va a realizar el RCM

La instalación en la que vamos a centrar el estudio dentro de la fábrica, está dedicada a la producción de tapaderas, de tipo “cap twist”, para botes de conserva. Esta primera zona de la planta de fabricación tiene un proceso de fabricación muy bien definido.

En primer lugar, las planchas de hojalata previamente serigrafiadas, son depositadas en las prensas que realizarán el primer paso en el proceso de fabricación para, finalmente fabricar la tapadera. Estas planchas, son depositadas en las prensas con palets, donde, mediante una prensadora automática de corte, se realizará el primer prensado de la tapadera cortándola de la plancha de hojalata.

En el siguiente paso en el proceso de fabricación, la tapadera, que aún no se le ha dado volumen, es llevada mediante unos raíles que impulsan las tapaderas con aire comprimido, a la segunda estación de troquelado, donde se le dará la primera forma a la tapadera doblando sus extremos y dándole un poco de concavidad.

Después, esta es llevada mediante unas cintas transportadoras, empujadas por rodillos y accionadas por motores eléctricos, a la estación de inyectado de la goma con PVC (mediante una máquina llamada spider), que rebordea la tapadera por su cara interior para crear aislamiento cuando esta cierre el bote.

Justo al finalizar el inyectado de goma, la tapadera pasa por unos hornos donde se evaporan los gases que contiene el material aislante de PVC, para, posteriormente pasar por unos visores láser que, descartan de los lotes, las tapaderas defectuosas para su revisión final por un técnico de calidad. Las tapaderas que están en estado para ser distribuidas al cliente, caen en las cajas que finalmente serán recogidas por el transfer para almacenarlas en palets por el robot paletizador y envolverlas en la envolverdora de palets de papel film antes de distribuirlas al cliente.

Aquí adjuntamos un plano de conjunto de la instalación en la que está ubicada la línea de producción de tapaderas cap-twist y de empaquetado de las mismas:

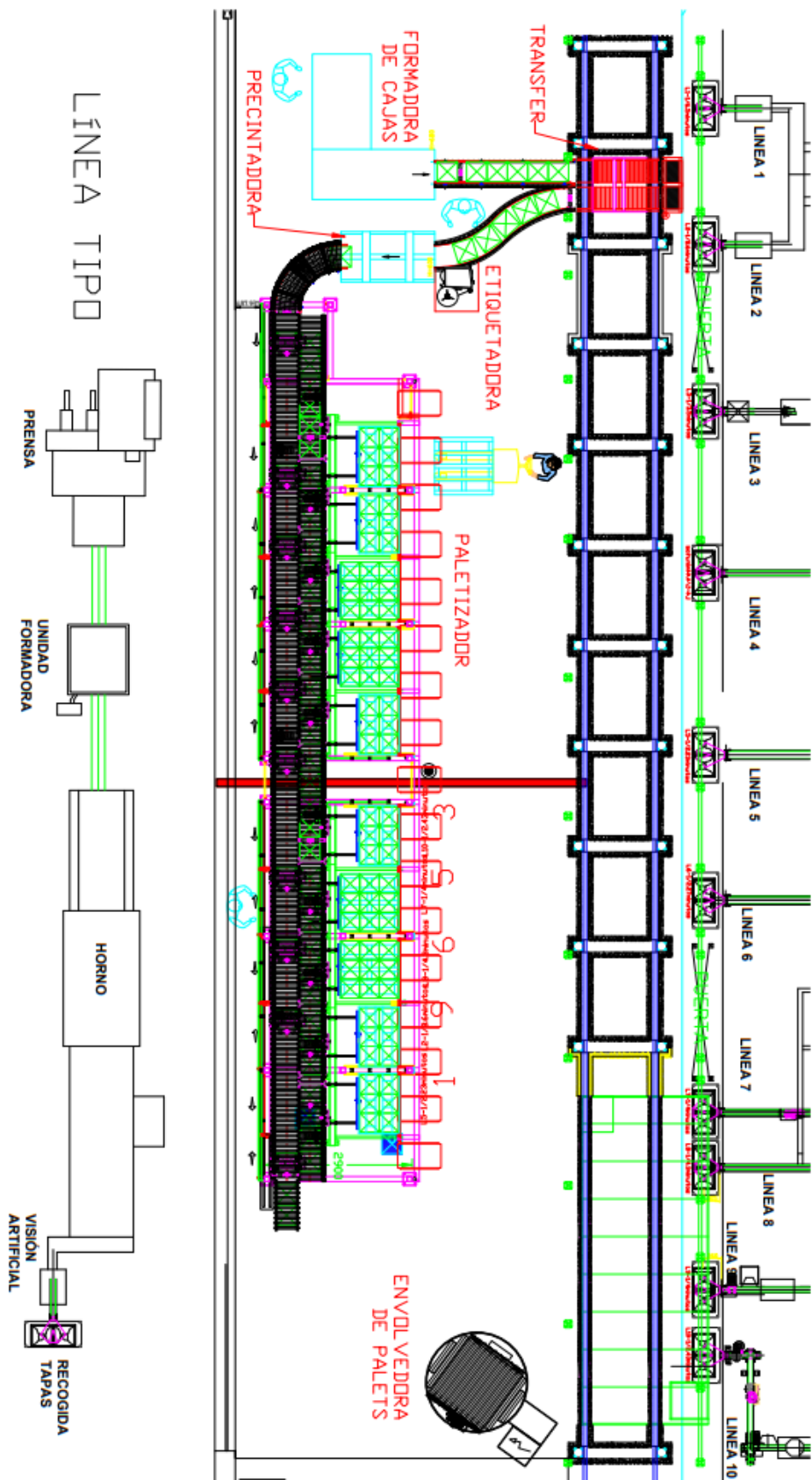


Figura 7. Vista en planta de la instalación

3.2 Selección y Descripción Detallada de los Equipos a Analizar

3.2.1 Razones de Selección de la línea de la fábrica

En primer lugar, hay que escoger los equipos de la empresa en los cuales se desarrollará el estudio del RCM.

Llegado a este punto, no realizaremos un estudio exhaustivo sobre la línea que recibe más reparaciones en la empresa, para decidirnos a hacer el estudio sobre ella. Sin embargo, en este caso la decisión de actuar sobre una determinada línea fue por elección de la misma empresa, no solo debido a la existencia de información delicada que la empresa no podía divulgar, sobre máquinas que componen otras líneas de la empresa, sino porque la línea sobre la que vamos a realizar el RCM, necesita llevar un mantenimiento más preciso que el resto de líneas de la empresa, debido a que, si esta se para, pararía una parte importante de la producción de la fábrica.

Por lo tanto, rigiéndonos a su criterio, la decisión final de llevar a cabo el estudio RCM en la línea del transfer y el paletizador, fue por parte de la empresa.

Esta línea está compuesta por los siguientes equipos:

- Formadora de cajas
- Transportes
- Transfer
- Precintadora de cajas
- Etiquetadora
- Paletizador

A continuación, adjunto un plano de la visión general de la línea.

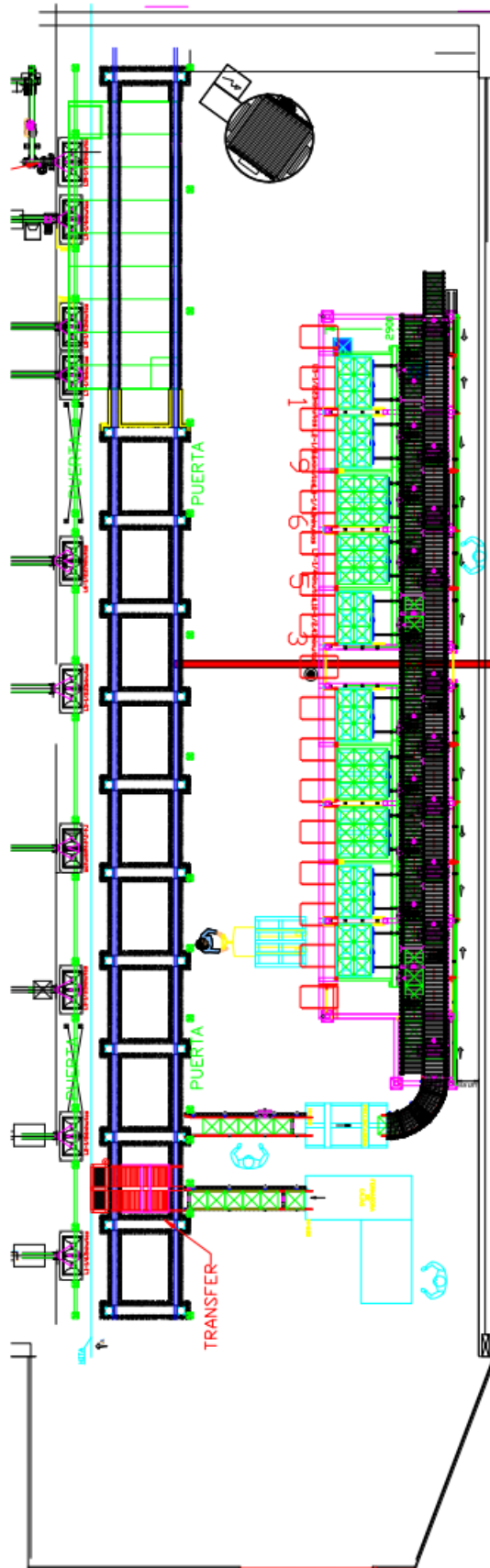


Figura 8. Vista en planta de la línea a estudiar

3.2.2 Personal y medios disponibles y mantenimiento preventivo actual aplicado

Número de trabajadores y horas que trabajan:

Actualmente contamos con 9 operarios de producción, 3 responsables de mantenimiento mecánico y 3 responsables de mantenimiento eléctrico.

Todos los trabajadores hacen tres turnos rotativos de 8 horas (6 a 14, 14 a 22 y 22 a 6) de lunes a viernes.

Los turnos se reparten entre 3 operarios de producción, 2 responsable de mantenimiento mecánico y 1 responsable de mantenimiento eléctrico.

Instrumentos con los que contamos para predecir los fallos:

- Actualmente contamos en planta con un medidor de aislamiento, medidores de ruido, multímetros y pinzas amperimétricas.
- Hemos alquilado o subcontratado en varias ocasiones tanto equipos de ultrasonidos, analizadores de redes, analizadores de aceites, así como, personal para realizar inspecciones y mantenimiento.
- También hemos subcontratado a empresas que se encargan de inspeccionar periódicamente las actualizaciones y el software del sistema SCADA, así como de inspeccionar todo el sistema de lubricación y aceite de las máquinas.
- Está también subcontratada la empresa encargada de realizar el mantenimiento a la etiquetadora de matrículas.

Tareas de mantenimiento que ya se realizan:

- **En la formadora de cajas:**
 - Revisión de correas de la formadora de cajas (semanal)
 - Sustitución de correas en la formadora de cajas (anual)
 - Revisión del tensor de la formadora de cajas (semanal)
 - Engrasar reductora del motor de la formadora de cajas (mensual)
 - Revisión banda transporte lateral (semanal)
 - Sustitución de ventosas de vacío (semestral)
 - Limpiar todas las etiquetas que haya pegadas con alcohol (semanal)
- **En la precintadora de cajas:**
 - Revisión de cerradora de solapa posterior (mensual)
 - Sustitución banda lateral de transporte de la precintadora (trimestral)
 - Sustitución correas dentadas (trimestral)
 - Revisión cuchillas de la formadora de cajas (mensual)
 - Sustitución de ruedas para la cerradora (anual)
 - Ajuste de cabezal y sustitución de cuchillas (anual)
 - Sustitución de cintas para la formadora de cajas (semanal)
 - Sustitución muelle guía de precinto (trimestral)
 - Sustitución del cabezal para la precintadora (anual)

- Sustitución del soporte de cuchillas para cerradora de cajas (anual)
- Engase de guías y de muelle guía (semanal)

- **En el transfer:**
 - Engrase de rodamientos del eje del transfer (semanal)
 - Lubricar con aceite las cadenas de los rodillos (semanal)
 - Revisar frenos de las líneas y apretar en caso necesario (semanal)
 - Limpiar con un trapo todas las fotocélulas (sensores) (semanal)
 - Limpiar con alcohol los rodillos (semanal)
 - Engrasar los rodillos que empujan las cajas (semanal)
 - Engrasar todos los frenos del transfer (semanal)
 - Limpiar los scanners con spray y un trapo seco (semanal)
 - Revisar estado de las correas (semanal)
 - Revisión de los frenos de recogida de cajas (mensual)
 - Revisión del estado de las electroválvulas de los frenos (mensual)
 - Revisión de los pistones de los frenos (mensual)
 - Sanear la instalación de aire comprimido de los frenos del transfer (trimestral)
 - Centrar el transfer a las salidas de línea (semanal)
 - Saneamiento y limpieza de los cilindros de cambio de caja (mensual)
 - Sustitución de tubos de plástico para aire y lubricación (anual)
 - Limpieza y saneamiento de electroválvulas (mensual)
 - Limpieza de lectores de matrícula (semanal)
 - Sustitución de correas del transfer (anual)
 - Revisión de la reductora y de sus elementos mecánicos (anual)
 - Sustitución de los silentblocks de las postas del transfer de recogida de cajas (anual)
 - Sustitución de las correas de los rodillos del transfer (anual)
 - Revisar el estado de los detectores de final de carrera del ascensor del transfer (mensual)
 - Limpieza y repaso de los soportes del transfer (anual)
 - Sustitución correa de transmisión del transfer (anual)
 - Verificación de balizas y ajuste de la altura del transfer (anual)
 - Revisar la presión de aire de los cilindros (mensual)
 - Engrase de engranajes (mensual)
 - Lubricación de ejes, cojinetes y casquillos (mensual)

- **En la etiquetadora:**
 - Revisión de pistolas para leer matrículas de etiquetado (semanal)
 - Revisión cabezal impresora (mensual)
 - Sustitución cabezal impresora (anual)
 - Sustitución de muelles para la impresora de la etiquetadora (anual)

- **En el paletizador:**
 - Controlar y regular la tensión del grupo motor del paletizador (mensual)
 - Revisar el nivel del brazo del eje cartesiano (trimestral)
 - Regular la presión de aire de los cilindros (mensual)
 - Revisar el desgaste de las cadenas de los brazos (mensual)
 - Revisar el desgaste de los rodillos de desplazamiento de las cajas (semanal)

- Engrasar cadenas de transmisión y engranajes de desplazamiento de los rodillos (mensual)
- Lubricar los ejes lineales x, y, z, rodamientos y cojinetes del brazo del paletizador (semanal)
- Revisar cabezal del paletizador (mensual)
- Revisar las cadenas de los boxes del paletizador (mensual)
- Engrasar cadenas de los boxes del paletizador (mensual)
- Revisar correas del eje cartesiano (mensual)
- Sustitución de rodamientos lineales, en patines de los ejes x e y (anual)
- Engrasar rodamientos del paletizador (mensual)

3.2.3 Descripción de los equipos a estudiar

En este apartado se van a describir los procesos que tienen lugar en cada uno de los equipos. Consideraremos a cada uno de ellos como un subsistema dentro de un sistema.

Descripción del transfer:

La función que realiza el transfer es recoger las cajas vacías, dejarlas en los finales de línea para ser llenadas, recoger las cajas llenas con las tapaderas y dejarlas en los transportes para ser transportadas hacia la etiquetadora, la cerradora y el paletizador finalmente.

La máquina se encuentra constituida de los siguientes elementos:

- Transportador de rodillos motorizados de acumulación de cajas vacías.
- Transportador de rodillos motorizados de acumulación de cajas llenas.
- Carro con sistema de elevación y desplazamiento lateral para la recogida de la caja llena y alimentación de una caja vacía a los puestos de llenado.
- Sistema de extracción y alimentación de cajas a los puestos de llenado mediante ventosas.
- Carro general de soportación y arrastre del transfer. Desplazamiento por medio de 4 ruedas y tracción a estas por medio de correas dentadas.
- Raíl longitudinal de desplazamiento del transfer para la gestión de cajas llenas en los distintos puestos.
- Perímetro de seguridad con acceso a puertas y huecos para los distintos puestos de llenado de cajas.

Los pasos que sigue el transfer son los siguientes:

- Las cajas vacías son desplazadas mediante los transportadores de rodillos que salen de la formadora de cajas con una matrícula y son llevadas al transfer, donde se almacenan en la zona de acumulación de cajas vacías.
- Las cajas son llevadas al carro con sistema de elevación y desplazamiento lateral (ascensor) para ser empujadas por el sistema de alimentación mediante ventosas, y

distribuidas a sus respectivos finales de línea, previamente leídas mediante los lectores de matrículas y dada la orden por el sistema SCADA, para ser llenadas.

- Las cajas llenas son recogidas hacia el ascensor y extraídas de los finales de línea mediante las ventosas.
- Las cajas recogidas por el ascensor, son transportadas a la zona de acumulación de cajas llenas del transfer.
- Una vez acumuladas las cajas llenas, estas son transportadas mediante los transportadores de rodillos a la etiquetadora que colocará su correspondiente etiqueta, la cerradora de cajas y hasta llegar al paletizador.

Descripción del paletizador:

El paletizador tiene la función de recoger las cajas ya precintadas y etiquetadas, recibidas por los rodillos de transportación, para colocarlas en sus respectivos boxes de salida para ser distribuidas al cliente.

La máquina se encuentra constituida por los siguientes elementos:

- Transportes motorizados.
- Frenos de cajas.
- Desviadores.
- Robot cartesiano, provisto de garras neumáticas con ventosas, las cuales mediante vacío recoge las cajas.
- Chasis de perfil con sus protecciones de seguridad y puertas de acceso a los boxes.

Los pasos que sigue el paletizador son los siguientes:

- Las cajas llenas, ya etiquetadas y precintadas, son transportadas mediante los transportadores de rodillos a la zona del brazo cartesiano del paletizador.
- Estas son frenadas mediante los frenos de cajas, que actúan cuando el sistema SCADA les da la orden porque los lectores de matrícula han leído la caja.
- Después las cajas son empujadas mediante los desviadores que hay en cada estación de los boxes y recogidas con el brazo cartesiano.
- El brazo cartesiano del paletizador, que se desplaza en las tres direcciones de los ejes (x, y, z) recoge las cajas, previamente desviadas a las estaciones, con las ventosas de vacío y las deja en sus respectivos boxes de salida para ser entregadas al cliente.

Descripción de los transportes:

Los transportes tienen la función de desplazar las cajas a lo largo de todo el conjunto del sistema.

A continuación, se detallan las características generales de los transportadores:

- Curva de rodillos motorizados 1:
 - Sector de la curva = $47^\circ + 40\text{mm}$
 - Ancho útil de rodillo = 483mm
 - Radio interior de la curva = 500mm
 - Paso entre rodillos = 4, 2º aproximadamente

- Velocidad = 25m/min
- Transmisión por bucles de cadena DIN-8187 $\frac{3}{8}$ "
- Altura de trabajo = 700 ± 100 mm
- Chasis construido en chapa de acero al carbono de 4mm de espesor
- Barandillas
- Curva de rodillos motorizados 2:
 - Sector de la curva = $47^\circ + 400$ mm
 - Ancho útil de rodillo = 483mm
 - Radio interior de la curva = 500mm
 - Paso entre rodillos = 4, 2º aproximadamente
 - Velocidad = 25m/min
 - Potencia grupo motriz = 0,37kW
 - Transmisión por bucles de cadena DIN-8187 $\frac{3}{8}$ "
 - Altura de trabajo = 700 ± 100 mm
 - Chasis construido en chapa de acero al carbono de 4mm de espesor

3.2.3.1 Dimensiones y datos técnicos

Dimensiones del transfer:

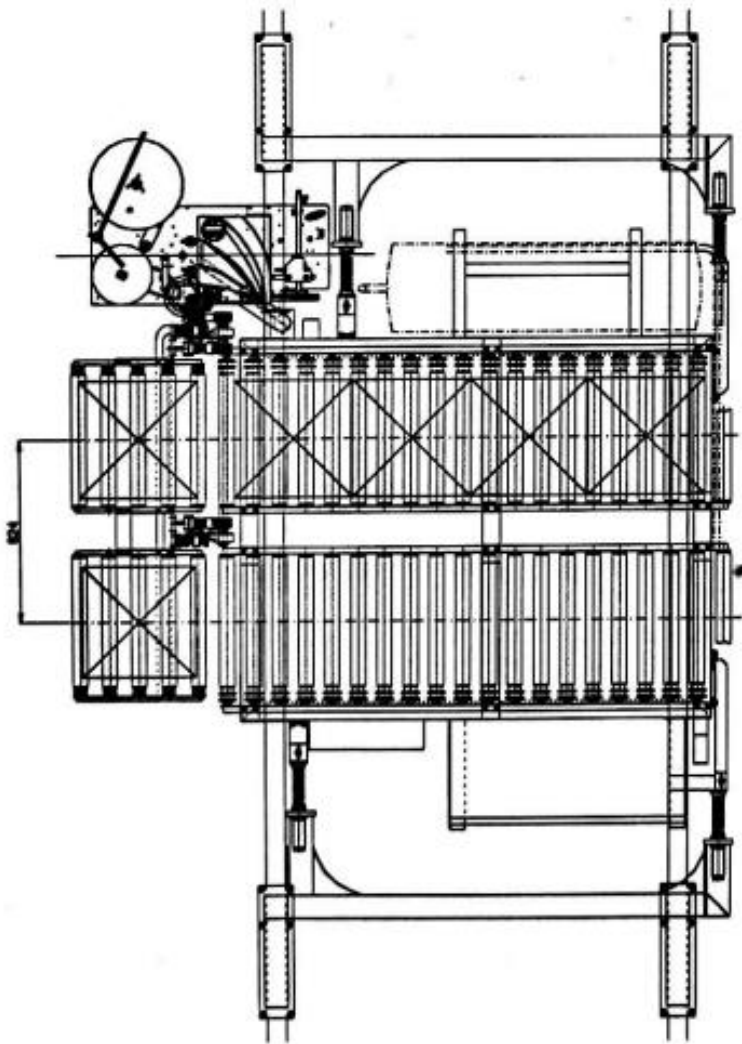
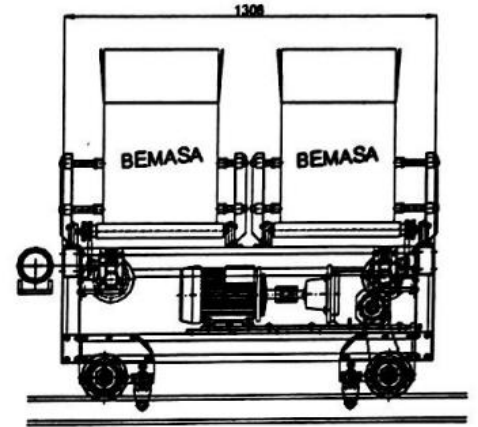
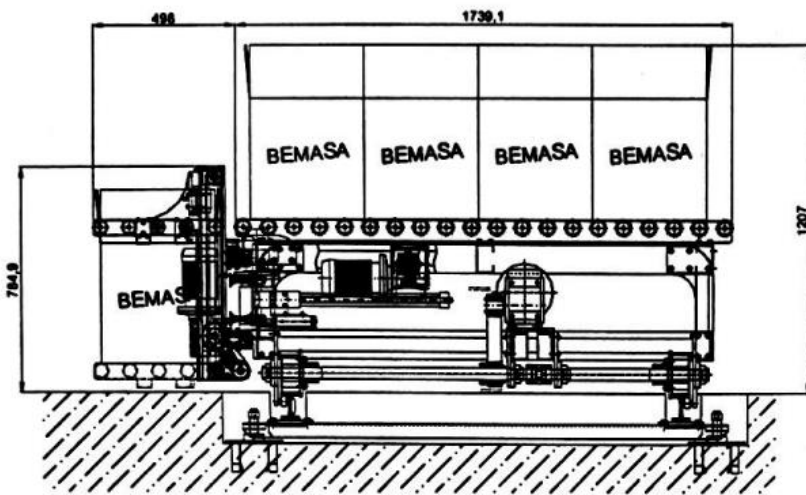


Figura 9. Dimensiones del transfer

Dimensiones del paletizador:

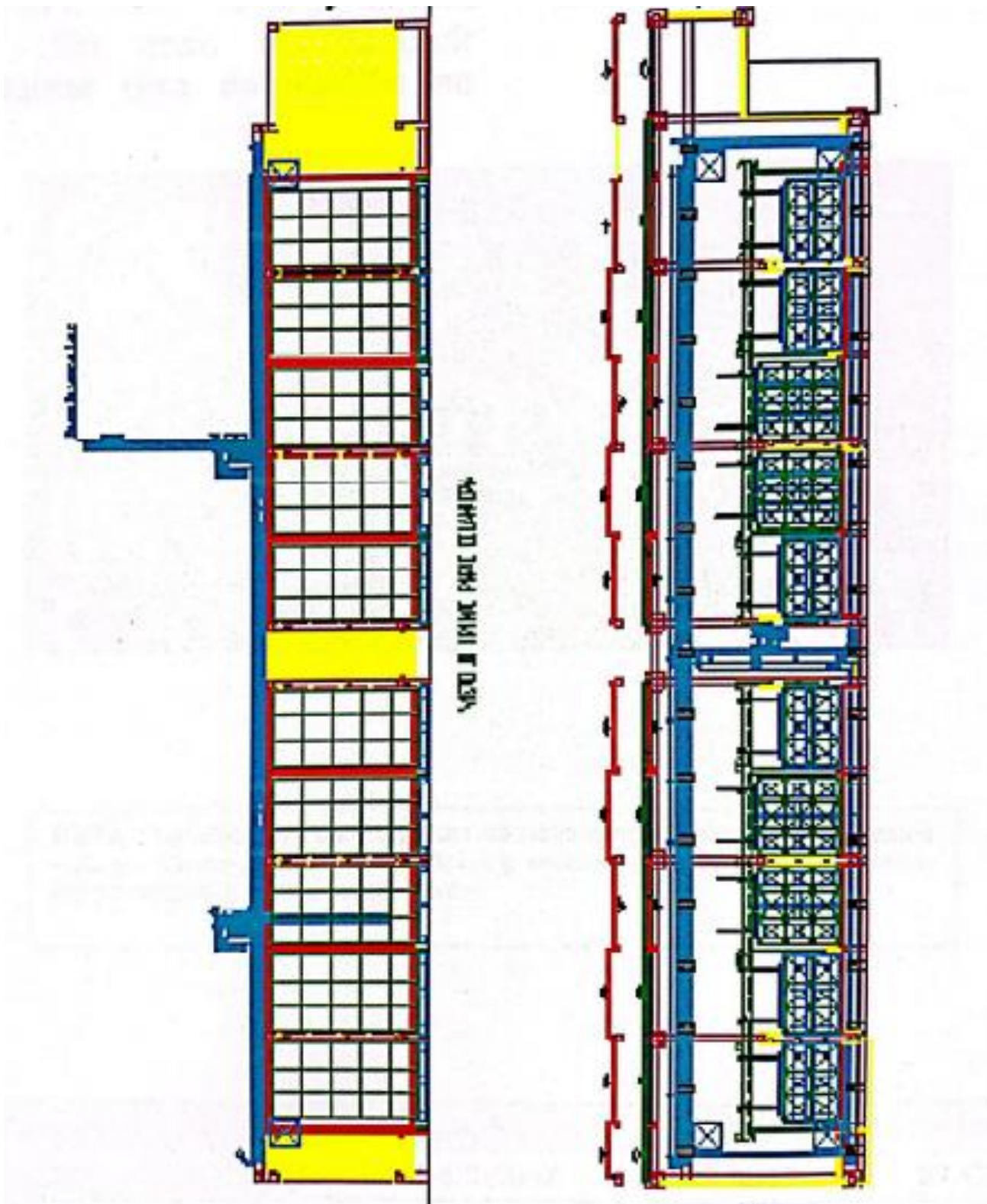


Figura 10. Dimensiones del paletizador

3.2.3.2 Partes de los equipos

Vamos a dividir los equipos en todos los componentes susceptibles de ser averiados, después, enunciaremos las partes de los ejemplos anteriores, con la intención de entender mejor cada equipo a estudiar.

