



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, en
equipos de taller mecánico, con el criterio de máxima
disponibilidad.*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Santiago Blecua Barrios

DIRECTORES: Elena Arce Fariña
Guillermo Rey González
Ángel Fernández Rodríguez

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, en
equipos de taller mecánico, con el criterio de máxima
disponibilidad.*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se analiza la viabilidad de aplicar la metodología de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), con el criterio de la máxima disponibilidad, al Taller de Tuberos de la Unidad Productiva Ferrol Navantia. Para ello, en primer lugar, se efectúa un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) sobre los activos (equipos) vinculados a funciones críticas del taller. Esto es, se implementó una metodología dirigida a identificar los fallos y sus consecuencias, así como los fallos potenciales que presentan un mayor riesgo. De esta manera, se pudo determinar la criticidad de los activos. En base a esta criticidad se realizó una clasificación de los equipos, proponiendo gamas de mantenimiento específicas. Conviene destacar que para la realización de este estudio se contó con un panel de expertos formado por operarios e ingenieros de la empresa. Estos expertos determinaron los activos que se sometieron a estudio en base a su experiencia y a un histórico de fallos. Por último, se exponen los resultados obtenidos, el cumplimiento de objetivos, unas líneas futuras y una serie de conclusiones sobre su aplicabilidad a la Armada tanto en sus activos militares como civiles.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento, RCM, MCC, disponibilidad, taller mecánico.

AGRADECIMIENTOS

“Es de buen nacido ser agradecido”

Quiero agradecer en primer lugar a la Armada la formación académica y humana que me ha proporcionado a través tanto de la ENM como del CUD y de otras unidades en las que he estado en estos 5 años.

Agradezco también a mis tutores, don Guillermo Rey González, y a doña Elena Arce Fariña que hayan sabido guiarme en la realización de este TFG.

Por supuesto, a mi familia y amigos que, durante toda mi vida y en especial en estos cinco años, han sabido apoyarme siempre que lo he necesitado y ayudarme en todo lo que me ha hecho falta. Han sabido también comunicarme sus diferentes puntos de vista e indicarme cuando me estaba equivocando, que es de las cosas más importantes y que más valoro. Y, sobre todo, por empujarme a ser mejor persona, mejor estudiante y mejor profesional.

También a mi tutora académica doña Rosa Devesa y a mi tutor militar el TN Salvador Omil gracias a los cuales he conseguido superar los estudios en esta etapa de mi vida en esta academia militar.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
1 Introducción y objetivos.....	5
1.1 Introducción.	5
1.2 Objetivos.	6
1.3 Contextualización.....	7
1.3.1 Navantia Ferrol.	7
1.3.2 Taller de tuberos.	8
2 Estado del arte	9
2.1 Evolución del mantenimiento.	9
2.1.1 Etapa pre-Segunda Guerra Mundial.	10
2.1.2 Tras la Segunda Guerra Mundial.	10
2.1.3 Mantenimiento pre-Moderno.....	11
2.2 Mantenimiento Moderno: RCM.....	13
2.2.1 Determinación de las funciones y parámetros de funcionamiento.	14
2.2.2 Fallos funcionales.	15
2.2.3 Modos de fallo.	16
2.2.4 Efectos del fallo.	16
2.2.5 Consecuencias del fallo.	17
2.2.6 Tareas proactivas.	19
2.2.7 Acciones a falta de tareas proactivas.	20
2.2.8 Proceso de selección en tareas RCM.	21
3 Desarrollo del TFG.....	22
3.1 Aplicación del RCM.	22
3.1.1 Análisis de Modos de Fallo y Efectos: AMFE.	31
3.1.2 Análisis funcional.	33
3.1.2.1 Análisis funcional: curvadora TEJERO modelo H-200.	33
3.1.2.2 Análisis funcional: puente – grúa de 5 toneladas.	34
3.1.3 Identificación modos de fallo.	34
3.1.3.1 Modos de fallo: curvadora TEJERO modelo H-200.	34
3.1.3.2 Modos de fallo: puente – grúa de 5 toneladas.	35
3.1.4 Efectos y consecuencias del fallo.	36

