



Centro Universitario de la Defensa En la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Laura Vitalia González Martínez

DIRECTORES: Elena Arce Fariña
Guillermo Rey González
Ángel Fernández Rodríguez

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado consiste en la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad, bajo el criterio de calidad, a un taller de la empresa Navantia, concretamente al taller de tubos. En este taller se fabrican las tuberías de los diferentes buques que diseña y construye la empresa. Así, la finalidad del trabajo es estudiar en profundidad el taller y, mediante la aplicación del método anteriormente mencionado, reducir o eliminar aquellos fallos que repercutan directamente en la calidad de las piezas fabricadas. Para ello, en primer lugar, se estudiaron los activos críticos para la calidad de las piezas, posteriormente se estudiaron las funciones de estos activos, los modos de fallo de su función principal, sus causas, efectos y consecuencias. Asimismo, se estudiaron las tareas de mantenimiento que se realizan actualmente, pudiendo determinar el grado de utilidad de las mismas. Por último, se propusieron una serie de medidas a aplicar para la reducción de los fallos que afecten a la calidad.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento, fiabilidad, RCM, AMFEC, taller

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer el tiempo dedicado y la ayuda prestada por parte de Juan Porto, Javier Vilar, Juan Cerdido y Ángel Fernández. Gracias por las visitas, las reuniones, la información proporcionada y, en especial, por el trato recibido.

En segundo lugar, me gustaría agradecer la paciencia y dedicación de mis tutores, Elena Arce, Guillermo Rey y Ángel Fernández, sin los cuales no habría sido posible llevar a cabo este trabajo. Gracias Elena por su constante disponibilidad.

Agradezco encarecidamente a la Escuela Naval Militar, así como a mis tutores, todas las facilidades proporcionadas para los desplazamientos.

Por último, dar las gracias a mis padres, Lola y Jose Carlos, a mi abuelo, Dionisio y a mi pareja, Alejandro. Sois mis pilares fundamentales y mi mayor apoyo. Gracias también a mis niñas, Beatriz, Lorena, Virginia, Ana, Mery y Anita, por ayudarme a mantener el ánimo en todo momento. Sois las mejores.

“Quiero, puedo y soy capaz”

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
1 Introducción y objetivos	5
1.1 Contextualización.....	5
1.2 Motivación	6
1.3 Objetivos	6
1.4 Organización de la memoria	6
2 Estado del arte	7
2.1 Descripción del mantenimiento	7
2.2 Evolución del mantenimiento en la historia.....	7
2.2.1 Primera generación	8
2.2.2 Segunda generación	8
2.2.3 Tercera generación.....	8
2.2.4 Cuarta generación	9
2.3 Mantenimiento industrial	9
2.3.1 Mantenimiento correctivo.....	9
2.3.2 Mantenimiento preventivo.....	10
2.3.3 Mantenimiento predictivo.....	10
2.3.4 Mantenimiento productivo total	10
2.4 Mantenimiento en la Armada Española	11
2.5 Mantenimiento centrado en la fiabilidad	13
2.5.1 Historia	13
2.5.2 Metodología	14
2.5.3 Implementación	16
3 Desarrollo del TFG.....	18
3.1 Taller de tubos Navantia Ferrol	18
3.2 Metodología empleada.....	20
3.2.1 Metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad	20
3.2.1.1 Proceso de análisis de criticidad.....	20
3.2.1.2 Identificación de funciones y estándares de funcionamiento	20
3.2.1.3 Identificación de los fallos	23
3.2.1.4 Análisis de modos de fallo efectos y criticidad	23
3.2.1.5 Efectos y consecuencias de los fallos en los activos	26

3.2.1.6 Medidas para la prevención o predicción del fallo.....	27
3.2.1.7 Búsqueda de otras alternativas	28
3.3 Aplicación de la metodología al taller de tubos Navantia Ferrol.....	29
3.3.1 Proceso de análisis de criticidad en el taller	29
3.3.2 Identificación de equipos y contexto operacional en el taller.....	29
3.3.3 Identificación de fallos funcionales de activos críticos	38
3.3.4 Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad en activos críticos	39
3.3.5 Efectos y consecuencias de los fallos en los activos críticos.....	46
3.3.6 Medidas para la prevención o predicción del fallo en activos críticos	51
3.3.7 Alternativas.....	53
4 Resultados	54
4.1 Resultados del análisis de modos de fallo, efectos y criticidad en activos críticos	54
4.2 Resultados del análisis RCM	55
4.2.1 Transfluid DB2060-CNC.....	55
4.2.2 Transfluid DB40120-3A-CNC	55
4.2.3 Tejero H200E.....	56
4.2.4 Wallace N°4	56
4.2.5 GMAW	56
4.2.6 SMAW	56
4.2.7 TIG.....	56
4.2.8 AMI.....	56
5 Conclusiones y líneas futuras	58
5.1 Conclusiones	58
5.2 Objetivos alcanzados.....	58
5.3 Líneas futuras	59
6 Bibliografía.....	60
Anexo I: Ejemplo de análisis RCM completo en Transfluid DB40120-3A-CNC	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Evolución del mantenimiento a lo largo de la historia	8
Figura 2-2 Patrones de falla en activos [9]	14
Figura 2-3 Esquema de las etapas del trabajo	15
Figura 2-4 Preguntas básicas del RCM	16
Figura 3-1 Buzón de sugerencias 5S en el taller de tubos	18
Figura 3-2 Panel de mantenimiento autónomo en torno universal amutio.....	20
Figura 3-3 Funciones de activos.....	21
Figura 3-4 Funciones secundarias en activos	22
Figura 3-5 Esquema AMFEC.....	24
Figura 3-6 Principales causas de fallo en activos.....	25
Figura 3-7 Clasificación de las consecuencias de fallos evidentes	26
Figura 3-8 Patrones de fallo en activos relacionados con la edad [13]	27
Figura 3-9 Patrones de fallo en activos no relacionados con la edad [13]	28
Figura 3-10 Alternativas a tareas proactivas	29
Figura 3-11 Palé de transporte de tubos	30
Figura 3-12 Flujo de materiales en el taller.....	31
Figura 3-13 Descomposición funcional del taller de tubos	31
Figura 3-14 Etiqueta identificativa en tubo	32
Figura 3-15 Lugar de estiba de tubos de mayor tamaño	32
Figura 3-16 Lugar de estiba de tubos de menor tamaño en cajones.....	33
Figura 3-17 Carro de transporte de accesorios en zona de fabricación.....	34
Figura 3-18 Zona de soldadura.....	34
Figura 3-19 Zona de limpieza en taller de tubos	35
Figura 3-20 Curvadora Transfluid.....	36
Figura 3-21 Curvadoras Tejero H200E y Wallace	36
Figura 3-22 Puestos de soldadura.....	37
Figura 3-23 Soldadura orbital.....	38
Figura 3-24 Criterios para identificar la severidad, ocurrencia y detección.....	42
Figura 3-25 Gama de mantenimiento autónomo de Transfluid DB40120	52
Figura 3-26 Diagrama de decisión acerca de tareas de mantenimiento [14].....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Escalones de mantenimiento en la Armada Española.....	11
Tabla 2-2 Métodos de mantenimiento en la Armada Española.....	12
Tabla 3-1 Capacidades de los activos de curvado CNC.....	35
Tabla 3-2 Capacidades de los activos de curvado	36
Tabla 3-3 Capacidades de los activos de soldadura	37
Tabla 3-4 Fallos funcionales en activos críticos	38
Tabla 3-5 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Transfluid DB2060-CNC	39
Tabla 3-6 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Transfluid DB40120-3A-CNC	39
Tabla 3-7 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Tejero H-200E.....	40
Tabla 3-8 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Wallace nº4.....	40
Tabla 3-9 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura GMAW	40
Tabla 3-10 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura SMAW	41
Tabla 3-11 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura TIG.....	41
Tabla 3-12 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura AMI.....	41
Tabla 3-13 Causas de los modos de fallo asociado a los activos de curvado.....	44
Tabla 3-14 Causas de los modos de fallo asociado a los activos de soldadura	46
Tabla 3-15 Consecuencias en la calidad de los modos de fallo asociado a los activos de curvado	48
Tabla 3-16 Causas de los modos de fallo asociado a los activos de soldadura	50
Tabla 4-1 Resultados AMFEC en curvado.....	54
Tabla 4-2 Resultado AMFEC en soldadura	55
Tabla 0-1 Análisis de modos de fallo y efectos en Transfluid DB40120-3A-CNC.....	63
Tabla 0-2 Resultados AMFEC en Transfluid DB40120-3A-CNC.....	64

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contextualización

El mantenimiento es un proceso de gran ayuda para la producción ya que permite que las instalaciones industriales puedan mantener sus herramientas, equipos y sistemas en las condiciones deseadas de funcionamiento.

El buen estado de las máquinas usadas en el proceso productivo ayuda a garantizar la calidad de los productos fabricados. Por este motivo es muy recomendable la realización del mantenimiento en el entorno industrial.

El presente trabajo consistirá en el estudio del taller de tubos de la empresa Navantia de la unidad productiva de Ferrol con el fin de obtener una serie de medidas a aplicar para garantizar la calidad exigida por el cliente entendiendo por cliente tanto el interno, el operario u otros talleres, como el externo, la persona o empresa que hace el encargo o bien otro taller que se nutra de los productos fabricados en el taller de tubos.

Navantia es una empresa pública española que ofrece el diseño, construcción y reparación de buques militares y civiles, el diseño y fabricación de sistemas de control y combate, el apoyo al ciclo de vida de sus buques y sistemas y la fabricación de motores diésel y turbinas.

El principal cliente de Navantia a nivel nacional es la Armada Española con la que lleva colaborando desde hace más de 250 años. El nivel de la Armada Española así como su gran capacidad operativa por todo el mundo y con otras marinas hace que Navantia pueda realizar productos de gran valor añadido.

Navantia se presenta como un referente en construcción y diseño de buques militares con la más reciente tecnología en un contexto nacional e internacional; Para la Armada Española ha desarrollado proyectos como corbetas, cazaminas, buques anfibios así como la construcción de un portaaviones, un buque de investigación oceanográfica y un buque de aprovisionamiento para el combate, entre otros. Además Navantia ha firmado contratos con países como Australia, Noruega, Malasia, Venezuela, India, Chile, Marruecos y Tailandia.

Al haber expandido su abanico de clientes, la empresa ha llevado a cabo en sus instalaciones una modernización de procesos para conseguir el máximo rendimiento posible. Fruto de ella se están aplicando técnicas como la mejora continua o el mantenimiento basado en fiabilidad.

La empresa dispone de astilleros especializados tanto en nuevas construcciones como en reparaciones y transformaciones, ubicados en las costas del mar Mediterráneo y del océano Atlántico [1].

1.2 Motivación

La misión de la Armada Española se centra en permitir el uso del mar de una manera segura y la defensa de los intereses del estado español. Conocida la función de la empresa Navantia y su relación con la Armada Española junto con la misión que realiza ésta última, se extrae la importancia de la obtención de productos con una calidad mayor que la requerida por otras industrias de ámbito civil.

Los productos obtenidos deben responder ante situaciones extremas. Por tanto, es fundamental la implantación de un sistema de mantenimiento de la maquinaria productiva que asegure, en la medida de lo posible, la calidad de ésta.

Para conseguir lograr este objetivo de calidad óptima se implementa el método de mantenimiento centrado en la fiabilidad de la maquinaria de producción, bajo el criterio de calidad.

1.3 Objetivos

Este trabajo se centra en el estudio y la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M. ‘‘Reliability Centered Maintenance’’) con el criterio de calidad con el fin de conseguir los siguientes objetivos:

- Analizar los elementos de la instalación y el flujo de trabajo en la misma detectando los principales modos de fallo de la maquinaria que afecten a la calidad.
- Detectar las causas y consecuencias de estos modos de fallo prestando especial atención a aquellos que tengan mayor criticidad a la hora de asegurar la calidad de los tubos fabricados.
- Redactar una serie de medidas que, en la medida de lo posible, corrijan estos fallos asegurando así una mayor calidad de las piezas producidas.

Este estudio se aplicará en el taller de tubos de las unidades de producción de Ferrol de la empresa Navantia.

1.4 Organización de la memoria

La presente memoria se organiza de la siguiente manera:

En primer lugar, se realiza una introducción al tema del trabajo así como la explicación de la motivación que ha llevado a realizar el trabajo y se exponen los objetivos a alcanzar en el mismo.

En segundo lugar, se explica el concepto de mantenimiento y su evolución a lo largo de la historia. A su vez se explica en profundidad el mantenimiento industrial y los tipos de mantenimiento que se dan en la industria. También se hace mención al mantenimiento realizado en la Armada Española. Asimismo se explica cómo surge el mantenimiento centrado en la fiabilidad, se menciona la metodología que emplea y su implantación en la industria.

En cuanto al desarrollo del trabajo se expone primeramente la metodología en profundidad y posteriormente se explica cómo se ha ido aplicando esta metodología en el taller elegido.

En el apartado resultados, se exponen las conclusiones del análisis y se sugieren las medidas a adoptar para prevenir la aparición de los fallos o reducir sus efectos.

Por último, se exponen las conclusiones finales del trabajo, los objetivos alcanzados y las posibles líneas futuras relacionadas con este trabajo. Después se expone la bibliografía usada para el trabajo.

La memoria concluye con un anexo en el que se expone un ejemplo completo de análisis RCM.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción del mantenimiento

El mantenimiento según la Real Academia de la lengua Española queda definido como el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente. Esta definición aplicada al entorno industrial resultaría en el conjunto de normas, técnicas y operaciones establecidas con el fin de conservar la maquinaria e instalaciones de una planta de producción para proporcionar el máximo rendimiento durante el mayor tiempo posible.

El concepto de mantenimiento ha ido cambiando a lo largo de la historia, en un principio se concebía como un conjunto de actividades correctivas para solucionar los fallos, es decir, la realización de reparaciones; Sin embargo, este concepto ha ido evolucionando hasta la actualidad donde se concibe como un método para garantizar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos y la calidad del producto final [2].

Los cambios en el mantenimiento se han debido a que a lo largo del tiempo la demanda de bienes ha ido aumentando y por tanto ha ido creciendo el número de equipos de producción, además cada vez es mayor la diversidad de productos demandados lo que ha dado lugar a una mayor variedad de activos para satisfacer las necesidades. Al haber mayor número y variedad de activos y al haber aumentado las necesidades de los clientes se necesita un método que asegure la continuidad de la producción y la calidad de los productos resultantes, para intentar conseguir este objetivo se implementa el mantenimiento.

Son funciones del mantenimiento la vigilancia permanente o periódica para mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas y seguras, controlar el estado de los equipos y su disponibilidad, la realización de acciones preventivas y, en caso de ser necesario, acciones correctivas, también es misión del mantenimiento modificar diseños de equipos o instalaciones así como el reemplazamiento de maquinaria [2]. Todo este conjunto de acciones siempre se deben hacer dentro del marco de la preservación de la seguridad de los operarios, disponiendo de las herramientas y elementos de protección pertinente, y de la gestión medioambiental teniendo en cuenta el impacto en el medioambiente.

2.2 Evolución del mantenimiento en la historia

El concepto de mantenimiento ha ido transformándose a lo largo de la historia conforme evolucionaba la sociedad. Esta transformación o desarrollo puede dividirse cronológicamente en cuatro etapas o generaciones, cada una de ellas caracterizada por una metodología concreta a la hora de aplicar el mantenimiento [2].