Componentes del paletizador:

- Útil giratorio del brazo cartesiano

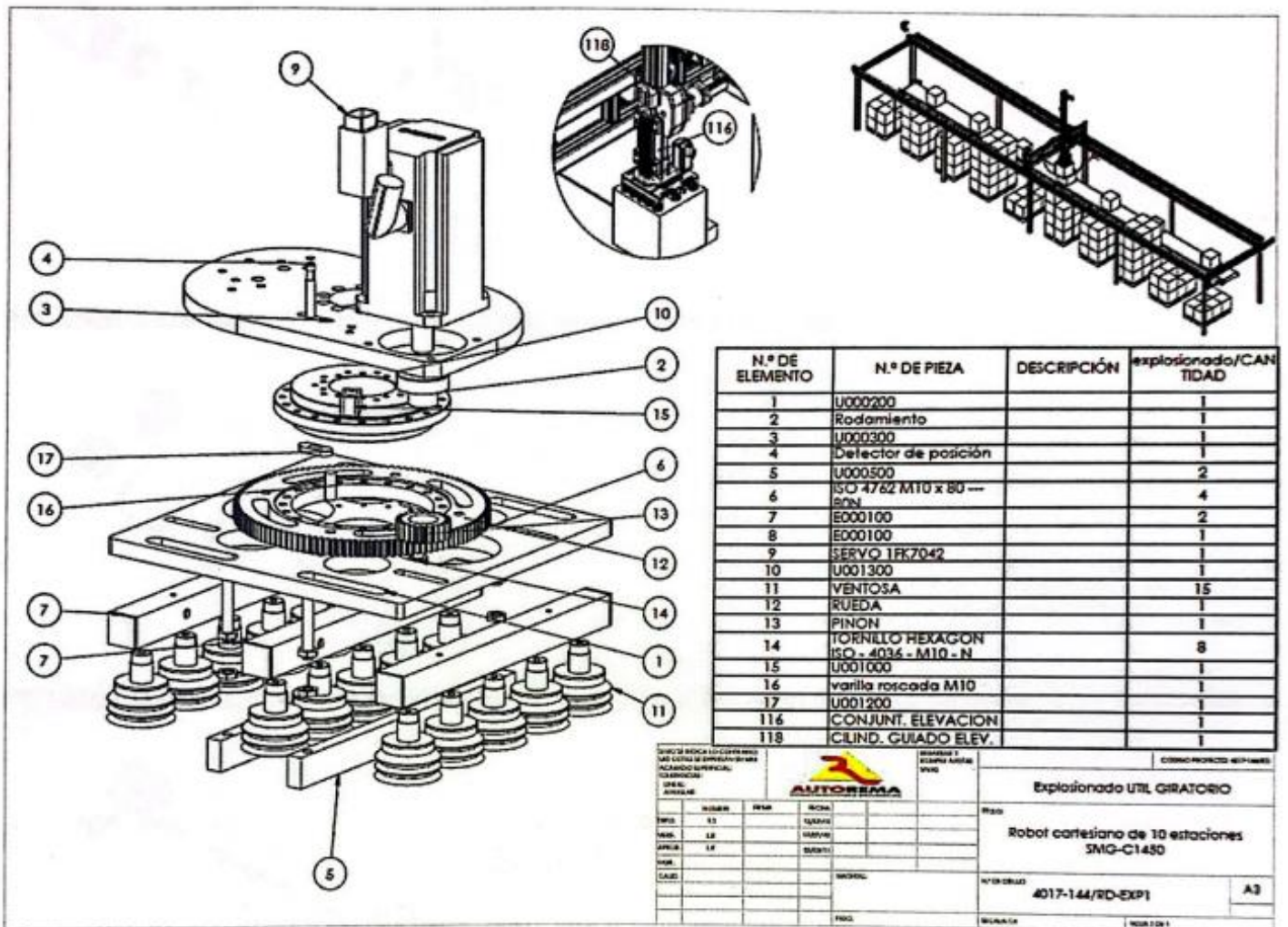


Figura 11. Útil giratorio del brazo cartesiano

- **Sensor de límite de carrera PNP para ejes**

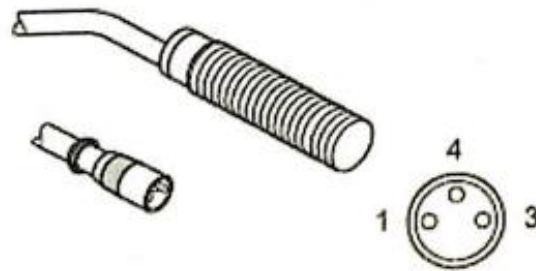


Figura 12. Sensor de límite de carrera PNP para ejes

- **Cable extensor para detectores de final de carrera**

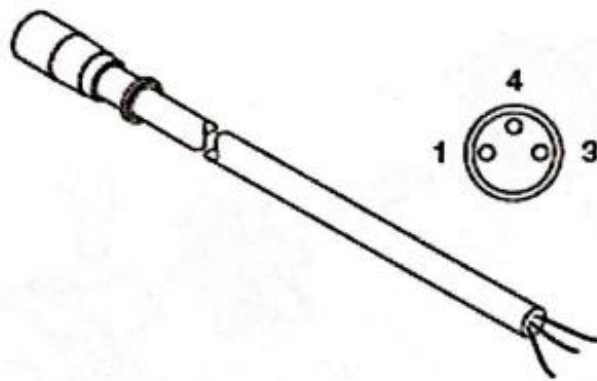


Figura 13. Cable extensor para detectores de final de carrera

- **Soportes para sensor de límite de carrera para ejes**

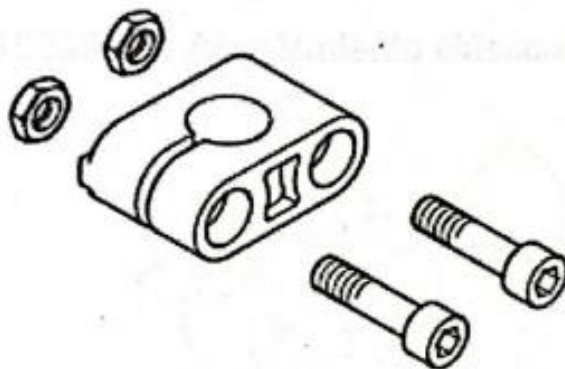


Figura 14. Soportes para sensor de límite de carrera para ejes

- Soportes para sobre carro para detección de límite de carrera

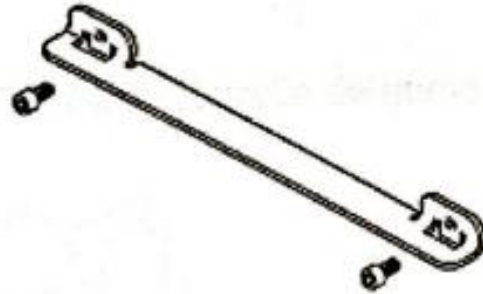


Figura 15. Soportes para sobre carro para detección de límite de carrera

- **Montaje del acoplamiento**

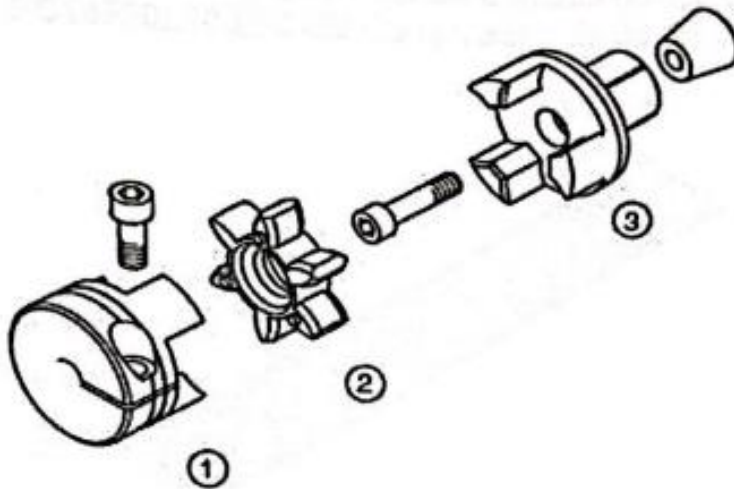


Figura 16. Montaje del acoplamiento

- **Acoplamiento elástico lado guía lineal para ejes**

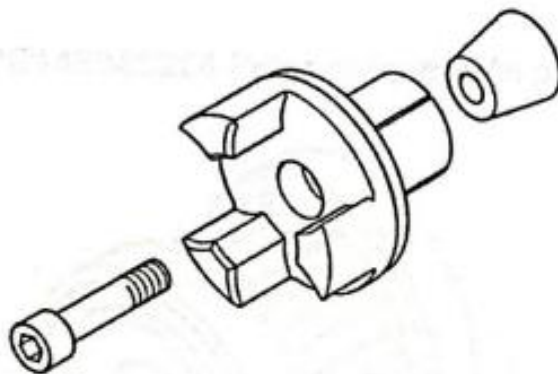


Figura 17. Acoplamiento elástico lado guía lineal para ejes

- **Estrella de goma de acoplamiento elástico para ejes**



Figura 18. Estrella de goma de acoplamiento elástico para ejes

- **Acoplamiento elástico lado motor para ejes**

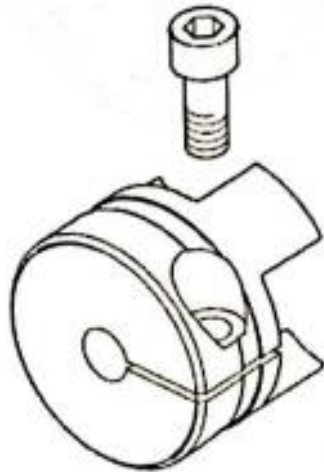


Figura 19. Acoplamiento elástico lado motor para ejes

- **Correa dentada para ejes (x, y, z)**

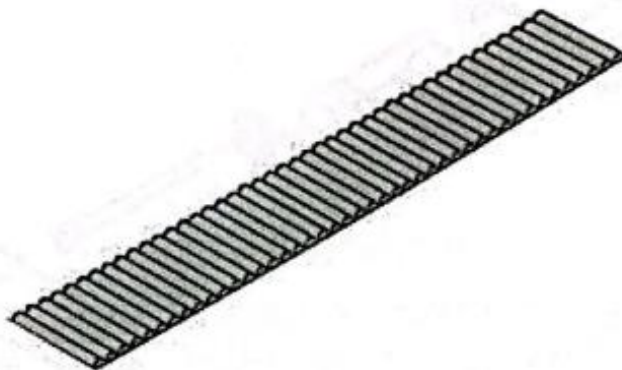


Figura 20. Correa dentada para ejes (x, y, z)

- Polea anticorrosión para ejes (x, y, z)

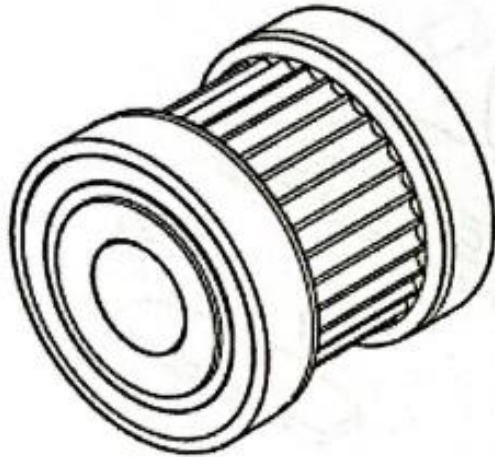


Figura 21. Polea anticorrosión para ejes (x, y, z)

- Sistema de tensado

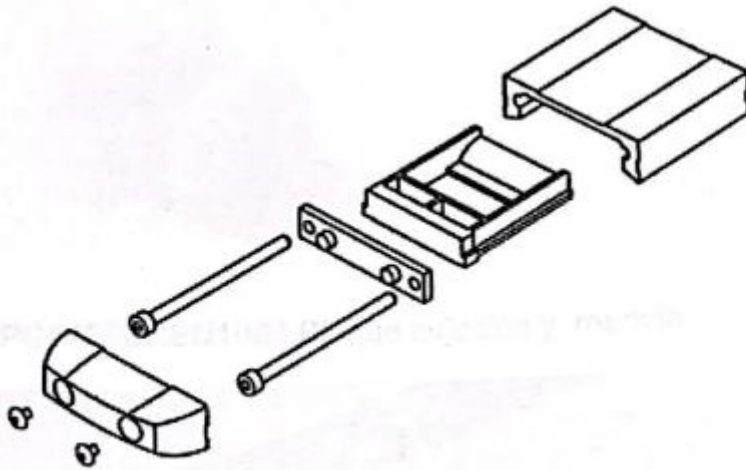


Figura 22. Sistema de tensado

- Dispositivo de sujeción de correa

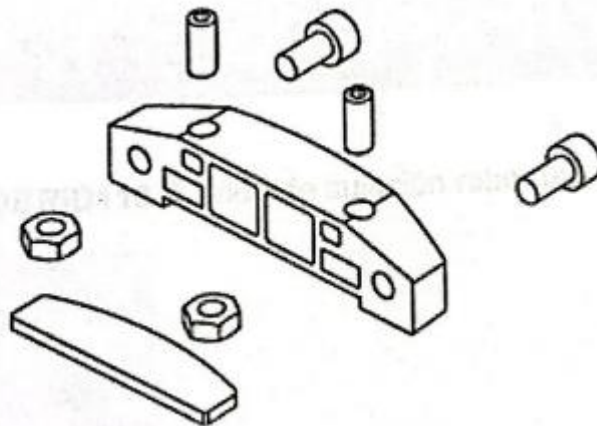


Figura 23. Dispositivo de sujeción de correa

- **Tope de goma de carro para ejes**

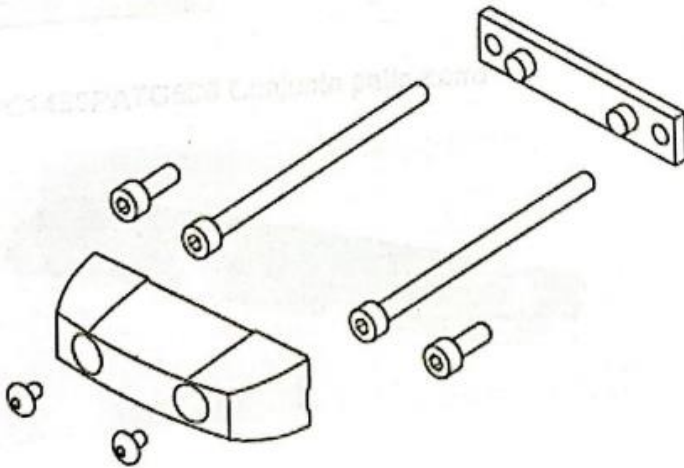


Figura 24. Tope de goma de carro para ejes

- **Reductora con índice 8 para ejes (x, y, z)**

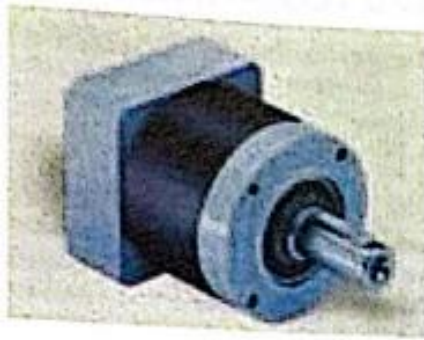


Figura 25. Reductora con índice 8 para ejes (x, y, z)

- **Bloque de sujeción y reenvío**

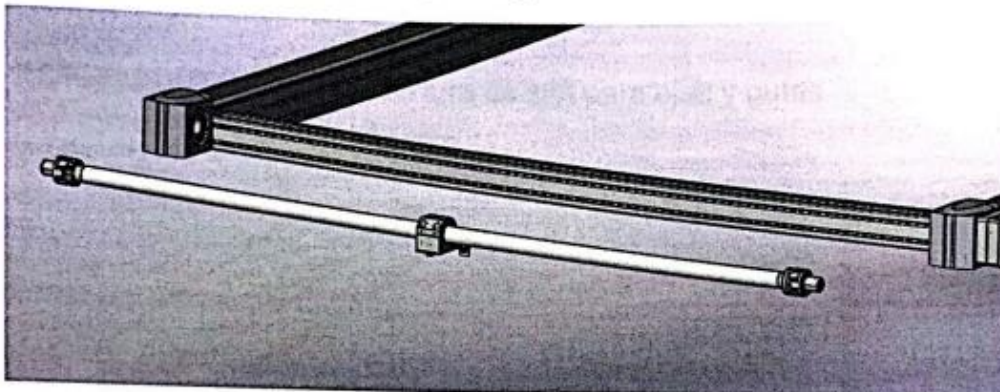


Figura26. Bloque de sujeción y reenvío

- **Brida de sujeción robot útil**

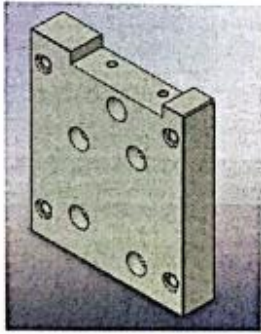


Figura 27. Brida de sujeción robot útil

- **Conjunto patín-carro**

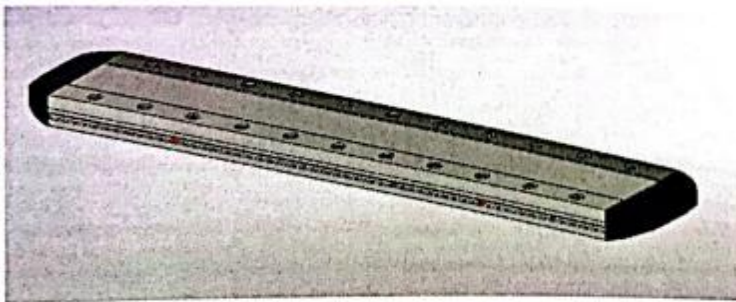


Figura 28. Conjunto patín-carro

- **Elementos de fijación entre ejes y robot**

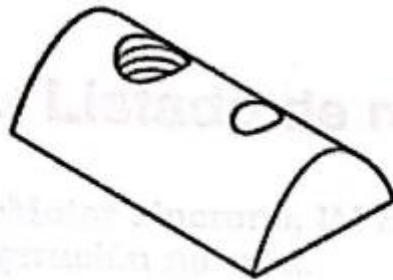


Figura 29. Elementos de fijación entre ejes y robot

- Cobertura de slot para ejes y guías

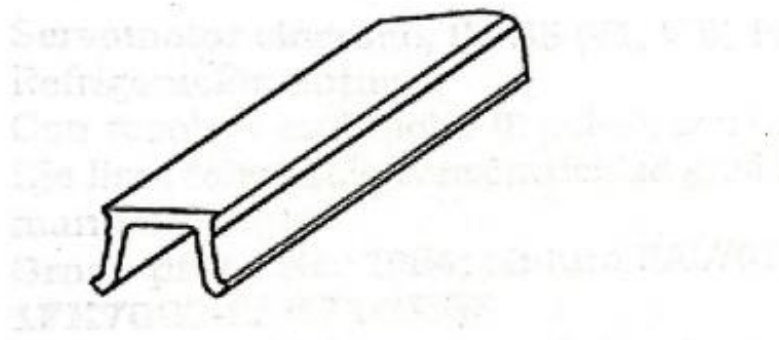


Figura 30. Cobertura de slot para ejes y guías

Capítulo 4

4.1 Aplicación del RCM sobre los equipos seleccionados

Llegados a este capítulo y siguiendo las fases de las que consta el RCM, previamente descritas en el capítulo 2 de este proyecto, vamos a implementar la aplicación de la metodología sobre los equipos seleccionados.

4.1.1 Definición de objetivos

En primer lugar, debemos definir de forma correcta los sistemas a analizar teniendo en cuenta los límites que poseen los mismos, así como, qué partes deben incluirse en su estudio y cuáles van a ser excluidas del estudio de la metodología. También es importante conocer las condiciones ambientales y de operación a los que van a estar sometidos los equipos del sistema.

Además, recopilar toda la información necesaria de los equipos de la línea a analizar para llevar a cabo un correcto mantenimiento. Recopilar informaciones sobre listas de materiales, componentes, esquemas eléctricos, planos, descripciones de los equipos, etc. Todo ello nos servirá para establecer la base de la planificación del mantenimiento.

El objetivo principal es clasificar los efectos de modos potenciales de fallo relacionados con el número de fallos por equipo, además de marcar objetivos para disminuir los costes de reparación de los equipos y de los tiempos de aplicación para llevar a cabo estas reparaciones aprovechando al máximo los recursos existentes para la realización de las actividades de mantenimiento, así como la disminución del número de procesos para llevar a cabo la reparación de los fallos.

Sin embargo, no se encontraba dentro de nuestro estudio marcar estos objetivos. Debido a que, si hubiera sido un estudio hecho para un caso real de aplicación dentro de la empresa, si se habrían marcado objetivos como previamente hemos definido.

En este caso, la empresa ya nos propuso qué equipos debían ser estudiados para la realización del estudio RCM, sin tener en cuenta los objetivos reales de la empresa para ponerlos en práctica con este estudio.

4.1.2 Creación de un grupo de trabajo

El siguiente paso al que debemos enfrentarnos para la aplicación del RCM, es la creación de los grupos de trabajo que se dedicarían al mantenimiento y a la aplicación del análisis.

Sin embargo, al ser este un trabajo final de estudios y no un caso real de aplicación que la empresa haya requerido de su estudio para aplicarlo sobre sus equipos de la línea, no se ha creado el grupo de trabajo.

A pesar de esto, vamos a realizar una breve explicación de cómo se hubiera creado el grupo de trabajo si hubiese sido un caso de estudio real.

En primer lugar, tendríamos que formar un grupo de trabajo con diferentes personas, que representen a cada departamento involucrado de la empresa, a la hora de hacer un seguimiento sobre el mantenimiento y la aplicación del RCM sobre los equipos de la línea.

Cada persona representante de cada departamento involucrado de la empresa, llevará a cabo una tarea diferente que se le será asignada y que revisará en cada reunión del equipo para definir nuevos parámetros de mejora sobre los equipos.