3.1.4.1 Efectos y consecuencias del fallo: curvadora TEJERO modelo H-200.	36
3.1.4.2 Efectos y consecuencias del fallo: puente – grúa de 5 toneladas.	37
3.2 Problemas y soluciones.	38
3.2.1 Problemas durante el desarrollo del trabajo.	38
3.2.2 Soluciones planteadas.	39
4 Resultados	40
4.1 Resultado del AMFE.	40
4.1.1 Número de Prioridad de Riesgo, NPR.	40
4.1.2 Jerarquización del riesgo.	44
4.2 Resultado: decisión RCM.	45
4.2.1 Curvadora:	46
4.2.2 Grúas:.....	48
5 Conclusiones y líneas futuras	51
5.1 Conclusiones y resolución de objetivos.	51
5.1.1 Conclusiones.	51
5.1.2 Resolución de objetivos.	52
5.2 Líneas futuras.	53
6 Bibliografía.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Jefatura de Apoyo Logístico (JAL). [1].....	5
Figura 1-2 HMAS Canberra (Armada Real Australiana). [2]	6
Figura 1-3 Vista de la Ría de Ferrol con las instalaciones de Navantia. [3]	7
Figura 1-4 Taller de tuberos, tubos a fabricar	8
Figura 2-1 Evolución del mantenimiento. [5]	9
Figura 2-2 Ejemplo máquina sobredimensionada. [6]	10
Figura 2-3 Aparato para la obtención de datos. [7]	11
Figura 2-4 Evolución de los patrones de fallo. [4]	12
Figura 2-5 Pilares RCM [4].....	13
Figura 2-6 Cafetera de ejemplo.	14
Figura 2-7 Funciones de la cafetera.	14
Figura 2-8 Fallos funcionales de la cafetera.	15
Figura 2-9 Modo de fallo de la cafetera.	16
Figura 2-10 Efecto del fallo de la cafetera.	17
Figura 2-11 Diagrama de decisión RCM [4].....	18
Figura 2-12 Tareas proactivas.	19
Figura 2-13 Acciones a falta de tareas proactivas.	20
Figura 3-1 Diagrama de flujos UP de Ferrol. [7]	24
Figura 3-2 Clasificación de máquinas de corte de acuerdo a tipo, marca, modelo y capacidades. [7]	25
Figura 3-3 Sierra FAT 270 MAN.....	26
Figura 3-4 TEJERO modelo H-200.....	27
Figura 3-5 Módulos de soldadura.....	29
Figura 3-6 Zona de limpieza química.....	30
Figura 3-7 Grúa – Puente de 5 toneladas.	31
Figura 3-8 Carretón taller de tuberos.....	31
Figura 5-1 BAM Tornado, P-44. [8]	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Clasificación de máquinas de curvado de acuerdo a marca, modelo y capacidades. [7].	26
Tabla 3-2 Elementos auxiliares en zona de fabricación. [7]	28
Tabla 3-3 Grúas del taller de tuberos. [7].....	30
Tabla 3-4 Clasificación de niveles de Severidad, Ocurrencia y Detección.....	32
Tabla 3-5 Efectos y consecuencias del fallo para cada modo de fallo en la curvadora TEJERO modelo H-200.	36
Tabla 3-6 Efectos y consecuencias de fallos para cada modo de fallo del puente – grúa de 5 toneladas.	38
Tabla 4-1 NPR para curvadora TEJERO modelo H-200.	41
Tabla 4-2 NPR para el puente – grúa de 5 toneladas	43
Tabla 4-3 Jerarquización del riesgo.....	45

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción.