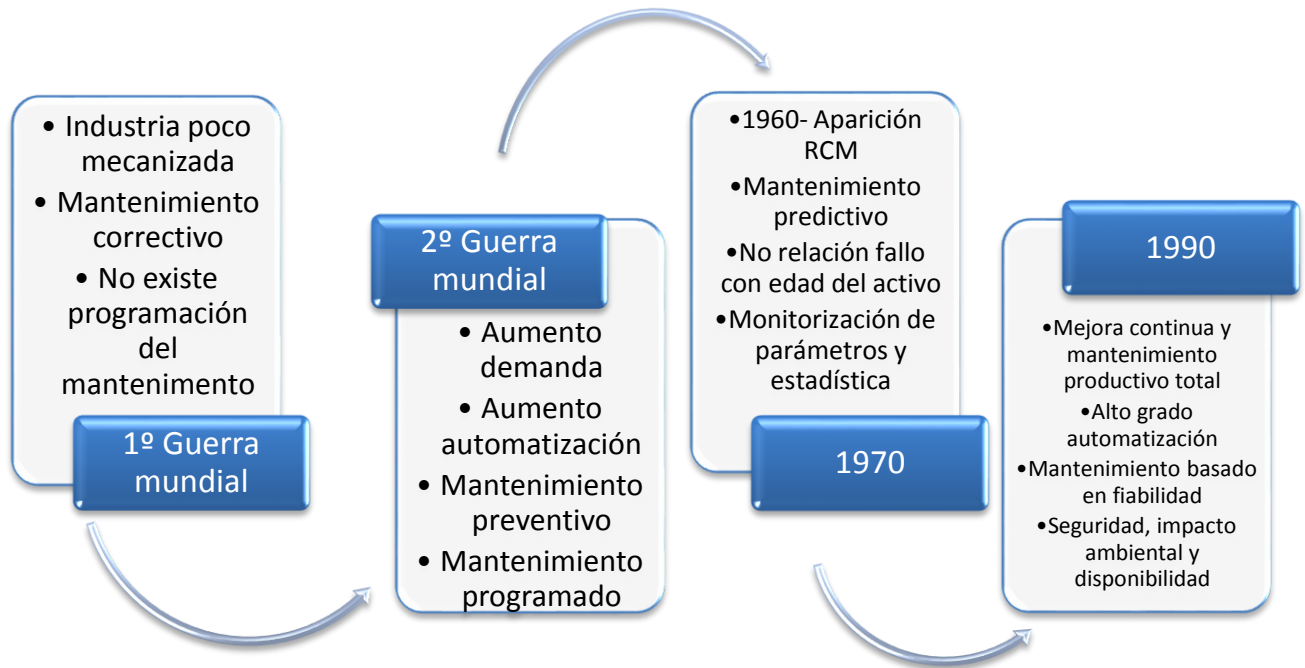


Figura 2-1 Evolución del mantenimiento a lo largo de la historia

2.2.1 Primera generación

Esta generación abarca hasta la segunda guerra mundial. En aquel momento la industria no estaba automatizada. Las máquinas de producción eran robustas, lentas, sobredimensionadas y simples. El mantenimiento se basaba en rutinas de limpieza y lubricación y solamente cuando se producía el fallo se reparaba el elemento, es decir, se hacía un mantenimiento meramente correctivo [3].

No se le daba importancia al tiempo de parada ni a la prevención de las fallas en equipos. No existían programas de mantenimiento.

2.2.2 Segunda generación

Este período tiene lugar durante la segunda guerra mundial. En este tiempo se produce un aumento de la demanda de productos, sin embargo, no existía mano de obra suficiente. Como respuesta a las crecientes necesidades del mercado la industria comenzó a introducir maquinaria para conseguir el volumen de producción requerido [2].

A partir de los años 50 aparecen máquinas más complejas y en mayor cantidad. Comienza a tomar importancia el tiempo de parada de las máquinas ya que hay mayor dependencia de ellas por la continuidad en la producción.

Surge la idea de la prevención de fallos, es decir, el mantenimiento preventivo. Se estudia la relación entre probabilidad de fallo y edad de la máquina, ya que en ese momento se creía que eran proporcionales [3].

Las empresas empiezan a establecer sistemas de control y programan el mantenimiento, debido a que el coste de mantenimiento era muy alto en relación a costes operacionales. Con esto se pretendía maximizar la vida útil de los bienes, ya que eran muy caros.

2.2.3 Tercera generación

Se estima que comienza a partir de mediados de la década de los setenta. La automatización ha ido aumentando y los períodos de parada de la máquina ahora cobran relevancia ya que implican consecuencias en la producción, coste y servicio al cliente. Aparece el concepto de la producción JIT (just in time) también llamada de inventario reducido. Además es en este período donde surge el

mantenimiento centrado en la fiabilidad, en el sector de la aeronáutica. Técnica que será de aplicación en este trabajo.

Se realizan estudios sobre la relación causa-efecto de los fallos y se llega a la conclusión de que no existe relación del fallo con la edad del instrumento, contrariamente a lo que se pensaba en las anteriores generaciones. Comienza a explotarse el mantenimiento predictivo en el que se pretende predecir o adelantarse al fallo en el equipo, esto se realiza mediante la monitorización de parámetros y la estadística [3].

Además, durante esta generación comienzan a tomar importancia aspectos como la seguridad industrial y el impacto medioambiental. Así surgen los sistemas de prevención de riesgos laborales y sistemas de gestión del medioambiente como informes de emisiones o controles del consumo.

2.2.4 Cuarta generación

Esta etapa comienza a partir de principios de los años noventa. Surgen los conceptos de mejora continua y mantenimiento productivo total. Ahora el mantenimiento es un proceso perteneciente a la totalidad de la empresa y se potencia la contribución de otros departamentos. Esto conlleva a que tareas que previamente realizaban personal de mantenimiento ahora son efectuadas por los propios operarios (mantenimiento autónomo).

Los diferentes avances tecnológicos permiten un alto grado de automatización, lo que da lugar a un agudo nivel de confiabilidad de los equipos. Se desarrolla también un mantenimiento basado en la fiabilidad de los equipos, mediante el estudio de los riesgos y el análisis de los fallos y sus efectos [2].

Las empresas consideran los efectos en el medioambiente, la mejora de la calidad y la mayor disponibilidad posible de las máquinas, ya que esto supone una mejora del rendimiento y una producción más continua y eficaz.

En la actualidad el mantenimiento industrial sigue esta última línea de acción así como la combinación de varios métodos de mantenimiento para conseguir los mejores resultados posibles.

2.3 Mantenimiento industrial

Existen diferentes tipos de mantenimiento que se distinguen entre sí por los objetivos que pretenden alcanzar, la metodología usada o las necesidades que exigen cada uno, sin embargo, actualmente en el ambiente industrial se usa una combinación de varios modelos de mantenimiento para optimizar los recursos y obtener el máximo rendimiento posible en cuanto a calidad y disponibilidad. Los diferentes tipos de mantenimiento industrial se explican a continuación.

2.3.1 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se basa en la reparación o sustitución de elementos que se realiza cuando aparece el fallo [4].

Este proceso no genera gastos fijos ya que no hay necesidad de prever ninguna actividad y por tanto el gasto de dinero sólo se realiza cuando se produce el fallo en la máquina. A corto plazo supone un buen resultado económico [4].

Por otro lado genera una incertidumbre sobre cuándo se producirá el fallo lo que hace que la producción sea impredecible y poco fiable.

Este método de mantenimiento no es recomendable para plantas que requieran alta fiabilidad o las que tengan compromisos de producción con clientes ya que al haber incertidumbre sobre los fallos de las máquinas es difícil asegurar un volumen de producción o una calidad definida para los productos fabricados en un determinado plazo por ello se asumen importantes riesgos económicos a largo plazo.

Asimismo no hay diagnóstico de la causa del fallo ya que sólo son reparados y no se produce un estudio del porqué de la falla, lo que puede dar lugar a que la avería se repita en el futuro. Como

consecuencia la vida útil de los equipos se acorta porque no se pone fin al problema de raíz sino que se le da una solución temporal, que es la reparación.

Igualmente las averías pueden suponer accidentes con riesgos para personas o medio ambiente. Por estas razones el mantenimiento correctivo normalmente es usado en combinación con otros tipos de mantenimiento.

2.3.2 Mantenimiento preventivo

El principal propósito del mantenimiento preventivo es predecir los fallos, es decir, conseguir adelantarse al fallo o al momento en el que el equipo deja de trabajar en condiciones óptimas. Para ello se usan técnicas como monitorización de parámetros consiguiendo así mantener los equipos en condiciones óptimas de trabajo permanentemente [5].

La puesta en práctica de este proceso supone el incremento de la vida útil de los equipos y maquinaria, además hay una menor probabilidad de fallos imprevistos.

El mantenimiento preventivo supone un menor coste en comparación con el mantenimiento predictivo, cuando se realiza un mantenimiento predictivo con tecnologías especializadas, además supone una reducción del coste en reparaciones en comparación con el correctivo. Esto es debido a que al conseguir adelantarse al fallo no es necesario invertir en reparaciones porque estas no surgen o no surgen con la misma frecuencia que con un mantenimiento estrictamente correctivo.

Igualmente mejora las condiciones de seguridad de los operarios ya que hay un mejor conocimiento del estado y condiciones de funcionamiento de la maquinaria.

No obstante no se puede determinar con exactitud el desgaste de las herramientas o de la maquinaria y por ende se trata de un método con cierto grado de incertidumbre. Además el mantenimiento preventivo puede dar lugar a un sobremantenimiento de un activo.

2.3.3 Mantenimiento predictivo

Se trata de un tipo de mantenimiento que sirve para pronosticar el momento de fallo de un elemento de una máquina de manera que se pueda reemplazar antes de que falle. Se basa en el seguimiento, monitorización de equipos y medición de parámetros para la obtención de la tendencia de los valores, lo que permite prever el punto de fallo de los componentes [5].

Las principales tecnologías usadas son el análisis de vibraciones, la termografía, los ultrasonidos y la comprobación del circuito eléctrico. Por otro lado, el mantenimiento predictivo puede ser sencillo y barato así como manual o no automatizado mediante inspección sensorial, entre otros.

Con este método se evitan desarmes innecesarios y se conoce el estado de la máquina, por tanto, la parada se produce sólo cuando es necesario.

Como consecuencia se tendrá una mayor disponibilidad de la maquinaria productiva al mismo tiempo que se realiza una programación de sustitución componentes, ya que se conoce el estado de la máquina.

Sin embargo, supone una gran inversión inicial debido a que los equipos requeridos siempre que se trate de un mantenimiento predictivo en el que se utilicen tecnologías especializadas, como por ejemplo los analizadores de vibraciones, son de coste elevado. También se requiere personal cualificado capaz de interpretar los resultados obtenidos en los análisis.

2.3.4 Mantenimiento productivo total

Consiste en una técnica de mantenimiento que busca la mejora de la eficiencia de los procesos y medios de producción mediante la implicación completa de todas las personas que participan en el proceso productivo. El objetivo principal es conseguir cero paradas innecesarias y cero defectos.

Se fundamenta en realizar mejoras orientadas y en el mantenimiento autónomo en colaboración con todos los operarios del proceso de producción además de la realización de un mantenimiento programado o preventivo [3].

Igualmente se debe realizar un mantenimiento de calidad para alcanzar el objetivo cero defectos, así como el entrenamiento del personal para que estén capacitados y sean personal competente teniendo en cuenta siempre la seguridad del personal y los operarios y el impacto en el medio ambiente.

Este método produce una serie de mejoras en la calidad, como un número menor de unidades defectuosas. A su vez produce mejoras en la productividad como una mayor disponibilidad y continuidad en la producción.

Ocasiona el aprovechamiento de los recursos humanos al hacer partícipes a todos los operarios en el proceso de mantenimiento y reduce los gastos de mantenimiento correctivo.

Sin embargo, supone un cambio total en la forma de trabajar, ya que todo el personal ha de interiorizarlo para que su implantación sea exitosa. Se debe realizar una inversión en formación y cambios generales. El proceso de implantación del mantenimiento productivo total es largo, pues generalmente requiere de varios años.

2.4 Mantenimiento en la Armada Española

El mantenimiento en la Armada Española es función del grupo de apoyo logístico y comprende las acciones que se han de ejercer sobre las Unidades y Sistemas para conservarlos permanentemente en las mejores condiciones de eficacia, teniendo como objetivo conservar una capacidad equivalente a la que cada Unidad o Sistema tenía la entrar en servicio. Otro objetivo aparte del mantenimiento de la operatividad es el de evolucionar las Unidades y Sistemas a lo largo del tiempo para actualizar sus capacidades y tecnologías, esto se consigue a partir del mantenimiento evolutivo y supone gran parte del mantenimiento efectuado en la Armada Española.

El mantenimiento en la Armada se diferencia en varios niveles o escalones, en cada uno de ellos el personal encargado de realizarlo varía, así como la figura sobre la que recae la responsabilidad de su correcta realización.

Escalones	Personal	Responsabilidad
Primer escalón	Dotación de la unidad	Jefe de la unidad
Segundo escalón	Grupos/instalaciones ajenos a la unidad	Autoridad subordinada al Almirante de la flota
Tercer escalón	Grupos/instalaciones ajenos a la unidad	Autoridad subordinada al Almirante jefe de apoyo logístico
Cuarto escalón	Grupos/instalaciones ajenos a la Armada	Autoridad subordinada al Almirante jefe de apoyo logístico

Tabla 2-1 Escalones de mantenimiento en la Armada Española.

Los principales tipos de mantenimiento aplicados en la Armada Española son el mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo y el mantenimiento de modificación que comprende las acciones a las que se somete el material para mejorar su rendimiento operativo, fiabilidad o mantenibilidad.

Los métodos de mantenimiento más usados en la Armada Española se definen a continuación.

Método de mantenimiento	Características
Obras de gran carena	Inmovilizaciones de gran duración Acciones de mantenimiento de todos los tipos Actuación intensa de los escalones
Inmovilizaciones periódicas	Más cortas que obras gran carena Rehabilitaciones progresivas Método de mantenimiento de unidades baja prioridad logística
Inmovilizaciones incidentales	Mantenimiento correctivo sistemas vitales para seguridad Establecer rendimiento por encima grado eficacia operativo
Rehabilitación progresiva	Reemplazo programado de equipos desgastados Reemplazo antes de avería para rehabilitación

Tabla 2-2 Métodos de mantenimiento en la Armada Española

Asimismo aparte de los métodos expuestos en la tabla anterior la Armada Española dispone de una serie de técnicas por las que se efectúa mantenimiento preventivo, predictivo y basado en fiabilidad con el fin de optimizar la vida útil de los equipos y mantener un mantenimiento programado de los mismos.

- Mantenimiento continuo consistente en la programación continua y ejecución de las acciones de mantenimiento que se efectúan durante el período operativo siempre que las actividades lo permitan.
- Mantenimiento por síntomas, éste método se basa en la observación de los parámetros fundamentales de funcionamiento de sistemas y equipos.
- Mantenimiento por fiabilidad, se trata de un mantenimiento preventivo programado en función de la frecuencia e importancia de los fallos de los equipos y sistemas.
- Mantenimiento integral, comprende las acciones necesarias para el análisis, planificación y ejecución del sostenimiento de sistemas completos durante un ciclo de vida.

El mantenimiento basado en fiabilidad actualmente es usado en las fragatas de la clase Álvaro de Bazán. El mantenimiento en estas unidades se fundamenta en aplicar la reparación por sustitución de módulos y en la aplicación del mantenimiento correctivo a bordo, para obtener un balance óptimo entre disponibilidad del material y el coste. [6] [7]

También se trata de minimizar el mantenimiento preventivo, minimizar el número de personal dedicado a labores específicas de mantenimiento y de utilizar la rehabilitación programada y el mantenimiento basado en la condición. El objetivo es el de reducir los costes de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de los buques durante todo su ciclo de vida así como aplicar los modelos de mantenimiento predictivo. Se utilizarán para ello técnicas tales como la vigilancia de la condición de los equipos, análisis de vibraciones, análisis de aceites, termografía, etc.

Para la aplicación de estos fundamentos, se cuenta con un Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP), que se encarga de monitorizar y actuar sobre sensores y actuadores de los sistemas de plataforma. Este sistema supone un control centralizado por ordenador desde consolas de tipo PC, tanto para arrancar y parar equipos, monitorizarlos y controlar las alarmas de funcionamiento.

En las fragatas clase Álvaro de Bazán se contrató un módulo nuevo llamado Sistema de Mantenimiento por Síntomas (SMS), subsistema del SICP, que se trata es una herramienta del sistema para poder aplicar la filosofía de RCM en el mantenimiento de buques. Este sistema estará incluido en otros buques como los futuros submarinos S80. [7]

2.5 Mantenimiento centrado en la fiabilidad

2.5.1 Historia

El RCM o mantenimiento centrado en la fiabilidad es un método de gestión de mantenimiento en el cual un equipo de personas se encarga de optimizar la fiabilidad operacional de un sistema que actúa bajo unas condiciones de trabajo determinadas. Se establecerán las labores más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de sus elementos, prestando también atención a las consecuencias que producen los fallos en la seguridad, el medioambiente y en el proceso operacional [8].

El mantenimiento RCM surge en el año 1960 [3]. El comienzo del uso de este método está asociado al sector de la aviación, en ese momento el número de accidentes en aviación se estimaba en 60 por cada millón de despegues, éste número en la actualidad se correspondería con dos accidentes diarios, siendo la mayoría de ellos causados por fallos en los equipos.

El mantenimiento hasta entonces se basaba en revisiones periódicas ya que la industria de la aviación esperaba el desgaste de las piezas al cabo de determinado tiempo, por ello pensaban que con estas revisiones podrían prevenir los fallos que pudieran surgir. Las reparaciones consistían principalmente en el descarte y reconstrucción de los componentes. La introducción del Boeing 707 junto con otros nuevos modelos de aviones en los años sesenta dio lugar a que las aerolíneas concluyeran que las medidas de mantenimiento usadas hasta el momento eran insostenibles [3].