Comenzaremos por asignar unas tareas diferentes a cada representante de cada departamento involucrado de la empresa:

- Empezaremos eligiendo a un facilitador para la aplicación de la metodología RCM dentro del grupo de trabajo, que será el encargado de coordinar y dirigir las acciones de cada integrante del grupo. El encargado de realizar esta tarea será el Jefe de Mantenimiento o el Encargado de Fábrica, porque es la persona que está más al corriente de todos los problemas que ocurren en las máquinas de la empresa y la persona con más experiencia a la hora de llevar a cabo tareas de inspección, mantenimiento y mejora sobre los equipos.
- También, la figura de un representante del departamento de ingeniería técnica no puede faltar en este equipo de trabajo, porque es quién junto al Encargado de Fábrica, la persona más cualificada para realizar el estudio y el análisis del RCM sobre los equipos.
- Dentro del departamento de calidad existirá otra persona encargada de hacer un seguimiento de la calidad del producto final cuando se haya aplicado la metodología RCM, que nos ayude a hacer un estudio sobre posibles defectos finales en los productos, que implicaría mejorar el mantenimiento en los equipos sobre la calidad final del producto.
- Cabe destacar también un representante del departamento de producción, que nos dé una guía de la cantidad de tapaderas producidas al aplicar la metodología y de los costes de producción llevados a cabo para realizar este estudio y los beneficios adquiridos por

la empresa al aplicar la metodología para hacer un seguimiento de los objetivos finales que se quiere llegar a obtener con este estudio.

- El siguiente integrante del grupo es el Operario Jefe, que representará al resto operarios que trabajan sobre la línea, que manejan a diario los equipos y que conocen a la perfección su funcionamiento y los problemas que surgen diariamente en la línea. Él nos proporcionará una visión más real sobre el trabajo y los problemas reales que se presentan día a día en los equipos de la línea.
- Por último, el representante del departamento Eléctrico de la empresa que también nos proporcionará datos muy importantes sobre el funcionamiento y las tareas de mantenimiento sobre el control electrónico de los equipos y del sistema SCADA que controla la línea, que son de gran importancia a la hora de conocer el funcionamiento real del equipo, junto al Jefe de Fábrica que nos proporcionará una visión del funcionamiento más mecánico de los equipos.

Todos ellos integrarán el grupo de trabajo y se encargarán de hacer un seguimiento de los equipos, cada uno con sus respectivas tareas, que irán poniendo sobre el conocimiento del resto de integrantes del equipo en reuniones que se realizarán mensualmente, las cuales concretará el coordinador del grupo de trabajo.

4.1.3 Selección de los equipos a estudiar

Como ya previamente hemos comentado en el apartado 4.1 del trabajo, la selección de los equipos a estudiar, no la realizaremos sobre la línea que recibe más reparaciones en la empresa.

Sin embargo, en este caso la decisión de actuar sobre una determinada línea es por elección de la misma empresa, no solo debido a l manejo de información delicada que la empresa no podía divulgar, sino debido a que la línea sobre la que vamos a realizar el RCM, necesita llevar un mantenimiento más preciso que el resto de líneas de la empresa, porque si esta se parase, pararía parte de la producción de la fábrica e implicaría una pérdida muy grande en los costes de producción para la empresa.

Siendo esto así, hemos de comentar que, en caso de hacer un estudio real que la empresa hubiese necesitado realizar y no a modo de trabajo universitario, sería necesario realizar un análisis de la criticidad que tome en cuenta fundamentalmente la repercusión del fallo de cada equipo en los principales objetivos de la empresa.

Este análisis de criticidad, se determinaría de forma cualitativa. Estableciendo así, rasgos de diferentes niveles, que sirvan de evaluación para la jerarquización de la selección de los equipos objeto de análisis.

4.1.4 Contexto operacional de los equipos a analizar

En este apartado vamos a hacer un análisis, explicando la forma más detallada y esquemática posible, cómo operan estas máquinas a las cuales vamos a realizar el estudio, cuando están en producción real.

Contexto operacional del Transfer:

Las funciones operacionales que realiza el transfer son: transportar las cajas con las tapaderas, previamente insertadas en ellas después de pasar por los visores que detectan fallos en las tapaderas, hacia los transportes, para ser llevadas a la etiquetadora y a la cerradora, para finalmente ser transportadas al paletizador, para que las amontone en palets y sean distribuidas al cliente final.

En producción, el transfer puede llegar a desplazarse a una velocidad de unos 10 km/h aproximadamente, lo que le facilita llegar de un extremo inicial de la línea 1, hasta el extremo final de la línea 10 con gran facilidad.

El transfer opera recogiendo las cajas que se van llenando en los finales de línea sobre las bancadas vibratorias. Cada salida de línea va llenando dos cajas, primero llena una y cuando está llena, mediante una leva que hace de selector impulsada por pistón neumático, empieza a llenar la segunda. Una vez se encuentra una caja llena, el sistema SCADA le da la orden al transfer para que la recoja.

Este es capaz de transportar hasta un total de 16 cajas. De estas 16 son, 8 cajas vacías para ser llenadas con las tapaderas y 8 cajas llenas para ser transportadas a la etiquetadora y a la cerradora de cajas.

Cada caja es capaz de ser llenada por unas 2.000 tapaderas aproximadamente, por lo que el transfer será capaz de transportar hasta un total de 32.000 tapaderas, sin embargo, nunca se alcanzará este valor, debido a que la mitad de las cajas que transporta están vacías, por lo que, en su capacidad máxima de producción normal, llegará a transportar hasta un total de 16.000 tapaderas de un extremo a otro de la línea.

El tiempo de producción del transfer es de unas 720 horas mensuales y el coste de cada parada puede llegar a alcanzar pérdidas de hasta 1.000€ la hora, lo que conllevará hacerle un mantenimiento más exhaustivo que al resto de equipos de la planta.

La seguridad que presenta este equipo es bastante buena, porque se encuentra encerrado dentro de unas vallas protectoras, que impiden el acceso de trabajadores a ellas, a menos que se realicen tareas de inspección y mantenimiento, o a no ser que se abra alguna puerta corredera, las cuales están provistas de sensores que detectan su apertura y el sistema SCADA lo lee como un fallo del sistema y automáticamente para todo el equipo. Por lo que es un sistema provisto de gran seguridad para las personas que estén operando en la zona. También hemos de añadir que todos los equipos pertenecientes a la línea de estudio, se encuentran en el interior de una nave con buena ventilación y condiciones ambientales normales de trabajo.

En cuanto a los operarios que se encuentran operando la línea del transfer durante su funcionamiento, podríamos decir que, sobre el equipo en sí, no opera ningún operario, debido a que todo el sistema está automatizado y controlado por el sistema SCADA. Los operarios que realmente operan en la línea durante la producción son solo tres, sin embargo, estos se dedicarán a operar sobre otros equipos.

Si es verdad que, las únicas funciones que realizan los operarios sobre el equipo del transfer durante su funcionamiento, son las de controlar o dar alguna orden al sistema SCADA en caso de algún fallo, caída de tapaderas o rotura de cajas que pueda haber en el transfer, por lo que el operario deberá actuar y solucionar el problema de forma manual.

Contexto operacional de la etiquetadora y cerradora de cajas:

Las funciones operacionales que realiza la etiquetadora, son colocar etiquetas a las cajas según el código que estas posean, al ser leído por el sistema SCADA, que a su vez etiqueta las cajas según la orden de pedido emitida por el departamento de producción a través de la intranet de la empresa.

Las cajas etiquetadas por la etiquetadora, son aquellas que han sido llenadas, con el correspondiente número de tapaderas, previamente en los finales de línea y han sido recogidas y transportadas por el transfer hacia la etiquetadora.

Después, las funciones operacionales que realiza la cerradora de cajas son: cerrar las solapas superiores de las cajas a través de las cuchillas y colocar la cinta precintadora, una vez que estas han sido previamente etiquetadas por la etiquetadora, para después ser recogidas por el brazo cartesiano del paletizador que las colocará en palets para ser distribuidas a sus respectivos clientes.

En producción real, tanto la etiquetadora como la cerradora de cajas, son capaces de etiquetar y cerrar hasta 10 cajas por minuto respectivamente.

Sobre estos dos equipos, siempre vamos a tener trabajando a un operario, que se encuentra sobre una plataforma elevada con un controlador conectado al sistema SCADA, capaz de detener o seguir el ritmo de producción de las cajas a la hora de ser transportadas mediante los transportes, para ser etiquetadas y cerradas.

Este operario siempre se encontrará trabajando sobre estos equipos, debido a que se generan muchos fallos con la cinta precintadora a la hora de cerrar las cajas, debido a que la cinta se pega sobre los rodillos motorizados o sobre la cuchilla de la cerradora de cajas y provoca atranques que deben ser subsanados por un operario que esté trabajando la línea.

A su vez, también debe de estar pendiente de la impresora, porque se dan muchos casos de fallo de lectura de matrículas por parte del sensor que posee la impresora. Por lo que, para evitar estos fallos de lectura, se realizó una posterior instalación de pistolas lectoras de matrículas que son usadas manualmente por los operarios en caso de que se produzcan estos fallos de lectura de matrículas.

Como es lógico, el tiempo de producción de estos dos equipos se asemeja a las 720 horas de trabajo del transfer, debido a que, están contenidas dentro de la misma línea y trabajan de forma simultánea controladas por el sistema SCADA.

El coste de parada será inferior al del transfer, debido al trabajo que los operarios pueden suplir a estas 2 máquinas con relativa facilidad, con los medios comentados anteriormente. Sin embargo, este coste por cada parada podría ser cercano a unos 500€ la hora.

Contexto operacional del Paletizador:

El contexto operacional del paletizador es algo más complejo. Este, a través del brazo cartesiano que se desplaza a lo largo de los raíles que forma la estructura del conjunto del paletizador, es el encargado de recoger las cajas llenas de tapaderas ya cerradas y con su correspondiente etiqueta pegada, asignada al cliente a las que van a ser distribuidas.

Las cajas recogidas por el brazo cartesiano, se desplazan a través de los transportes motorizados, una vez que son previamente etiquetadas y cerradas. El brazo cartesiano que se desplaza de forma lineal en los tres ejes (x, y, z) y es capaz de rotar 360º, posee una gran capacidad de recogida de cajas a lo largo de la estructura por la cual se desplaza. Este posee sensores para

reconocer la posición en la que se encuentra la caja y unas ventosas que son accionadas por aire comprimido, que ejercen contrapresión por medio de aire comprimido a unos 10 bares de presión, para soportar las cajas en el aire, que son recogidas en los desvíos que poseen los transportes hacia cada box. En cada box serán asignadas las cajas que se amontonarán en un solo palet para ser distribuidas a su correspondiente cliente.

El brazo cartesiano que se desplaza a través de las guías y los patines de la estructura, es capaz de alcanzar hasta una velocidad aproximada de unos 20 km/h, por lo que puede operar con gran rapidez y es capaz de distribuir hasta 4 cajas por minuto a sus respectivos boxes, en su movimiento de recogida y dejada.

El conjunto del paletizador, opera de forma totalmente autónoma, al igual que el transfer. El encargado de dar las órdenes de recogida y dejada de cajas en cada box correspondiente, es el sistema SCADA, que, a través de los sensores y los lectores de matrícula colocados a lo largo de la línea de los transportes motorizados, leen la matrícula de las cajas y le da la orden al brazo cartesiano para actuar sobre ellas y dejarlas en sus correspondientes boxes de salida.

Sin embargo, a pesar de ser totalmente autónomo, siempre habrá otro operario que será el encargado de abrir las puertas de los boxes y recoger los palets cuando se han llenado las cajas que van a ser distribuidas al cliente. Finalmente, este operario que recoge los palets con las cajas a través de una carretilla, los lleva a la envolvente de palets que los envuelve con papel de film transparente.

Por lo tanto, las únicas funciones que realizarán los operarios sobre el equipo del paletizador durante su funcionamiento, son las de controlar o dar alguna orden al sistema SCADA en caso de algún fallo, caída de tapaderas o rotura de cajas que pueda haber en el equipo, por lo que el operario deberá actuar y solucionar el problema de forma manual.

El tiempo de producción del paletizador es el mismo que el del transfer, de unas 720 horas mensuales y con un coste de parada de unos 1.000€, por ello conviene también que lleve un mantenimiento exhaustivo a pesar de presentar menos problemas de funcionamiento que el transfer.

A su vez, cabe destacar que la seguridad de este equipo es bastante buena al igual que la del transfer, puesto que presenta el mismo sistema de seguridad frente a las personas. Provisto de unas vallas protectoras, que impiden el acceso de los trabajadores al equipo, a menos que se realicen tareas de inspección y mantenimiento, o a no ser que se abra alguna puerta, las cuales están provistas de sensores que detectan su apertura y el sistema SCADA lo lee como un fallo del sistema y automáticamente para todo el equipo. Por lo que es un sistema provisto de gran seguridad para las personas que estén operando en la zona.

Capítulo 5

5.1 Análisis FMECA

5.1.1 Evaluación de fallos con FMECA

5.1.1.1 Efectos de los fallos

Entendemos por efecto a aquella información que nos proporcionan los eventos secuenciales que tienen lugar cuando las pérdidas de alguna función son provocadas por un modo de fallo. Los efectos deben presentar la información necesaria para determinar las consecuencias y la evaluación de un fallo, así como considerar el correcto funcionamiento del resto de elementos del equipo. Existen dos tipos de efectos:

- Los efectos locales, que son aquellos que ocurren en el componente exacto en el que sucede el fallo del equipo. Estos efectos describen los riesgos locales provocados.
- Los efectos globales, que ocurren como consecuencia de estos efectos locales, apareciendo en el resto de elementos del equipo. Estos efectos describen los riesgos generales que puedan ocurrir.

En los efectos globales se incluirán las diferencias en los periodos de duración de las paradas.

Tipo de parada	Tiempo en ejecutarla
Microparada	30 segundos – 5 minutos
Parada media	5 minutos – 1 hora
Parada alta	1 hora – 24 horas
Parada crítica	Más de 24 horas

Tabla 1. Tipos de parada

5.1.1.2 Criticidad de los fallos y valor NPR

La criticidad se determina de forma cuantitativa, es decir, haciendo el producto de la probabilidad de ocurrencia de un fallo, por la severidad, y/o la detectabilidad. Se deben establecer rangos de valores para poder homologar los criterios de evaluación y seleccionar métodos de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas que sean objeto de análisis.

Se utilizará el valor NPR para definir la criticidad de forma matemática. Después, se calculará el número de prioridad de riesgo (NPR) de cada modo de fallo y en función de su valor, estableceremos unos criterios que se deben priorizar para mitigar los fallos. Utilizaremos la siguiente ecuación para obtener el valor de NPR:

$$NPR = Frecuencia \times Detección \times Severidad$$

El valor límite que estableceremos para definir como fallo crítico una vez se ha superado este, será el de NPR = 50. En los fallos que se superen dicho valor, deberemos poner los medios de actuación para que este valor disminuya, modificando sus variables de operación, revisando determinados aspectos del equipo o sustituyendo elementos, según se nos indique en las operaciones de mantenimiento anteriormente descritas. Representando así, la detección, la frecuencia y los valores que dependan de la severidad.

5.1.1.3 Gravedad del fallo

El índice de gravedad representa el impacto en las consecuencias de los modos de fallo. Para hallar el índice de gravedad debemos tener en cuenta las categorías en las que se dividen las consecuencias de los fallos:

- Seguridad del personal (S)
- Capacidad de producción (P)
- Coste de reparación (Cost)
- Calidad del sistema (Cal)
- Autonomía del sistema (A)

Para obtener el valor del índice de gravedad, se hará una suma combinada con un multiplicador para cada una de las consecuencias en función de su gravedad. La fórmula aplicada para el cálculo será: la suma de los productos del índice de importancia por la valoración del criterio de las consecuencias de los fallos, dividido entre el valor máximo de gravedad. La fórmula sería la siguiente:

$$\text{Gravedad} = (1 * \text{Seguridad} + 0,77 * \text{Producción} + 0,65 * \text{Coste} + 0,54 * \text{Calidad} + 0,42 * \text{Autonomía})$$

$$\text{Gravedad} = 1 * S + 0,77 * P + 0,65 * \text{Cost} + 0,54 * \text{Cal} + 0,42 * A$$

Siendo los factores más importantes la seguridad y la producción de los equipos, ya que el factor que está por encima de todos es la seguridad de las personas que operen los equipos y la producción, debido a que si hay alguna parada de los equipos afectaría directamente a la capacidad de producción de la empresa.

En la siguiente tabla se mostrarán los parámetros de los que dependerá la gravedad dentro del análisis de criticidad de los equipos. Esta se obtiene a partir de las consecuencias de los fallos. A modo de ejemplo rellenamos la tabla con los siguientes valores:

Controles actuales de fallo	Consecuencias					Gravedad
	S	Pro	Cost	Cal	A	
Comprobar estado del circuito de aire a presión y el estado de la bomba	2	3	3	3	2	87,2

Tabla 2. Formato y ejemplo de valores del diagrama de pérdida de función

Cada uno de los valores se evaluará del 0 al 10, en función de las características de cada modo de fallo.

A continuación, se mostrarán las tablas con todos los valores anteriormente mencionados.

CATEGORIAS EN LAS QUE SE DIVIDEN LAS CONSECUENCIAS DEL FALLO		
Categoría	Descripción	Índice de importancia

Seguridad	Se afecta la integridad del personal	10
Producción	Afecta a la capacidad de producción total	7,7
Coste de reparación	Dificultad para reparar el fallo por tiempo, material, capacidad técnica, coste ...	6,5
Calidad	Se afecta a la calidad del sistema	5,4
Autonomía	Afecta a la autonomía del sistema	4,2

Tabla 3. Categoría en las que se dividen las consecuencias de los fallos en función del índice de importancia

Categoría	Criterio	Valoración
Seguridad	Se puede afectar la integridad del personal que la opera	10
	Se afecta la integridad del sistema, al resto de equipos o al personal que se encuentre operando	8
	Afecta a parte de los equipos o puede producir lesiones de cierta gravedad a personas que se encuentren operando	7
	Puede afectar a alguno de los equipos o producir lesiones leves a personas que se encuentren operando	6
	Se producen daños que no son reparables y afectarían a la seguridad si se produjese un fallo en otro sistema	4
	Se producen daños que son reparables y afectarían a la seguridad si se produjese un fallo en otro sistema	2
	No afecta a ningún aspecto de seguridad	0
	Producción	Afecta a la capacidad total de producción de la fábrica
Pueden estar implicados varios equipos y afecta a la capacidad parcial de producción		5
Uno de los equipos afecta a una pequeña parte de la producción		3

	No afecta a ningún aspecto de producción	0
Coste de reparación	El coste de reparación requiere una gran inversión de dinero para la empresa	5
	El coste de la reparación puede ser asumido y resuelto con solvencia por la empresa	3
	No afecta a ningún coste de reparación	0
Calidad	Afecta a la calidad total del sistema	6
	Afecta a un equipo de la calidad del sistema	3
	No afecta a la calidad del sistema	0
Autonomía	El sistema no puede funcionar con total autonomía, requiriendo el uso manual del personal para realizar las operaciones	5
	Alguno de los equipos del sistema no puede funcionar con total autonomía	2
	El sistema puede funcionar con total autonomía	0

Tabla 4. Categoría en las que se dividen las consecuencias de los fallos en función del criterio asignado

5.1.1.4 Frecuencia del fallo

El índice de frecuencia se define como la ocurrencia con la que tiene lugar un modo de fallo. En la siguiente tabla representamos los valores de frecuencia:

Frecuencia	1	3	6	8	10
	Remota	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta

Tabla 5. Frecuencia de fallo

5.1.1.5 Detección del fallo

El índice de detección de fallo es la probabilidad que hay de detectar un fallo en caso de que este se produzca. En la siguiente tabla representaremos las categorías en las que se divide en función de la frecuencia del fallo:

CATEGORIAS EN LAS QUE SE DIVIDE LA FRECUENCIA DEL FALLO
--

Categoría	Descripción	Valor
Inviabile	La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales.	10
Difícil	La detección entraña riesgos de no acertar, se necesitan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo.	7
Posible	La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o tardar algún tiempo en diagnosticar definitivamente.	4
Certero	La detección es prácticamente certera. Probablemente podrá verla algún técnico u operario especializado.	2
Seguro	No hay ninguna duda de que el posible problema será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad.	1

Tabla 6. Detección de fallo

5.1.1.6 Matriz de criticidad

La matriz de criticidad es una herramienta que se basa en jerarquizar variables de los parámetros operacionales en función al impacto global sobre la producción y establecer cuáles son las variables más críticas que pueden afectar a la operación.

Es una herramienta de análisis en la que se establecen rangos de representación de la frecuencia del modo de fallo y sus consecuencias (gravedad). Se enumeran en la gráfica y en función de la intensidad del riesgo de fallo en el equipo, se denotan con diferentes colores (verde, amarillo, rojo), como mostramos es la siguiente tabla.

En nuestro caso de estudio, hemos evaluado la frecuencia del 1 al 10 y la gravedad del 0 al 100. Los niveles de criticidad son los siguientes: el verde para baja criticidad, el amarillo para criticidad media o moderada y el rojo para criticidad alta. Los fallos de criticidad cuyo valor esté por encima de 50, deberán ser sometidos a una revisión.

Gravedad	min	máx	Matriz de Criticidad				
Catastrófica	80	100	B	A	A	A	A
Muy Importante	50	80	B	B	A	A	A
Importante	30	50	C	B	B	A	A
Moderada	15	30	C	C	B	B	B
Menor	0	15	C	C	C	C	B
Frecuencia			1	3	6	8	10
			Remota	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta

Tabla 7. Matriz de criticidad

5.1.1.7 Matriz de riesgo

La matriz de riesgo es una herramienta de gestión que nos permite determinar de forma objetiva cuales son los riesgos más relevantes para el fallo de un elemento del equipo, en función del

valor NPR. Asignaremos a los elementos de los equipos estudiados un riesgo alto (A), medio (B) o bajo (C), en función de los valores NPR obtenidos.

Matriz de Riesgo		NPR	
		min	máx
RIESGO	ALTO	50	100
	MEDIO	20	50
	BAJO	0	20

Tabla 8. Matriz de riesgo

5.1.1.8 Modos de fallo, efectos y criticidad de los fallos

Ahora vamos a desarrollar todas las partes implicadas en el análisis de los fallos para los equipos implicados en el estudio del RCM, es decir, describiremos las funciones, los modos de fallo, los efectos de los fallos y los parámetros necesarios para evaluar la criticidad de los equipos.

Cada función del equipo, tendrá su pérdida de función asignada, y a su vez, cada pérdida de función tendrá varios fallos que la originen. Realizaremos entonces el análisis y la evaluación de cada fallo, marcando los valores que estén por encima de 50 del NPR.