La idea y definición de mantenimiento varía, la Armada lo define como la capacidad de “conservar y mejorar los niveles inherentes al diseño en fiabilidad, rendimiento y seguridad, pero al mínimo coste y a todo ello afectando lo menos posible a la disponibilidad”. [1]



Figura 1-1 Jefatura de Apoyo Logístico (JAL). [1]

El mantenimiento consiste en una serie de procedimientos de diferente índole, procurando el mínimo coste, que se realiza en absolutamente todas los BUI (Buques, Unidades e Instalaciones) de la Armada. Estos procedimientos pretenden mantener el nivel de operatividad de los diferentes buques, equipos, armamento, etc., es decir, conseguir un alto grado de disponibilidad y, por consiguiente, mantener sus capacidades operativas al máximo. Este es un aspecto de gran importancia ya que permite a la Armada cumplir con las misiones asignadas, tanto en defensa de los intereses nacionales, así como, en las obligaciones internacionales encomendadas por el gobierno de la nación, buscando el menor tiempo de reacción posible y siempre la eficacia.

La disponibilidad hace referencia al tiempo que está disponible una máquina para su uso, no a otros factores como la confiabilidad o tiempos de mantenimiento. En contra de lo que se pueda pensar, esto quiere decir que un elemento que falle constantemente, si su vuelta al estado de “operativo” es inmediata, puede ser más disponible que un elemento que no falle tanto, es decir, sea muy fiable, pero cuyo fallo puede acarrear un estado de “inoperativo” muy prolongado.

La falta de mantenimiento puede tener consecuencias catastróficas, históricamente ha sido la causa del hundimiento y baja de multitud de barcos de la Armada como el famoso navío San Telmo, que por falta de presupuesto redujo el gasto de recursos en el mantenimiento de las carenas de los buques con consecuencias en ocasiones nefastas.

Actualmente la situación continúa siendo precaria a nivel económico, con lo que esto lleva implícito. Además, a esta situación, se le une la poca aceptación social en España de aumentar los presupuestos del Ministerio de Defensa. Los accidentes por falta de inversión en mantenimiento no se producen en tasas tan elevadas debido a: la concienciación en materia de seguridad de personal y, en menor medida, el aumento de medidas y medios de seguridad. No obstante, queda patente que aún hay deficiencias que se deben subsanar.

El objetivo principal de este trabajo es adquirir los conocimientos necesarios para implantar un plan de mantenimiento basado en una moderna técnica Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, conocida como RCM por sus siglas en inglés. Es decir, buscando asegurar que el tiempo de disposición es el adecuado para cada máquina y, por consiguiente, para la unidad productora en sí misma. Esta filosofía RCM será aplicada con el criterio de disponibilidad en el taller de tuberos de Navantia, en Ferrol.

La implantación de este sistema novedoso en Navantia se produce a consecuencia de su reciente ampliación de demanda. Cuando comienzan las exportaciones de buques militares a las armadas de otros países como Noruega o Australia y con vistas a las futuras exportaciones a Venezuela o Arabia Saudí.



Figura 1-2 HMAS Canberra (Armada Real Australiana). [2]

1.2 Objetivos.

La técnica del RCM con el criterio de máxima disponibilidad es el fundamento de este trabajo que tiene, a priori, una gran aplicabilidad a la Armada. Con este método puede abrirse un horizonte con una importante capacidad para la mejora operativa. Los objetivos a lograr por este trabajo van a ser:

- Conocer este método de reciente implantación en Navantia, el RCM. En base a éste, se realizará un estudio de algunos de los activos críticos del taller de tuberos del astillero.

- Una vez realizado un análisis sobre los mencionados elementos del taller, se aplicará tanto el método RCM con el criterio de máxima disponibilidad como el método AMFE que finaliza con la asignación del NPR a cada modo de fallo.
- Desarrollar un plan de mantenimiento, aplicando el criterio de máxima disponibilidad, para los activos seleccionados como críticos de la UP de Ferrol.
- Establecer unas conclusiones sobre este método y discutir su posible aplicación al mantenimiento de unidades y equipos tanto específicamente militares como civiles de la Armada.

1.3 Contextualización.

1.3.1 Navantia Ferrol.

Situada a orillas de la ría de Ferrol, en la ciudad de El Ferrol y en Fene, se encuentran parte de las instalaciones de Navantia.