Por ello la Administración Federal de Aviación (FAA), entidad gubernamental que se encarga de la regulación de todos los aspectos de la aviación civil de Estados Unidos, y la industria de aviación comercial formaron grupos de trabajo para estudiar las políticas de mantenimiento usadas, llegándose a la conclusión de que las pequeñas reparaciones tenían muy poco o ningún efecto en la confiabilidad o seguridad en muchos de los casos, ya que el número de accidentes por fallo no se reducía.

Antes del estudio se asumía que el intervalo entre reparaciones se podría ajustar al momento justo anterior al fallo o al desgaste, sin embargo, el estudio realizado por la FAA y la industria de la aviación comercial demostró que en la mayoría de los casos no había un cambio en seguridad o fiabilidad si se cambiaban los límites de las reparaciones con esto se demostró que muchos modelos de fallos no tienen un tiempo de reparación determinado o preestablecido. Como alternativa al antiguo modelo de reparaciones nació el mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM.

De esta investigación surgen las guías de mantenimiento M.S.G-1, documento que permite deducir las tareas aplicables en una aeronave para mantenerla operativa y M.S.G-2, adecuación de la lógica M.S.G-1 para aplicar lo obtenido. Diez años más tarde se publica la M.S.G.3 como mejora a la M.S.G-2.

Con el desarrollo del M.S.G-3 se descubre que existen seis patrones de falla (ver Figura 2-2), siendo la mayoría de ellos no predecibles. Los tres primeros patrones de fallo (A, B y C) tienen relación con la edad o desgaste del activo, sin embargo, con el desarrollo de la electrónica la probabilidad de fallo deja de estar relacionada con la edad (D, E y F). Por ello se pasa de un modelo de “curva de bañera” (patrón de fallo B) en el que se encuentra una mortalidad prematura elevada seguido por un grado bajo de fallo aleatorio y terminando en una zona de alta probabilidad de fallo por desgaste, a un modelo en el que la probabilidad de mortalidad prematura es alta seguido de un período en el que el activo falla al azar (patrón de fallo F) [5]

También se elabora normativa en relación al campo de la aeronáutica como son la SAJE JA1011 y SAE JA1012. La primera es el conjunto de criterios de evaluación a seguir en el proceso RCM y la segunda es una guía que amplifica y clarifica estos criterios.



Figura 2-2 Patrones de falla en activos [9]

Así surge el RCM cuyo objetivo es optimizar el mantenimiento asegurando la fiabilidad y seguridad del equipo al menor coste posible, éste método realizado correctamente supone una serie de beneficios como reducción del coste del mantenimiento general, maximización de la seguridad y salud ambiental además de servir como medio para la mejora continua del programa de mantenimiento y el rendimiento del equipo así como método para asegurar la calidad del producto fabricado.

2.5.2 Metodología

El método del mantenimiento centrado en la fiabilidad produce, aparte de una serie de beneficios como el aumento de la fiabilidad de la instalación, el aumento del conocimiento de la instalación, la mejora de la calidad de los productos fabricados, la reducción de los costes de mantenimiento además de conseguir una mejora en la seguridad de los operarios, un menor impacto medioambiental y una disminución de la dependencia de los fabricantes. Sin embargo, la implantación de este método supone una serie de inconvenientes, entre ellos se encuentra la profundidad técnica del análisis que debe ser realizado por profesionales con experiencia en este campo, además de que requiere mucho tiempo para implantarlo. Por último, es destacable el alto coste que supone su aplicación, aunque esto no quiera decir que no sea un método rentable.

Generalmente se suele usar en combinación con otras técnicas, como el mantenimiento autónomo. En este método cada operario, previamente formado y entrenado, es responsable del mantenimiento de su propia máquina de trabajo.

Fundamentalmente se combina con el mantenimiento productivo total. Al fusionar ambos métodos se optimiza la vida útil de los equipos, igualmente permite una mejor programación del mantenimiento y mayor proactividad en la eliminación de defectos de mantenimiento.

Para implementar el modelo RCM primero se deben identificar todos los equipos de la planta a estudiar, incluyéndose siempre la planta en su totalidad. Posteriormente se determinará que equipos son los críticos para la planta. Este estudio de criticidad se realiza debido a que es un indicador proporcional

al riesgo y apoya a la toma de decisiones de modo que se puedan gestionar correctamente los recursos. En el presente trabajo se tomará el criterio de calidad en cada una de las etapas.

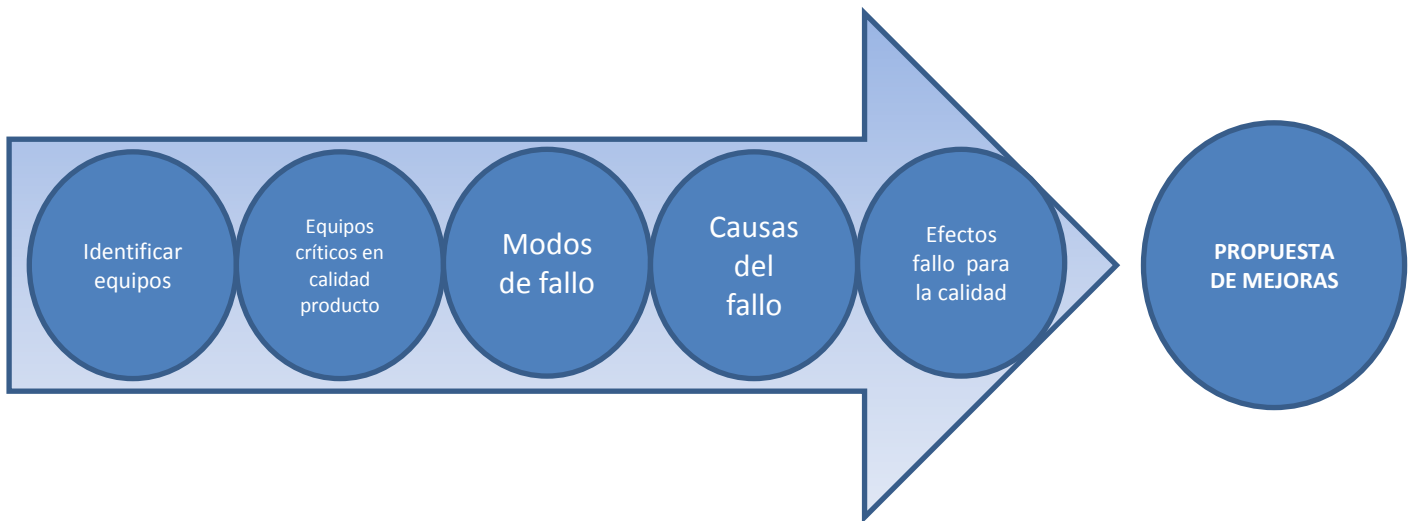


Figura 2-3 Esquema de las etapas del trabajo

Una vez seleccionados estos equipos se deben responder siete preguntas que permitirán la implementación de este método de mantenimiento. Estas siete preguntas sirven como guía para la implantación de este método y como objetivo tienen proponer una serie de mejoras para corregir los fallos y así buscar la máxima eficiencia en calidad del producto.



Figura 2-4 Preguntas básicas del RCM

El responsable de responder a estas preguntas es un equipo de trabajo formado por personal de mantenimiento, personal de operación y especialistas externos, es decir, un panel de expertos.

Para obtener todos los datos necesarios es preciso realizar un análisis en profundidad y una observación minuciosa del funcionamiento de la instalación y, más concretamente, de todos sus equipos. Las técnicas de recogida de datos se basan fundamentalmente en la observación de los procesos y en la investigación y estudio del histórico de datos. Las técnicas de tratamiento de datos más habituales se basan en la estadística, en la comparación y en el análisis de datos proporcionados por el fabricante.

El resultado será un análisis en profundidad suficiente y razonable para garantizar la seguridad, disponibilidad y calidad a un coste de mantenimiento aceptable, disminuyendo las revisiones planificadas y reemplazándolas por un mayor número de labores de mantenimiento predictivo.

2.5.3 Implementación

La metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad puede tener diversos enfoques, fundamentalmente se distinguen dos, el enfoque centrado en la calidad y el centrado en la disponibilidad.

El primero de ellos, enfoque centrado en la calidad, busca la mejora continua de los productos y servicios para la satisfacción del cliente entendiendo como cliente a toda persona que participa en el proceso productivo, es decir, existen el cliente interno que serían los operarios o bien otros talleres de la empresa que se nutran del taller en estudio, y el externo que sería el receptor del producto final fabricado.

Para ello a lo largo del proceso de producción se definen una serie de parámetros de calidad que son revisados en cada etapa de producción para asegurar que se consigue la calidad requerida. Este trabajo se centrará en este enfoque.

El segundo de los enfoques, centrado en la disponibilidad, busca la mayor disponibilidad de los activos.

En la actualidad muchas empresas aplican la metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad con enfoque de calidad. Principalmente es usado en empresas relacionadas con la aeronáutica, como Boeing o Airbus, ya que nació en este sector, aunque debido a sus beneficios, empresas de otros ámbitos están también lo han implantado, como es el caso de Toyota.

Además, como ya se ha visto previamente, instalaciones militares lo han implantado como es el caso de la Armada Española con las fragatas F-100 clase Álvaro de Bazán. Asimismo la Armada Americana también lo ha adoptado mediante dos documentos que lo adaptan a sus necesidades, estos son el MIL 1629 y el MIL 2173 AS [10].

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Taller de tubos Navantia Ferrol

El taller de tubos de Navantia en las instalaciones de Ferrol se encarga de elaborar tubos para los distintos buques que se construyen en esta empresa. Se fabrican una gran variedad de tubos de diferentes diámetros, materiales y espesores que sirven para los distintos servicios que forman los buques. [11]

Al haber expandido Navantia su cartera de clientes a Armadas extranjeras como la Armada de Tailandia, Noruega o Australia, los talleres que componen sus instalaciones se han adaptado a las necesidades exigidas por los clientes. Llevando a cabo una modernización de equipos y procesos para elaborar productos con la máxima garantía de calidad. Así, desde hace diez años se han renovado equipos de cada uno de los procesos que tienen lugar en el taller para responder a los requerimientos del mercado.

En concreto el taller de tubos está integrado en un plan de mejora continua que ha sido efectuado en diversas etapas.

En la actualidad el taller de tubos, junto con su almacén y pañoles, están reconocidos con el nivel OOL (Organización, Orden y Limpieza) de la metodología 5s, que se corresponden con las tres primeras etapas. Esta metodología se basa en la aplicación de mejoras al propio entorno de trabajo.



Figura 3-1 Buzón de sugerencias 5S en el taller de tubos

Se compone de cinco etapas; Clasificación, distingue los elementos necesarios de los innecesarios y elimina estos últimos, organización, mantiene los elementos necesarios en el lugar correcto, limpieza, mantiene el entorno de trabajo ordenado y limpio, estandarización, crea un modo consistente de la realización de tareas y procesos y, por último, la disciplina que convierte en hábito la realización de las anteriores técnicas. Las 5s aportan compromiso a nivel global ya que se hace de la mejora continua una tarea de todos.

Los objetivos de este programa aplicados al taller son:

- Disminución del riesgo de cometer errores
- Elaboración de productos con la máxima calidad posible
- Evitar despilfarros
- Identificar lo correcto de lo incorrecto rápida y eficazmente
- Disponer de un lugar de trabajo seguro

El taller de tubos de Navantia Ferrol participa en la cultura de Navantia de la Calidad Total en los ámbitos de prevención, medioambiente y calidad. [11]

En cuanto a calidad tiene la certificación PECAL/AQAP 2110 otorgada por el ministerio de defensa y que certifica que tiene los requisitos OTAN para el diseño, desarrollo, producción y mantenimiento de buques, artefactos flotantes, pequeñas embarcaciones y equipos industriales para el sector de defensa.

En el ámbito de prevención posee la certificación OHSAS 18001:2007 que certifica que el taller tiene implantado un sistema de gestión de seguridad y salud eficaz para el desarrollo de sus actividades.

En cuanto al medioambiente se puede destacar la certificación UNE EN ISO 14001:2004 que garantiza un correcto sistema de gestión medioambiental.

Además para cada proceso que integra la elaboración de un tubo están establecidos unos indicadores de calidad que miden, entre otros parámetros, el índice de rechazo. Esto permite localizar anomalías y tomar medidas sobre ellos, mejorando el conjunto del proceso y el producto

Estos indicadores son:

- En el proceso de curvado: Tubos curvados defectuosos
- En el proceso de fabricación: Tubos fabricados defectuosos
- En el procesos de soldadura: Pulgadas soldadas defectuosas

Se tiene un control total sobre la producción. Para la trazabilidad de los productos en el taller se marca cada tubo de materia prima con un código, mediante el cual se puede saber en qué se ha transformado esta materia prima. Asimismo, cada tubo posee una hoja de ruta propia en la que queda reflejado cada proceso por el que ha pasado. Además se está probando un proyecto piloto que consiste en un sistema informático que permite localizar el proceso en el que se encuentra cualquier tubo, esto se realiza mediante terminales de radiofrecuencia que actualizan la situación a medida que se producen cambios de estado.

Además, el taller dispone de planes de mantenimiento autónomo en la máquina de corte térmico, las máquinas de curvado, la máquina extrusora así como en los taladros y los tornos. Se realiza en estas máquinas debido a que por sensaciones de un panel de expertos formado por operarios y mandos del taller se consideran críticas para el proceso productivo.

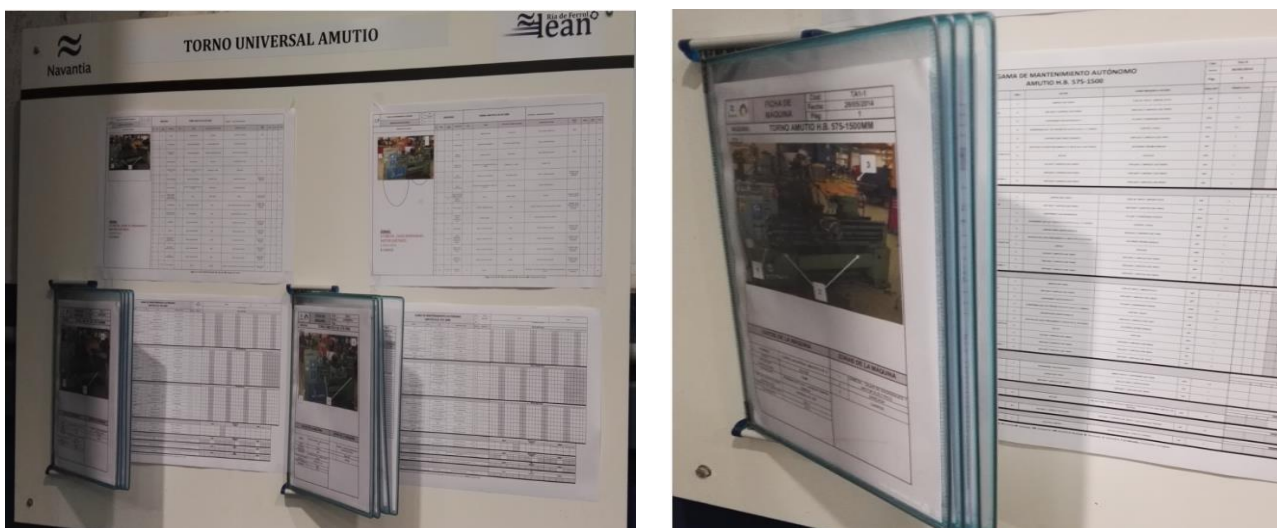


Figura 3-2 Panel de mantenimiento autónomo en torno universal amutio

3.2 Metodología empleada

El presente trabajo se centra principalmente en la utilización de metodologías de mantenimiento centrado en la fiabilidad con el criterio de calidad. Sin embargo, no es la única herramienta empleada ya que el RCM tiene como base el análisis de modos de fallo, efectos y criticidad, con el que se conseguirá jerarquizar y priorizar los fallos encontrados que afecten a la calidad de las piezas. A continuación se explicará la metodología empleada en profundidad.

3.2.1 Metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad

El mantenimiento centrado en la fiabilidad es un proceso sistemático que busca asegurar que cualquier equipo de una instalación puede realizar la función para la que fue concebido. Este método se basa en una serie de pasos previamente definidos y completados en un orden coherente siguiendo unas reglas específicas. Esta serie de pasos se compone de siete preguntas que fueron descritas en el apartado estado del arte y que ahora se desarrollarán en profundidad.

3.2.1.1 Proceso de análisis de criticidad

Previamente a efectuar el análisis RCM en sí, se realiza un análisis de criticidad para establecer cuáles son los activos más críticos o los que suponen un mayor riesgo para la planta atendiendo a un criterio escogido, en el caso de este trabajo el de calidad.