Subsistema: TRANSFER

Identificación		Fase de la operación	Funciones		Fallo					Controles actuales de fallo	Consecuencias					Gravedad	Frecuencia	Detección	I.C.	Crítica d M F	NPR MF	I.C. CRITICIDAD ELEMENTO	NPR ELEMENTO
Id. Elemento	Elemento		Id.Función	Descripción	Fallo funcional	Id. Modo Fallo	Modo de fallo	Causa	Efecto		S	Pro	Cost	Cal	A								
1	Ascensor del transfer	E.I.	F1	Recoger las cajas llenas de los finales de línea y dejar las cajas vacías en los finales de línea	El ascensor no puede desplazarse en movimiento horizontal, ni vertical de forma correcta	MF-1-V.I-1	Correas desgastadas	Desgaste y sobreuso	Las cajas no son transportadas correctamente y se rompen	Sustituir correas, comprobar su estado tensional o alinear	0	3	3	3	2	67,2	6	4	40,3	B	16,13	136,28	60,22
						MF-1-V.I-2	Detectores de posición no funcionan	Cableado incorrecto Suciedad en el sensor	Las cajas no son transportadas correctamente y se rompen	Sustituir por unos nuevos, comprobar cableado o limpiar	0	3	3	3	2	67,2	3	7	20,2	C	14,11		
						MF-1-V.I-3	Motor no funciona	Sobrecalentamiento	Las cajas no son transportadas correctamente y se rompen	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	2	3	3	3	2	87,2	1	7	8,7	C	6,10		
								Sobretensión															
											2	3	3	3	2	87,2	6	4	52,32	A	20,93		

					MF-1-V.I-4	Fallo de vacío	La bomba que ejerce vacío no funciona Escapes de aire presión para ejercer vacío	Las ventosas no pueden atrapar las cajas y empujarlas correctamente	Comprobar estado del circuito de aire a presión y el estado de la bomba																																		
				Las ventosas de vacío no atrapan las cajas	MF-1-V.I-5	Ventosas desgastadas	Sobreuso y agrietamiento	Las ventosas no pueden atrapar las cajas y empujarlas correctamente	Comprobar estado de las ventosas y sustituir en caso necesario	0	0	0	3	2	24,60	6	2	14,76	C	2,95																							
2	Motor	E.I.	F1	Dar giro a la transmisión	El motor funciona pero la transmisión no	MF-2-V.I-1	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	2	8,7	C	1,7	34,9	10,5																				
				Dar giro al reductor	El motor funciona pero el reductor no	MF-2-V.I-2	Fallo del reductor	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	4	8,7	C	3,5																						
			Dar giro al reductor	El motor funciona pero el reductor no	MF-2-V.I-3	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	2	8,7	C	1,7																							

							forma autónoma																	
							MF-2-V.I-4 Fallo del reductor	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	4	8,7	C	3,5			
3	Árbol motor	E.I.	F1	Girar el árbol motor	El árbol motor no gira		MF-3-V.I-1 Correa/ cadena de transmisión rota	Desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	2	5	3	3	2	102,60	3	2	30,8	B	6,2			
							MF-3-V.I-2 Cableado incorrecto	Conexiones internas erróneas o fases invertidas	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	2	5	3	3	2	102,60	1	4	10,3	C	4,1			
							MF-3-V.I-3 Motor quemado	Sobrecalentamiento, sobretensión o fusibles quemados	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser	Controlar la centralita de mandos,	6	5	3	3	2	142,60	1	4	14,3	C	5,7			
																							55,3	16,0

							distribuidas las cajas de forma autónoma	reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados													
4	Correa o cadena de accionamiento	E.I.	F1	Accionar el giro del motor para el movimiento del transfer	La correa o cadena de accionamiento de la máquina hace ruido	MF-4-V.I-1	Eslabón roto	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	5	3	3	2	102,6	1	4	10,3	C	4,1
						MF-4-V.I-2	Correa partida	Desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	0	5	3	3	2	82,6	2	2	16,5	C	3,3
						MF-4-V.I-3	Tensión incorrecta de la correa/cadena	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	5	3	3	2	102,6	1	4	10,3	C	4,1
						MF-4-V.I-4	Alineación incorrecta	Defecto de montaje	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la	4	5	3	3	2	122,6	2	4	24,5	C	9,8
																			61,6		21,3

							forma autónoma	tensión y alinear													
5	Cojinetes	E.I.	F1	Soportar el árbol del motor	Los cojinetes hacen ruido	MF-5-V.I-1	Cojinetes desgastados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,20	1	7	6,7	C	4,7
						MF-5-V.I-2	Cojinetes desalineados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	7	6,7	C	4,7
						MF-5-V.I-3	Cojinetes no lubricados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	7	6,7	C	4,7
		F2	Reducir el rozamiento que se produce entre el eje y las piezas sobre las que rota el eje	Desgaste, corrosión por desgaste y deslizamiento	MF-5-V.I-4	Lubricante inadecuado	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7	
					MF-5-	Falta de lubricante	Ruidos inusuales	El transfer no puede	Sustituir los	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7	
																	40,3	22,2			

						V.I-5		durante el funcionamiento	desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar												
						MF-5-V.I-6	Condiciones de operación en caliente	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7	
6	Rodillos	E.I.	F1	Desplazar las cajas	Las cajas no son transportadas	MF-6-V.I-1	Los rodillos están partidos o deteriorados	Las cajas no son transportadas debido al sobrepeso, sobreuso o falta de lubricación	Las cajas no pueden ser transportadas	Requerir los servicios del fabricante para efectuar labores de sustitución de los rodillos	0	3	3	0	2	51	3	4	15,3	C	6,1	
						MF-6-V.I-2	Los rodillos están partidos o deteriorados	Los rodillos no giran debido a un sobrepeso, sobreuso o falta de lubricación	El rodillo no gira	Verificar si tiene suciedad y limpiar, verificar si tiene algún obstáculo que impida su giro, verificar cazoletas y reemplazar si están dañadas, cambiar	0	3	3	0	2	51	3	4	15,3	C	6,1	

									rodillos, verificar piñones y cambiar si están en mal estado																
7	Cadenas	E.I.	F1	Transmitir el giro a los rodillos	La cadena da saltos	MF- 7- V.I- 1	La cadena salta en piñones	Existencia de obstáculos Tensión incorrecta en la cadena	Las cajas no son transportad as correctame nte	Verificar si hay obstáculos y quitar, verificar tensión y tensar/ destensar	2	3	3	3	2	87,2	3	7	26,2	C	18,3	56,8	35,1		
						MF- 7- V.I- 2	Dientes de los piñones en mal estado	Mal engrase, sobreuso o falta de engrase	Las cajas no son transportad as correctame nte	Sustituir cadena o piñones, tensar cadena, verificar dientes en los piñones y si están en mal estado cambiar, verificar alineación y ajustar	0	3	3	0	2	51	3	7	15,3	C	10,7				
						MF- 7- V.I- 3	Cadena mal alineada	Mal alineada a la hora de su montaje	Las cajas no son transportad as correctame nte	Sustituir cadena o piñones, tensar cadena, verificar dientes en los piñones y si están en mal estado cambiar, verificar	0	3	3	0	2	51	3	4	15,3	C	6,1				

8	Frenos de cajas salida de línea	E.I.	F1	Frenar las cajas para que no se vuelquen, cuando la bancada vibratoria está funcionando	Los frenos no actúan, atrancándose y evitando que las cajas se vuelquen	MF-8-V.I-1	Pérdida de aire comprimido	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Sustituir las electroválvulas, pistones o cilindros, y en su caso limpiarlos en caso de que tengan suciedad obstruida	0	3	3	3	2	67,2	3	4	20,2	C	8,1	52,2	29,1	
							El pistón no se acciona																
							El cilindro no se desplaza																
						MF-8-V.I-2	La instalación de aire comprimido o no tiene suficiente presión	Pérdida de aire en algún conducto	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Sanear el sistema de aire comprimido	0	5	3	3	2	82,6	1	4	8,3	C			3,3
							Obstrucción de algún conducto de aire																
						MF-8-V.I-3	Los visores o sensores de cambio de caja no funcionan	Cableado incorrecto	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Limpiar o sustituir los visores en caso de que éstos no funcionen	0	3	3	3	2	67,2	3	7	20,2	C			14,1
								Suciedad en el visor															
						MF-8-V.I-4	Fallo en programa de lectura de pistolas de	El sensor no lee bien la matrícula	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Sustituir los PLC que conectan las pistolas lectoras de	0	0	3	3	0	35,7	1	10	3,6	C			3,6
Suciedad en los sensores de las pistolas																							

						matrículas al PLC		El PLC no recibe bien la señal de las pistolas o no está bien conectado		matrículas con el sistema SCADA, sustituir sensores de las pistolas o actualizar el sistema SCADA que lee los PLC																
9	Reductora del motor	E.I.	F1	Controlar y variar las rpm del motor	Reducción de la velocidad de giro del motor	MF-9-V.I-1	Rotura de los dientes de los piñones por pérdida de aceite	Falta de lubricación	Desgaste de los flancos de los dientes, grietas o roturas en uno o más dientes, picadura, deformación de la geometría del diente	Sustituir lubricante, repara posibles fugas de aceite, reparar engranes y piñones, revisar bomba de aceite	2	3	3	3	2	87,2	3	7	26,2	C	18,3	52,3	36,6			
								Sobrecarga																		
								Fatiga																		
								Desalineación entre los ejes del piñón y corona																		
						MF-9-V.I-2	Ruidos inusuales cuando el motor esta en funcionamiento y presencia de vibraciones	Falta de lubricación	Desgaste de los flancos de los dientes, grietas o roturas en uno o más dientes, picadura, deformación de la geometría del diente	Sustituir lubricante, repara posibles fugas de aceite, reparar engranes y piñones, revisar bomba de aceite	2	3	3	3	2	87,2	3	7	26,2	C	18,3	52,3	36,6			
								Sobrecarga																		
								Fatiga																		
								Desalineación entre los ejes del piñón y corona																		
10	Sensores ópticos de	E.I.	F1	Determinar la	El transfer no puede	MF-10-	Sensor dañado	Las cajas no pueden	Limpiar sensor,	0	3	3	3	5	79,8	8	4	63,8	A	25,5	217,6	60,1				

posición (Encoders)		posición y el desplazami ento lineal de las cajas	desplazars e correctam ente, ni realizar funciones de recogida de cajas con autonomí a	V.I- 1	Las cajas no son recogidas	Sensor sucio	salir de los boxes, porque el transfer no las detecta y no puede recogerlas	comprobar conexión del circuito, comprobar que lee la señal correctam ente o sustituir en caso necesario																
				Malas lecturas del sensor																				
				MF- 10- V.I- 2	El ascensor del transfer no para en el final de carrera	Sensor dañado	El ascensor no se desplaza correctame nte porque no se para en el final de carrera y las cajas no pueden llegar a su lugar correspond iente	Limpiar sensor, comprobar conexión del circuito, comprobar que lee la señal correctam ente o sustituir en caso necesario	0	3	3	3	5	79,8	8	4	63,8	A	25,5					
				Sensor sucio																				
				Malas lecturas del sensor																				
				MF- 10- V.I- 3	El transfer se choca en el final de línea	Sensor dañado	Los sensores de posición del transfer no actúan correctame nte y el transfer no se para en el final de línea correspond iente y puede llegar a estrellarse	Limpiar sensor, comprobar conexión del circuito, comprobar que lee la señal correctam ente o sustituir en caso necesario	7	3	3	3	5	149,8	6	1	89,9	A	9,0					
				Sensor sucio																				
				Malas lecturas del sensor																				

								provocando que se caigan al suelo												
12	Vías soterradas	E.I.	F1	Guiar al transfer evitando que descarrile	Desviación del transfer y rotura de cajas	MF-12-V.I-1	Sobreuso	El transfer no se centra, las ventosas no atrapan bien las cajas y se rompen las cajas	Sustituir las vías soterradas , limpiar los soportes de las vías y sustitución de rodamientos y pinzas de sujeción del transfer	7	5	5	6	5	194,4	3	4	58,3	B	23,3
							Falta de lubricación													
							Sobrecarga													
						MF-12-V.I-2	Desgaste en los perfiles de las vías por donde se desplazan las ruedas	Sobreuso	El transfer no se centra, las ventosas no atrapan bien las cajas y se rompen las cajas	Sustituir las vías soterradas , limpiar los soportes de las vías y sustitución de rodamientos y pinzas de sujeción del transfer	7	5	5	6	5	194,4	3	4	58,3	B
			Sobrecarga																	
			Falta de lubricación																	
F2	Soportar las fuerzas verticales, horizontales y	Desviación del transfer y rotura de cajas	MF-12-V.I-3	Las pinzas de sujeción del transfer se desacoplan	Sobreuso	El transfer no se centra, las ventosas no atrapan	Sustituir las vías soterradas , limpiar los	7	5	5	6	5	194,4	3	4	58,3	B	23,3		
Falta de lubricación																				

			longitudinales que le producen la circulación y transmiten esas fuerzas a la plataforma		por donde hay formación de holguras	Sobrecarga	bien las cajas y se rompen las cajas	soportes de las vías y sustitución de rodamientos y pinzas de sujeción del transfer																		
					MF-12-V.I-4																					
				Desgaste en los perfiles de las vías por donde se desplazan las ruedas		Sobreuso	El transfer no se centra, las ventosas no atrapan bien las cajas y se rompen las cajas	Sustituir las vías soterradas, limpiar los soportes de las vías y sustitución de rodamientos y pinzas de sujeción del transfer																		
						Sobrecarga																				
					Falta de lubricación					7	5	5	6	5	194,4	3	4	58,3	B	23,3						

Tabla 9. Diagrama de pérdida de función en el transfer

Subsistema: Cerradora de cajas + Impresora

Identificación		Fase de la operación	Funciones		Fallo					Controles actuales de fallo	Consecuencias					Gravedad	Frecuencia	Detección	I.C.	Crítica a d MF	NPR MF	I.C. CRITICIDAD ELEMENTO	NPR ELEMENTO
Id. Elemento	Elemento		Id. Función	Descripción	Fallo funcional	Id. Modo Fallo	Modo de fallo	Causa	Efecto		S	Pro	Cost	Cal	A								
1	Lector de código de barras lineal	E.I.	F1	Leer el código de las cajas	El lector no reconoce o confunde la matrícula de caja	MF-2-V.I-1	Fallo de lectura del código	Lector sucio	Las cajas son colocadas en un box diferente y no pueden ser distribuidas a su cliente correspondiente	Revisar el estado de los lectores, limpiarlos y eliminar algún objeto que existiese interfiriendo	0	5	0	3	2	63,1	3	7	18,9	C	13,251	56,8	39,8
								Contacto roto del lector															
								Existencia de algún obstáculo que impide su lectura															
			F2	Mandar la señal de la lectura del código de la caja al sistema SACDA	El sistema SCADA no reconoce la matrícula leída en su base de datos	MF-2-V.I-2	Fallo de lectura del código	la base de datos del sistema SCADA no esta actualizada	El sistema se para y saltan las alarmas por el fallo de lectura de las cajas	Actualizar la base de datos del sistema SCADA	0	5	0	3	2	63,1	3	7	18,9	C	13,251		
						MF-2-V.I-3	La señal del lector no es reconocida	la base de datos del sistema SCADA no	El sistema se para y saltan las alarmas por	Actualizar la base de datos del	0	5	0	3	2	63,1	3	7	18,9	C	13,251		

						a por la base de datos	esta actualizada	el fallo de lectura de las cajas	sistema SCADA																			
2	Cuchilla para cerradora de cajas	E.I.	F1	Cerrar las solapas superiores de la caja para aplicarle la cinta precintadora	Las solapas no se pueden cerrar correctamente	MF-3-V.I-1	La cuchilla no está bien ajustada a su soporte	Falta de ajuste o apriete La cuchilla está desgastada	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Revisar los soportes, limpiar, corregir holguras, engrasar y sustituir la cuchilla en caso necesario	2	3	3	3	2	87,20	1	4	8,7	C	3,5	26,2	11,3					
						MF-3-V.I-2	El cabezal de la cuchilla tiene holguras	Falta de ajuste o apriete	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Revisar los soportes, limpiar, corregir holguras, engrasar y sustituir la cuchilla en caso necesario	2	3	3	3	2	87,20	1	7	8,7	C	6,1							
						MF-3-V.I-3	La cuchilla provoca que la caja no se cierre bien y haya pérdidas de cinta	La cuchilla está desgastada	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Revisar los soportes, limpiar, corregir holguras, engrasar y sustituir la cuchilla en caso	2	3	3	3	2	87,20	1	2	8,7	C	1,7							

									necesario												
3	Correa de transporte lateral	E.I.	F1	Desplazar las cajas a través de unos rodillos por medio de fricción	Las cajas no son desplazadas por medio de la correa	MF-4-V.I-1	Eslabón roto	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	3	3	3	2	87,2	1	4	8,7	C	3,5
						MF-4-V.I-2	Correa partida	Desgaste y sobreuso	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	3	3	3	2	87,2	2	2	17,4	C	3,5
						MF-4-V.I-3	Tensión incorrecta de la correa/cadena	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	3	3	3	2	87,2	1	7	8,7	C	6,1
						MF-4-V.I-4	Alineación incorrecta	Defecto de montaje	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden	Sustituir el eslabón o	2	3	3	3	2	87,2	2	4	17,4	C	7,0
																		52,3			
																		20,1			

							ser cerradas correctamente	empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear																				
4	Motor de las cintas formadoras	E.I.	F1	Dar giro a la transmisión y a los rodillos	El motor funciona pero la transmisión no	MF-5-V.I-1	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y falta de lubricación	La formadora de cajas no puede cerrar las cajas correctamente	Sustituir la cadena o sustituir la reductora	2	3	3	3	2	87,20	1	2	8,7	C	1,7	34,9	15,7					
						MF-5-V.I-2	Fallo en el reductor	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y falta de lubricación	La formadora de cajas no puede cerrar las cajas correctamente	Sustituir la cadena o sustituir la reductora	2	3	3	3	2	87,2	1	7	8,7	C	6,1							
			F2	Dar giro a la reductora de la formadora de cajas	El motor funciona pero la reductora no	MF-5-V.I-4	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y falta de lubricación	La formadora de cajas no puede cerrar las cajas correctamente	Sustituir la cadena o sustituir la reductora	2	3	3	3	2	87,2	1	2	8,7	C	1,7							
						MF-5-V.I-5	Fallo en el reductor	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y	La formadora de cajas no puede cerrar las	Sustituir la cadena o sustituir la	2	3	3	3	2	87,2	1	7	8,7	C	6,1							

							falta de lubricación	cajas correctamente	reductora														
5	Cabezal de la impresora	E.I.	F1	Colocar la etiqueta en la correspondiente caja	El cabezal no aplica la suficiente presión para pegar la etiqueta a la caja	MF-6-V.I-1	El muelle guía del cabezal está desgastado	Mal ajuste y sobreuso	El cabezal no puede colocar la etiqueta en su correspondiente caja de forma autónoma	Revisar estado del cabezal, comprobar ajustes y sustituir en caso necesario	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7	13,4	7,4
						MF-6-V.I-2	El tornillo del cabezal está mal ajustado	Sobreuso Mal apriete	El cabezal no puede colocar la etiqueta en su correspondiente caja de forma autónoma	Revisar estado del cabezal, comprobar ajustes y sustituir en caso necesario	0	3	3	3	2	67,2	1	7	6,7	C	4,7		
6	Tensor de la cadena de la precintadora	E.I.	F1	Mantener la tensión de la cadena de distribución con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado	El tensor no mantiene la tensión adecuada y la cadena presenta holguras y las cajas no se cierran	MF-7-V.I-1	Formación de ruidos y chirridos constantes	Desgaste y sobreuso Falta de lubricación	El sistema de la correa no funcionará y comenzará a hacer mucho ruido	Controlar el paso de la cadena, y engrasar en caso necesario	0	3	3	3	2	67,2	3	4	20,2	C	8,1	40,3	22,2
						MF-7-V.I-2	Formación de holguras y falta de	Desgaste y sobreuso	El sistema de la correa no funcionará y	Controlar el paso de la cadena, y	0	3	3	3	2	67,2	3	7	20,2	C	14,1		

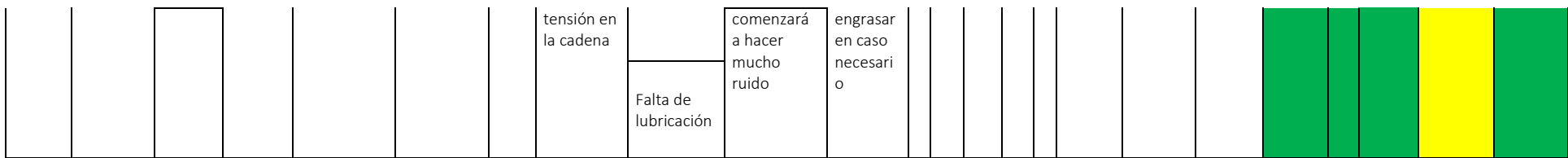


Tabla 10. Diagrama de pérdida de función en la etiquetadora y cerradora de cajas

Subsistema: PALETIZADOR

Identificación		Fase de la operación	Funciones		Fallo					Controles actuales de fallo	Consecuencias					Gravedad	Frecuencia	Detección	I.C.	Críticidad MF	NPR MF	I.C. CRITICIDAD ELEMENTO	NPR ELEMENTO
Id. Elemento	Elemento		Id. Función	Descripción	Fallo funcional	Id. Modo Fallo	Modo de fallo	Causa	Efecto		S	Pro	Cost	Cal	A								
1	Brazo cartesiano	E.I.	F1	Recoger las cajas llenas y colocarlas en los boxes de palets	El brazo cartesiano no puede desplazarse en movimiento horizontal, ni vertical de forma correcta	MF -1- V.I.-1	Correas desgastadas	Desgaste y sobreuso	Las cajas no son transportadas cogidas y se rompen	Sustituir correas, comprobar su estado tensional o alinear	0	3	3	3	2	67,2	6	4	40,3	B	16,13	136,28	63,18
						MF -1- V.I.-2	Detectores de posición no funcionan	Cableado incorrecto Suciedad en el sensor	Las cajas no son transportadas cogidas y se rompen	Sustituir por unos nuevos, comprobar cableado o limpiar	0	3	3	3	2	67,2	3	7	20,2	C	14,11		
						MF -1- V.I.-3	Motor no funciona	Sobrecalentamiento	Las cajas no son transportadas cogidas y se rompen	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	2	3	3	3	2	87,2	1	7	8,7	C	6,10		
								Sobretensión															
											2	3	3	3	2	87,2	6	4		A	20,9		

					MF -1- V.I- 4	Fallo de vacío	La bomba que ejerce vacío no funciona Escapes de aire presión para ejercer vacío	Las ventosas no pueden atrapar las cajas correctamente	Comprobar estado del circuito de aire a presión y el estado de la bomba										52,32				
				Las ventosas de vacío no atrapan las cajas	MF -1- V.I- 5	Ventosas desgastadas	Sobreuso y agrietamiento	Las ventosas no pueden atrapar las cajas correctamente	Comprobar estado de las ventosas y sustituir en caso necesario	0	0	0	3	2	24,60	6	4	14,76	C	5,90			
2	Motor	E.I.	F1	Dar giro a la transmisión	El motor funciona pero la transmisión no	MF -2- V.I- 1	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	2	8,7	C	1,7		
						MF -2- V.I- 2	Fallo del reductor	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	4	8,7	C	3,5		
			F2	Dar giro al reductor	El motor funciona pero el	MF -2- V.I- 3	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	2	8,7	C	1,7		
																					34,9	10,5	

					reductor no			y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma																											
						MF -2- V.I-4	Fallo del reductor	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	2	3	3	3	2	87,2	1	4	8,7	C	3,5														
3	Árbol motor	E.I.	F1	Girar el árbol motor	El árbol motor no gira	MF -3- V.I-1	Correa/ cadena de transmisión rota	Desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	2	5	3	3	2	102,60	3	2	30,8	B	6,2														
						MF -3- V.I-2	Cableado incorrecto	Conexiones internas erróneas o fases invertidas	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	2	5	3	3	2	102,60	1	10	10,3	C	10,3														

						MF-3-V.I-3	Motor quemado	Sobrecalentamiento, sobretensión o fusibles quemados	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	6	5	3	3	2	142,60	1	7	14,3	C	10,0		
4	Correa o cadena de accionamiento	E.I.	F1	Accionar el giro del motor para el movimiento del robot cartesiano	La correa o cadena de accionamiento de la máquina hace ruido	MF-4-V.I-1	Eslabón roto	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	5	3	3	2	102,6	1	4	10,3	C	4,1	61,6	24,4
						MF-4-V.I-2	Correa partida	Desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	0	5	3	3	2	82,6	2	2	16,5	C	3,3		
						MF-4-V.I-3	Tensión incorrecta de la correa/cadena	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	5	3	3	2	102,6	1	7	10,3	C	7,2		

							forma autónoma																
						MF-4-V.I-4	Alineación incorrecta	Defecto de montaje	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	5	3	3	2	122,6	2	4	24,5	C	9,8		
5	Cojinetes	E.I.	F1	Soportar el árbol del motor	Los cojinetes hacen ruido	MF-5-V.I-1	Cojinetes desgastados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,20	1	4	6,7	C	2,7	40,3	16,1
						MF-5-V.I-2	Cojinetes desalineados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7		
						MF-5-V.I-3	Cojinetes no lubricados	Ruidos inusuales durante el	El paletizador no puede desplazarse	Sustituir los cojinetes, controlar	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7		

						funcionamiento	y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	la instalación del cojinete, lubricar														
			F2	Reducir el rozamiento que se produce entre el eje y las piezas sobre las que rota el eje	Desgaste, corrosión por desgaste y deslizamiento	MF-5-V.I-4	Lubricante inadecuado	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7	
						MF-5-V.I-5	Falta de lubricante	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7	
						MF-5-V.I-6	Condiciones de operación en caliente	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	0	3	3	3	2	67,2	1	4	6,7	C	2,7	

6	Desviadores de cajas	E.I.	F1	Desplazar las cajas lateralmente le los railes de los transportes de rodillos al carril donde se acumulas para ser recogidas con el brazo cartesiano	Las cajas no efectúan el giro correctamente en los cambios de dirección en su transporte	MF-6-V.I-1	Los desviadores no actúan correctamente, torciéndose	Falta de lubricación y sobreuso	Las cajas no son desplazadas correctamente, amontonando cajas e incluso llegando a romperlas	Revisar periódicamente su funcionamiento y su lubricación	2	3	3	3	2	87,2	6	1	52,3	A	5,2	104,6	10,5
						MF-6-V.I-2	Las cajas se amontonan y se tuercen llegándose a romper	Falta de lubricación Sobreuso	Las cajas no son desplazadas correctamente, amontonando cajas e incluso llegando a romperlas	Revisar periódicamente su funcionamiento y su lubricación	2	3	3	3	2	87,2	6	1	52,3	A	5,2		
7	Rodillos	E.I.	F1	Desplazar las cajas	Las cajas no son transportadas	MF-7-V.I-1	Los rodillos están partidos o deteriorados	Las cajas no son transportadas debido al sobrepeso sobreuso o falta de lubricación	Las cajas no pueden ser transportadas	Requerir los servicios del fabricante para efectuar labores de sustitución de los rodillos	0	3	3	0	2	51	3	1	15,3	C	1,5	30,6	4,6
						MF-7-V.I-2	Los rodillos están partidos o deteriorados	Los rodillos no giran debido a un sobrepeso, sobreuso o	El rodillo no gira	Verificar si tiene suciedad y limpiar, verificar si tiene	0	3	3	0	2	51	3	2	15,3	C	3,1		

						MF-8-V.I.-3	El brazo cartesiano no se desplaza con suavidad	Desalineación excesiva Lubricación insuficiente Contaminación	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Engrase y lubricación y sustituir en caso necesario	0	3	3	3	2	67,2	3	2	20,2	C	4,0		
9	Detector inductivo de seguridad	E.I.	F1	Garantizar la seguridad de las personas detectando fallos de posicionamiento	No detectan un fallo de posicionamiento	MF-9-V.I.-1	El sensor no conmuta correctamente	Suciedad en el sensor Interferencias metálicas Contaminación del sensor	Comportamiento impredecible del equipo al leer mal el detector	Limpieza y comprobación de la cercanía de objetos metálicos cercanos	0	3	0	3	5	60,3	1	4	6,0	C	2,4	6,0	2,4
								Instalación del sensor enrasada															
10	Acoplamiento elástico	E.I.	F1	Transmitir el par del eje principal al secundario	El brazo del paletizador no se desplaza con	MF-10-V.I.-1	Desalineación de los ejes	Distorsiones en la máquina que producen desplazamientos	Desconcentricidad del eje que mueve el brazo del paletizador,	Limpieza, revisión de la carga aplicada al eje del	0	3	3	3	2	67,2	1	7	6,7	C	4,7	20,2	16,1

11	Patines de deslizamiento para paletizador	E.I.	F1	Pista por la cual el brazo del paletizador es desplazado desde un extremo a otro en los ejes x, z	El brazo del paletizador no desliza con suavidad, provocando ruidos y falta de suavidad de deslizamiento	MF - 11-V.I-1	Mal deslizamiento del brazo del paletizador	Acumulación de suciedad y falta de grasa o lubricante	Mal deslizamiento del brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales durante su funcionamiento	Lubricar con grasa, limpiar de suciedad y evitar sobrecargar de peso el brazo del paletizador	0	3	3	3	2	67,2	1	7	6,7	C	4,7	13,4	9,4
						MF - 11-V.I-2	Formación de holguras en las guías del patin	Sobreuso	Mal deslizamiento del brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales durante su funcionamiento	Lubricar con grasa, limpiar de suciedad y evitar sobrecargar de peso el brazo del paletizador	0	3	3	3	2	67,2	1	7	6,7	C	4,7		
12	Correas de accionamiento del eje cartesiano	E.I.	F1	Accionar el giro del motor para el movimiento del robot cartesiano	La correa o cadena de accionamiento de la máquina hace ruido	MF - 12-V.I-1	Eslabón roto	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	5	3	3	2	102,6	1	4	10,3	C	4,1	61,6	21,3
						MF - 12-V.I-2	Correa partida	Desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	0	5	3	3	2	82,6	2	2	16,5	C	3,3		

5.1.2 Resultado de los valores NPR y de riesgo obtenidos

Se han obtenido valores NPR distintos para cada modo de fallo, en función de la severidad, la detectabilidad y la frecuencia. Al decidir tomar como límite de criticidad el valor 50 de cada fallo estudiado, aquellos cuyo valor NPR sea superior a este, se evaluarán y se les aplicará una tarea de mantenimiento, con la finalidad de mitigar este valor para que no supere el límite asignado.