Figura 1-3 Vista de la Ría de Ferrol con las instalaciones de Navantia. [3]

Podría decirse que la historia de la empresa se remonta al siglo XVIII con la creación de los arsenales militares. Repartidos por el territorio nacional, en estos se construían y reparaban los barcos de la Armada Española. Aunque debido a los diferentes cambios la construcción naval se desmilitarizó, el hecho de tener este origen común explica muy bien la estrecha relación que hay entre esta empresa, de reconocimiento mundial, y la Armada Española. De hecho, parte de las instalaciones de Navantia aún continúan en el Arsenal Militar de Ferrol. Este vínculo es muy apreciable en las edificaciones, de dentro del arsenal, así como en la multitud de barcos construidos en sus astilleros que son adquiridos por la Armada. Además, la Armada le proporciona una muy importante publicidad mediante ejercicios y cooperaciones internacionales. También publicita a esta empresa mediante la integración de sus buques

en otras armadas, como es el caso del Buque de Aprovisionamiento para el Combate (BAC) “Cantabria” en la Armada Australiana. Estas exportaciones resultan vitales para la supervivencia de la empresa.

Actualmente destaca internacionalmente por el diseño y construcción de buques muy modernos en cooperación con el gigante norteamericano Lockheed Martin y otras empresas de diferentes nacionalidades como son las fragatas clase Álvaro de Bazán (F-100) o el LHD Juan Carlos I, de la Armada Española.

1.3.2 Taller de tuberos.

El taller de tuberos de Navantia Ferrol está situado dentro de las instalaciones del astillero, frente a la dársena del arsenal. En él se tratan los tubos para la construcción naval mediante el empleo de máquinas muy específicas y operarios cualificados que deben comprobar que el material del que son provistos cumple las especificaciones tanto de material, como de dimensiones (longitud, espesor, etc.). Una vez realizadas estas operaciones de control, procederán a realizar las diferentes tareas, de corte, de curvado e injerto, entre otras operaciones; con objeto de cumplir los documentos técnicos de cara a su posterior instalación en los barcos.



Figura 1-4 Taller de tuberos, tubos a fabricar

Para ello, se le colocan, a cada tubo, unas etiquetas en las que figuran los datos para su fabricación que le acompañan durante todo el proceso, Figura 1-4.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Evolución del mantenimiento.

Con las primeras invenciones humanas, herramientas primitivas; la lanza, la rueda, etc., comienzan también los mantenimientos. Un mantenimiento primitivo, generalmente correctivo, con el que los primeros hombres y su precaria fabricación artesanal carente de grandes recursos sobrevivían. De esta manera, se reparaban desde lanzas prehistóricas hasta los galeones de indias más modernos con todos los utensilios, las edificaciones y los transportes que hay entre ellos. No es hasta la revolución industrial cuando se introducen las primeras máquinas propiamente dichas y las grandes fábricas. Y es ya a partir de la década de los treinta cuando se puede seguir la historia del mantenimiento. Se diferencian tres grandes etapas en las que se ira forjando el concepto de RCM (Realiability Centered Maintenance o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, MCC en español). [4]