Una vez efectuado este proceso se determina qué activos tienen mayor criticidad. A aquellos cuya criticidad sea baja se les aplicará el mantenimiento que se estaba aplicando hasta el momento. Sin embargo, aquellos que cuya criticidad sea media o alta serán objeto de estudio del proceso RCM.

3.2.1.2 Identificación de funciones y estándares de funcionamiento

En el primer paso de éste método se definen las funciones de los activos, las categorías de funciones que existen y el modo en que se deben de presentar.

Al definir la función de un activo, se debe hacer de la manera más completa posible, para ello se debe especificar, en la medida de lo posible, el nivel de funcionamiento deseado por el usuario ya que no sólo se espera que el activo realice una función sino que lo haga con un nivel de funcionamiento óptimo. Por ello el funcionamiento queda definido por la capacidad propia del activo y por la acción que el usuario quiere que desempeñe.

La magnitud de esta acción que el operario quiere que el activo desempeñe se puede definir a través de los estándares de funcionamiento. Las descripciones de funcionamiento pueden incluir más de un estándar de funcionamiento. Estos se dividen principalmente en varias clases, los estándares cualitativos,

los cuantitativos, los de funcionamiento múltiple, los de funcionamiento absoluto y los de funcionamiento variable.

- Los estándares de funcionamiento cuantitativos expresan con exactitud que se requiere de un activo y se deben incluir siempre que sean relevantes.
- Sin embargo, cuando es imposible definir estándares cuantitativos se pasará a definir estándares de funcionamiento cualitativos aunque se debe tener especial cuidado con la redacción de estos últimos.
- En cuanto a los estándares de funcionamiento absoluto, se trata de funciones que implican un todo, como ocurre con las funciones de contención. Por ejemplo, un sistema que contiene un determinado líquido, donde se consideraría que el sistema debe contener el líquido y que cualquier pérdida se considera un fallo.
- Los estándares de funcionamiento variables se refieren a aquellos activos que funcionan entre dos extremos, es decir, entre un límite inferior y otro superior.
- Por último, los estándares de funcionamiento múltiple son referidos a activos con múltiples funciones y en ocasiones con muchos estándares de funcionamiento.

Asimismo, aparte de un conocimiento de las funciones de los activos se debe entender el contexto operacional de los mismos, es decir, como se relacionan unos con otros en el proceso de producción. Algunos factores que se deben tener en cuenta son la interconectividad de equipos, la existencia de redundancias, los estándares de calidad y medioambientales, los riesgos para la seguridad, los turnos de trabajo de los operarios y la existencia de productos en proceso.

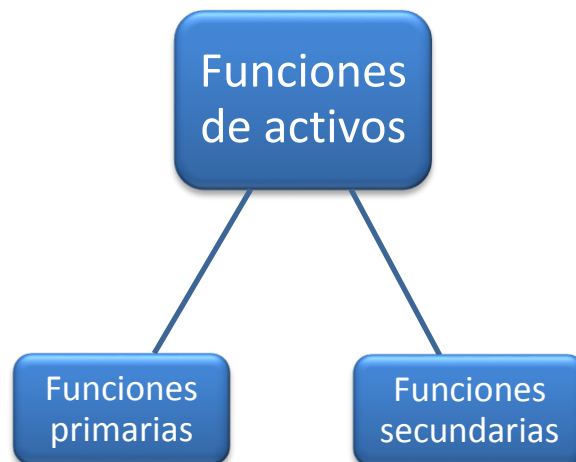


Figura 3-3 Funciones de activos

Las funciones de un activo se dividen en dos categorías principalmente, las funciones primarias y las secundarias, ya que un activo puede tener más de una función:

- La función primaria es la función específica del equipo y usualmente da el nombre al activo. Por ejemplo, la función primaria de un transportador sería transportar material de un lugar a otro. Un equipo puede tener más de una función primaria.
- Las funciones secundarias son funciones adicionales a las primarias y se dividen en siete tipos. Estas son las que se muestran en la Figura 3-4.



Figura 3-4 Funciones secundarias en activos

Dentro de las funciones secundarias encontramos estos grandes grupos:

- Las funciones de higiene son el conjunto de funciones secundarias que no contaminan el producto que procesa dicho equipo o bien aquellas que cumplen con los estándares de funcionamiento requeridos.
- Las funciones de soporte se relacionan con la integridad estructural de los activos, ya que en ocasiones una función secundaria de un activo puede ser dar soporte a otro activo u otro componente.
- El aspecto también puede definir una función secundaria específica de un activo como ocurre en el caso de las pinturas de los tubos de gas que no sólo protegen de la corrosión sino que identifican que tipo de gas contiene.
- Asimismo, la contención puede ser la función principal de un activo sin embargo, es considerada como función secundaria de muchos activos como bombas o cintas transportadoras.
- Las funciones de aislamiento e indicadores son referidas a que ocasionalmente los equipos aparte de su función principal pueden desempeñar funciones de indicadores de parámetros como indicadores de presión o temperatura así como funciones de aislamiento térmico, eléctrico, sonoro o mecánico.
- En cuanto a las funciones de protección, se encuentra que cuanto más complejo es el activo más probabilidad hay de que falle por esta razón se necesita aumentar los mecanismos de protección. Estos mecanismos pueden funcionar atrayendo la atención del operario, mediante alarmas o luces, parando el equipo cuando va a fallar, eliminando o minimizando las condiciones anómalas que siguen a un fallo, este es el caso de válvulas de seguridad o equipos contraincendios, además estos mecanismos pueden reemplazar la función que ha fallado mediante la redundancia de equipos y, por último, se previene la aparición de situaciones peligrosas mediante la instalación de protecciones.

- En un activo también pueden existir funciones superfluas, esto ocurre cuando ha sido modificado y quedan componentes que no son usados pero siguen instalados y su eliminación conlleva la reducción de problemas y costes de mantenimiento.

Para finalizar, una vez hecho este estudio de los activos, sus funciones principales y secundarias, contexto operacional y sus estándares de funcionamiento, se debe presentar la información de una manera clara en hojas de información para una mejor y más rápida comprensión.

3.2.1.3 Identificación de los fallos

En el método del mantenimiento basado en la fiabilidad se tienen en cuenta los fallos funcionales, es decir, la incapacidad de un activo de cumplir una función que el operario espera que desempeñe.

Como se ha visto previamente los activos pueden tener varias funciones y estas pueden ser diferentes entre ellas, por tanto, como pueden fallar algunas o bien todas, un activo puede verse dañado por numerosos estados de fallo.

El fallo puede ser total si se pierde por completo la función o parcial si solamente lo hace en parte, sin embargo, ambas formas son igual de importantes y deben ser anotadas y registradas. También puede suceder que el activo funcione fuera de sus límites, bien por encima del límite superior o por debajo del inferior, esto también se consideraría un fallo. Igualmente un activo puede tener un fallo al perder su función de indicador o al afectar un fallo en un activo concreto a todo el contexto operacional.

En este paso se identifican los fallos funcionales asociados a cada función. Para la identificación de los fallos se puede recurrir a diferentes fuentes como los manuales de operación y mantenimiento, el registro de tareas existentes de mantenimiento preventivo o correctivo, la experiencia de los operadores y mantenedores, otros análisis anteriores y bases de datos de modos de fallo.

3.2.1.4 Análisis de modos de fallo efectos y criticidad

En esta parte del proceso el RCM se apoya en la herramienta de análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (AMFEC). [12]

El análisis de modos de fallos, efectos y criticidad es un método dirigido a lograr, en este caso, el aseguramiento de la calidad y que mediante un análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo de mayor riesgo mediante la evaluación de su severidad, ocurrencia y detección. Estos parámetros permiten el cálculo del Número de prioridad de riesgo (NPR) con el que se pueden medir y priorizar los fallos sobre los que se ha de actuar para evitar los modos de fallo que producen. Es decir, con ellos se determinará el orden en el que se habrá de actuar a la hora de aplicar acciones para corregir, prevenir, predecir o evitar los fallos.

Se realiza cuando se preparan nuevos diseños o procesos y, como en el caso de este trabajo, cuando se buscan mejoras para los procesos o diseños en uso.

Es una de las herramientas más usadas en la planificación de la calidad y existen dos tipos de orientación del análisis, el de diseño, que va dirigido al diseño del producto y sus componentes y el de fabricación, que va dirigido a los medios de producción que se utilizan, evaluando las deficiencias que puede ocasionar un mal funcionamiento de los mismos.

Entre los principales objetivos de la aplicación del AMFEC está la satisfacción del cliente, la introducción de la filosofía de la prevención, la adopción de acciones correctivas y preventivas, la identificación de los modos de fallo más importantes, el establecimiento para cada modo de fallo de los medios de detección necesarios y la valoración de estas acciones.

En el mantenimiento centrado en la confiabilidad se emplea AMFEC para la jerarquización del nivel de criticidad de los fallos lo que permite plantear mejoras en el plan de mantenimiento o bien cerciorarse de que el plan de mantenimiento es aplicado en aquellos equipos en los que el riesgo es mayor.

El orden que se sigue a la hora de aplicar este método es el que se muestra en la siguiente figura.

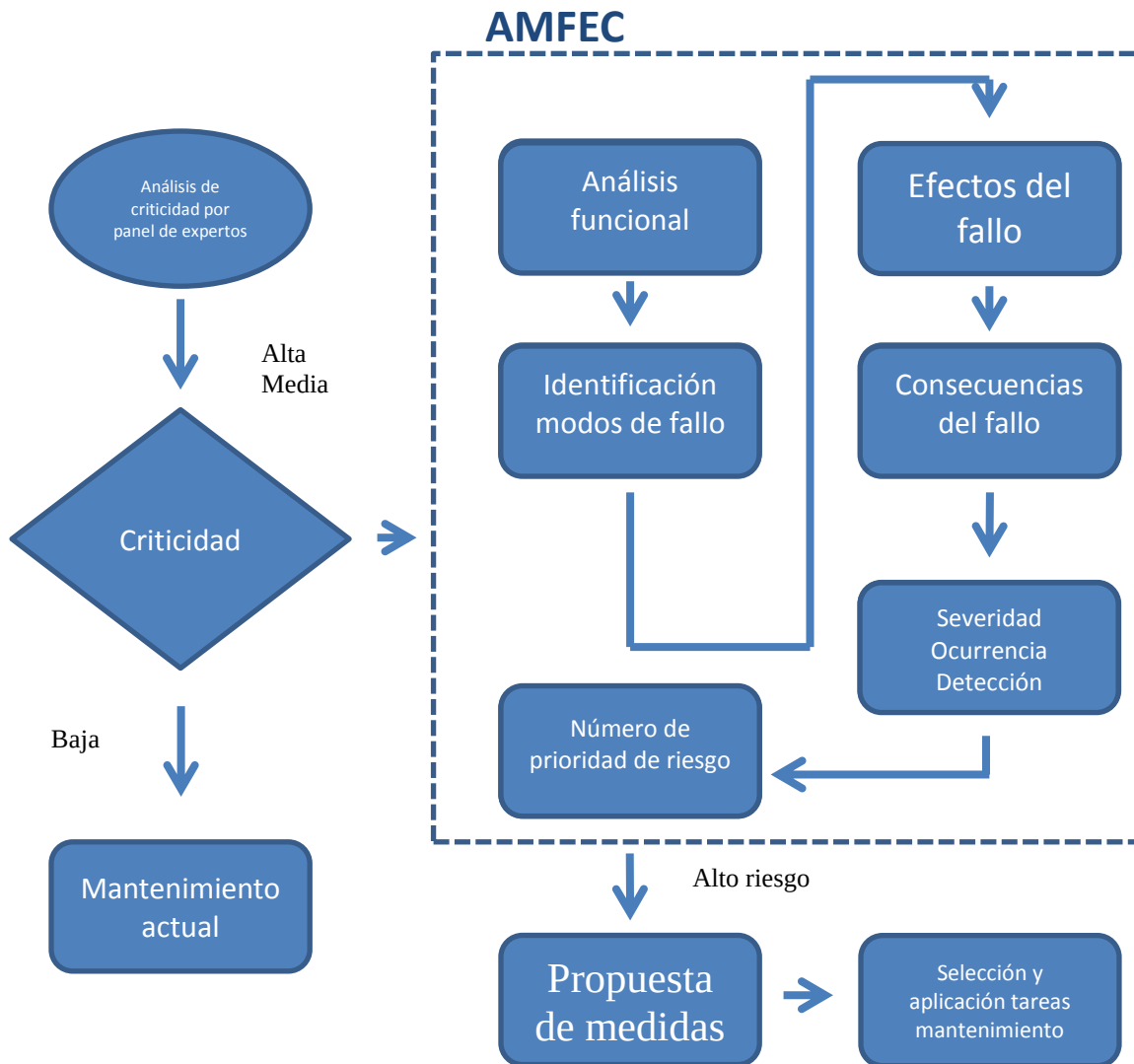


Figura 3-5 Esquema AMFEC

En primer lugar se realiza un análisis funcional de los sistemas de la instalación. Con él se identifica que funciones espera el operario que desempeñe el activo. Se ha de identificar la función principal, así como las secundarias. Esto se corresponde con la primera etapa del RCM.

Después se procede a identificar los modos de fallo, acción ya realizada también en el segundo paso del RCM. Como ya se ha mencionado, esto se hace mediante investigación de antiguos AMFECs, informes y estudios estadísticos así como mediante la observación directa de los activos en un período de tiempo.

El siguiente paso es definir los efectos y consecuencias de los fallos, estos son la forma en que el fallo se manifiesta. Los efectos y consecuencias pueden afectar a todo el activo o solo a una parte. Las manifestaciones van desde activación de alarmas o señales hasta el aumento de ruidos o la aparición de vibraciones inusuales. En cuanto a las consecuencias se contemplan consecuencias a la seguridad, medio

ambiente y producción. En el presente trabajo se considerarán estas últimas, más en concreto aquellas que tienen relación con la calidad final del producto.

Una vez identificados los efectos y consecuencias de los fallos se hace una jerarquización del riesgo mediante la evaluación de la gravedad del fallo, la estimación de la probabilidad de ocurrencia y la probabilidad de no detección. El producto de las tres características da como resultado el número de prioridad de riesgo (NPR). Este número es el que indica el grado de riesgo o la criticidad del fallo y permite priorizar unos fallos respecto de otros.

Una vez hecho este análisis se elabora un documento que recoja toda la información obtenida para poder así actualizar los documentos previos. Asimismo se elaboran y difunden documentos de mantenimiento actualizados

También se debe identificar las causas del fallo de manera que se pueda saber el foco del mismo para propuesta de mejoras futuras. Las principales causas de fallo en activos son las que muestra la Figura 3-6 Principales causas de fallo en activos



Figura 3-6 Principales causas de fallo en activos

Estos son los principales causas de fallo funcional en activos; Sin embargo, puede haber otros no contemplados en estas categorías ya que hay cuantiosas causas de fallo en una instalación.

- Deterioro: Producido por la exposición continuada de un activo a esfuerzos que disminuyen su resistencia y terminan provocando el fallo.
- Fallos de lubricación: Tanto por falta de lubricante como por deterioro del propio lubricante.
- Polvo y suciedad: Provoca la obstrucción y el atasco de las máquinas. Además, puede suponer fallos en la apariencia de los activos. Esta causa de fallo es una de las principales que afectan a la calidad de los productos, ya que provoca la desalineación de los elementos de la máquina al introducirse en sus mecanismos.
- Desarme: Engloba la caída o salida de componentes del activo, fallo en las soldaduras o remaches y fallo en conexiones eléctricas.

- Error humano: Este tipo de errores pueden reducir la capacidad del proceso hasta que se produzca el fallo funcional total, por ello deben ser registrados y corregidos.
- Sobrecarga deliberada constante: Para satisfacer la demanda los activos son sometidos a esfuerzos por encima de su capacidad durante un período de tiempo variable.
- Sobrecarga no intencional repentina: Suponen un incremento repentino no intencional del esfuerzo, se aplica momentáneamente una carga que el activo no puede soportar.
- Materias primas y materiales incorrectos: Se producen por el uso de materiales fuera de especificaciones.

En el análisis de fallos se debe identificar la causa de cada modo de fallo pudiendo tener un mismo modo de fallo varias causas.

En cuanto a los fallos calificados de bajo grado se seguirán aplicando las mismas acciones con las que eran tratados previamente al análisis por su riesgo mínimo, sin embargo, para los fallos de riesgo medio o alto se recomendarán una serie de acciones correctivas que deberán ser puestas en marcha

3.2.1.5 Efectos y consecuencias de los fallos en los activos

En este punto del análisis se estudian las consecuencias de cada fallo. Estos efectos o consecuencias pueden ser consecuencias de funciones ocultas o consecuencias de funciones evidentes.