Sin embargo, tras analizar el FMECA, nos hemos dado cuenta que nos salen valores de NPR muy bajos, debido a que los criterios inicialmente planteados no están del todo depurados, o que los límites de corte planteados con niveles de exigencia son muy altos.

Primero, comenzaremos analizando los valores NPR de los fallos del subsistema transfer. Hemos obtenido 9 fallos que están por encima del resto, pero ninguno sobrepasa el valor límite NPR asignado:

- Fallo de vacío en las ventosas del ascensor del transfer. **NPR = 20,9**
- Fallo de recogida de cajas por lectura de encoders. **NPR = 25,5**
- Fallo en el movimiento del ascensor del transfer por lectura de encoders. **NPR = 25,5**
- Desacoplamiento de las pinzas de los frenos del transfer por holguras. **NPR = 23,3**
- Desgaste de los perfiles de las vías soterradas del transfer. **NPR = 23,3**
- Rotura de los dientes de los piñones por pérdida de aceite en la reductora del motor. **NPR = 18,3**
- Ruidos inusuales y vibraciones en la reductora del motor. **NPR = 18,3**
- Salto de la cadena en los piñones. **NPR = 18,3**
- Desgaste de correas en el ascensor del transfer. **NPR = 16,3**

Después, hemos analizado los valores NPR en la cerradora de cajas y etiquetadora y solo hemos encontrado 1 fallo que resalte por encima del resto:

- Formación de holguras y falta de tensión en la cadena de la precintadora de cajas. **NPR = 14,1**

Por último, analizamos los valores NPR de los fallos en el subsistema paletizador y hemos encontrado 3 fallos que están por encima del resto, pero ninguno sobrepasa el valor límite NPR asignado:

- Fallo de vacío en las ventosas del brazo cartesiano. **NPR = 20,9**
- Desgaste de correas del brazo cartesiano. **NPR = 16,3**
- Fallo de funcionamiento de los detectores de posición del brazo cartesiano. **NPR = 14,11**

Matriz de Riesgo		NPR	
		min	máx
RIESGO	ALTO	50	100
	MEDIO	20	50
	BAJO	0	20

Tabla 12. Matriz de riesgo 2

Observando la matriz de riesgo, podemos afirmar que todos los modos de fallo anteriormente mencionados, poseerán un valor de riesgo medio-bajo, debido a que tiene un valor de NPR por encima de 20 y por debajo de 50.

5.1.3 Reasignación de valores a modos de fallo

Finalmente, tras lo mencionado al inicio del apartado 5.2 del capítulo, debido a que los criterios inicialmente planteados no están del todo depurados, o poseen límites de corte con niveles de exigencia muy altos, entonces debemos hacer una nueva valoración de los valores NPR, modificando los valores asignados a los modos de fallo o las consecuencias de los fallos.

Las tablas creadas están hechas siguiendo los criterios establecidos para todos los equipos de la planta, entonces como conclusión, vemos que los fallos no producen NPR muy altos.

Por lo tanto, ahora plantearemos rehacer las tablas para el análisis FMECA realizando una nueva valoración de los modos de fallo.

Comenzaremos modificando los valores asignados a la matriz de detección en función de la frecuencia del fallo:

CATEGORIAS EN LAS QUE SE DIVIDE LA FRECUENCIA DEL FALLO		
Categoría	Descripción	Valor
Inviabile	La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales.	10
Difícil	La detección entraña riesgos de no acertar, se necesitan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo.	8
Posible	La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o tardar algún tiempo en diagnosticar definitivamente.	6
Certero	La detección es prácticamente certera. Probablemente podrá verla algún técnico u operario especializado.	4
Seguro	No hay ninguna duda de que el posible problema será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad.	2

Tabla 13. Detección de fallo modificada

Después, modificaremos los valores asignados a la matriz de consecuencias sobre las categorías en las que se dividen las consecuencias de los fallos en función del criterio asignado:

Categoría	Criterio	Valoración
Seguridad	Se afecta la integridad del sistema, al resto de equipos o producir lesiones al personal que se encuentre operando	10
	Afecta a parte de los equipos o puede producir lesiones a personas que se encuentren operando	8
	Puede afectar a alguno de los equipos o producir lesiones leves a personas que se encuentren operando	7

	Se producen daños que no son reparables y afectarían a la seguridad si se produjese un fallo en otro sistema	6
	Se producen daños que son reparables y afectarían a la seguridad si se produjese un fallo en otro sistema	4
	No afecta a ningún aspecto de seguridad	2
Producción	Afecta a la capacidad total de producción de la fábrica	10
	Pueden estar implicados varios equipos y afecta a la capacidad parcial de producción	7
	Uno de los equipos afecta a una pequeña parte de la producción	4
	No afecta a ningún aspecto de producción	2
Coste de reparación	El coste de reparación requiere una gran inversión de dinero para la empresa	8
	El coste de la reparación puede ser asumido y resuelto con solvencia por la empresa	5
	No afecta a ningún coste de reparación	3
Calidad	Afecta a la calidad total del sistema	9
	Afecta a un equipo de la calidad del sistema	5
	No afecta a la calidad del sistema	3
Autonomía	El sistema no puede funcionar con total autonomía, requiriendo el uso manual del personal para realizar las operaciones	8
	Alguno de los equipos del sistema no puede funcionar con total autonomía	4
	El sistema puede funcionar con total autonomía	2

Tabla 14. Categoría en las que se dividen las consecuencias de los fallos en función del criterio asignado modificada

Ahora volveremos a desarrollar todas las partes implicadas en el análisis de los fallos para los equipos implicados en el estudio del RCM.

Cada función del equipo, tendrá su pérdida de función asignada, y a su vez, cada pérdida de función tendrá varios fallos que la originen. Realizaremos entonces el análisis y la evaluación de cada fallo, marcando los valores que estén por encima de 50 del NPR.

Subsistema: TRANSFER

Identificación		Fase de la operación	Funciones		Fallo				Controles actuales de fallo	Consecuencias					Gravedad	Frecuencia	Detección	I.C.	Crítica de MF	NPR MF	I.C. CRITICIDAD ELEMENTO	NPR ELEMENTO	
Id. Elemento	Elemento		Id. Función	Descripción	Fallo funcional	Id. Modo de Fallo	Modo de fallo	Causa		Efecto	S	Pr	Co	Cost									Cal
1	Ascensor del transfer	E.I.	F1	Recoger las cajas llenas de los finales de línea y dejar las cajas vacías en los finales de línea	El ascensor no puede desplazarse en movimiento horizontal, ni vertical de forma correcta	MF-1-V.I.-1	Correas desgastadas	Desgaste y sobreuso	Las cajas no son transportadas correctamente y se rompen	Sustituir correas, comprobar su estado tensional o alinear	2	4	5	5	4	127,1	6	6	76,3	A	45,76	276,58	164,67
						MF-1-V.I.-2	Detectores de posición no funcionan	Cableado incorrecto Suciedad en el sensor	Las cajas no son transportadas correctamente y se rompen	Sustituir por unos nuevos, comprobar cableado o limpiar	2	4	5	5	4	127,1	3	8	38,1	B	30,50		
						MF-1-V.I.-3	Motor no funciona	Sobrecalentamiento Sobretensión Fusibles quemados	Las cajas no son transportadas correctamente y se rompen	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	4	4	5	5	4	147,1	1	8	14,7	C	11,77		

					MF-1-V.I-4	Fallo de vacío	La bomba que ejerce vacío no funciona Escape de aire presión para ejercer vacío	Las ventosas no pueden atrapar las cajas y empujarlas correctamente	Comprobar estado del circuito de aire a presión y el estado de la bomba	4	4	5	5	4	147,1	6	6	88,26	A	52,96			
				Las ventosas de vacío no atrapan las cajas	MF-1-V.I-5	Ventosas desgastadas	Sobreuso y agrietamiento	Las ventosas no pueden atrapar las cajas y empujarlas correctamente	Comprobar estado de las ventosas y sustituir en caso necesario	2	2	3	5	4	98,70	6	4	59,22	A	23,69			
2	Motor	E.I.	F1	Dar giro a la transmisión	El motor funciona pero la transmisión no	MF-2-V.I-1	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	4	4	5	5	4	147,1	1	4	14,7	C	5,9		
			F2	Dar giro al reductor	El motor funciona pero el	MF-2-V.I-2	Fallo del reductor	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	4	4	5	5	4	147,1	1	6	14,7	C	8,8	58,8	29,4
						MF-2-V.I-1	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales,	El transfer no puede desplazarse	Sustituir la cadena, sustituir	4	4	5	5	4	147,1	1	4	14,7	C	5,9		

						MF-4-V.I-3	Tensión incorrecta de la correa/cadena	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	7	5	5	4	170,2	1	6	17,0	C	10,2		
						MF-4-V.I-4	Alineación incorrecta	Defecto de montaje	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	6	7	5	5	4	190,2	2	6	38,0	C	22,8		
5	Cojinetes	E.I.	F1	Soportar el árbol del motor	Los cojinetes hacen ruido	MF-5-V.I-1	Cojinetes desgastados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,10	1	8	12,7	C	10,2		
						MF-5-V.I-2	Cojinetes desalineados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	8	12,7	C	10,2		
																						76,3	53,4

				MF-5-V.I-3	Cojinetes no lubricados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	8	12,7	C	10,2		
				MF-5-V.I-4	Lubricante inadecuado	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		
				MF-5-V.I-5	Falta de lubricante	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		
				MF-5-V.I-6	Condiciones de operación en caliente	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El transfer no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		
	F2	Reducir el rozamiento que se produce entre el eje y las piezas sobre las que rota el eje	Desgaste, corrosión por desgaste y deslizamiento																		

6	Rodillos	E.I.	F1	Desplazar las cajas	Las cajas no son transportadas	MF-6-V.I.-1	Los rodillos están partidos o deteriorados	Las cajas no son transportadas debido al sobrepeso, sobreuso o falta de lubricación	Las cajas no pueden ser transportadas	Requerir los servicios del fabricante para efectuar labores de sustitución de los rodillos	2	4	5	5	4	127,1	3	6	38,1	B	22,9	76,3	45,8
						MF-6-V.I.-2	Los rodillos están partidos o deteriorados	Los rodillos no giran debido a un sobrepeso, sobreuso o falta de lubricación	El rodillo no gira	Verificar si tiene suciedad y limpiar, verificar si tiene algún obstáculo que impida su giro, verificar cazoletas y reemplazar si están dañadas, cambiar rodillos, verificar piñones y cambiar si están en mal estado	2	4	5	5	4	127,1	3	6	38,1	B	22,9		
7	Cadenas	E.I.	F1	Transmitir el giro a		MF-7-		Existencia de obstáculos	Las cajas no son	Verificar si hay	4	4	5	3	4	116,3	3	8	34,9	B	27,9	104,7	76,8

				los rodillos		V.I-1	La cadena salta en piñones	Tensión incorrecta en la cadena	transportadas correctamente	obstáculos y quitar, verificar tensión y tensar/destensar																														
					La cadena da saltos	MF-7-V.I-2	Dientes de los piñones en mal estado	Mal engrase, sobreuse o falta de engrase	Las cajas no son transportadas correctamente	Sustituir cadena o piñones, tensar cadena, verificar dientes en los piñones y si están en mal estado cambiar, verificar alineación y ajustar	2	4	5	3	4	116,3	3	8	34,9	B	27,9																			
						MF-7-V.I-3	Cadena mal alineada	Mal alineada a la hora de su montaje	Las cajas no son transportadas correctamente	Sustituir cadena o piñones, tensar cadena, verificar dientes en los piñones y si están en mal estado cambiar, verificar	2	4	5	3	4	116,3	3	6	34,9	B	20,9																			

									alineación y ajustar														
8	Frenos de cajas salida de línea	E.I.	F1	Frenar las cajas para que no se vuelquen, cuando la bancada vibratoria está funcionan do	Los frenos no actúan, atrancán dose y evitando que las cajas se vuelquen	MF- 8- V.I- 1	Las electoválv ulas que los accionan no funcionan	Pérdida de aire comprimido	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Sustituir las electoválv vulas, pistones o cilindros, y en su caso limpiarlos en caso de que tengan suciedad obstruida	2	4	5	5	4	127,1	3	6	38,1	B	22,9		
							El pistón no se acciona																
							El cilindro no se desliza																
						MF- 8- V.I- 2	La instalació n de aire comprimi do no tiene suficiente presión	Pérdida de aire en algún conducto	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Sanear el sistema de aire comprimi do	2	7	5	5	4	150,2	1	6	15,0	C	9,0	101,6	72,7
								Obstrucción de algún conducto de aire															
MF- 8- V.I- 3	Los visores o sensores de cambio de caja no funcionan	Cableado incorrecto	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Limpiar o sustituir los visores en caso de que éstos no funcionen	2	4	5	5	4	127,1	3	8	38,1	B	30,5								
		Suciedad en el visor																					
MF- 8- V.I- 4	Fallo en programa de lectura de pistolas de	El sensor no lee bien la matrícula	El freno no actúa sobre las cajas y éstas son volcadas	Sustituir los PLC que conectan las pistolas lectoras	2	2	5	5	2	103,3	1	10	10,3	C	10,3								
		Suciedad en los sensores de las pistolas																					

					V.I-2	transfer no para en el final de carrera	Sensor sucio	desplaza correctamente porque no se para en el final de carrera y las cajas no pueden llegar a su lugar correspondiente	r conexión del circuito, comprobar que lee la señal correctamente o sustituir en caso necesario															
					MF-10-V.I-3	El transfer se choca en el final de línea	Sensor dañado Sensor sucio Malas lecturas del sensor	Los sensores de posición del transfer no actúan correctamente y el transfer no se para en el final de línea correspondiente y puede estrellarse en el final de la línea	Limpiar sensor, comprobar conexión del circuito, comprobar que lee la señal correctamente o sustituir en caso necesario	8	4	5	5	8	203,9	6	2	122,3	A	24,5				
11	Bandeja vibratoria	E.I.	F1	Soportar y hacer vibrar las cajas en los finales de línea para que las tapaderas se	MF-11-V.I-1	Silentblocks rotos	Sobreuso Agrietamiento Ruidos inusuales	La bandeja no vibra y las tapaderas de amontonan en un mismo punto de la caja,	Sustituir los silentblocks	2	4	5	3	2	107,9	3	8	32,4	B	25,9	79,9	61,5		

				distribuyan a lo largo de su volumen			provocando que se caigan al suelo																	
						MF-11-V.I-2	Motor vibratorio no funciona	Fallo de conexión Ruidos inusuales Desgaste Sobreuso	La bandeja no vibra y las tapaderas de amontonan en un mismo punto de la caja, provocando que se caigan al suelo	Lubricar el motor, comprobar las conexiones y sustituir en caso necesario	2	4	5	5	2	118,7	1	6	11,9	C	7,1			
						MF-11-V.I-3	Muelles desgastados	Ruidos inusuales Falta de grasa	La bandeja no vibra y las tapaderas de amontonan en un mismo punto de la caja, provocando que se caigan al suelo	Engrasar muelles y sustituir en caso necesario	2	4	5	5	2	118,7	3	8	35,6	B	28,5			
12	Vías soterradas	E.I.	F1	Guiar al transfer evitando que descarrile	Desviación del transfer y rotura de cajas	MF-12-V.I-1	Las pinzas de sujeción del transfer se desacoplan por donde hay	Sobreuso Falta de lubricación	El transfer no se centra, las ventosas no atrapan bien las cajas y se rompen las cajas	Sustituir las vías soterradas, limpiar los soportes de las vías y sustituir	8	7	8	9	8	268,1	3	6	80,4	A	48,3	321,7	193,0	

				formación de holguras	Sobrecarga		n de rodamientos y pinzas de sujeción del transfer																		
				Desgaste en los perfiles de las vías por donde se desplazan las ruedas	Sobreuso	El transfer no se centra, las ventosas no atrapan bien las cajas y se rompen las cajas	Sustituir las vías soterradas, limpiar los soportes de las vías y sustitución de rodamientos y pinzas de sujeción del transfer	8	7	8	9	8	268,1	3	6	80,4	A	48,3							
			Sobrecarga																						
			Falta de lubricación																						
	F2	Soportar las fuerzas verticales, horizontales y longitudinales que le producen la circulación y transmitir esas fuerzas a la plataforma	Desviación del transfer y rotura de cajas	Las pinzas de sujeción del transfer se desacoplan por donde hay formación de holguras	Sobreuso	El transfer no se centra, las ventosas no atrapan bien las cajas y se rompen las cajas	Sustituir las vías soterradas, limpiar los soportes de las vías y sustitución de rodamientos y pinzas de sujeción del transfer	8	7	8	9	8	268,1	3	6	80,4	A	48,3							
																									Falta de lubricación
																									Sobrecarga
																									MF-12-V.I-3
				Desgaste en los	Sobreuso	El transfer no se	Sustituir las vías	8	7	8	9	8	268,1	3	6	80,4	A	48,3							

				matrícula de caja			Existencia de algún obstáculo que impide su lectura	ser distribuidas a su cliente correspondiente	eliminar algún objeto que existiese interfiriendo																	
			F2	Mandar la señal de la lectura del código de la caja al sistema SACDA	El sistema SCADA no reconoce la matrícula leída en su base de datos	MF-2-V.I-2	Fallo de lectura del código	la base de datos del sistema SCADA no está actualizada	El sistema se para y saltan las alarmas por el fallo de lectura de las cajas	Actualizar la base de datos del sistema SCADA	2	7	3	5	4	137,2	3	8	41,2	B	32,9					
					La matrícula leída en su base de datos	MF-2-V.I-3	La señal del lector no es reconocida por la base de datos	la base de datos del sistema SCADA no está actualizada	El sistema se para y saltan las alarmas por el fallo de lectura de las cajas	Actualizar la base de datos del sistema SCADA	2	7	3	5	4	137,2	3	8	41,2	B	32,9					
2	Cuchilla para cerradora de cajas	E.I.	F1	Cerrar las solapas superiores de la caja para aplicarle la cinta precintadora	Las solapas no se pueden cerrar correctamente	MF-3-V.I-1	La cuchilla no está bien ajustada a su soporte	Falta de ajuste o apriete La cuchilla está desgastada	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Revisar los soportes, limpiar, corregir holguras, engrasar y sustituir la cuchilla en caso necesario	4	4	5	5	4	147,10	1	6	14,7	C	8,8	44,1	26,5			

						MF-3-V.I-2	El cabezal de la cuchilla tiene holguras	Falta de ajuste o apriete	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Revisar los soportes, limpiar, corregir holguras, engrasar y sustituir la cuchilla en caso necesario	4	4	5	5	4	147,10	1	8	14,7	C	11,8		
						MF-3-V.I-3	La cuchilla provoca que la caja no se cierre bien y haya pérdidas de cinta	La cuchilla está desgastada	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Revisar los soportes, limpiar, corregir holguras, engrasar y sustituir la cuchilla en caso necesario	4	4	5	5	4	147,10	1	4	14,7	C	5,9		
3	Correa de transporte lateral	E.I.	F1	Desplazar las cajas a través de unos rodillos por medio de fricción	Las cajas no son desplazadas por medio de la correa	MF-4-V.I-1	Eslabón roto	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	4	5	5	4	147,1	1	4	14,7	C	5,9	88,3	47,1

						MF-4-V.I-2	Correa partida	Desgaste y sobreuso	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	4	5	5	4	147,1	2	4	29,4	C	11,8		
						MF-4-V.I-3	Tensión incorrecta de la correa/cadena	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	4	5	5	4	147,1	1	8	14,7	C	11,8		
						MF-4-V.I-4	Alineación incorrecta	Defecto de montaje	Las cajas no pueden desplazarse y no pueden ser cerradas correctamente	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	4	5	5	4	147,1	2	6	29,4	C	17,7		
4	Motor de las cintas formadoras	E.I.	F1	Dar giro a la transmisión y a los rodillos	El motor funciona pero la transmisión no	MF-5-V.I-1	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y falta de lubricación	La formadora de cajas no puede cerrar las cajas	Sustituir la cadena o sustituir la reductora	4	4	5	5	4	147,10	1	4	14,7	C	5,9	58,8	35,3

							correctamente												
				MF-5-V.I-2	Fallo en el reductor	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y falta de lubricación	La formadora de cajas no puede cerrar las cajas correctamente	Sustituir la cadena o sustituir la reductora	4	4	5	5	4	147,1	1	8	14,7	C	11,8
				MF-5-V.I-4	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y falta de lubricación	La formadora de cajas no puede cerrar las cajas correctamente	Sustituir la cadena o sustituir la reductora	4	4	5	5	4	147,1	1	4	14,7	C	5,9
		F2	Dar giro a la reductora de la formadora de cajas		El motor funciona pero la reductora no														
				MF-5-V.I-5	Fallo en el reductor	Ruidos inusuales, desgaste, sobreuso y falta de lubricación	La formadora de cajas no puede cerrar las cajas correctamente	Sustituir la cadena o sustituir la reductora	4	4	5	5	4	147,1	1	8	14,7	C	11,8

5	Cabezal de la impresora	E.I.	F1	Colocar la etiqueta en la correspondiente caja	El cabezal no aplica la suficiente presión para pegar la etiqueta a la caja	MF-6-V.I-1	El muelle guía del cabezal está desgastado	Mal ajuste y sobreuso	El cabezal no puede colocar la etiqueta en su correspondiente caja de forma autónoma	Revisar estado del cabezal, comprobar ajustes y sustituir en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6	25,4	17,8
						MF-6-V.I-2	El tornillo del cabezal está mal ajustado	Sobreuso Mal apriete	El cabezal no puede colocar la etiqueta en su correspondiente caja de forma autónoma	Revisar estado del cabezal, comprobar ajustes y sustituir en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	1	8	12,7	C	10,2		
6	Tensor de la cadena de la precintadora	E.I.	F1	Mantener la tensión de la cadena de distribución con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado	El tensor no mantiene la tensión adecuada y la cadena presenta holguras y las cajas no se cierran	MF-7-V.I-1	Formación de ruidos y chirridos constantes	Desgaste y sobreuso	El sistema de la correa no funcionará y comenzará a hacer mucho ruido	Controlar el paso de la cadena, y engrasar en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	3	6	38,1	B	22,9	76,3	53,4
						MF-7-V.I-2		Formación de holguras y falta de tensión en la cadena			Desgaste y sobreuso	El sistema de la correa no funcionará y comenzará a hacer	Controlar el paso de la cadena, y engrasar en caso	2	4	5	5	4	127,1	3	8		