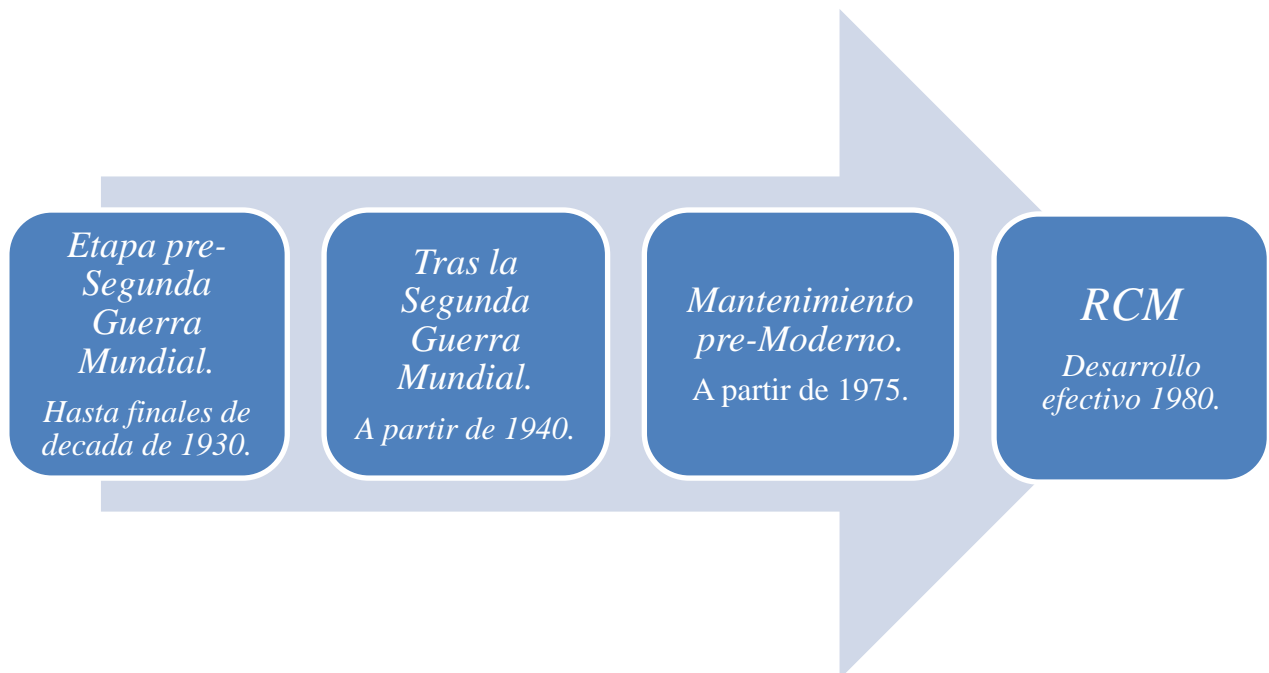


Figura 2-1 Evolución del mantenimiento. [5]

2.1.1 Etapa pre-Segunda Guerra Mundial.

A pesar de estar a principios del siglo XX, por aquella época la industria aún no estaba muy automatizada. De hecho, gran parte de los mecanismos eran desproporcionados de manera sobredimensionada y no muy complicados en su mecánica. Esto los convertía en equipos muy fiables y de reparación sencilla. Estas características llevan hacia mantenimientos rutinarios basados en lubricación y limpieza por parte de los operarios y hacia reparaciones correctivas.



Figura 2-2 Ejemplo máquina sobredimensionada. [6]

No existía una concienciación sobre la importancia del mantenimiento porque el tiempo de parada de la máquina no era vital económicamente para la empresa. Es por esto que los directores de producción del momento no lo consideraban una prioridad. Esto se debe a que las máquinas, en primer lugar, eran muy fiables, por lo expuesto en el párrafo anterior, y a que, la gran cantidad de mano de obra solía poder suplir los trabajos mecánicos. Situación impensable actualmente por el grado de automatización y precisión de las cadenas de producción y sus filosofías de producción, como el método del “justo a tiempo” conocido como JIT por sus siglas en inglés, añadido a la escasez de mano de obra cualificada.

2.1.2 Tras la Segunda Guerra Mundial.

Con el aumento del número de máquinas y la reducción de trabajadores por la automatización se hizo patente la necesidad de mejorar las tareas de los mantenimientos. Esto se debe a que las empresas comenzaban a evidenciar los aumentos en pérdidas por tiempo de parada en los equipos. La Segunda Guerra Mundial implicó un aumento de la producción causada por la demanda de armamento y pertrechos, así como de otros bienes, para la guerra. Además, es determinante la falta de mano de obra que pasa a formar parte de las Fuerzas Armadas, unida al nuevo modelo de guerra basada en asaltos con carros blindados (es curioso también, como cambio evidente del triunfo de la modernización, su influencia sobre la táctica bélica como es la última carga de caballería de la historia por el ejército polaco a una división acorazada alemana de Panzer IV), otras unidades mecanizadas y un mayor desarrollo en la aviación militar.