Una función evidente es aquella cuyo fallo en algún momento será detectado por el operario, es decir, el fallo se hará evidente al operario al ocurrir por sí solos en circunstancias normales. Sin embargo, todos aquellos fallos que no son evidentes a los operarios en circunstancias normales son fruto de funciones ocultas. Por circunstancias normales se entiende que no se está haciendo nada para prevenir o detectar el fallo y si el fallo fuera detectado por sí mismo y no en fallo múltiple.

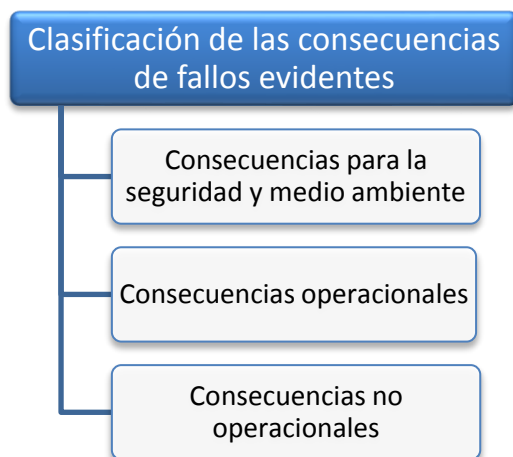


Figura 3-7 Clasificación de las consecuencias de fallos evidentes

- Consecuencias para la seguridad y medio ambiente: Consecuencias para la seguridad si hay riesgo de que lesione o mate a alguien y consecuencias para el medio ambiente si incumple alguna normativa medioambiental o se contamina al medioambiente.
- Consecuencias operacionales: Engloba todas aquellas consecuencias que afectan a la producción o las operaciones, esto incluye el volumen de producción, coste operacional junto con el coste de reparación y la calidad.
- Consecuencias no operacionales: Esta categoría solamente incluye los fallos cuyas consecuencias suponen únicamente un coste de reparación.

En el presente trabajo se tendrán en cuenta únicamente las consecuencias que afecten a la calidad del producto fabricado, incluidas dentro de consecuencias operacionales. Aunque siempre la prioridad es la seguridad de los operarios y no contaminar al medioambiente.

Sin embargo, los fallos ocultos también pueden tener consecuencias. Estos fallos en maquinaria e instalaciones modernas y complejas pueden aumentar el riesgo de fallo múltiple ya que los fallos ocultos se prodigan al no ser detectables bajo circunstancias normales. Por ejemplo, si se tuvieran dos activos iguales, activo A y activo B, que realizaran la misma función y el activo A funcionara y el B estuviera en el taller, si el A se averiara esto sería un fallo múltiple ya que el fallo de B no tiene consecuencias directas pero si indirectas ya que aumenta el riesgo de fallo múltiple.

El propósito de un programa de mantenimiento en cuanto a una función oculta es prevenir el fallo múltiple que lleva ligado o la reducción de las probabilidades de ocurrencia.

Como resumen de esta etapa se puede decir que se clasifican los fallos basándose en las consecuencias, separando así los fallos ocultos de los evidentes y ordenando las consecuencias de estos últimos por importancia.

3.2.1.6 Medidas para la prevención o predicción del fallo

En este apartado se decide si las tareas que se efectúan para prevenir que un elemento falle son realizables. Estas tareas son llamadas tareas proactivas y engloban lo que se conoce como mantenimiento preventivo y predictivo. Se dice que una tarea es realizable o factible cuando reduce las consecuencias del modo de fallo a un nivel admisible por el operario.

Para identificar cuáles son las tareas que se pueden hacer para prevenir o predecir el fallo habrá que estudiar los patrones de fallo en activos (Figura 3-8; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) dividiéndolos en dos grandes grupos, los fallos relacionados con la edad y aquellos no relacionados con la edad.

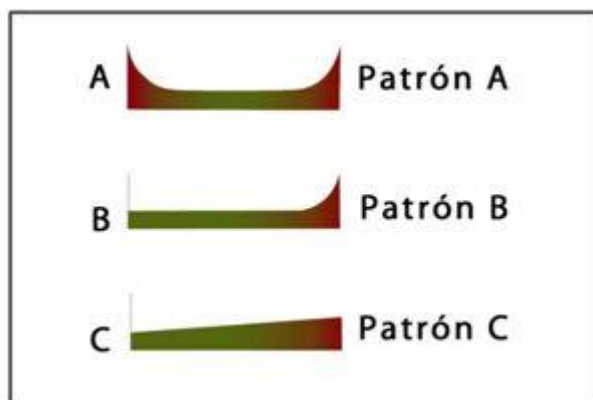


Figura 3-8 Patrones de fallo en activos relacionados con la edad [13]

En el primer grupo se encuentran los tres primeros patrones de fallo (A, B y C). Como ya se ha explicado previamente, todo activo en funcionamiento está sometido a una serie de esfuerzos y éstos hacen que el activo disminuya su resistencia hasta el punto en que el activo no puede cumplir su función. En la gráfica de los patrones de fallo A y B se puede observar que hay un punto en el que empieza a aumentar rápidamente la probabilidad de fallo, en la gráfica del patrón C el incremento de la probabilidad de fallo es constante. Son muy pocos los modos de fallo que se adaptan a estos patrones.

Usualmente estos patrones de fallo son asociados a componentes muy simples o componentes complejos que tienen un modo de fallo destacado. Se asocian con situaciones de desgaste directo, corrosión, fatiga, oxidación o evaporación. Para reducir este tipo de modo de fallo hay dos tareas que se pueden realizar: tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica. Muchas veces se pueden aplicar

ambas técnicas de forma conjunta. La frecuencia con la que se deben realizar la marca la vida útil del elemento.

Las tareas de reacondicionamiento cíclico consisten en que independientemente de la condición en que se encuentre un elemento, devolverle la capacidad antes o justo en el límite de la zona de desgaste, esto también incluye revisiones o cambios en períodos de tiempo previamente establecidos.

Las tareas de sustitución cíclica consisten en que independientemente de la condición en que se encuentre un elemento, retirar un elemento antes o justo en el límite de la zona de desgaste.

Las tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas son realizables si hay una edad a la que la probabilidad de fallo empieza a crecer repentinamente y si la mayoría de elementos sobreviven a esta edad. Sin embargo aunque sea factible realizarlas puede que haya otras tareas más efectivas

Si hay consecuencias operacionales el uso de las tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas pueden afectar a las operaciones y si no hay consecuencias operacionales estas tareas sólo se justifican si el coste es menor que el coste de reparación.

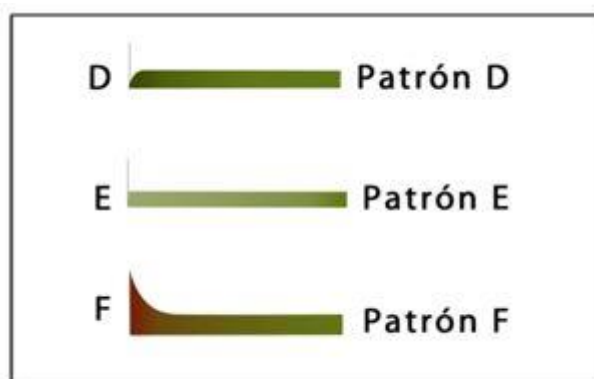


Figura 3-9 Patrones de fallo en activos no relacionados con la edad [13]

En cuanto a los patrones de fallos D, E y F se corresponden con fallos no asociados con la edad. Al no tener relación con la edad el mantenimiento preventivo es de poca utilidad para este tipos de fallos aun así si las consecuencias son serias se debe aplicar métodos de prevención de fallas. Entre estos métodos destacan las tareas a condición.

Las tareas a condición incluyen el uso de equipos especializados para monitorizar el estado de equipos de la instalación, técnicas basadas en variaciones en la calidad de producto, el uso de indicadores ya existentes, monitorización de procesos y técnicas basadas en la inspección visual.

Las tareas a condición es conveniente usarlas para reducir la probabilidad de fallo múltiple en fallos ocultos, si el fallo tiene consecuencias para la seguridad o medioambiente y si la tarea es rentable en cuanto al coste de realizarla.

Si no se encuentra una tarea a condición adecuada entonces se realizaran las tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica.

En algunos casos para ciertos modos de fallo es necesaria una combinación de tareas para reducir el riesgo de fallo al menor posible como ocurre con aquellos fallos con consecuencias para la seguridad o el medioambiente.

3.2.1.7 Búsqueda de otras alternativas

Si para un modo de fallo no se puede aplicar una tarea proactiva, las acciones a tomar variarán en función de las consecuencias del fallo.

Por lo general si la realización de la tarea proactiva no reduce el riesgo de fallo múltiple se deberá realizar una tarea periódica de búsqueda de falla, en caso de no encontrar esta tarea resultará en el rediseño del activo.

Si no merece la pena realizar un mantenimiento predictivo o preventivo para reducir la probabilidad del fallo, entonces el rediseño es obligatorio.

Si no sale rentable a largo plazo la realización de un mantenimiento proactivo y no se puede aplicar ningún tipo de mantenimiento programado entonces el rediseño debe ser justificado.



Figura 3-10 Alternativas a tareas proactivas

3.3 Aplicación de la metodología al taller de tubos Navantia Ferrol

3.3.1 Proceso de análisis de criticidad en el taller

Previamente al análisis RCM tiene lugar un proceso de análisis de criticidad. Se realizaron varias reuniones con el jefe de mantenimiento y jefe del taller, asimismo se hicieron tres visitas al taller para recogida de datos. Por limitaciones del trabajo este análisis se basó en la opinión de un panel de expertos compuesto por Ángel Fernández, director de tecnologías Lean, Javier Vilar, jefe del taller y Juan Porto, jefe de mantenimiento de las unidades productivas de Ferrol.

El análisis tiene como fin encontrar aquellos activos cuyos fallos son los que más afectan a la calidad del producto fabricado. Bajo la opinión del panel de expertos, se saca en conclusión que es en los procesos de curvado y soldadura donde la calidad del producto final se puede ver más afectada.

Por ello este trabajo se centrará principalmente en los activos ligados a estos procesos. Concretamente, en las máquinas de curvado Transfluid, Tejero, Wallace y los procesos de soldadura GMAW, SMAW, TIG y orbital.

3.3.2 Identificación de equipos y contexto operacional en el taller

Para definir el contexto operacional se habrá de tener en cuenta el proceso operativo, especificando el propósito que cumple cada sistema junto con la descripción de equipos. Además se tendrá en cuenta

el personal, especificando los turnos de trabajo y los parámetros de calidad usados y, por último, también se valorará la división de procesos, especificando la división en sistemas y sus límites.

En cuanto al resumen operativo, se determinan todos los equipos y elementos del sistema que se está estudiando y se realiza un análisis de su funcionamiento, es decir, se estudia el contexto operacional.

A pesar de que en el análisis de criticidad previo a este paso se hayan detectado cuales son los activos de mayor riesgo es necesario igualmente entender el flujo de material y el contexto operacional del taller en su totalidad para poder realizar un análisis correcto.

El taller de tubos de Navantia Ferrol está formado por dos naves de una extensión total de 5850m². Cada nave tiene tres grúas con capacidad de 5 Tm. El traslado de tubos entre naves se realiza mediante carretes de 5 Tm de capacidad.

Los tubos se desplazan en palés independientes agrupados por similitud de materiales, programa, proyecto y por proximidad en el montaje para mayor facilidad en la elaboración y montaje a lo largo del proceso de fabricación. Se evita así cualquier tipo de contaminación.



Figura 3-11 Palé de transporte de tubos

El nivel de producción medio del taller se estima en 12.000 tubos al año, esto es equivalente a 30 km de tubería. La tubería se elabora según las necesidades de cada encargo empleando distintos tipos de material, bajo las normas ASA o DIN. Los materiales más comunes son el acero al carbono, el acero inoxidable, el cobre y aleaciones cobre-níquel (CuNi 7-30, CuNi 90-10).

En el taller se dan los procesos de corte, curvado, fabricación, soldadura, mecanizado y limpieza química.

El flujo de materiales en el taller se puede observar en la Figura 3-12.

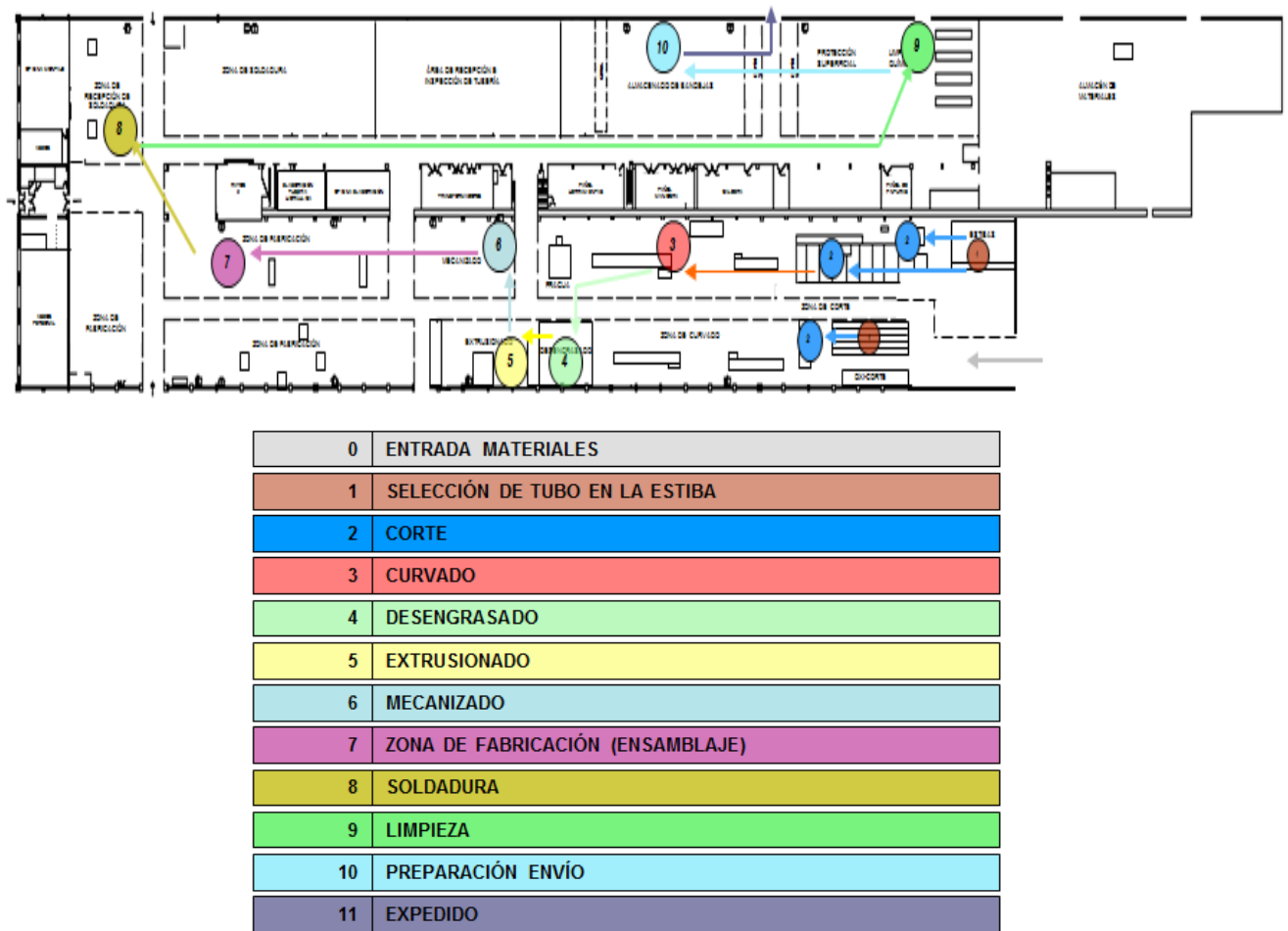


Figura 3-12 Flujo de materiales en el taller

En cuanto a la división de procesos, la descomposición funcional del taller es la que se muestra en la Figura 3-13.



Figura 3-13 Descomposición funcional del taller de tubos

1. Como se ve en la figura lo primero es la recepción de materiales proveniente del almacén general después se colocan los tubos en las diferentes estibas a la espera de pasar al proceso de corte.

El almacén general, que se encuentra fuera de la nave del taller, es el que suministra al taller los tubos. Cada tubo llega al taller con una hoja donde se encuentra la información necesaria para saber la ruta que debe seguir, denominada hoja de ruta. El pañol de materiales elabora las etiquetas identificativas de los tubos y las entrega junto con una copia en papel de la orden de trabajo a la zona de corte.



Figura 3-14 Etiqueta identificativa en tubo

A continuación se selecciona el tubo de la estiba correspondiente, ya que existe una estiba para tubos de mayor tamaño y otra en cajones para tubos de menor tamaño.