						MF-1-V.I-3	Motor no funciona	Sobre calentamiento	Las cajas no son transportadas cogidas y se rompen	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	4	4	5	5	4	147,1	1	8	14,7	C	11,77		
								Sobretensión															
								Fusibles quemados															
Las ventosas de vacío no atrapan las cajas					MF-1-V.I-4	Fallo de vacío	La bomba que ejerce vacío no funciona	Las ventosas no pueden atrapar las cajas correctamente	Comprobar estado del circuito de aire a presión y el estado de la bomba	4	4	5	5	4	147,1	6	6	88,26	A	53,0			
							Escape de aire presión para ejercer vacío																
							MF-1-V.I-5	Ventosas desgastadas	Sobreuso y agrietamiento	Las ventosas no pueden atrapar las cajas correctamente	Comprobar estado de las ventosas y sustituir en caso necesario	2	2	3	5	4	98,70	6	6	59,22	A	35,53	
2	Motor	E.I.	F1	Dar giro a la transmisión	El motor funciona pero la transmisión no	MF-2-V.I-1	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	4	4	5	5	4	147,1	1	4	14,7	C	5,9	58,8	29,4

						MF-2-V.I-2	Fallo del reductor	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor																	
			F2	Dar giro al reductor	El motor funciona pero el reductor no	MF-2-V.I-3	Cadena de transmisión rota	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	4	4	5	5	4	147,1	1	4	14,7	C	5,9						
						MF-2-V.I-4	Fallo del reductor	Ruidos inusuales, desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir la cadena, sustituir el reductor	4	4	5	5	4	147,1	1	6	14,7	C	8,8						
3	Árbol motor	E.I.	F1	Girar el árbol motor	El árbol motor no gira	MF-3-V.I-1	Correa/cadena de transmisión rota	Desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componen	4	7	5	5	4	170,20	3	4	51,1	B	20,4	88,1				53,5	

									tes rotos o dañados														
						MF-3-V.I-2	Cableado incorrecto	Conexiones internas erróneas o fases invertidas	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	4	7	5	5	4	170,20	1	10	17,0	C	17,0		
						MF-3-V.I-3	Motor quemado	Sobrecalentamiento, sobretensión o fusibles quemados	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Controlar la centralita de mandos, reparar el cableado, reparar o sustituir los componentes rotos o dañados	7	7	5	5	4	200,20	1	8	20,0	C	16,0		
4	Correa o cadena de accionamiento	E.I.	F1	Accionar el giro del motor para el movimiento del robot cartesiano	La correa o cadena de accionamiento de la máquina hace ruido	MF-4-V.I-1	Eslabón roto	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	7	5	5	4	170,2	1	6	17,0	C	10,2	102,1	58,7

						MF-4-V.I-2	Correa partida	Desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	7	5	5	4	150,2	2	4	30,0	C	12,0		
						MF-4-V.I-3	Tensión incorrecta de la correa/cadena	Defecto de montaje o mantenimiento o inadecuado	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	7	5	5	4	170,2	1	8	17,0	C	13,6		
						MF-4-V.I-4	Alineación incorrecta	Defecto de montaje	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	6	7	5	5	4	190,2	2	6	38,0	C	22,8		
5	Cojinetes	E.I.	F1	Soportar el árbol del motor	Los cojinetes hacen ruido	MF-5-V.I-1	Cojinetes desgastados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,10	1	6	12,7	C	7,6	76,3	45,8

					MF-5-V.I-2	Cojinetes desalineados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		
					MF-5-V.I-3	Cojinetes no lubricados	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		
					MF-5-V.I-4	Lubricante inadecuado	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		
				F2		Reducir el rozamiento que se produce entre el eje y las piezas sobre las que rota el eje	Desgaste, corrosión por desgaste y deslizamiento															
					MF-5-V.I-5	Falta de lubricante	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		

						MF-5-V.I-6	Condiciones de operación en caliente	Ruidos inusuales durante el funcionamiento	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir los cojinetes, controlar la instalación del cojinete, lubricar	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6		
6	Desviadores de cajas	E.I.	F1	Desplazar las cajas lateralmente los railes de los transportes de rodillos al carril donde se acumulas para ser recogidas con el brazo cartesiano	Las cajas no efectúan el giro correctamente en los cambios de dirección en su transporte	MF-6-V.I-1	Los desviadores no actúan correctamente, torciéndose	Falta de lubricación y sobreuso	Las cajas no son desplazadas correctamente, amontonando o cajas e incluso llegando a romperlas	Revisar periódicamente su funcionamiento y su lubricación	4	4	5	5	4	147,1	6	2	88,3	A	17,7	176,5	35,3
						MF-6-V.I-2	Las cajas se amontonan y se tuercen llegando a romper	Falta de lubricación Sobreuso	Las cajas no son desplazadas correctamente, amontonando o cajas e incluso llegando a romperlas	Revisar periódicamente su funcionamiento y su lubricación	4	4	5	5	4	147,1	6	2	88,3	A	17,7		
7	Rodillos	E.I.	F1	Desplazar las cajas	Las cajas no son transportadas	MF-7-V.I-1	Los rodillos están partidos o deteriorados	Las cajas no son transportadas debido al sobrepeso, sobreuso o falta de lubricación	Las cajas no pueden ser transportadas	Requerir los servicios del fabricante para efectuar labores de sustitución de los rodillos	2	4	5	3	4	116,3	3	2	34,9	B	7,0	69,8	20,9

						MF-7-V.I-2	Los rodillos están partidos o deteriorados o lubricación	Los rodillos no giran debido a un sobrepeso, sobreeso o falta de lubricación	El rodillo no gira	Verificar si tiene suciedad y limpiar, verificar si tiene algún obstáculo que impida su giro, verificar cazoletas y reemplazar si están dañadas, cambiar rodillos, verificar piñones y cambiar si están en mal estado	2	4	5	3	4	116,3	3	4	34,9	B	14,0						
8	Rodamientos y guías lineales	E.I.	F1	Desplazar el brazo cartesiano a través de los raíles con correas, para posicionarse y coger las cajas	El brazo cartesiano no puede desplazarse e en movimiento horizontal, ni vertical (ejes x, y, z) de forma correcta	MF-8-V.I-1	Los rodamientos hacen ruido y se desescaman	Desalineación excesiva	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Engrase y lubricación y sustituir en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	3	6	38,1	B	22,9	89,0	45,8				
								Lubricación insuficiente																			
								Contaminación																			
						MF-8-V.I-2	Las guías lineales hacen ruido y se desescaman	Desalineación excesiva	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de	Engrase y lubricación y sustituir en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	1	6	12,7	C	7,6						
								Lubricación insuficiente																			

							Contaminación	forma autónoma																		
						MF-8-V.I-3	El brazo cartesiano no se desplaza con suavidad	Desalineación excesiva	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Engrase y lubricación y sustituir en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	3	4	38,1	B	15,3					
								Lubricación insuficiente																		
								Contaminación																		
9	Detector inductivo de seguridad	E.I.	F1	Garantizar la seguridad de las personas detectando fallos de posicionamiento	No detectan un fallo de posicionamiento	MF-9-V.I-1	El sensor no conmuta correctamente	Suciedad en el sensor	Comportamiento impredecible del equipo al leer mal el detector	Limpieza y comprobación de la cercanía de objetos metálicos cercanos	2	4	3	5	8	130,9	1	6	13,1	C	7,9	13,1	7,9			
							Interferencias metálicas																			
							Contaminación del sensor																			
							Instalación del sensor enrasada																			
10		E.I.	F1	Transmitir el par del	El brazo del paletizador	MF-10-		Distorsiones en la máquina	Desconcentricidad del	Limpieza, revisión de	2	4	5	5	4	127,1	1	8	12,7	C	10,2	38,1	33,0			

Acoplamiento elástico		eje principal al secundario	no se desliza con suavidad y provoca desgastes en los ejes y rodamientos y la formación de ruidos	V.I-1	Desalienación de los ejes	que producen desplazamientos	eje que mueve el brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales y sobredegaste	la carga aplicada al eje del brazo del paletizador, engrase, lubricación y sustitución en caso necesario													
				MF-10-V.I-2	Falla prematura del acoplamiento	Excesiva vibración	Desconcentricidad del eje que mueve el brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales y sobredegaste	Limpieza, revisión de la carga aplicada al eje del brazo del paletizador, engrase, lubricación y sustitución en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	1	8	12,7	C	10,2		
						Alta temperatura	Desconcentricidad del eje que mueve el brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales y sobredegaste	Limpieza, revisión de la carga aplicada al eje del brazo del paletizador, engrase, lubricación y sustitución en caso necesario													
				MF-10-V.I-3	Falta de concentricidad de los ejes	Desviación radial del eje por sobreuso	Desconcentricidad del eje que mueve el brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales y sobredegaste	Limpieza, revisión de la carga aplicada al eje del brazo del paletizador, engrase, lubricación y sustitución en caso necesario	2	4	5	5	4	127,1	1	10	12,7	C	12,7		
						Excesiva vibración	Desconcentricidad del eje que mueve el brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales y sobredegaste	Limpieza, revisión de la carga aplicada al eje del brazo del paletizador, engrase, lubricación y sustitución en caso necesario													

11	Patines de deslizamiento para paletizador	E.I.	F1	Pista por la cual el brazo del paletizador es desplazado desde un extremo a otro en los ejes x, z	El brazo del paletizador no desliza con suavidad, provocando ruidos y falta de suavidad de deslizamiento	MF-11-V.I-1	Mal deslizamiento del brazo del paletizador	Acumulación de suciedad y falta de grasa o lubricante	Mal deslizamiento del brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales durante su funcionamiento	Lubricar con grasa, limpiar de suciedad y evitar sobrecargar de peso el brazo del paletizador	2	4	5	5	4	127,1	1	8	12,7	C	10,2	25,4	20,3
						MF-11-V.I-2	Formación de holguras en las guías del patin	Sobreuso Falta de engrase o lubricación	Mal deslizamiento del brazo del paletizador, provocando ruidos inusuales durante su funcionamiento	Lubricar con grasa, limpiar de suciedad y evitar sobrecargar de peso el brazo del paletizador	2	4	5	5	4	127,1	1	8	12,7	C	10,2		
12	Correas de accionamiento del eje cartesiano	E.I.	F1	Accionar el giro del motor para el movimiento del robot cartesiano	La correa o cadena de accionamiento de la máquina hace ruido	MF-12-V.I-1	Eslabón roto	Defecto de montaje o mantenimiento inadecuado	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	4	7	5	5	4	170,2	1	6	17,0	C	10,2	102,1	55,3
						MF-12-V.I-2	Correa partida	Desgaste y sobreuso	El paletizador no puede desplazarse y no pueden ser distribuidas las cajas de forma autónoma	Sustituir el eslabón o empalmar o sustituir la correa, corregir la tensión y alinear	2	7	5	5	4	150,2	2	4	30,0	C	12,0		

5.1.3.1 Resultado de los valores NPR y de riesgo obtenidos tras modificación

Se han obtenido valores NPR distintos para cada modo de fallo, en función de la severidad, la detectabilidad y la frecuencia. Al decidir tomar como límite de criticidad el valor 50 de cada fallo estudiado, aquellos cuyo valor NPR sea superior a este, se evaluarán y se les aplicará una tarea de mantenimiento, con la finalidad de mitigar este valor para que no supere el límite asignado.

Primero, comenzaremos analizando los valores NPR de los fallos del subsistema transfer. Hemos obtenido 3 fallos que sobrepasan el valor del límite NPR asignado:

- Fallo de vacío en las ventosas del ascensor del transfer. **NPR = 52,9**
- Fallo de recogida de cajas por lectura de encoders. **NPR = 61**
- Fallo en el movimiento del ascensor del transfer por lectura de encoders. **NPR = 61**

Después, hemos analizado los valores NPR en la cerradora de cajas y etiquetadora y no hemos encontrado ningún fallo que sobrepase el valor límite de 50.

Por último, analizamos los valores NPR de los fallos en el subsistema paletizador y hemos encontrado un solo fallo que están por encima del valor límite NPR asignado:

- Fallo de vacío en las ventosas del brazo cartesiano. **NPR = 53**

Matriz de Riesgo		NPR	
		min	máx
RIESGO	ALTO	50	100
	MEDIO	20	50
	BAJO	0	20

Tabla 18. Matriz de riesgo 3

Observando la matriz de riesgo, podemos afirmar que todos los modos de fallo anteriormente mencionados, poseerán un valor de riesgo alto, debido a que tiene un valor de NPR por encima de 50.

5.1.4 Matrices de criticidad

Ahora vamos a completar las matrices de criticidad de los modos de fallo de cada uno de los elementos de los equipos que componen el sistema. Haremos la matriz de criticidad para el transfer, la cerradora de cajas + la etiquetadora y el paletizador.

Matriz de criticidad del transfer:

Gravedad	min	máx	Matriz de Criticidad				
Catastrófica	80	100		MF-12-V.I-1, MF-12-V.I-2, MF-12-V.I-3, MF-12-V.I-4,	MF-10-V.I-3, MF-1-V.I-4	MF-10-V.I-1, MF-10-V.I-2	
Muy Importante	50	80		MF-3-V.I-1	MF-1-V.I-1, MF-1-V.I-5		

Importante	30	50	MF-4-V.I-4	MF-1-V.I-2, MF-6-V.I-1, MF-6-V.I-2, MF-7-V.I-1, MF-7-V.I-2, MF-7-V.I-3, MF-8-V.I-1, MF-8-V.I-3, MF-9-V.I-1, MF-9-V.I-2 MF-11-V.I-1, MF-11-V.I-3			
Moderada	15	30	MF-4-V.I-2, MF-3-V.I-3, MF-3-V.I-2, MF-4-V.I-1, MF-4-V.I-3				
Menor	0	15	MF-1-V.I-3, MF-2-V.I-1, MF-2-V.I-2, MF-2-V.I-3, MF-2-V.I-4, MF-5-V.I-1, MF-5-V.I-2, MF-5-V.I-3, MF-5-V.I-4, MF-5-V.I-5, MF-5-V.I-6, MF-8-V.I-2, MF-8-V.I-4, MF-11-V.I-2		MF-1-V.I-5		
Frecuencia			1	3	6	8	10
			Remota	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta

Tabla 19. Matriz de criticidad transfer 2

Matriz de criticidad de la cerradora y la etiquetadora:

Gravedad	min	máx	Matriz de Criticidad				
Catastrófica	80	100					
Muy Importante	50	80					

Importante	30	50	MF-2-V.I-1, MF-2-V.I-2, MF-2-V.I-3, MF-7-V.I-1, MF-7-V.I-2				
Moderada	15	30	MF-4-V.I-2, MF-4-V.I-4				
Menor	0	15	MF-3-V.I-1, MF-3-V.I-2, MF-3-V.I-3, MF-4-V.I-1, MF-4-V.I-3, MF-5-V.I-1, MF-5-V.I-2, MF-5-V.I-4, MF-5-V.I-5, MF-6-V.I-1, MF-6-V.I-2				
Frecuencia			1	3	6	8	10
			Remota	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta

Tabla 20. Matriz de criticidad cerradora + etiquetadora 2

Matriz de criticidad del paletizador:

Gravedad	min	máx	Matriz de Criticidad				
Catastrófica	80	100			MF-1-V.I-4, MF-6-V.I-1, MF-6-V.I-2		
Muy Importante	50	80		MF-3-V.I-1	MF-1-V.I-1, MF-1-V.I-5		
Importante	30	50	MF-4-V.I-2, MF-4-V.I-4, MF-12-V.I-2, MF-12-V.I-4	MF-1-V.I-2, MF-7-V.I-1, MF-7-V.I-2, MF-8-V.I-1, MF-8-V.I-3			
Moderada	15	30	MF-3-V.I-2, MF-3-V.I-3,				

			MF-4-V.I-1, MF-4-V.I-3, MF-12-V.I-1, MF-12-V.I-3				
Menor	0	15	MF-1-V.I-3, MF-2-V.I-1, MF-2-V.I-2, MF-2-V.I-3, MF-2-V.I-4, MF-5-V.I-1, MF-5-V.I-2, MF-5-V.I-3, MF-5-V.I-4, MF-5-V.I-5, MF-5-V.I-6, MF-8-V.I-2, MF-9-V.I-1, MF-10-V.I-1, MF-10-V.I-2, MF-10-V.I-3, MF-11-V.I-1, MF-11-V.I-2				
Frecuencia			1	3	6	8	10
			Remota	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta

Tabla 21. Matriz de criticidad paletizador 2

Tras observar las matrices de criticidad obtenidas, podemos asumir que tenemos 15 fallos de índice de criticidad alta (10 en el transfer y 5 en el paletizador).

Con respecto a los de criticidad media, tenemos 24 fallos con un índice de criticidad media (13 de ellos en el transfer, 5 en la cerradora + etiquetadora y 6 en el paletizador).

Matriz de Riesgo		NPR
RIESGO	ALTO	MF-10-V.I-1 (T) MF-1-V.I-4 (T) MF-10-V.I-2 (T) MF-1-V.I-4 (P)
	MEDIO	
	BAJO	

Tabla 22. Matriz de riesgo obtenida

Sin embargo, de los fallos de criticidad alta obtenidos, solo hemos obtenido 4 fallos (3 en el transfer y 1 en el paletizador) con el valor del índice de riesgo asignado NPR superior a 50.

5.1.5 Evaluación de los modos de fallo críticos

Una vez analizados los valores NPR y las matrices de criticidad de los modos de fallo, vamos a definir todos los fallos críticos obtenidos en el total de los equipos a estudiar.

Vamos a definir como fallos críticos a aquellos que posean un índice de criticidad por encima de 50 y un valor NPR, a su vez, por encima de 50.

Transfer:

- El modo de fallo MF-1-V.I-1. Desgaste de las correas en el ascensor del transfer: las cajas no son transportadas de forma correcta, provocándose roturas, debido al sobreuso y el desgaste.
- El modo de fallo MF-3-V.I-1. Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor: el transfer no puede desplazarse y las cajas no pueden ser distribuidas de forma autónoma, debido al desgaste, falta de lubricación y sobreuso.
- El modo de fallo MF-12-V.I-1. Las pinzas de sujeción del transfer se desacoplan en las zonas donde hay formación de holguras en las vías soterradas: el transfer no se coloca en una posición centrada para recoger las cajas y las ventosas no atrapan bien las cajas, provocando rotura de las mismas, debido al sobreuso, a la falta de lubricación y a la sobrecarga aplicada debido al peso de las cajas.
- El modo de fallo MF-12-V.I-2. El desgaste de los perfiles de las vías por donde se desplazan las ruedas del transfer: el transfer no se coloca en una posición centrada para recoger las cajas y las ventosas no atrapan bien las cajas, provocando rotura de las mismas, debido al sobreuso, a la falta de lubricación y a la sobrecarga aplicada debido al peso de las cajas.
- El modo de fallo MF-1-V.I-4. Fallo de vacío en el ascensor del transfer hacia las ventosas: las ventosas no pueden atrapar las cajas y empujarlas de forma correcta, provocando que se caigan, debido a al fallo de funcionamiento de la bomba de vacío y a alguna fuga de aire a presión para ejercer el vacío sobre las cajas.
- El modo de fallo MF-1-V.I-5. Desgaste de las ventosas del ascensor del transfer: las ventosas no pueden atrapar las cajas y empujarlas de forma correcta, provocando caídas de las mismas, debido al sobreuso, al agrietamiento y a una sobrepresión ejercida sobre ellas.
- El modo de fallo MF-10-V.I-1. Las cajas no son recogidas por el transfer: las cajas no pueden salir de los boxes porque los sensores ópticos de posición de transfer no las detecta y no puede hacer la función de recogerlas, debido a que el sensor esté dañado, a suciedad en el mismo, o a malas lecturas del sensor a la hora de transmitir las al sistema SCADA.
- En modo de fallo MF-10-V.I-2. El ascensor del transfer no se detiene en el final de carrera correspondiente: el ascensor no se desplaza correctamente porque no se detiene en el final de carrera y las cajas no pueden llegar a su correspondiente lugar, debido a que el sensor esté dañado, a suciedad en el mismo, o a malas lecturas del sensor a la hora de transmitir las al sistema SCADA.
- En el modo de fallo MF-10-V.I-3. El transfer impacta en el final de recorrido de la línea: los sensores de posición del transfer no actúan correctamente y el transfer no se detiene en el correspondiente final de línea pudiendo llegar a chocarse en el final de recorrido de la línea, debido a que el sensor esté dañado, a suciedad en el mismo, o a malas lecturas del sensor a la hora de transmitir las al sistema SCADA.

Cerradora de cajas y etiquetadora:

En la cerradora y en la etiquetadora no encontramos fallos críticos con valores por encima de 50, por lo tanto, no los incluiremos en el análisis de plan de mantenimiento de los modos de fallo críticos.

Paletizador:

- El modo de fallo MF-1-V.I-1. Desgaste de las correas en el brazo cartesiano del paletizador: las cajas no son transportadas de forma correcta y no puede desplazarse en movimientos lineales en los 3 ejes del espacio, provocando caídas y roturas, debido al sobreuso y el desgaste.
- El modo de fallo MF-3-V.I-1. Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor: el brazo cartesiano del paletizador no puede desplazarse y las cajas no pueden ser distribuidas de forma autónoma, debido al desgaste, falta de lubricación y sobreuso.
- El modo de fallo MF-1-V.I-4. Fallo de vacío en el brazo cartesiano del paletizador hacia las ventosas: las ventosas no pueden atrapar las cajas y empujarlas de forma correcta, provocando que se caigan, debido a al fallo de funcionamiento de la bomba de vacío y a alguna fuga de aire a presión para ejercer el vacío sobre las cajas.
- El modo de fallo MF-1-V.I-5. Desgaste de las ventosas del brazo cartesiano del paletizador: las ventosas no pueden atrapar las cajas y dejarlas en su correspondiente palet de forma correcta, provocando caídas de las mismas, debido al sobreuso, al agrietamiento, al sobrepeso y a una sobrepresión ejercida sobre ellas.
- El modo de fallo MF-6-V.I-1. Los desviadores se tuercen o se doblan por un mal uso: las cajas no son desplazadas de forma correcta, formando amontonamientos de cajas, e incluso provocando rotura de las mismas, debido a una falta de lubricación, limpieza y a un sobreuso.
- El modo de fallo MF-6-V.I-2. Las cajas se amontonan y se tuercen, llegando incluso a romperse en algunos casos: las cajas no son desplazadas de forma correcta, formando amontonamientos de cajas, e incluso provocando rotura de las mismas, debido a una falta de lubricación, limpieza y a un sobreuso.

Capítulo 6

6.1 Plan de mantenimiento a partir del análisis FEMCA

Una vez finalizado el análisis FMECA de todos los equipos, se deben definir los planes de mantenimiento que se llevarán a cabo en los equipos.

Antes de seleccionar las tareas debemos tener en cuenta los siguientes factores:

- Que merezca la pena y sea factible técnicamente, de acuerdo con la sección 5.6.2 de SAE JA 1011. Se considera que una tarea merece la pena si reduce, minimiza o elimina las consecuencias del fallo.

- La relación entre coste y efectividad, de acuerdo a la sección 5.6.3 de SAE JA 1011, cuando haya varias tareas factibles se debe seleccionar la que resulte más interesante desde el punto de vista del coste y la efectividad.
- La relación entre antigüedad y fallo, se debe tener en cuenta la probabilidad de que ocurra un fallo conforme aumenta la edad, de acuerdo a la sección 5.6.1 de SAE JA 1011. Por lo que resulta fundamental conocer si el fallo presenta una tasa de fallos aleatoria o relacionada con la antigüedad.
- En la selección de política de gestión del fallo, se seleccionará una política cuando no sea posible aplicar tareas para anticiparse, detectar o prevenir el fallo de acuerdo a la sección 5.6.4 de SAE JA 1011.

El siguiente paso es utilizar un diagrama de decisión para escoger las tareas de mantenimiento a realizar, en base a las siguientes posibilidades de ocurrencia de los fallos:

- El fallo evidente con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente. En este caso debemos evaluar el riesgo e implantar tareas que reduzcan la probabilidad hasta alcanzar un valor admisible, de acuerdo a la sección 5.7.1.1 de SAE JA 1011.

En este caso la propuesta de que da la norma SAE JA 1012 es utilizar una tarea basada en la condición, si no fuera factible se propone una tarea preventiva, si tampoco fuera posible entonces se propone una combinación de tareas y, por último, un rediseño del equipo.

- El fallo oculto con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente. En este caso debemos combinar tareas que reduzcan la probabilidad del fallo a valores admisibles, para reducir la probabilidad del fallo asociado a este fallo oculto, de acuerdo a la sección 5.7.1.2 de SAE JA 1011.

En este caso la propuesta de que da la norma SAE JA 1012 es utilizar una tarea basada en la condición, si no fuera factible se propone una tarea preventiva, si tampoco fuera posible entonces se propone una tarea para detectar el fallo oculto y si tampoco fuera posible entonces se propone un rediseño del equipo.