Al aumentar esta dependencia de las máquinas, cada vez más numerosas y complejas, se empieza a desarrollar el mantenimiento preventivo, con el objetivo de no llegar al límite del equipo. Cuando esto sucede y falla, presenta mayores pérdidas económicas. Esto es debido no solo al periodo de tiempo de parada del activo en el cual no produce; sino también, a los gastos de reparación de las máquinas. Este

mantenimiento es periódico y de mayor entidad. En sus inicios, esta clase de mantenimiento no recogía un estudio ni un planteamiento por lo que este era estrictamente periódico, es decir, este se realizaba cada cierto intervalo de tiempo fijo. Esto provocó que los costes de mantenimiento rápidamente se dispararan.

Esta situación llevó al desarrollo de la idea de implementar un sistema de planificación del mantenimiento, así como su control, llegando a incluirse como parte práctica del mismo. Es cierto que, con el aumento de la inversión en máquinas más complejas, se procuró aumentar al máximo la vida operativa de estas para poder amortizar así el capital invertido, a pesar de que sus correspondientes gastos en mantenimiento eran más elevados.

2.1.3 *Mantenimiento pre-Moderno.*

Tiene lugar a partir de 1975 y como se puede observar el mantenimiento va cobrando una mayor importancia conforme aumenta la dependencia humana de las máquinas. A mediados de los setenta la industria continúa consiguiendo impulso y con ella el mantenimiento con nuevas expectativas, técnicas e investigaciones, procurando mejores resultados y disminuir costes. Se hace muy patente que el tiempo de parada de un equipo afecta tanto al tiempo que no produce (reducción de producción) así como al aumento en gastos operacionales y, lo más importante, al servicio al cliente. Además, cambios sociales toman relevancia como la preocupación por el medio ambiente y el operario, también por parte de los empresarios.

Las nuevas filosofías de producción que se van introduciendo, como el JIT (Just-In-Time), van a ir revolucionando el mundo del mantenimiento. La empresa no se puede permitir fallos en equipos ya que no tiene stocks de los productos para ahorrarse así los gastos de almacenamiento. Por lo tanto, si ocurriera lo contrario, y fallara, no entregaría el pedido a tiempo. Se comienzan a plantear nuevas maneras de mantener los activos mecanizados y automatizados basados en la confiabilidad y disponibilidad. Es evidente también que la automatización inicial implicaba más fallos. A raíz de estos fallos, se complica el status quo en parámetros de calidad aceptables, tanto en el producto como en la calidad de servicio. Como consecuencia destacan los avances en el ámbito de las comunicaciones y el comienzo del procesado de datos.



Figura 2-3 Aparato para la obtención de datos. [7]

Comienzan multitud de investigaciones a raíz de los nuevos datos procesados sobre históricos de fallos, tiempos de parada, etc. Cambian los numerosos dogmas más profundos existentes sobre el tiempo y los fallos. Frente al primer patrón único que se pensaba, las máquinas fallan por ser antiguas y, sus elementos, viejos, las investigaciones demuestran la existencia de más patrones sobre el terreno. Fruto de estas experiencias, se llega a una de las conclusiones más importantes que chocan con el mantenimiento hasta la fecha. Gran parte de las tareas de mantenimiento preventivo, basadas en los conceptos tradicionales de mantenimiento, no logran ningún resultado; mientras que otras son directamente contraproducentes e incluso peligrosas. A pesar de haber sido realizadas tal y como se plantearon. En consecuencia, será ineludible formalizar un gran número de tareas que no forman parte de los programas de mantenimiento.

Las nuevas técnicas y conceptos de mantenimiento comienzan a aflorar de manera exponencial. La empresa se ve obligada a cambiar constantemente el mantenimiento, evolucionar para sobrevivir en una economía tan competitiva. Para ello, estas deberán invertir en personal muy cualificado en temas mantenimiento para conocer estas técnicas nuevas y elegir las más ventajosas para cada tipo de compañía; elecciones inadecuadas tienen consecuencias muy desfavorables.