Figura 3-15 Lugar de estiba de tubos de mayor tamaño



Figura 3-16 Lugar de estiba de tubos de menor tamaño en cajones

2. En la zona de corte en función del tipo de material y sus dimensiones el proceso se realiza mediante corte térmico o corte mecánico. En esta zona se dispone de una máquina de corte térmico, que realiza corte por plasma y oxicorte en materiales férricos y no férricos como CuNi. Una vez cortados los tubos son identificados con las etiquetas previamente elaboradas y se colocan en un palé de tubos.

Además, se dispone de cuatro máquinas de corte mecánico de las cuales dos son sierras en las que se realiza el corte de tubería para diámetros hasta 8". Las dos máquinas restantes de corte mecánico son unas sierras de cinta de gran capacidad que realizan el corte de tubos de mayor diámetro y longitud, permitiendo una el corte de tubos hasta 32" y longitudes de hasta 15000 mm y la otra el corte de tubos hasta 20" y de longitudes hasta 12000 mm.

A continuación el palé se transporta a la sección de curvado, en donde a los tubos que lo requieren se les da forma.

3. El proceso de curvado se realiza con diferentes máquinas. Se encuentran dos modernas curvadoras con CNC con la única diferencia de la capacidad mínima y máxima de cada una. Además, se dispone de otra curvadora con CNC que recientemente ha sido modernizada. Asimismo se dispone de una curvadora específica para el curvado de tubos de 8" y grandes espesores de acero al carbono.

Los tubos curvados se desengrasan en las cubas disponibles para tal fin. Finalizada la operación de desengrase, los tubos son devueltos al palé, en donde esperan los tubos que no han sido curvados, es decir los rectos.

4. Al terminar el proceso de curvado el tubo pasa a la zona de fabricación, donde se produce el armado del tubo con sus accesorios (bridas, manguitos, penetraciones, salientes, etc.). Este proceso se realiza en la nave dos, en la zona contigua a la de curvado. El pañol de materiales sirve los accesorios en base a la lista de materiales de elaboración por palé. En esta zona se encuentran veinticuatro puestos de fabricación donde se realizan las tareas específicas que requieren los tubos y destacan como elementos auxiliares los siguientes:

- Dos máquinas conformadoras que realizan el rebordeado en frío o en caliente para el empleo de bridas en la unión de tuberías. El rebordeado en frío se realiza en tubos de cobre, CuNi, y acero inoxidable y el rebordeado en caliente en tubos de acero al carbono.
- Dos extrusionadoras que realizan el extrusionado de tubería a 90°, una realiza el extrusionado en frío en tubos de cobre, CuNi, y acero inoxidable y la otra lo realiza en caliente en tubos de acero al carbono, acero inoxidable, cobre y CuNi.
- Una mandrinadora que realiza tareas de refrentado, biselado y repaso de tubos y accesorios.

- Dos taladros de distinta capacidad que realizan el barrenado de tubos, sondas y otros accesorios.
- Dos tornos universales.
- Tres sierras de distinta capacidad.



Figura 3-17 Carro de transporte de accesorios en zona de fabricación

5. A continuación tiene lugar el proceso de soldadura que se realiza en la zona de soldadura, situada en la cabecera de la nave uno. La zona está formada por nueve cabinas de soldado independientes. Estas cabinas están dotadas con máquinas para soldadura manual de metal por arco (SMAW), soldadura a gas y arco metálico (GMAW). Además se dispone de dos máquinas automáticas para soldadura orbital. Finalizada la soldadura de los tubos, se solicita a calidad, para los tubos que lo requieran y definidos en la orden de trabajo, la realización de la inspección de ensayos no destructivos.



Figura 3-18 Zona de soldadura

6. Por último, el producto pasa a la zona de limpieza. Esta zona se encuentra al fondo de la nave uno y está compuesta con seis tanques de 40000 L. En esta zona tiene lugar el desengrase, decapado y pasivado de los tubos elaborados en el taller. Además, dispone de una hidrolimpiadora de presión para la limpieza y desengrase de los geles residuales del proceso de curvado. Una vez han sido limpiados, los tubos son protegidos en sus extremos mediante tapas para evitar la introducción de elementos extraños en su interior.



Figura 3-19 Zona de limpieza en taller de tubos

7. Para finalizar, el tubo fabricado pasaría a la zona de preparación de envío y se le daría salida al destino que le corresponda.

Sin embargo, es importante destacar que un tubo no necesariamente ha de pasar por cada una de las zonas del taller, por ejemplo en el caso de un tubo recto no sería necesario pasar por la zona de curvado. Así que el flujo de los tubos dependerá de las necesidades de fabricación de un lote.

En cuanto al personal, los operarios trabajan indistintamente en cualquier activo salvo en el caso de la soldadura en la que son especialistas en este proceso y únicamente realizan esta tarea junto con los que operan las grúas.

Como anteriormente se ha mencionado, los procesos de curvado y soldadura son los procesos críticos a los que se aplicará el análisis RCM.

Para comenzar con este análisis se deben determinar las funciones de los activos de estos procesos.

Dentro del proceso de curvado se empezará por analizar las máquinas de curvado CNC, las Transfluid. La función de estas máquinas es curvar tuberías de acero al carbono y acero inoxidable.

Modelo	Material	Diámetro	Espesor	Longitud
Transfluid DB2060-CNC	Acero al carbono	60.3 mm	5 mm	6000 mm
	Acero inoxidable	60.3 mm	3 mm	6000 mm
Transfluid DB40120-3A-CNC	Acero al carbono	114.3 mm	4 mm	6000 mm
	Acero inoxidable	114.3 mm	3 mm	6000 mm

Tabla 3-1 Capacidades de los activos de curvado CNC

Las capacidades expresadas en la tabla son máximas en todos los casos.



Figura 3-20 Curvadora Transfluid

En el proceso de curvado, se encuentra también la curvadora CNC tejero y la Wallace cuya función es el curvado de tuberías de acero al carbono.

Modelo	Material	Diámetro	Espesor	Longitud
Tejero H-200 E	Acero al carbono	219.1 mm	7.1 mm	6000 mm
	Acero al carbono	168.3 mm	14.2 mm	6000 mm
Wallace nº4	Acero al carbono	219.1 mm	12.7 mm	6000 mm

Tabla 3-2 Capacidades de los activos de curvado

Las capacidades expresadas en la tabla son máximas en todos los casos.



Figura 3-21 Curvadoras Tejero H200E y Wallace

En cuanto al proceso de soldadura, la función de este puesto es la de soldar diferentes partes de un tubo o bien, soldar accesorios al tubo.

Tipo	Modelo	Diámetro mínimo	Diámetro máximo
SMAW	7.1 mm	-	-
GMAW	14.2 mm	-	-
GTAW-TIG Orbital	12.7 mm	-	-
AMI	227	57 mm	168.3 mm

Tabla 3-3 Capacidades de los activos de soldadura

Las soldaduras SMAW, GMAW y TIG no tienen diámetro mínimo o máximo ya que son procesos que se realizan manualmente.



Figura 3-22 Puestos de soldadura

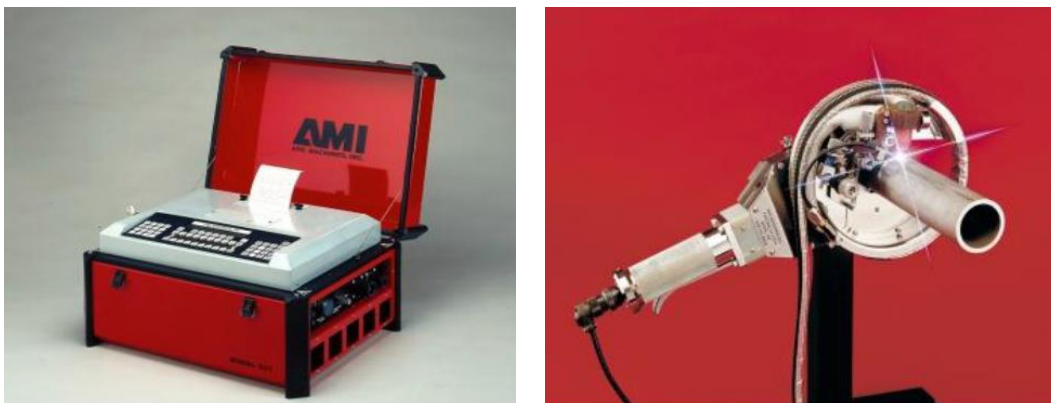


Figura 3-23 Soldadura orbital

3.3.3 Identificación de fallos funcionales de activos críticos

Para cada función del activo se deben determinar los fallos asociados a la misma. La función de los activos a estudiar, así como los estándares de funcionamiento han sido definidos en el apartado anterior. Se estudiarán los fallos de la función principal del activo, ya que por limitaciones de tiempo no es posible determinar los fallos y realizar el análisis para cada función secundaria.

Como fallo funcional se toma que el activo no realice su función principal o bien que la realice fuera de los parámetros de funcionamiento establecidos.

En el conjunto de fallos se encuentran tanto fallos parciales en los que algún componente se ha deteriorado o no funciona correctamente y en otros casos el fallo es total ya que el activo cesa su funcionamiento. En la mayoría de activos se recogen fallos parciales de algún subsistema del mismo.

Activo	Fallo funcional parcial	Fallo funcional total
Transfluid DB2030	Realiza curvado fuera de tolerancias	No realiza curvado de tubos
Transfluid DB40120	Realiza curvado fuera de tolerancias	No realiza curvado de tubos
Tejero H-200E	Realiza curvado fuera de tolerancias	No realiza el curvado de tubos
Wallace N°4	Realiza curvado fuera de tolerancias	No realiza el curvado de tubos
SMAW	Soldadura irregular	No realiza la soldadura
GMAW	Soldadura irregular	No realiza la soldadura
GTAW-TIG	Soldadura irregular	No realiza la soldadura
AMI	Soldadura irregular	No realiza soldadura

Tabla 3-4 Fallos funcionales en activos críticos

3.3.4 Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad en activos críticos

En cuanto al análisis de modos de fallo, efectos y criticidad este comienza por la identificación de los modos de fallo que ya se ha hecho en el paso previo. A continuación, se estudian los efectos y consecuencias de estos en las máquinas y en la calidad final del producto.

Para llevar a cabo este paso se ha contado con la participación de personal especializado en el uso de estos activos. Así como con personal que a diario tiene contacto con los activos a estudiar.

Se deberá identificar los modos de fallo asociados a cada fallo funcional tanto parcial como total.

Para la identificación de modos de fallo en los activos de mayor riesgo se ha recurrido a registro de 4640 fallos que abarca desde el año 2007 hasta el 2016, proporcionada por personal del taller de tubos.

Para la curvadora Transfluid DB2060-CNC estos son los modos de fallo asociados a sus fallos funcionales.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
No realizar curvado de tubos	No arranca la máquina
Realizar curvado fuera de tolerancias	Deterioro de los racores de los latiguillos
	Mordaza de apriete desgastada
	Falta engrase en puntos de engrase

Tabla 3-5 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Transfluid DB2060-CNC

Para la curvadora Transfluid DB40120-3A-CNC se encuentran los siguientes modos de fallo asociados a sus fallos funcionales.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
No realizar curvado de tubos	Fallo de arranque de la bomba hidráulica
	Fallo informático de puesta en marcha
Realizar curvado fuera de tolerancias	Pérdida de aceite
	Posicionamiento de teja erróneo
	Apertura y cierre del brazo móvil deficiente

Tabla 3-6 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Transfluid DB40120-3A-CNC

Para la curvadora Tejero H-200E los principales modos de fallo asociados a sus fallos funcionales son los siguientes.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
No realizar curvado de tubos	Rotura de piñón y cremallera
	Rotura tornillos piñón de retorno de la estampa
	Rodamiento del soporte deslizante roto
	Rotura del mandril
Realizar curvado fuera de tolerancias	Holguras en guías
	Recorrido incompleto del grupo hidráulico
	Latiguillos sueltos
	Mordaza desgastada
	Pérdida de aceite

Tabla 3-7 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Tejero H-200E

En cuanto a la curvadora Wallace nº4 los modos de fallo asociados a sus fallos funcionales son los siguientes.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
No realizar curvado de tubos	Fallo barrera fotoeléctrica
	Rotura tornillos de la matriz
	Doblado soporte del contra carril
	Rotura de la cadena de curvado
	Rotura del mandril
Realizar curvado fuera de tolerancias	Placa anclaje teja defectuosa
	Latiguillos rotos
	Pérdida de estanqueidad: fuga en bomba y circuito
	Pérdida de aceite
	Avería en mandril

Tabla 3-8 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en Wallace nº4

En cuanto al proceso de soldadura GMAW, los principales modos de fallo relacionados con sus fallos funcionales son los que se muestran a continuación.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
Soldadura irregular	Recalentamiento cable de masa
No realiza soldadura	Avería en pistola
	Avería en el ventilador

Tabla 3-9 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura GMAW

Para el proceso de soldadura SMAW los principales modos de fallo relacionados con sus fallos funcionales son los siguientes.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
Soldadura irregular	Intensidad de corriente errónea
No realiza soldadura	Electrodos deficientes

Tabla 3-10 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura SMAW

En cuanto al proceso de soldadura por arco de tungsteno los principales modos de fallo asociados a fallos funcionales se muestran a continuación.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
Soldadura irregular	Pérdida de refrigerante
	Avería en el potenciómetro
	Fallo de control remoto
	Fallo de control de mano
	Electrodos defectuosos
	Fallo en control de la antorcha
	No hay salida de gas
	Manguera de gas rota
	Alta frecuencia
	Potencia inadecuada
No realiza soldadura	Alta frecuencia
	No hace arco
	Avería en la antorcha

Tabla 3-11 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura TIG

Para finalizar, los modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura AMI son los siguientes.

Fallo funcional (total o parcial)	Modo de fallo
Realiza soldadura fuera de parámetros	Intensidad de corriente errónea
No realiza soldadura	Electrodos deficientes

Tabla 3-12 Modos de fallo asociados a fallos funcionales en soldadura AMI

En cuanto a la identificación del grado de severidad, ocurrencia y probabilidad de detección. Se han elaborado unos criterios para determinar cada uno de estos parámetros.

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

	Severidad	Ocurrencia	Detección
1	Fallo apenas perceptible o inexistente	1/10000 defectuosa	Inspección visual
2	Pieza debe ser retocada	1/1000 defectuosa	Fuera de indicadores
3	Pieza debe ser realizada de nuevo	1/100 defectuosa	Pruebas específicas

Figura 3-24 Criterios para identificar la severidad, ocurrencia y detección

Primeramente en cuanto a severidad se ha evaluado que el número más bajo sea correspondido con un fallo de acabado apenas perceptible o inexistente. A esto se le asigna el número 1. A continuación con el número 2, se tiene el criterio en el que una pieza tiene alguna falta en la calidad y debe ser retocada o reparada. Por último y en el lugar de mayor riesgo, el número 3, se corresponde con el hecho de que una pieza esté fuera de calidad, no se pueda reparar o retocar y tenga que ser realizada de nuevo.

En cuanto a ocurrencia, se ha tomado como baremo el número de piezas defectuosas en un determinado conjunto. Para el número 1 y con el menor riesgo, sería la fabricación de una pieza defectuosa cada diez mil. El número 2, se corresponde con la fabricación de una pieza defectuosa por cada mil piezas fabricadas y por último lo más crítico sería la fabricación de una pieza defectuosa por cada cien fabricadas. Se han tomado estos números en base a la capacidad media del taller.

Por último, en cuanto al criterio de la probabilidad de detección de un fallo en calidad, se ha evaluado como la situación de menor riesgo aquella en la que el fallo es distinguible por inspección visual, esto se corresponde con el número 1. Con el número dos se encuentra la posibilidad de que al comprobar si se encuentra dentro de indicadores de calidad el resultado sea negativo, esto está asignado al número 2. Como situación de mayor riesgo se ha evaluado que sea cuando la detección únicamente es distinguible por pruebas específicas, esto se corresponde con el número 3.

Cuando se habla de indicadores de calidad, estos son comprobados al final de cada proceso y comprenden tubos curvados defectuosos, tubos fabricados defectuosos y pulgadas soldadas defectuosas. En cuanto a las pruebas específicas que se realizan para detectar imperfecciones en la calidad respecto al proceso de soldadura se realiza inspección por líquidos penetrantes, inspección por partículas magnéticas e inspección radiográfica de soldaduras. Estos ensayos no se realizan en todas las piezas sino en un 10% de la producción.

Así en número de prioridad de riesgo es el resultado de multiplicación de estos tres factores. Correspondiéndose un mayor número con aquello que debe ser priorizado a mejorar.

La clasificación según severidad, ocurrencia y detección para los procesos de curvado y soldadura se muestran en el apartado resultados.