- El fallo evidente con consecuencias económicas. En este caso se deben implantar tareas que tengan unos costes inferiores al coste de la consecuencia, de acuerdo a la sección 5.7.1.3 de SAE JA 1011.

En este caso la propuesta de que da la norma SAE JA 1012 es utilizar una tarea basada en la condición, si no fuera factible se propone una tarea preventiva, si tampoco fuera posible entonces se propone no realizar mantenimiento y se recomienda un rediseño del equipo.

- El fallo oculto con consecuencias económicas. En este caso se deben implantar tareas que tengan unos costes totales inferiores al coste de la consecuencia del fallo más el coste de la reparación del fallo oculto una vez detectado, de acuerdo a la sección 5.7.1.4 de SAE JA 1011.

DIAGRAMA DE DECISIÓN

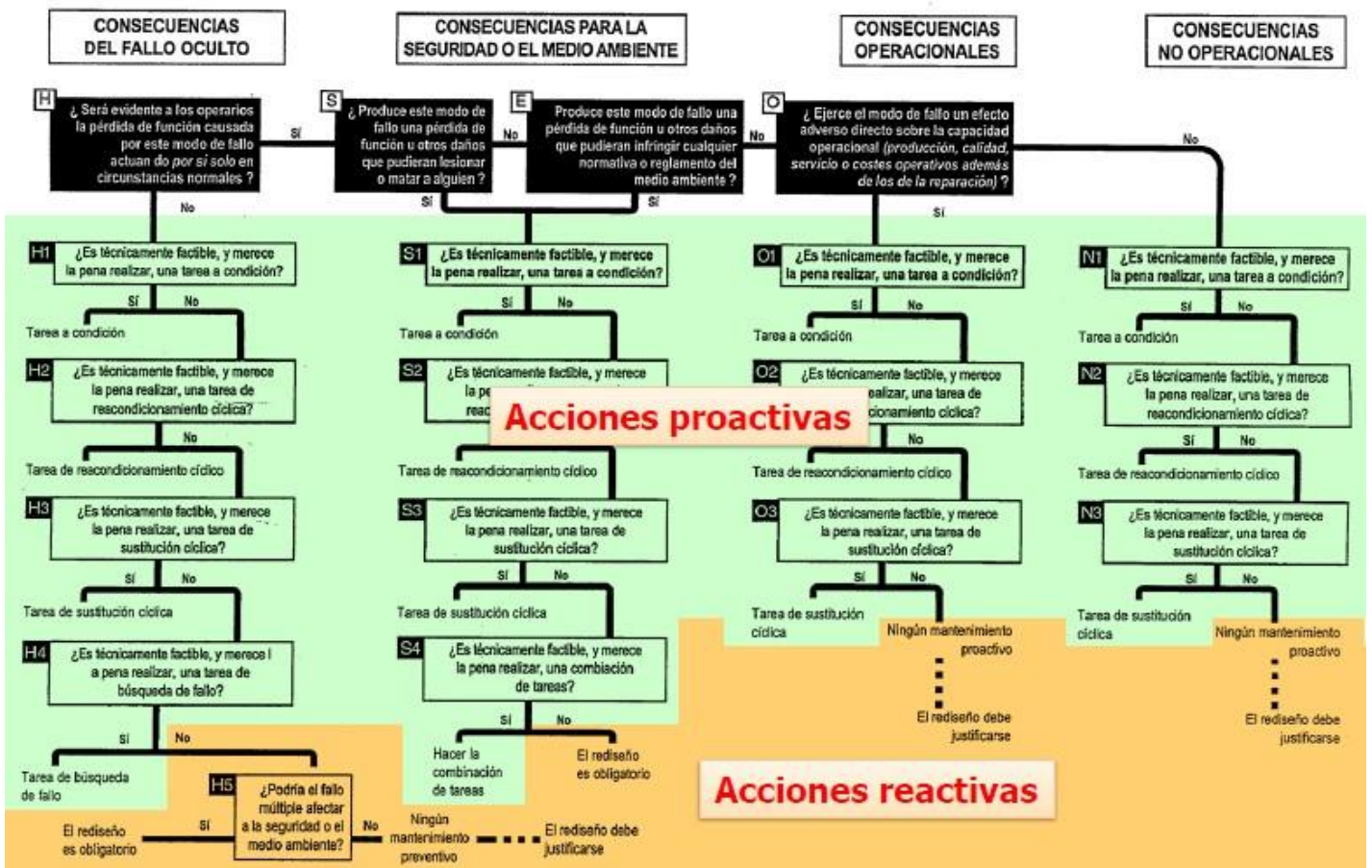


Figura 31. Esquema diagrama de decisión

6.2 Hoja de decisión

En este apartado, realizaremos una tabla con la evaluación de los fallos críticos que nos proporciona el diagrama de decisión.

HOJA DE DECISIÓN														
Modo de fallo	Evaluación de las consecuencias				Acción proactiva			Acción reactiva			Tarea propuesta	Frecuencia	Realizar por	
	H	S	E	O	X1	X2	X3	H4	H5	S4				
MF-1-V.I-1. Desgaste de las correas en el ascensor del transfer	S	N	N	S	S							Revisar el estado tensional de las correas y su correcta alineación	Semanal	Operario

MF-3-V.I-1. Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor	S	N	S		N	N	S				Engrasar y/o sustituir en caso necesario	Mensual / Semestral	Mecánico
MF-12-V.I-1. Las pinzas de sujeción del transfer se desacoplan en las zonas donde hay formación de holguras en las vías soterradas	N				N	S					Reajuste y engrase de las pinzas de sujeción del transfer	Semanal	Mecánico
MF-12-V.I-2. El desgaste de los perfiles de las vías por donde se desplazan las ruedas del transfer	N				N	N	S				Sustitución de las vías soterradas por donde se desplaza el transfer	5 años	Mecánicos y Operarios
MF-1-V.I-4. Fallo de vacío en el ascensor del transfer hacia las ventosas	N				N	N	N	S			Instalar un equipo de medidas de ultrasonidos para detectar fugas de aire, que mida los niveles de presión de aire en las mangueras	Trimestral	Mecánicos
MF-1-V.I-5. Desgaste de las ventosas del ascensor del transfer	S	N	N	S	N	N	S				Sustituir las ventosas	Semestral	Mecánico
MF-10-V.I-1. Las cajas no son recogidas por el transfer	N				N	N	S				Sustituir los sensores ópticos de posicionamiento por unos nuevos	Anual	Eléctrico
MF-10-V.I-2. El ascensor del transfer no se detiene en el final de carrera correspondiente	N				N	N	S				Sustituir los sensores ópticos de posicionamiento por unos nuevos	Anual	Eléctrico
MF-10-V.I-3. El transfer impacta en el final de recorrido de la línea	N				N	N	S				Sustituir los sensores ópticos de posicionamiento por unos nuevos	Anual	Eléctrico
MF-1-V.I-1. Desgaste de las correas en el brazo cartesiano del paletizador	S	N	N	S	S						Revisar el estado tensional de las correas y su correcta alineación	Semanal	Operario

MF-3-V.I-1. Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor	S	N	S		N	N	S				Engrasar y/o sustituir en caso necesario	Mensual / Semestral	Mecánico
MF-1-V.I-4. Fallo de vacío en el brazo cartesiano del paletizador hacia las ventosas	N				N	N	N	S			Instalar un equipo de medidas de ultrasonidos para detectar fugas de aire, que mida los niveles de presión de aire en las mangueras	Trimestral	Mecánicos
MF-1-V.I-5. Desgaste de las ventosas del brazo cartesiano del paletizador	S	N	N	S	N	N	S				Sustituir las ventosas	Semestral	Mecánico
MF-6-V.I-1. Los desviadores se tuercen o se doblan por un mal uso	S	N	N	S	N	S					Engrasar y lubricar los brazos de los desviadores	Semanal	Operario
MF-6-V.I-2. Las cajas se amontonan y se tuercen, llegando incluso a romperse en algunos casos	S	N	N	S	N	S					Engrasar, limpiar y lubricar los brazos de los desviadores	Semanal	Operario

Tabla 23. Hoja de decisión

6.3 Fallos a los que se le aplicará un mantenimiento preventivo

- Desgaste de las correas en el ascensor del transfer: Aplicaremos un mantenimiento preventivo que consista en la revisión del estado tensional de las correas, su correcta alineación en caso de que haya sufrido desviaciones 1 vez a la semana, debido a que las correas ejercen un papel muy importante a la hora del desplazamiento autónomo del conjunto del transfer. Sin embargo, se sustituirán las correas 1 vez cada 3 meses, independientemente del estado en que se encuentren. Se mandará a uno de los operarios que compruebe su estado tensional tocando las correas con la mano y haciendo una observación visual de que no presente grietas visibles. Aplicando esta medida preventiva se conseguirá disminuir la frecuencia de ocurrencia del fallo de 6 a 3 y el NPR bajará a 22,88.
- El desgaste de los perfiles de las vías por donde se desplazan las ruedas del transfer: aplicaremos mantenimiento preventivo que consista en la revisión de holguras de las vías soterradas, la limpieza de los soportes de las vías y la lubricación de los rodamientos lineales de las pinzas de los frenos y las pinzas de sujeción del transfer 1 vez por semana. Además, revisaremos si hay desajustes en la posición del transfer con respecto a las balizas de posicionado. También, entrará dentro del mantenimiento preventivo, la

sustitución de las vías soterradas y de los rodamientos lineales 1 vez cada 5 años para reducir el valor del NPR, al ser una reparación crítica en el equipo que afecta al resto de equipos de la línea. Aplicando estas medidas preventivas, conseguiremos disminuir la frecuencia de ocurrencia del fallo de 3 a 1, reduciendo a su vez el valor de NPR hasta 16,1.

- Desgaste de las ventosas del ascensor del transfer: el desgaste se produce por un sobreuso del material, al ser un material de un plástico sintético, cuando se ejerce mucha presión sobre él al final termina agrietándose, así que realizaremos un mantenimiento preventivo que consista en sustituir las ventosas del ascensor del transfer cada 6 meses de uso, independientemente de su estado en el que se encuentren. A su vez se realizará una inspección visual por un operario semanalmente. Aplicando estas medidas de prevención, conseguiremos reducir la frecuencia de aparición del fallo de 6 a 3, reduciendo también el valor NPR del fallo hasta 11,8.
- Las pinzas de sujeción del transfer se desacoplan o desajustan en las zonas donde hay formación de holguras en las vías soterradas: se realizará un mantenimiento preventivo de ajuste de las pinzas que sujetan el transfer sobre las vías, debido a la frecuencia de desajustes de 1 a 5 veces al mes cuando hay holguras en las vías, el preventivo se realizará 1 vez por semana. Cuando haya una parada larga de línea en periodo Navideño, se sustituirá por una nueva que sufra menos desacoples. Con estas medidas, conseguiremos disminuir la frecuencia del fallo de 3 a 1 y el valor de fallo NPR a 16,1.
- Desgaste de las correas en el brazo cartesiano del paletizador: Aplicaremos un mantenimiento preventivo que consista en la revisión del estado tensional de las correas que transmiten el movimiento a los patines de deslizamiento y su correcta alineación en caso de que haya sufrido desviaciones, 1 vez por semana, debido a que las correas ejercen un papel muy importante a la hora del desplazamiento autónomo del brazo cartesiano. Sin embrago, se sustituirán las correas 1 vez cada 3 meses, independientemente del estado en que se encuentren. Se mandará a uno de los operarios que compruebe su estado tensional tocando las correas con la mano y haciendo una observación visual de que no presente grietas visibles. Aplicando esta medida preventiva se conseguirá disminuir la frecuencia de ocurrencia del fallo de 6 a 3 y el NPR bajará a 22,88.
- Desgaste de las ventosas del brazo cartesiano del paletizador: el desgaste se produce por un sobreuso del material, al ser un material de un plástico sintético, cuando se ejerce mucha presión sobre él termina agrietándose, así que realizaremos un mantenimiento preventivo que consista en sustituir las ventosas del ascensor del transfer cada 6 meses de uso, independientemente de su estado en el que se encuentren, debido a que deben soportar todo el peso de las cajas en el aire y desplazarlas a su correspondiente palet. A su vez se realizará una inspección visual por un operario semanalmente. Aplicando estas medidas de prevención, conseguiremos reducir la frecuencia de aparición del fallo de 6 a 3, reduciendo también el valor NPR del fallo hasta 11,8.
- Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor del transfer: se realizará un mantenimiento preventivo 1 vez al mes que consista en una inspección visual de posibles desviaciones o grietas y en una sustitución en caso necesario de las correas. Para las cadenas se realizará las mismas tareas de mantenimiento, pero se revisarán 1 vez cada 6 meses, además se engrasarán las cadenas cada 2 semanas con una grasa

especial para cadenas. Aplicando estas tareas preventivas se conseguirá reducir la frecuencia del fallo de 3 a 1, reduciendo el valor de NPR a 6,8.

- Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor del paletizador: se realizará un mantenimiento preventivo 1 vez al mes similar al que hemos mencionado anteriormente en el árbol motor del transfer, al tratarse del mismo elemento, pero colocado en diferente máquina, debido que son del mismo fabricante. Por lo tanto, se revisarán 1 vez cada 6 meses, además se engrasarán las cadenas cada 2 semanas con una grasa especial para cadenas. Aplicando estas medidas de prevención conseguiremos disminuir la frecuencia de aparición del fallo de 3 a 1, reduciendo también el valor de NPR en 6,8.
- Las cajas se amontonan y se tuercen, llegando incluso a romperse en algunos casos: aplicaremos un mantenimiento preventivo mensual que consista en la revisión de los desviadores de cajas, su engrase y su limpieza para evitar que se produzcan roturas o doblados de los brazos de los desviadores que empujan las cajas. Se debe formar a los operarios para que en cada mantenimiento semanal se revise su posición y estado. La frecuencia de aparición de este fallo se reducirá de 6 a 3, minimizando el valor de NPR hasta 8,8.

6.4 Fallos a los que se le aplicará un mantenimiento predictivo

- Fallo de vacío en el ascensor del transfer hacia las ventosas: incluir un mantenimiento predictivo que se realice mediante un equipo de medidas de ultrasonidos para fugas, con que el que se medirán los niveles de fugas de aire en las mangueras que suministran el aire a presión 1 vez cada 3 meses. El coste del aparato para detectar fugas de aire, será de unos 50€ la hora mediante alquiler, un coste asumible por la empresa teniendo en cuenta las pérdidas que produce este fallo. Además, se incluirá un mantenimiento preventivo que consista en la sustitución de las mangueras que distribuyen el aire a presión antes de que venza su vida útil. Aplicando estas medidas conseguiremos disminuir la frecuencia del fallo de 6 a 3 y su valor de NPR bajará a 26,48.
- Fallo de vacío en el brazo cartesiano del paletizador hacia las ventosas: en el brazo cartesiano del paletizador se incluirá un mantenimiento predictivo parecido al anteriormente mencionado en el transfer. Con el equipo de ultrasonidos mediremos las fugas de las mangueras que suministran el aire a presión a las ventosas del brazo cartesiano. Con esta medida conseguiremos disminuir la frecuencia de aparición del fallo de 6 a 3, bajando el valor de NPR a 26,5.

6.5 Fallos a los que se les continuará aplicando un mantenimiento correctivo paliativo o curativo

- Las cajas no son recogidas por el transfer: incluir un mantenimiento paliativo, adquiriendo otros sensores que se puedan sustituir en caso de que los sensores ópticos de posición de transfer estén dañados o fallen, debido a que el coste de la reparación

del sensor es prácticamente el mismo que el de sustituirlo. Así pues, aplicando este mantenimiento paliativo, conseguiremos reducir el tiempo de parada y la frecuencia de aparición del fallo de 8 a 6, reduciendo el valor de NPR a 45,8.

- El ascensor del transfer no se detiene en el final de carrera correspondiente: se incluirá un mantenimiento paliativo similar al que se ha mencionado anteriormente, debido a que el problema del fallo es debido al mismo elemento y se soluciona de la misma manera, porque sustituir el sensor saldría más rentable que repararlo. Así pues, aplicando estas medidas paliativas, conseguiremos reducir el tiempo de parada y la frecuencia de aparición del fallo de 8 a 6, reduciendo el valor de NPR a 45,8.
- El transfer impacta en el final de recorrido de la línea: se incluirá un mantenimiento paliativo similar al que se ha mencionado anteriormente, debido a que el problema del fallo es debido al mismo elemento y se soluciona de la misma manera, porque sustituir el sensor saldría más rentable que repararlo. Así pues, realizando estas medidas paliativas, conseguimos reducir el tiempo de parada y la frecuencia de aparición del fallo de 6 a 3, reduciendo el valor de NPR a 12,2.
- Los desviadores se tuercen o se doblan por un mal uso: se realizará un mantenimiento correctivo curativo de sustitución de los desviadores cuando estos empiecen a doblarse para evitar la posterior rotura, además de su debido engrase cuando se encuentran en buen estado cada semana. Se deben formar a los operarios para que los responsables de mantenimiento no tengan que ir a reparar el daño. Aplicando estas medidas curativas, disminuirémos la frecuencia de aparición del fallo de 6 a 3, disminuyendo también al valor de NPR hasta 8,8.

6.6 Resumen de acciones a añadir en el plan de mantenimiento

Tarea	Procedimiento	Frecuencia	Tiempo estimado	Realizado por
Revisar el estado tensional de las correas y su correcta alineación	Utilizando tensiómetros o herramientas especiales para medir la fuerza de deflexión (DF) al presionar la correa en "V" sobre su tramo libre	Semanal	20 min	Mecánico
Engrasar y/o sustituir las correas y/o cadenas en caso necesario	Utilizar grasa o lubricante especificado por el fabricante y aplicar sobre toda la superficie de la cadena y entre los eslabones	Mensual / semestral	30 min / 5 horas	Mecánico
Reajuste y engrase de las pinzas de sujeción del transfer	Reajustar la posición de la pinza con rodamientos que sujeta el transfer a la vía y utilizar grasa o	Semanal	1 hora	Mecánico

	lubricante especificado por el fabricante para aplicar sobre los rodamientos y las ruedas			
Sustitución de las vías soterradas por donde se desplaza el transfer	Levantar el transfer con un toro carretilla y proceder al cambio de las vías apretando sus sujeciones rectificando el ancho de vía	5 años	16 horas	Mecánicos
Instalar un equipo de medidas de ultrasonidos para detectar fugas de aire	Instalar un equipo de medidas de ultrasonidos para detectar fugas de aire, que mida los niveles de presión de aire en las mangueras	Trimestral	6 horas	Mecánicos
Sustituir las ventosas	Desacoplar la estructura del brazo que sujeta las ventosas y sustituirlas por unas nuevas	Semestral	2 horas	Mecánico
Sustituir los sensores ópticos de posicionamiento por unos nuevos	Desmontar y desconectar el sensor antiguo y cambiar por uno nuevo	Anual	30 minutos	Eléctrico
Sustituir los sensores ópticos de posicionamiento por unos nuevos	Desmontar y desconectar el sensor antiguo y cambiar por uno nuevo	Anual	30 minutos	Eléctrico
Sustituir los sensores ópticos de posicionamiento por unos nuevos	Desmontar y desconectar el sensor antiguo y cambiar por uno nuevo	Anual	30 minutos	Eléctrico
Revisar el estado tensional de las correas y su correcta alineación	Utilizando tensiómetros o herramientas especiales para medir la fuerza de deflexión (DF) al presionar la correa en "V" sobre su tramo libre	Semanal	20 min	Mecánico
Engrasar y/o sustituir las correas y/o cadenas en caso necesario	Utilizar grasa o lubricante especificado por el fabricante y aplicar sobre toda la superficie de la cadena y entre los eslabones	Mensual / semestral	30 min / 5 horas	Mecánico
Instalar un equipo de medidas de ultrasonidos para detectar fugas de aire	Instalar un equipo de medidas de ultrasonidos para detectar fugas de aire, que mida los niveles de presión de aire en las mangueras	Trimestral	6 horas	Mecánicos

Sustituir las ventosas	Desacoplar la estructura del brazo que sujeta las ventosas y sustituirlas por unas nuevas	Semestral	2 horas	Mecánico
Engrasar y lubricar los brazos de los desviadores	Engrasar los brazos, los seguidores y desplazadores por donde desliza el brazo con grasa o lubricante específico del fabricante	Semanal	30 minutos	Operario
Engrasar, limpiar y lubricar los brazos de los desviadores	Engrasar y limpiar los brazos, los seguidores y desplazadores por donde desliza el brazo con grasa o lubricante específico del fabricante y con un trapo húmedo para su limpieza	Semanal	30 minutos	Operario

Tabla 24. Acciones a añadir en el plan de mantenimiento

Capítulo 7

7.1 Implementación y monitorización del nuevo plan de mantenimiento

En este capítulo explicaremos como habilitar el mantenimiento definido en el anterior capítulo dentro de la empresa, en función de la estructura de nuestra planta industrial.

Comenzaremos indicando como se rehará el mantenimiento inicialmente definido en el apartado 3.2.2 del proyecto junto con las nuevas tareas propuestas.

Implementación del plan de mantenimiento				
Tareas que ya se realizan		Nuevas tareas propuestas		Realizar por
Tarea	Frecuencia	Tarea	Frecuencia	
Revisión de cerradora de solapa posterior	Mensual			Operario
Sustitución banda lateral de transporte de la precintadora	Trimestral			Mecánico
Sustitución correas dentadas	Trimestral			Mecánico
Revisión cuchillas de la formadora de cajas	Mensual			Operario
Sustitución de ruedas para la cerradora	Anual			Mecánico

Ajuste de cabezal y sustitución de cuchillas	Anual			Mecánico
Sustitución de cintas para la formadora de cajas	Semanal			Mecánico
Sustitución muelle guía de precinto	Trimestral			Mecánico
Sustitución del cabezal para la precintadora	Anual			Mecánico
Sustitución del soporte de cuchillas para cerradora de cajas	Anual			Mecánico
Engase de guías y de muelle guía	Semanal			Mecánico
Engrase de rodamientos del eje del transfer	Semanal			Mecánico
Lubricar con aceite las cadenas de los rodillos	Semanal			Mecánico
Revisar frenos de las líneas y apretar en caso necesario	Semanal			Operario
Limpiar con un trapo todas las fotocélulas (sensores)	Semanal			Operario
Limpiar con alcohol los rodillos	Semanal			Operario
Engrasar los rodillos que empujan las cajas	Semanal			Mecánico
Engrasar todos los frenos del transfer	Semanal	Reajuste y engrase de las pinzas de sujeción del transfer	Semanal	Mecánico
Limpiar los scanners con spray y un trapo seco	Semanal	Limpiar los sensores ópticos de posicionamiento	Semanal	Operario
Revisar estado de las correas	Semanal	Revisar el estado tensional de las correas y su correcta alineación	Semanal	Mecánico
Revisión de los frenos de recogida de cajas	Mensual			Operario
Revisión del estado de las electroválvulas de los frenos	Mensual			Operario
Revisión de los pistones de los frenos	Mensual			Mecánico
Sanear la instalación de aire comprimido de los frenos del transfer	Trimestral			Mecánico
Centrar el transfer a las salidas de línea	Semanal			Mecánico
Saneamiento y limpieza de los cilindros de cambio de caja	Mensual			Mecánico
Sustitución de tubos de plástico para aire y lubricación	Anual			Mecánico
Limpieza y saneamiento de electroválvulas	Mensual			Mecánico
Limpieza de lectores de matrícula	Semanal	Limpiar los sensores ópticos de posicionamiento	Semanal	Operario

Sustitución de correas del transfer	Anual	Engrasar y/o sustituir las correas y/o cadenas en caso necesario	Mensual / Semestral	Mecánico
Revisión de la reductora y de sus elementos mecánicos	Anual			Mecánico
Sustitución de los silentblocks de las postas del transfer de recogida de cajas	Anual			Mecánico
Sustitución de las correas de los rodillos del transfer	Anual	Sustituir las correas y/o cadenas	Semestral	Mecánico
Revisar el estado de los detectores de final de carrera del ascensor del transfer	Mensual			Operario
Limpieza y repaso de los soportes del transfer	Anual			Operario
Sustitución correa de transmisión del transfer	Anual	Engrasar y/o sustituir las correas y/o cadenas en caso necesario	Mensual / Semestral	Mecánico
Verificación de balizas y ajuste de la altura del transfer	Anual			Mecánico
Revisar la presión de aire de los cilindros	Mensual			Mecánico
Engrase de engranajes	Mensual			Mecánico
Lubricación de ejes, cojinetes y casquillos	Mensual			Mecánico
Revisión de pistolas para leer matrículas de etiquetado	Semanal			Operario
Revisión cabezal impresora	Mensual			Operario
Sustitución cabezal impresora	Anual			Mecánico
Sustitución de muelles para la impresora de la etiquetadora	Anual			Mecánico
Controlar y regular la tensión del grupo motor del paletizador	Mensual			Mecánico
Revisar el nivel del brazo del eje cartesiano	Trimestral			Operario
Regular la presión de aire de los cilindros	Mensual			Mecánico
Revisar el desgaste de las cadenas de los brazos	Mensual	Engrasar las cadenas	Semanal	Operario
Revisar el desgaste de los rodillos de desplazamiento de las cajas	Semanal			Mecánico
Engrasar cadenas de transmisión y engranajes de desplazamiento de los rodillos	Mensual	Engrasar y/o sustituir las correas y/o cadenas en caso necesario	Mensual / Semestral	Mecánico
Lubricar los ejes lineales x, y, z, rodamientos y cojinetes del brazo del paletizador	Semanal			Mecánico
Revisar cabezal del paletizador	Mensual			Mecánico

Revisar las cadenas de los boxes del paletizador	Mensual			Operario
Engrasar cadenas de los boxes del paletizador	Mensual			Mecánico
Revisar correas del eje cartesiano	Mensual	Revisar el estado tensional de las correas y su correcta alineación	Semanal	Mecánico
Sustitución de rodamientos lineales, en patines de los ejes x e y	Anual			Mecánico
Engrasar rodamientos del paletizador	Mensual			Mecánico
		Sustitución de las vías soterradas por donde se desplaza el transfer	5 años	Mecánico
		Instalar un equipo de medidas de ultrasonidos para detectar fugas de aire para el transfer y el paletizador	Trimestral	Mecánico
		Sustituir las ventosas del transfer	Semestral	Mecánico
		Sustituir los sensores ópticos de posicionamiento por unos nuevos	Anual	Eléctrico
		Sustituir las ventosas del brazo cartesiano del paletizador	Semestral	Mecánico
		Engrasar y lubricar los brazos de los desviadores	Semanal	Operario
		Engrasar, limpiar y lubricar los brazos de los desviadores	Semanal	Operario

Tabla 25. Tareas para implementar en el nuevo plan de mantenimiento

7.2 Evaluación de la metodología empleada por medio de indicadores

El método que se usará para la evaluación del mantenimiento realizado sobre una línea de trabajo, es mediante el uso de indicadores. Existen numerosos tipos de indicadores, pero por recomendación de la empresa, decidiremos centrar este proyecto en los siguientes aspectos de evaluación: la fiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad, la rentabilidad y la seguridad.