Asimismo, los fallos de sistemas tienen consecuencias impactantes para nuestra sociedad, como, por ejemplo, las consecuencias relativas a la seguridad o al medio ambiente. Sobre todo por el auge y crecimiento de los movimientos ecologistas que, afortunadamente, acaban consiguiendo el respaldo de la ley.

El aumento del capital en equipos, tanto para su adquisición como para su operación fruto de la mayor dependencia de estos, evoluciona procurando maximizar su funcionamiento eficaz. Con el objetivo de recuperar la inversión y conseguir una rentabilidad. Esto implica nuevos gastos en mantenimiento que pasan a ser cruciales tanto en volumen de capital como proporcionalmente para la empresa.

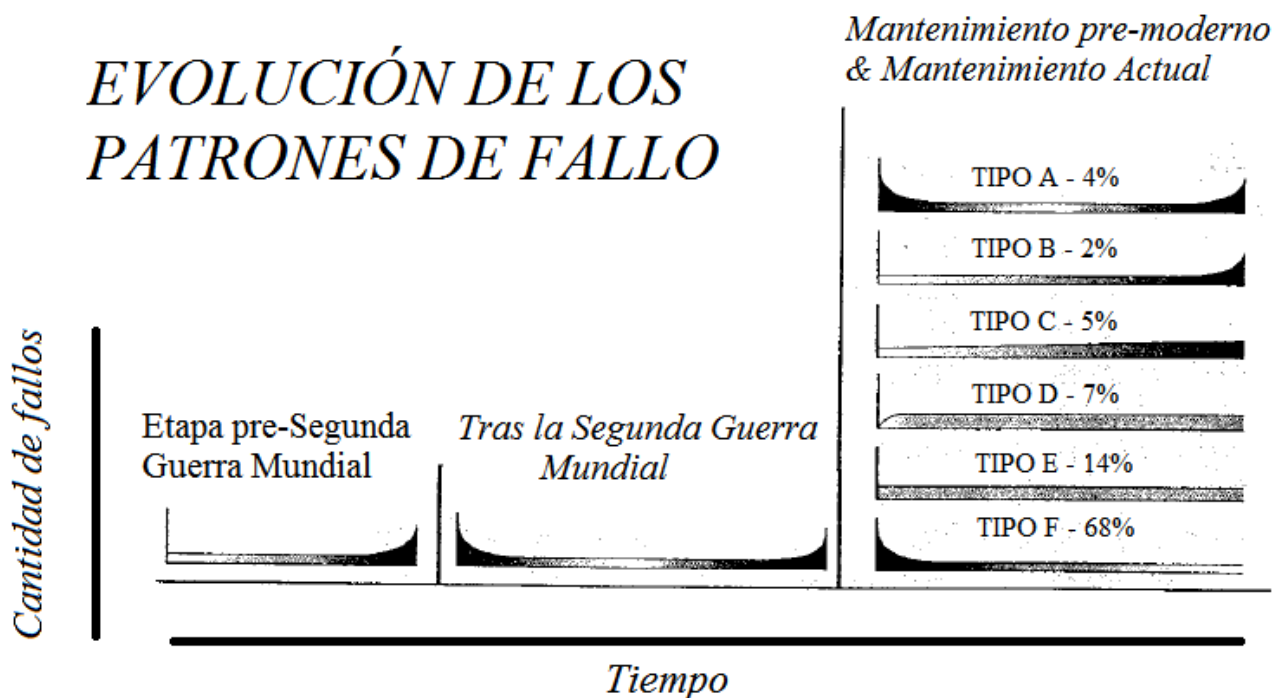


Figura 2-4 Evolución de los patrones de fallo. [4]