Asimismo se ha de estudiar las causas de los fallos, y si estas son evidentes u ocultas. Esto se hace para poder identificar el origen del fallo y poder proponer más adelante medidas a aplicar para la reducción o desaparición de los fallos. Las causas se han clasificado en su mayoría dentro de las principales causas de fallo funcional mostradas en la Figura 3-6 Principales causas de fallo en activos Figura 3-6.

Las causas de los modos de fallo de los activos de curvado se muestran a continuación.

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Activo	Modo de fallo	Causas de fallo	Evidente/Oculto
Transfluid DB2060-CNC	No arranca el activo	Error humano/ Desarme	Evidente
	Falta engrase en puntos de engrase	Fallo de lubricación	Evidente
	Deterioro de los racores de los latiguillos	Deterioro/ Suciedad	Evidente
	Mordaza de apriete desgastada	Deterioro	Evidente
Transfluid DB40120-3A-CNC	Fallo de arranque de la bomba hidráulica	Sobrecarga	Evidente
	Fallo informático de puesta en marcha	Sobrecarga no intencional repentina	Evidente
	Pérdida de aceite	Fallo de lubricación	Evidente
	Posicionamiento de teja erróneo	Desarme/ Suciedad	Evidente
	Apertura y cierre del brazo móvil deficiente	Deterioro	Evidente
Tejero H-200E	Rotura de piñón y cremallera	Deterioro/ Sobrecarga deliberada constante	Evidente
	Pérdida de aceite	Fallo lubricación	Evidente
	Rotura tornillos del piñón de retorno de la estampa	Sobrecarga deliberada constante/ Deterioro	Evidente
	Rodamiento del soporte deslizante roto	Deterioro	Evidente
	Rotura del mandril	Deterioro/ Sobrecarga	Evidente

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Activo	Modo de fallo	Causas de fallo	Evidente/Oculto
	Holguras en guías	Suciedad/ Deterioro	Evidente
	Recorrido incompleto del grupo hidráulico	Deterioro	Evidente
	Latiguillos sueltos	Deterioro/ Desarme	Evidente
	Mordaza desgastada	Deterioro	Evidente
Wallace N°4	Fallo barrera fotoeléctrica	Deterioro	Evidente
	Rotura tornillos de la matriz	Deterioro/ Sobrecarga deliberada constante	Evidente
	Avería en mandril	Deterioro/ Suciedad	Evidente
	Doblado soporte del contra carril	Deterioro/ Sobrecarga deliberada constante	Evidente
	Rotura de la cadena de curvado	Deterioro	Evidente
	Rotura del mandril	Deterioro/ Sobrecarga deliberada constante	Evidente
	Placa anclaje teja defectuosa	Deterioro/ Suciedad	Evidente
	Latiguillos rotos	Deterioro	Evidente
	Pérdida de estanqueidad: fuga en bomba y circuito	Deterioro	Evidente
	Pérdida de aceite	Fallo lubricación	Evidente

Tabla 3-13 Causas de los modos de fallo asociado a los activos de curvado

Para los fallos de los procesos de soldadura se muestran en la figura las causas de fallo.

Activo	Modo de fallo	Causas de fallo	Evidente/Oculto
GMAW	Recalentamiento cable de masa	Error humano (tensión inadecuada)/ Deterioro	Evidente
	Avería en pistola	Deterioro	Evidente
	Avería en el ventilador	Deterioro	Evidente
SMAW	Intensidad de corriente errónea	Error humano	Oculto
	Electrodos deficientes	Materiales incorrectos/ Suciedad	Oculto
TIG	Pérdida refrigerante	Deterioro/ Error humano	Evidente
	Manguera de gas rota	Deterioro	Evidente
	Avería en el potenciómetro	Deterioro/ Suciedad	Oculto
	Fallo de control remoto	Desarme	Evidente
	Fallo de control de mano	Desarme	Evidente
	Electrodos defectuosos	Materiales incorrectos/ Suciedad	Oculto
	Fallo en control de la antorcha	Desarme	Evidente
	Mordaza desgastada	Deterioro	Evidente
	No hace arco	Deterioro/ Materiales incorrectos/ Error humano/ Desarme	Evidente

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Activo	Modo de fallo	Causas de fallo	Evidente/Oculto
	Cables doblados o retorcidos	Error humano	Evidente
	Potencia inadecuada	Error humano	Oculto
	Avería en la antorcha	Deterioro	Evidente
	No hay salida de gas	Deterioro/ Error humano	Evidente
AMI	Intensidad de corriente errónea	Error humano	Oculto
	Electrodos deficientes	Materiales incorrectos	Oculto

Tabla 3-14 Causas de los modos de fallo asociado a los activos de soldadura

3.3.5 Efectos y consecuencias de los fallos en los activos críticos

En esta etapa, se clasifican los fallos basándose en las consecuencias y efectos del fallo en la calidad. Los efectos de los fallos se tendrán en cuenta para la propuesta de medidas.

Los efectos de los modos de fallo en los activos de curvado son los siguientes. Las consecuencias que afectan a la calidad del tubo fabricado se han subrayado.

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Activo	Modo de fallo	Efectos	Oculto/Evidente
Transfluid DB2060-CNC	No arranca el activo	No funciona activo	Evidente
	<u>Falta engrase en puntos de engrase</u>	<u>Arco del tubo muestra pliegues en el interior</u>	Evidente
	Deterioro de los racores de los latiguillos	Fugas instalación hidráulica	Evidente
	<u>Mordaza de apriete desgastada</u>	<u>Medidas de los codos varían fuera del radio</u>	Evidente
Transfluid DB40120-3A-CNC	Fallo de arranque de la bomba hidráulica	Bomba hidráulica no actúa o actúa de modo insuficiente	Evidente
	Fallo informático de puesta en marcha	No funciona activo	Evidente
	Pérdida de aceite	Fugas instalación hidráulica	Evidente
	<u>Posicionamiento de teja erróneo</u>	<u>Tubo vibra durante curvado/ Máquina emite ruidos fuertes</u>	Evidente
	Apertura y cierre del brazo móvil deficiente	Activo funciona más lentamente	Evidente
Tejero H-200E	Rotura de piñón y cremallera	No funciona activo	Evidente
	Rotura tornillos de piñón de retorno de la estampa	No funciona activo	Evidente
	Rodamiento del soporte deslizante roto	No funciona activo	Evidente
	Rotura del mandril	No funciona activo	Evidente
	<u>Holguras en guías</u>	<u>Arco del tubo muestra pliegues</u>	Evidente
	Recorrido incompleto del grupo hidráulico	Bomba hidráulica acción insuficiente	Evidente

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Activo	Modo de fallo	Efectos	Oculto/Evidente
	Latiguillos sueltos	Fugas instalación hidráulica	Evidente
	<u>Mordaza desgastada</u>	<u>Medidas de los codos varían fuera radio</u>	Evidente
	Pérdida de aceite	Fugas instalación hidráulica	Evidente
Wallace Nº4	Fallo barrera fotoeléctrica	Fallo de seguridad	Evidente
	Rotura tornillos de la matriz	No funciona activo	Evidente
	<u>Avería en mandril</u>	<u>Abolladuras o pliegues en tubo</u>	Evidente
	Doblado soporte del contra carril	No funciona activo	Evidente
	Rotura de la cadena de curvado	No funciona activo	Evidente
	Rotura del mandril	No funciona activo	Evidente
	<u>Placa anclaje teja defectuosa</u>	<u>Abolladuras o pliegues en tubo</u>	Evidente
	Latiguillos rotos	Fugas instalación hidráulica	Evidente
	Pérdida de estanqueidad: fuga en bomba y circuito	Fugas instalación hidráulica	Evidente
	Pérdida de aceite	Fugas instalación hidráulica	Evidente

Tabla 3-15 Consecuencias en la calidad de los modos de fallo asociado a los activos de curvado

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL
CRITERIO DE CALIDAD

A continuación se muestran las consecuencias de los fallos en soldadura.

Activo	Modo de fallo	Efectos	Oculto/Evidente
GMAW	<u>Recalentamiento cable de masa</u>	<u>Cordón soldadura inadecuado</u>	Evidente
	<u>Avería en pistola</u>	<u>Soldadura de mala calidad</u>	Evidente
	Avería en el ventilador	Recalentamiento máquina	Evidente
SMAW	<u>Intensidad de corriente errónea</u>	<u>Falta de fusión</u>	Evidente
	<u>Electrodos deficientes</u>	<u>Unión defectuosa</u>	Evidente
TIG	<u>Pérdida de refrigerante</u>	<u>Porosidad soldadura</u>	Evidente
	<u>Manguera de gas rota</u>	<u>Arco inestable</u>	Evidente
	<u>Avería en el potenciómetro</u>	<u>Falta de fusión</u>	Evidente
	Fallo de control remoto	No realiza soldadura	Evidente
	Fallo de control de mano	No realiza soldadura	Evidente
	<u>Electrodos defectuosos</u>	<u>Unión defectuosa</u>	Evidente
	<u>Fallo en control de la antorcha</u>	<u>Unión defectuosa</u>	Evidente
	<u>Mordaza desgastada</u>	<u>Dificultad en cebado del arco</u>	Evidente
	No hace arco	No realiza soldadura	Evidente

PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD

Activo	Modo de fallo	Efectos	Oculto/Evidente
	<u>Cables doblados o retorcidos</u>	<u>Formación de poros</u>	Evidente
	<u>Potencia inadecuada</u>	<u>Falta de fusión</u>	Evidente
	Avería en la antorcha	No realiza soldadura	Evidente
	<u>No hay salida de gas</u>	<u>Porosidad soldadura</u>	Evidente
AMI	<u>Intensidad de corriente errónea</u>	<u>Falta de fusión</u>	Evidente
	<u>Electrodos deficientes</u>	<u>Unión defectuosa</u>	Evidente

Tabla 3-16 Causas de los modos de fallo asociado a los activos de soldadura

En el caso de este trabajo no todos los fallos son evidentes, algunos serán detectados por el operario en algún momento, sin embargo otros no serán detectados hasta que no se pasen controles específicos a las piezas fabricadas.

3.3.6 Medidas para la prevención o predicción del fallo en activos críticos

En este apartado se explicarán las tareas proactivas que se efectúan en la actualidad a los diferentes activos, estas tareas son el resultado del estudio de los modos de fallo de cada activo así como al patrón de fallo al que corresponden. Las tareas abarcarán todo tipo de mantenimiento efectuado en las máquinas, tanto predictivo, preventivo como correctivo.

Respecto a las curvadoras Transfluid, las operaciones de mantenimiento que se les realizan consisten en un mantenimiento semestral de carácter preventivo. Este mantenimiento semestral también se realiza sobre la máquina curvadora Tejero y la máquina curvadora Wallace.

En las curvadoras Transfluid y Tejero consiste en:

Comprobar el correcto estado de las guías y husillos y la realización de la limpieza y engrase de los mismos. Además se comprueban el circuito hidráulico, comprobando la estanqueidad del circuito, el estado de los filtros, el correcto funcionamiento del circuito de lubricación, el nivel de aceite y el correcto funcionamiento de la bomba.

En cuanto al circuito de aire, se comprueba el estado de los filtros y válvulas y respecto a los motores, se comprueba su correcto funcionamiento y se mide el aislamiento Asimismo, respecto al cuadro eléctrico, se comprueba el estado de los automatismos, se revisan cerraduras, puertas y bisagras, se realizan tareas de limpieza y reapriete y se comprueba el estado de los mandos e indicadores así como el estado del cableado y las canalizaciones. En cuanto a los pupitres de control, se revisan los pilotos, se comprueba el correcto funcionamiento de pulsadores, selectores y mandos de acondicionamiento.

Por último, se comprueban los dispositivos de seguridad de las máquinas concretamente el funcionamiento de la parada de emergencia del interruptor diferencial, el estado de las puestas a tierra, el funcionamiento de los micros de seguridad y las electroválvulas.

A su vez, también se realizan tareas de mantenimiento de las Transfluid consistentes en el examen visual de instalaciones de seguridad, equipo eléctrico y toda la máquina, la lubricación de tornillos y guías así como el control de llenado de lubricante. En cuanto a la unidad hidráulica se comprueba el nivel de aceite cada 200 horas de servicio, se cambia el filtro del aceite hidráulico cada 500 horas de servicio, se comprueba la tensión de los hidroacumuladores y se sustituyen mangueras hidráulicas.

En la máquina de curvar Tejero el mantenimiento también se centra en vigilar el nivel de aceite del depósito, procurando que no descienda del nivel mínimo. También se realiza la limpieza de los filtros situados en el interior del depósito y el engrase general de la máquina.

En cuanto a la Wallace, el mantenimiento consiste en:

Realizar la limpieza y engrase de guías, husillos, cojinetes, cremalleras, piñones y cadenas. Además se comprueba el estado de estas últimas y se tensan o sustituyen si es necesario. También se comprueba el nivel de aceite en el circuito hidráulico y se rellena si es necesario, asimismo se presuriza el circuito y se comprueba su estanqueidad. Si es necesario se limpian y cambian los filtros

En cuanto a las electroválvulas y distribuidores se comprueba su correcto funcionamiento y el nivel de grasa o aceite del circuito de engrase, rellenándolo si fuese necesario, además se presuriza el circuito y se comprueba la estanqueidad. En cuanto al grupo hidráulico, se comprueba el correcto funcionamiento de la bomba, se realiza una limpieza exterior y se mide el aislamiento y consumo del motor. Además, se comprueba el correcto estado de los mandos e indicadores, reponiéndolos si es necesario.

También se comprueba el funcionamiento de los automatismos, el estado del cableado y canalizaciones. En cuanto a los elementos de seguridad, se comprueba el funcionamiento de la seta de emergencia, el funcionamiento de los finales de carrea, el funcionamiento de los resguardos, pantallas y micros el interruptor diferencial y se comprueba el estado de la puesta a tierra.

Asimismo tanto en las Transfluid como la curvadora Tejero se da un mantenimiento autónomo.

GAMA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO TRANSFLUID DB40120									
ORDEN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA	FECHA DE EJECUCIÓN	FECHA DE VERIFICACIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN
1	Revisión general de la máquina	Trimestral							
2	Revisión de los indicadores de presión	Semanal							
3	Revisión de los cables de la máquina	Trimestral							
4	Revisión de las mangueras de la máquina	Trimestral							
5	Revisión de los componentes eléctricos	Trimestral							
6	Revisión de los componentes mecánicos	Trimestral							
7	Revisión de los componentes hidráulicos	Trimestral							
8	Revisión de los componentes de seguridad	Trimestral							
9	Revisión de los componentes de control	Trimestral							
10	Revisión de los componentes de potencia	Trimestral							

Figura 3-25 Gama de mantenimiento autónomo de Transfluid DB40120

En cuanto al proceso de soldadura se produce una calibración de equipos periódica cada seis meses. Asimismo se realiza una limpieza de los elementos que forman parte del proceso de soldadura.

También se realiza un mantenimiento anual de las máquinas de soldadura que consiste en comprobar el estado general de la máquina, el correcto estado de los indicadores voltímetro y amperímetro y el correcto estado de las mangueras y cables de la máquina. Además, se cerciora del correcto estado de identificación de la máquina con la pegatina correspondiente a la calibración que haya sido realizada.

Todas estas tareas proactivas son factibles o realizables y merece la pena su realización para el correcto funcionamiento del activo.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados del análisis de modos de fallo, efectos y criticidad en activos críticos

Una vez analizados los 4640 registros de fallos, se presentan en dos tablas los resultados del análisis de modos de fallo, efectos y criticidad en los activos críticos. La primera se corresponde con los activos del proceso de curvado, la segunda con el proceso de soldadura.

En estas tablas se ha incluido el activo, el modo de fallo que afecta a la calidad de la pieza fabricada y su clasificación según severidad, ocurrencia y probabilidad de detección, así como el número de prioridad de riesgo obtenido como multiplicación de los tres factores anteriores.

Activo	Modo de fallo	S	O	D	NPR
Transfluid DB2060-CNC	Mordaza de apriete desgastada	3	2	2	12
	Falta engrase en puntos de engrase	2	2	2	8
Transfluid DB40120-3A-CNC	Posicionamiento de teja erróneo	1	2	1	2
Tejero H-200E	Mordaza de apriete desgastada	3	2	2	12
	Holguras en guías	2	2	1	4
Wallace Nº4	Avería en mandril	2	2	2	8
	Placa anclaje teja defectuosa	3	2	1	6

Tabla 4-1 Resultados AMFEC en curvado

Activo	Modo de fallo	S	O	D	NPR
GMAW	Recalentamiento cable de masa	3	2	2	12
	Avería en pistola	3	2	1	6
SMAW	Electrodos deficientes	3	2	3	18
	Intensidad de corriente errónea	3	2	2	12
TIG	Manguera de gas rota	3	2	3	12
	Electrodos defectuosos	3	2	3	12
	Mordaza desgastada	3	2	2	12
	Pérdida refrigerante	3	2	1	6
	Cables doblados o retorcidos	3	2	1	6
	No hay salida de gas	3	2	1	6
	Avería en el potenciómetro	2	1	1	2
	Potencia inadecuada	2	1	1	2
	Fallo en el control de la antorcha	2	1	1	2
	Intensidad de corriente errónea	3	2	2	12
AMI	Electrodos deficientes	3	2	3	12

Tabla 4-2 Resultado AMFEC en soldadura

Aquellos números más altos se corresponden con aquellos fallos que tienen mayor riesgo de causar un fallo grave en la calidad del tubo fabricado. Una vez se sabe los modos de fallo más críticos para la calidad de las piezas se propondrán mejoras para intentar evitarlos en la medida de lo posible asimismo se evaluarán las tareas de mantenimiento realizadas y se estudiará si son efectivas para estos fallos y en caso de no serlo se propondrán nuevas medidas que los contrarresten.