Estos valores necesitan ser bien analizados para obtener sus resultados.

Indicador de fiabilidad: para evaluar este indicador, se calculará el tiempo medio de operación entre fallo T_{MO} , para el cual será necesario conocer el tiempo de funcionamiento y el número de

fallos que se tienen. Que será obtenido mediante el software de gestión de la producción y el mantenimiento que utiliza la empresa. Obteniendo el resultado mediante la siguiente ecuación:

$$T_{MO} = \frac{\sum T_o}{n^\circ \text{ fallos}}$$

Indicador de mantenibilidad: Con este indicador se utilizarán diferentes valores para su determinación. Dependiendo de la frecuencia de mantenimiento, se utilizará el llamado tiempo medio entre tareas de mantenimiento (MTBM) y en función del tiempo, el llamado T_{MFS} , tiempo medio fuera de servicio.

$$MTBM = \frac{\text{horas trabajo técnicos}}{\text{acciones de mantenimiento}} \qquad T_{MFS} = \frac{\sum T_{FS}}{n^\circ \text{ fallos}}$$

Indicador de disponibilidad: para el cálculo de este indicador, serán necesarios 2 valores anteriormente obtenidos. El valor del tiempo medio de operación entre fallo (T_{MO}) y el tiempo medio fuera de servicio (T_{MFS}). La ecuación a utilizar será la siguiente:

$$A = \frac{T_{MO}}{T_{MO} + T_{MFS}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Indicador de rentabilidad: en este indicador se describirá el precio obtenido de haber implantado las nuevas tareas de mantenimiento en la empresa y formas de ahorrar que se obtendrán una vez sean implantadas. Para ello nos apoyaremos en el precio de algunos de estos elementos, el coste que provoca tener la línea fuera de producción y el coste de pagar los salarios a los trabajadores. En el apartado donde se calculan los indicadores se describirá la forma de cuantificar el ahorro y el coste.

Eficiencia en la seguridad: el factor de vital importancia dentro de una fábrica, es la seguridad. De forma que cualquier mínimo riesgo posible debe ser eliminado o reducido. El método de evaluar la eficiencia de la seguridad es mediante la siguiente fórmula:

$$ES = T_{RC}/T_{RE}$$

Donde T_{RC} es el número total de riesgos que ocurren después de detenerse la máquina, y el T_{RE} es el número total de riesgos posibles. Se preguntará a los operarios de la línea para poder enumerarlos.

7.3 Resultado de la metodología RCM aplicada

Tras mencionar los cinco indicadores del apartado anterior, se procede a realizar el cálculo de estos indicadores en meses pasados en la planta de la instalación, para poder la empresa así usar en un futuro los resultados de estos indicadores como métodos de evaluación para rehacer los cálculos en el momento que se hayan aplicado las correspondientes tareas de mantenimiento.

Indicador de fiabilidad: aplicando la ecuación mencionada en el apartado anterior, obtendremos el siguiente resultado: (Suponemos el tiempo de funcionamiento estudiado de la línea a unas 300 horas para realizar el cálculo).

$$TMO = \frac{\sum To}{n^{\circ} \text{ de fallos}} = \frac{300 \text{ h } 60 \text{ min}}{100 \text{ fallos}} = 3.01 \frac{\text{h de operación}}{\text{fallo}}$$

Al aplicar la metodología RCM, cambiará el valor de T_{MO} , cuando mayor sea el valor, mayor será la fiabilidad.

Indicador de disponibilidad: aplicando la ecuación mencionada en el apartado anterior, obtendremos el siguiente resultado:

$$A = \frac{T_{MO}}{T_{MO} + T_{MFS}} \times 100 = \frac{3.01}{3.01 + 0.405} \times 100 = 88\%$$

Una vez aplicada la metodología RCM, la disponibilidad será modificada.

Indicador de mantenibilidad: aplicando la ecuación mencionada en el apartado anterior, obtendremos los siguientes valores: (suponemos un tiempo medio fuera de servicio de la línea de unos 135000 segundos).

$$MTMB = \frac{\text{Horas de trabajo técnico}}{\text{Acciones de mantenimiento}} = \frac{500}{64} = 7.8 \frac{\text{Horas}}{\text{Tareas de mantenimiento}}$$

$$T_{MFS} = \frac{\sum TFS}{n^{\circ} \text{ de fallos}} = \frac{135000}{100} = 1350 \text{ segundos} = 0.375 \text{ horas}$$

Indicador de rentabilidad: a priori, se calculará el coste de las nuevas medidas de mantenimiento.

- En aparatos de medición: 1200€ en el alquiler del equipo de medición de fugas de aire de ultrasonidos 4 veces al año.
- En repuestos para sustitución en caso de rotura y mejoras en equipos: 70 € cada correa dentada (420 € en total las 6 correas del transfer), 2500 € los dos nuevos perfiles mecanizados (vías del transfer de 20m), 80€ rodamientos lineales del transfer, 120 € las 6 ventosas para el ascensor del transfer, 200 € pinza de sujeción del transfer a las vías, 70 € cada correa del brazo cartesiano del paletizador, otros 120 € las 6 ventosas del brazo cartesiano del paletizador, 220 € las 2 cadenas de transmisión del transfer, 220€ las 2 cadenas de transmisión del paletizador, 480 € las 6 correas del brazo cartesiano del paletizador, 140 € los dos eyectores de vacío (uno del transfer y otro del paletizador), 690 € dos patines lineales del paletizador, 1000 € las 10 electroválvulas de eyección de vacío, 1200 € los 10 desviadores de cajas para el paletizador y 1000 € unos 40 sensores de posición para toda la línea.
- En gasto en horas del personal de mantenimiento y operarios: en cuanto al personal de mantenimiento, el número de horas totales de trabajo al mes que corresponde al aplicar todas las tareas de mantenimiento es de 20 horas con un coste en términos monetarios de unos 300 €. En lo que respecta a los operarios, se aumentaría un total de 15 minutos corregir una parada media en la línea. Lo que conlleva una pérdida de dinero de unos 160€

por parada media. Aproximadamente 2200 € al mes. **El precio total asciende a 1000 € de inversión fija y 2500 € cada mes.**

Cuando se obtienen mejoras en los resultados de la producción, no se llevarían a cabo tantas paradas, lo que se traduciría en una mayor producción y una mayor disponibilidad de fabricar un número mayor de lotes por semana. El análisis del ahorro económico en costes de producción que se ahorraría la empresa con los datos que tenemos a nuestra disposición, es una tarea prácticamente imposible de realizar en este proyecto. Por lo tanto, supondremos que las medidas adoptadas disminuirán estos costes de producción.

- Evaluación del ahorro: la manera de analizar el ahorro será mediante el cálculo de horas totales que continuarían funcionando los equipos si se produjeran cada uno de los fallos con una frecuencia menor. A este resultado deberíamos añadirle el coste de las reparaciones por el número de ocasiones que dejan de suceder los fallos.

Finalmente, procedemos a cuantificar el ahorro conseguido a la hora de aplicar los cambios en el mantenimiento mencionados anteriormente para cada uno de los fallos estudiados.

Transfer:

- El modo de fallo **MF-1-V.I-1. Desgaste de las correas en el ascensor del transfer:**
En vez de obtener una frecuencia de aparición de valor 6, aplicando esta tarea de mantenimiento bajará a 3 y el número aproximado de veces que este fallo no tendrá lugar será de unas 2 al mes.
Los minutos totales que seguirá funcionando la máquina sin pararse, teniendo en cuenta el tiempo requerido de unos 15 minutos en reparar el fallo, será de unos 60 minutos al mes.
El precio total de la reparación es de unos 60 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 600 € teniendo la línea funcionando y 20 € debido a las reparaciones que no se realizarían, ahorrándonos unos 620 €/mes.
- El modo de fallo **MF-3-V.I-1. Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor:**
En lugar de tener una frecuencia de aparición del fallo de valor 3, con la tarea de mantenimiento pasará a valer 1 y el número aproximado de veces que este fallo no tendrá lugar al año será de 6.
Los minutos totales que seguirá funcionando la máquina sin pararse, teniendo en cuenta el tiempo requerido de unos 100 minutos en reparar este fallo, es de 60 minutos cada mes.
La reparación tiene un coste de unos 70 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 670 €/mes.
- El modo de fallo **MF-12-V.I-1. Las pinzas de sujeción del transfer se desacoplan en las zonas donde hay formación de holguras en las vías soterradas:**
En lugar de tener una frecuencia de ocurrencia del fallo de valor 3, aplicando la tarea de mantenimiento pasará a valer 1 y el número aproximado de veces al año que este fallo no tendrá lugar es de 6.
Teniendo en consideración que se requieren unas 2 horas en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 20 minutos.

La reparación tiene un coste de 200 €. Entonces estaríamos ahorrando 200 € teniendo la línea en funcionamiento y las reparaciones unos 20 €, sumando un coste de 220 €/mes.

- El modo de fallo **MF-12-V.I-2. El desgaste de los perfiles de las vías por donde se desplazan las ruedas del transfer:**
Este fallo disminuirá su frecuencia de ocurrencia de valor 3, pasando a valer 1, disminuyendo a su vez el tiempo de parada de la línea al mes aplicando el mantenimiento. De este modo se pretende reducir el tiempo de resolución de los fallos anticipándose a ellos. Debido a que este fallo no ha vuelto a suceder desde su última reparación, no se puede medir el tiempo que va a tardar en ocurrir este fallo. Considerando esto, no puedo calcular su ahorro mensual.
- El modo de fallo **MF-1-V.I-4. Fallo de vacío en el ascensor del transfer hacia las ventosas:**
En lugar de tener la frecuencia de aparición del fallo con valor 6, pasará a tener un valor de 3 y las veces aproximadas al año que no tendrá lugar este fallo es de 8.
Teniendo en consideración que se requieren unos 45 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 30 minutos.
La reparación tiene un coste de 80 €. Entonces estaríamos ahorrando 300 € teniendo la línea en funcionamiento y las reparaciones unos 20 €, sumando un coste de 320 €/mes.
- El modo de fallo **MF-1-V.I-5. Desgaste de las ventosas del ascensor del transfer:**
En lugar de tener la frecuencia de aparición del fallo con valor 6, con el mantenimiento pasará a valer 3 y las veces aproximadas al mes que no tendrá lugar este fallo es de 5.
Teniendo en consideración que se requieren unos 20 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 80 minutos.
La reparación tiene un coste de 20 €. Entonces estaríamos ahorrando 800 € teniendo la línea en funcionamiento y las reparaciones unos 20 €, sumando un coste de 820 €/mes.
- El modo de fallo **MF-10-V.I-1. Las cajas no son recogidas por el transfer:**
En lugar de tener una frecuencia de aparición del fallo con valor 8, aplicando el mantenimiento el valor bajará a 6 y este fallo no tendrá lugar unas 4 veces al mes.
Teniendo en consideración que se requieren unos 10 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 20 minutos.
La reparación tiene un coste de 25 €. Entonces estaríamos ahorrando 200 € teniendo la línea en funcionamiento y las reparaciones unos 25 €, sumando un coste de 225 €/mes.
- En modo de fallo **MF-10-V.I-2. El ascensor del transfer no se detiene en el final de carrera correspondiente:**
En lugar de tener una frecuencia de ocurrencia del fallo de valor 8, este pasará a valer 6 aplicando el mantenimiento y este fallo no tendrá lugar unas 5 veces al mes.
Teniendo en consideración que se requieren unos 10 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 15 minutos.
La reparación tiene un coste de 20 €. Entonces estaríamos ahorrando 150 € teniendo la línea en funcionamiento y las reparaciones unos 30 €, sumando un coste de 180 €/mes.
- En el modo de fallo **MF-10-V.I-3. El transfer impacta en el final de recorrido de la línea:**

En lugar de tener una frecuencia de ocurrencia del fallo de valor 6, este pasará a valer 3 aplicando esta tarea de mantenimiento y el número aproximado de veces que este fallo no ocurrirá al año será de 3.

El total de minutos que la máquina seguirá en marcha, teniendo en cuenta que se tardan 5 horas en repararlo es de 60 minutos al mes.

El precio de la reparación es de 500 €. Y nos estaríamos ahorrando 600 € al tener la línea en marcha y 200 € por las reparaciones, con un ahorro total de 800 €/mes.

Paletizador:

- El modo de fallo **MF-1-V.I-1. Desgaste de las correas en el brazo cartesiano del paletizador:**

En vez de tener una frecuencia de ocurrencia del fallo de valor 6, aplicando el mantenimiento bajará a 3 y este fallo no tendrá lugar unas 2 veces al mes.

Teniendo en consideración que se requieren unos 30 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 50 minutos.

El precio total de la reparación es de unos 40 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 400 € teniendo la línea en funcionamiento y 20 € por las reparaciones que no se realizarían, ahorrándonos un coste total de 420 €/mes.

- El modo de fallo **MF-3-V.I-1. Rotura en las correas y cadenas de transmisión del árbol motor:**

En lugar de tener una frecuencia de aparición del fallo de valor 3, con la tarea de mantenimiento pasará a valer 1 y este fallo no tendrá lugar unas 6 veces al año.

Teniendo en consideración que se requieren unos 100 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 60 minutos.

El precio total de la reparación es de unos 70 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 670 €/mes.

- El modo de fallo **MF-1-V.I-4. Fallo de vacío en el brazo cartesiano del paletizador hacia las ventosas:**

En lugar de tener la frecuencia de aparición del fallo con valor 6, pasará a tener un valor de 3 y este fallo no tendrá lugar unas 6 veces al año.

Teniendo en consideración que se requieren unos 45 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 30 minutos.

El precio total de la reparación es de unos 80 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 300 € teniendo la línea en funcionamiento y 20 € por las reparaciones que no se realizarían, ahorrándonos un coste total de 320 €/mes.

- El modo de fallo **MF-1-V.I-5. Desgaste de las ventosas del brazo cartesiano del paletizador:**

En lugar de tener la frecuencia de aparición del fallo con valor 6, con el mantenimiento pasará a valer 3 y este fallo no tendrá lugar unas 4 veces al mes.

Teniendo en consideración que se requieren unos 20 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 60 minutos.

El precio total de la reparación es de unos 20 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 600 € teniendo la línea en funcionamiento y 20 € por las reparaciones que no se realizarían, ahorrándonos un coste total de 620 €/mes.

- El modo de fallo **MF-6-V.I-1. Los desviadores se tuercen o se doblan por un mal uso:**
En lugar de tener la frecuencia de aparición del fallo con valor 6, con el mantenimiento pasará a valer 3 y este fallo no tendrá lugar unas 4 veces al año.
Teniendo en consideración que se requieren unos 30 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 30 minutos.
El precio total de la reparación es de unos 20 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 300 € teniendo la línea en funcionamiento y 30 € por las reparaciones que no se realizarían, ahorrándonos un coste total de 330 €/mes.
- El modo de fallo **MF-6-V.I-2. Las cajas se amontonan y se tuercen, llegando incluso a romperse en algunos casos:**
En lugar de tener la frecuencia de aparición del fallo con valor 6, con el mantenimiento pasará a valer 3 y este fallo no tendrá lugar unas 3 veces al mes.
Teniendo en consideración que se requieren unos 15 minutos en reparar el equipo, los minutos totales que la máquina continuará trabajando al mes es de unos 20 minutos.
El precio total de la reparación es de unos 25 €. Por lo que nos estaríamos ahorrando unos 200 € teniendo la línea en funcionamiento y 30 € por las reparaciones que no se realizarían, ahorrándonos un coste total de 230 €/mes.

Realizando los cálculos de todos los modos de fallo críticos estudiados, tendremos un resultado del ahorro de **6355 €/mes**. Por lo tanto, podemos decir que la implementación del procedimiento RCM sobre la línea de estudio resultaría rentable para la empresa.

- **Eficiencia de la seguridad:** aplicando la ecuación descrita en el apartado anterior 7.1 del proyecto, obtenemos finalmente el siguiente valor, que será modificado, siempre y cuando se lleven a cabo cambios o modificaciones en la línea:

$$ES = \frac{T_{RC}}{T_{RE}} = \frac{9}{15} = 0,6$$

7.4 Pautas a seguir para rehacer el análisis RCM dentro de empresa en el futuro

Una de las características más importantes de la metodología RCM, es la aplicación de mejoras continuas de las tareas de mantenimiento. Cuando tenemos registrados todos los modos de fallo en un programa interno de organización que utilice la empresa, nos permitirá realizar actualizaciones en los modos de fallo que tengan lugar, con cierta rapidez y precisión.

Para poder rehacer el análisis, en primer lugar, se debe realizar una inspección de todas y cada una de las máquinas que componen la línea de trabajo. En el caso de que haya nuevos equipos en la línea, se realizará el mismo proceso de análisis que el realizado a los equipos anteriormente instalados.

Una vez analizados todos los modos de fallo mediante el software que utiliza la empresa para registrar los fallos, se podrá observar que la mayoría de los fallos ocasionados ya se habían registrado con anterioridad en el anterior análisis RCM efectuado, sin embargo, nos

encontraremos con un nuevo número de fallos que se analizarán y se clasificarán en unas tablas de datos, obteniendo así, sus valores de severidad, detectabilidad y frecuencia.

Cuando obtengamos el resultado de la criticidad de los fallos, si comprobamos que sobrepasan el valor límite NPR asignado o presentan un límite de criticidad muy grave dentro de la matriz de criticidad, podemos desarrollar nuevas tareas de mantenimiento para reducir la criticidad de los fallos, como se ha descrito anteriormente en el proyecto.

Este tipo de análisis se debe realizar pasado un periodo considerable de tiempo, que sea de unos 2 años aproximadamente, porque al realizar el análisis con cierta brevedad al análisis anteriormente realizado, habrá una gran probabilidad de que no encontremos nuevos fallos que sean significativos de estudio. Sin embargo, si nos esperamos un largo periodo de tiempo, obtendremos nuevos problemas graves que serán objeto de estudio debido a que nos provocarán pérdidas económicas mayores. Por el contrario, existen motivos por los cuales podría darse la opción de adelantar el análisis del mantenimiento:

- Nuevos modos de fallo que hayan aparecido
- Rediseños hechos sobre los equipos actuales o la instalación de nuevos equipos
- Nuevas modificaciones en los productos que afecten al desempeño de los equipos
- Modificaciones dentro del contexto operacional de los equipos
- Nuevas técnicas o métodos de mantenimiento adquiridos

Finalmente, concluimos que es recomendable realizar el análisis cada cierto periodo de tiempo, porque, además nos ayudará a hacer un plan de mantenimiento centrado en la metodología RCM que sea lo más efectivo posible. Todas las tareas de mantenimiento anteriormente descritas, nos ayudarán a mejorar la línea estudiada, además de poder aplicar la metodología al resto de líneas de la empresa. Observado así, el conjunto global de las posibles mejoras que puede proporcionarnos realizar un mantenimiento centrado en la fiabilidad.

Capítulo 8

8.1 Conclusiones

Para finalizar, podemos decir que, en términos generales, se han alcanzado los objetivos inicialmente propuestos en el proyecto de forma adecuada. Destacamos los siguientes puntos sobre la aplicación de la metodología RCM en una planta de producción de tapaderas:

- Al realizar el estudio en profundidad de la línea de producción más importante de la empresa, utilizando la metodología de mantenimiento RCM, se han podido clasificar los fallos más importantes mediante el uso de la matriz de criticidad y del valor NPR, a pesar de no haber sido tarea fácil hacer una valoración de los fallos, se ha tenido en cuenta el aspecto fundamental de la seguridad por encima del resto, debido a las repercusiones que tiene en la salud de las personas.
- Se ha conseguido preparar al personal de mantenimiento con unos conocimientos más profundos sobre los fallos que tienen los equipos y cómo abordarlos para que no aparezcan en el futuro.
- Se han propuesto tareas de mantenimiento preventivo, paliativo, curativo o predictivo para poder reducir los fallos encontrados en los equipos. Además, se ha establecido un sistema de análisis del mantenimiento mediante el uso de indicadores, con los cuales se puede evaluar la calidad del mantenimiento y poder llevar a cabo una mejora continua, permitiendo evaluar y mejorar las acciones que se aplicarán a lo largo del tiempo sobre los equipos estudiados, así como la efectividad de los recursos implicados en el mantenimiento.
- Al aplicar las tareas de mantenimiento, hemos observado que encontramos beneficios económicos que aumentan a medio-largo plazo. Con el simple hecho de descubrir los fallos que afectan directamente a la calidad del producto final, ya hemos conseguido obtener una mejora en la calidad final del producto que se produce dentro de la línea estudiada.
- El actual estudio desarrollado del RCM sobre los equipos estudiados, se considera el punto de partida para poder analizar e implantar en el resto de la planta, esta metodología. Así, podremos actuar de la misma manera sobre el resto de líneas de la empresa con más facilidad.
- Uno de los principales motivos por los cuales se estudió esta línea fue por las necesidades de la empresa, al ser la línea más delicada y la que más beneficio económico produce a la empresa, además del motivo de la confidencialidad por parte de la empresa de divulgar información sobre sus máquinas de producción y desarrollo propio.
- Se ha podido aprender sobre la metodología RCM y los beneficios finales que genera en la empresa que se aplica. Además, se han podido adquirir importantes conocimientos sobre diferentes tipologías de mantenimiento y sus características, que desconocía con anterioridad.

8.2 Desarrollos futuros

- Revisión de todas las tareas de mantenimiento implicadas dentro del proyecto, a las cuales se deben incluir aquellas tareas que sean recomendadas por los técnicos especializados y suprimir aquellas que no se encuentren actualizadas.
- Se deben incluir todas las tareas de mantenimiento predictivo, paliativo, curativo o preventivo en el programa de gestión del mantenimiento que posee la empresa para recoger toda la información posible sobre las reparaciones que se van llevando a cabo sobre la línea. Para asignar todas estas tareas de mantenimiento, se debe elaborar un calendario que será gestionado por los responsables de mantenimiento de la planta a los técnicos encargados de realizar estas tareas, así como mejorar la organización de la plantilla que lleva a cabo el mantenimiento.
- La elaboración de documentos que ayuden a resolver aquellos fallos que se producen con mayor frecuencia dentro de la línea estudiada, apoyándonos en la elaboración de manuales de mantenimiento documentos asociados a los equipos que nos proporcionen los fabricantes de los equipos. La recopilación de toda esta información será imprescindible para formar a nuevos trabajadores que se incorporen a la plantilla de la empresa.

Capítulo 9

9.1 Bibliografía

- [1] <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm>
- [2] <https://controlinventarios.wordpress.com/2021/01/19/la-historia-de-rcm-para-mantenimeinto-preventivo/>
- [3] <https://aleph.org.mx/como-elaborar-una-matriz-de-criticidad>
- [4] <http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/amfec-analisis-de-fallos-y-criticidad/>
- [5] ISO 14224
- [6] UNE- EN 60300
- [7] <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>
- [8] <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/>
- [9] <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- [10] <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm>
- [11] <https://blog.engeman.com/es/rcm/>
- [12] <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>
- [13] <https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-centrado-en-la-fiabilidad-rcm/>
- [14] <https://es.standard-industrie.com/mantenimiento/el-mantenimiento-curativo/>
- [15] <http://alterevoingenieros.blogspot.com/2014/05/rcm-arboles-de-decision.html>