4.2 Resultados del análisis RCM

4.2.1 Transfluid DB2060-CNC

Tras el análisis de modos de fallo, efectos y criticidad en esta máquina, se obtiene que el fallo más crítico con respecto a la calidad de las piezas es que la mordaza de apriete se encuentre desgastada, ya que este elemento es una de las sujeciones del tubo mientras se realiza el curvado y si se encuentra desgastada no cumplirá su función correctamente y, por tanto, no se realizan correctamente las especificaciones de curvado.

Como propuesta para evitar el desgaste de esta pieza se sugiere revisar el activo más frecuentemente, en la actualidad el mantenimiento que se realiza es semestral, pero se recomendaría hacerlo cada tres meses. Por otro lado, en cuanto a la falta de engrase en puntos de engrase hace que los mecanismos no funcionen bien y se produzcan arrugas en el tubo, como propuesta se sugiere revisar el plan de lubricación del activo, sino otra posibilidad sería cambiar el lubricante aplicado.

4.2.2 Transfluid DB40120-3A-CNC

En cuanto a este activo, el posicionamiento erróneo de la teja hace que la máquina vibre durante el curvado y, por tanto, puede darse el caso de que el tubo vibre durante el proceso y no se realice

correctamente el curvado, por ello, se ha de comprobar antes de usar el activo que todos los elementos están en la posición correcta.

4.2.3 Tejero H200E

Los fallos que se dan en esta máquina provienen la mayoría del desgaste o deterioro de alguna pieza, provocando abolladuras en el tubo o arrugas en la superficie. Por ello, se propone que el mantenimiento pase a ser trimestral, con el fin de detectar con anterioridad el desgaste de los componentes.

4.2.4 Wallace N°4

La avería en el mandril es de alta criticidad ya que es la pieza que se encarga de sujetar el tubo al realizar el curvado. Si se produce una avería en esta pieza, bien que no sujete correctamente o bien que esté mal colocado estando salido o demasiado atrasado, supone la malformación del tubo y, por tanto, para este modo de fallo se sugiere igualmente la revisión del plan de mantenimiento. Asimismo los operarios se han de asegurar que los elementos se hayan en el lugar adecuado para iniciar el proceso, si no se tiene conocimiento de esto se les deberá formar.

4.2.5 GMAW

Respecto a este método de soldadura el recalentamiento del cable de masa puede producirse por estar gastado o bien porque no tienen la longitud adecuada. Por tanto, se sugiere estudiar si la longitud de los cables que han sufrido recalentamiento es la correcta además se propone hacer una revisión de los cables trimestral, para comprobar su desgaste y cambiarlos en caso de ser necesario.

En cuanto a las averías en la pistola, al ser la principal herramienta en este método de soldadura, son más fácilmente detectables por el operario así como lo son sus efectos en la soldadura. Aun así, se sugiere que en cuanto se detecte algún fallo en la pistola, por pequeño que sea, no se use esa pistola para llevar a cabo la soldadura de piezas y se mande a revisión, para así asegurar que no se realiza una soldadura de mala calidad y en caso de avería la pistola pueda ser reparada.

4.2.6 SMAW

Para los fallos de este proceso se sugiere la formación de los trabajadores y operarios en el cuidado del material, así como su limpieza. Fundamentalmente se ha de resaltar las condiciones en las que se deben guardar los electrodos al ser pieza fundamental en este proceso.

4.2.7 TIG

Para este proceso de soldadura se propone que todos los fallos que se produzcan por deterioro o desgaste así como para las pérdidas de refrigerante, se recomienda inspeccionar periódicamente el equipo por el propio operario antes de usarlo y en caso de detectar anomalías no usar el equipo hasta asegurarse de que la anomalía ha sido detectada y subsanada. Esto se puede aplicar a mordaza desgastada, cables doblados, pérdida de refrigerante, manguera de gas rota y ausencia de salida de gas.

En cuanto al uso de electrodos deficientes se recomienda el rediseño, es decir, la formación del personal en la limpieza y cuidado del material.

Por último, en cuanto a las averías en el potenciómetro, la revisión de este equipo corresponde a la calibración o verificación anual de las máquinas de soldadura y se realiza de acuerdo a una norma que cumple el taller. Al venir de un organismo superior este fallo no es subsanable.

4.2.8 AMI

En cuanto a este proceso de soldadura, respecto al fallo de los electrodos deficientes, se sugiere la formación del personal en la limpieza y cuidado del material. Respecto al fallo de intensidad de corriente errónea, la medida de la intensidad y la potencia viene dada por la máquina y es revisada en la verificación periódica que se hace a los activos de soldadura, esta verificación se hace de acuerdo a la

normativa a la que está sometida el taller y, por tanto, al venir de un organismo superior no se puede modificar su periodicidad y, por tanto, el fallo no se puede corregir.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Durante la realización de este trabajo se pudo determinar que un análisis basado en el método RCM, necesita de un equipo de trabajo multidisciplinar con conocimiento técnico y formación. Además, es necesario disponer de un margen de tiempo amplio, de tal forma que se pueda hacer un análisis en profundidad.

Por otro lado, un mantenimiento de estas características es de gran valía para la mejora de la planta de producción. Dependiendo del enfoque que se le quiera dar al análisis (i.e. calidad o disponibilidad), se obtendrán una serie de resultados que son de gran utilidad.

La calidad de los productos y procesos puede mejorarse a través de la detección y eliminación de modos de fallo comunes y específicos. Así, el programa de mantenimiento y revisión de un equipo se realizará en base al patrón de paradas y al estado o condición del mismo. La monitorización de las máquinas, permitirá conocer el estado de las mismas. Solo se monitorizan aquellas máquinas o parámetros determinados críticos como el AMFEC.

En otro orden de cosas, se considera necesario establecer una base de datos común en el taller, de tal forma que se estandarice el proceso de control de las desviaciones en el estado de los equipos por parte de los operadores y del órgano de control de taller. En el presente trabajo nos encontramos con la limitación de que no todas las órdenes de taller (fallos) estaban igualmente registradas, debido a que algunas se realizaron por una empresa externa. Esta pérdida de información limita seriamente el AMFEC y, por tanto, el desarrollo de las medidas específicas a tomar para cada equipo. Sería de utilidad que en esta base de datos, si se quiere analizar luego el proceso bajo el proceso de calidad, quede reflejado cuando una pieza no ha alcanzado la calidad requerida y si esa pieza es reparada o si es retirada y realizada de nuevo. Asimismo es fundamental que la manera en que fallan los activos sea descrita de la manera más específica posible.

5.2 Objetivos alcanzados

Al inicio del trabajo se definieron los siguientes objetivos:

- Analizar los elementos de la instalación y el flujo de trabajo en la misma detectando los principales modos de fallo de la maquinaria que afecten a la calidad.
- Detectar las causas y consecuencias de estos modos de fallo prestando especial atención a aquellos que tengan mayor criticidad a la hora de asegurar la calidad de los tubos fabricados.

- Redactar una serie de medidas que, en la medida de lo posible, corrijan estos fallos asegurando así una mayor calidad de las piezas producidas.

En cuanto al primer objetivo, se ha analizado satisfactoriamente la instalación, aunque debido al tiempo disponible se ha necesitado la ayuda de un panel de expertos para identificar con mayor rapidez qué activos eran los que tenían mayor número de fallos que afectarían a la calidad de los productos fabricados.

En cuanto al segundo objetivo, se han descrito las causas y consecuencias de los modos de fallo de aquellos activos más críticos para la calidad de las piezas, mediante la metodología RCM. Además, mediante el análisis de modos de fallo, efectos y criticidad se ha podido dar un orden a estos modos de fallo en función de la criticidad de los mismos.

Por último, respecto al tercer objetivo, se han descrito una serie de medidas para prevenir que los modos de fallo que tengan consecuencias directas en la calidad de los productos fabricados. Estas medidas van desde la realización de listas de comprobación, verificación de elementos antes de iniciar los activos hasta la reducción entre realización de mantenimientos preventivos.

5.3 Líneas futuras

Como principal línea futura de este trabajo está la aplicación de las medidas propuestas y posteriormente la comprobación de su efectividad. Posteriormente a modelizar el mantenimiento propuesto y a la implantación de medidas se debe hacer un nuevo plan de mantenimiento, o bien modificar el existente. Se deberán observar los resultados obtenidos al aplicar estas medidas y evaluar los resultados

Asimismo se puede aplicar este mismo análisis con otros criterios, como el de disponibilidad o el de seguridad en las operaciones, dependiendo del interés taller. Además se puede realizar en otros talleres de las instalaciones.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Navantia,» [En línea]. Available: <https://www.navantia.es/>.
- [2] J. Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad, edición en español.
- [3] S. Barreda Beltrán, Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la EDAR de Nules-Vilavella., Castellón: Universidad Jaume I, 2015.
- [4] M. & A. L. Giraldo, Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional (Doctoral dissertation), Medellín: Universidad Nacional de Colombia, (2014).
- [5] R.C.M. Industrial Módulo XII, Grupo Atisae.
- [6] Jefatura Apoyo Logístico de la Armada, Mantenimiento basado en la fiabilidad en la Armada Volumen I, 2006.
- [7] Jefatura Apoyo Logístico de la Armada, Desarrollo y proceso de aplicación del RCM en la Armada Volumen II, 2006.
- [8] C. Carlson, Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes using Failure Mode and Effects Analysis, Quality and Reliability Engineering Series.
- [9] «Reliability web 1,» [En línea]. Available: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-caso-de-negocio-para-la-integridad-de-los-datos/>.
- [10] R.C.M. de sistemas con apoyo bayesiano Módulo XI, Grupo Atisae.
- [11] Catálogo taller de tubos, Navantia.
- [12] J. R. A. Otero, R. Torres-Arcique y D. Magaña-Jiménez, «Análisis de modo de falla, efectos y criticidad para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad,» *Tecnología ciencia ed.*, vol. 25, nº 1, 2010.
- [13] «Reliability web,» [En línea]. Available: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/definicion-de-las-frecuencias-para-un-plan-de-mantenimiento>. [Último acceso: 05 Marzo 2017].

- [14] A. S. Rodríguez-Candela y F. J. R. Yacobi, «Equipos y productos robustos y fiables: el análisis de mantenimiento centrado en la fiabilidad,» *Anales de mecánica y electricidad*, 2011.

ANEXO I: EJEMPLO DE ANÁLISIS RCM COMPLETO EN TRANSLFLUID DB40120-3A-CNC

En este anexo se incluye un análisis RCM completo de una de las máquinas, la Transfluid DB40120-3A-CNC, teniendo en cuenta otras funciones aparte de la función primaria.

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFEECTO DEL FALLO
Curvado de tuberías (acero al carbono y acero inoxidable)	A. Curvado fuera de tolerancias	1. Fallo en posicionamiento de teja 2. Mordaza desgastada 3. Pieza de sujeción y carril grasientos 4. Mandril mal colocado 5. Falta de lubricante	1. Abolladuras en el tubo 2. Medidas de los codos varían fuera del radio 3. Medidas de los codos varían fuera del radio 4. Abolladuras en el tubo 5. Pliegues en tubo
	B. No se puede poner en funcionamiento : no arranca	1. Incidencia relacionada con la puesta en marcha : Interruptor general desconectado 2. Enchufe CEE está desconectado a la red 3. Interruptor protector de maniobra está desconectado	1. No arranca el activo ya que el interruptor general debe estar en la posición encendido para que funcione 2. AL no estar conectado a la corriente no arranca el activo, debe tener corriente de red 3. Debe estar conectado el interruptor de maniobra ya que es un dispositivo de seguridad
	C. No funciona el activo	1. Amarre de cadena de retorno roto 2. No se mueve el carro	1. No se puede realizar curvado de tubos 2. No se puede realizar curvado de tubos
	D. Activo funciona más lentamente	1. Falla el cierre y apertura del brazo móvil de curvado	1. El activo curva correctamente las máquinas el fallo afecta al tiempo en el que se produce un tubo
Contención de la unidad hidráulica	A. No se contienen los fluidos de la unidad hidráulica	1. Pérdida de aceite en curvadora	1. Pérdidas de aceite en curvadora

**PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE NAVANTIA BASADO EN EL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA FIABILIDAD CON EL CRITERIO DE CALIDAD**

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFEECTO DEL FALLO
Ud. Hidráulica Unidad hidráulica: Funcionamiento sistema hidráulico	A. No se puede poner en funcionamiento el sistema hidráulico	1.Bomba hidráulica gira en sentido contrario 2.Interruptor de sistema hidráulico desactivado	1. El motor eléctrico de la bomba gira en sentido contrario y no se acciona la unidad hidráulica 2. No funciona el sistema hidráulico ya que no está conectado
	B. La bomba funciona insuficientemente	1. Conducto aspiración obstruido 2.Nivel de aceite demasiado bajo 3.Conducto de aspiración no hermético	1. Caudal o presión insuficiente o nula 2. Calentamiento de los soportes 3. Caudal o presión insuficiente o nula
	C. La bomba no produce la suficiente presión	1.Válvula de presión averiada 2.Bomba defectuosa o gastada 3.Entra aire en la bomba	1. Caudal y/o presión excesivo o insuficiente 2. Vibraciones o ruidos exagerados 3. Caudal o presión insuficiente o nula
Función de seguridad: Parada de emergencia	A. No se puede confirmar parada de emergencia	1.Interruptor de parada de emergencia activado 2.Tapa de seguridad abierta	1. Máquina inmovilizada 2. No habrá parada de emergencia
Blindar radiación electromagnética producida	A. No protege de la radiación electromagnética	1.Rotura del blindaje	Se produce un fallo de seguridad. No hay resistencia contra radiación electromagnética
Función de indicadores: panel de control	A. No se encienden luces	1. Mala conexión cableado	1. No se muestran en el panel de control los diferentes indicadores
Función de seguridad: dispositivos de seguridad cierre de seguridad y escáner láser. Mantener distancia de seguridad, para no llegar a puntos peligrosos con miembros superiores.	A. Cierre de seguridad defectuoso	1. Rejilla en mal estado	1. Se produce un fallo de seguridad. La rejilla protectora protege alrededor de las máquinas de curvado de mandril en caso de que salte algún elemento, al ser esta rejilla defectuosa o estar deteriorada supone un peligro para el operario.
	B. No se activa el escáner láser	1. Mal estado de los elementos del dispositivo de seguridad	1. Se produce un fallo de seguridad. Al fallar el escáner, no se produce advertencia de peligro y por tanto el operario puede entrar en el área de riesgo del activo sin que ningún dispositivo le advierta de ello.

Tabla 0-1 Análisis de modos de fallo y efectos en Transfluid DB40120-3A-CNC

A continuación se muestran los resultados del análisis AMFEC, evaluados según el criterio de calidad, por tanto aquellos modos de fallo que produzcan la parada del activo no se incluyen en el análisis así como tampoco están incluidos los relativos a la seguridad, aunque estos son los prioritarios.

Modo de fallo	S	O	D	NPR
Fallo en posicionamiento de teja	1	2	1	2
Mordaza desgastada	3	2	2	12
Pieza de sujeción y carril grasientos	2	2	1	4
Mandril mal colocado	2	2	2	8
Falta de lubricante	2	2	2	8

Tabla 0-2 Resultados AMFEC en Transfluid DB40120-3A-CNC

El mantenimiento aplicado a este activo se ha explicado previamente en el apartado 3.3.6 y ya se ha visto que es factible la realización del mismo. Como principales medidas a tomar para mejorar el funcionamiento de este activo y aminorar los modos de fallo están la revisión del plan de lubricación de la máquina y el aumento de la frecuencia del mantenimiento pasando de ser un mantenimiento semestral a trimestral. Además, en cuanto a los fallos de seguridad, se recomienda que ante cualquier síntoma de fallo de seguridad la máquina no sea usada, sea revisada y hasta que no sea subsanado el fallo no utilizar el activo ya que siempre es primordial la seguridad de los operarios.