En base a las diferentes etapas del mantenimiento que se han explicado, se pueden resumir en esta figura las diferentes gráficas de patrones de fallo asociadas a cada periodo y su evolución con el tiempo. En el salto a la etapa del mantenimiento tras la Segunda Guerra Mundial se establece la conocida como “curva de la bañera”, denominada así por su característica forma. Esta forma se debe a dos factores, el nexo entre el tradicional fallo de las máquinas basado en el desgaste debido a su antigüedad, es decir, por fatiga. Unida a la introducción de los primeros dispositivos electrónicos que no fallan generalmente por fatiga, sino que se ven más afectados por lo que se conoce como la “mortalidad infantil”. La mortalidad infantil es una analogía que reciben los elementos que tienden a fallar con poco tiempo de vida, generalmente elementos electrónicos. De la misma manera, el aumento de la electrónica ha supuesto un cambio en los patrones de falla estudiados, así, serán porcentualmente más elevados los fallos de “Tipo F” como se puede ver en la Figura 2-4, sin excluir los demás patrones de fallo.

2.2 Mantenimiento Moderno: RCM.

El mantenimiento moderno está en la línea del pre-Moderno, no obstante, se puede marcar un antes y un después en estas etapas del mantenimiento de acuerdo al desarrollo efectivo del RCM. Técnica en la que se va a centrar el trabajo entre todos los diferentes métodos actuales.

El momento en que la industria se da cuenta de que es tan importante asegurarse que se están llevando a cabo las tareas de forma correcta como asegurarse que se están haciendo las tareas correctas es cuando se desarrollan los “procesos de toma de decisión comprensivos”. Nace el mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM. Es una técnica iterativa, única y pionera, para determinar la mínima cantidad segura de operaciones que se deben realizar para mantener las funciones de los activos, sobre todo en momentos críticos; por lo que es muy importante su correcta aplicación. [4]

El RCM se sustenta sobre siete pilares para revisar cualquier sistema que son la respuesta a las siete preguntas de la Figura 2-5.

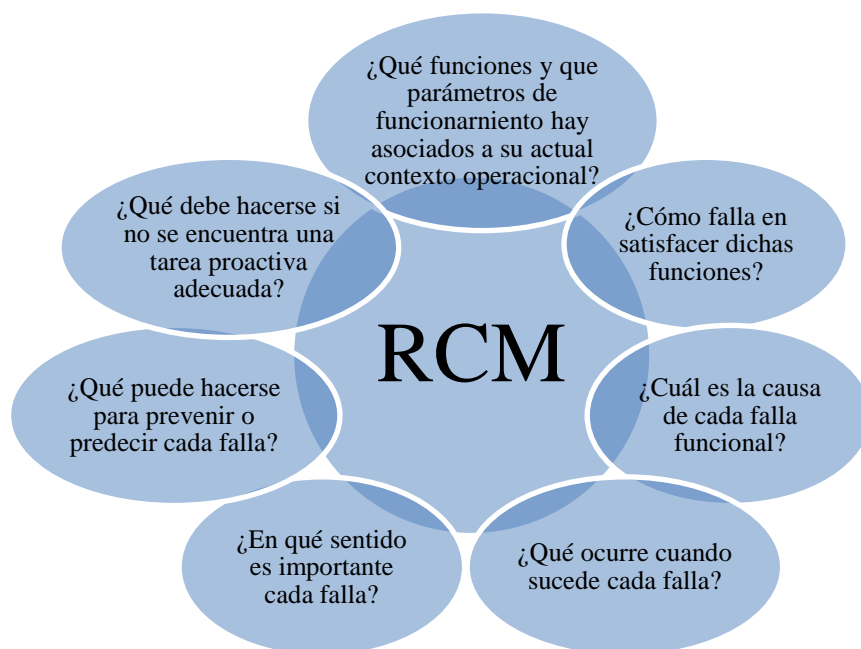


Figura 2-5 Pilares RCM [4]

2.2.1 Determinación de las funciones y parámetros de funcionamiento.

Para poder aplicar este método es necesario formar un equipo de trabajo que ha de estar compuesto mínimo por los operarios de los activos, los operarios de mantenimiento y expertos en la materia del RCM; no obstante, puede haber otros o, en su defecto, estas tareas pueden realizarlas un panel de expertos. Hay que saber qué hacer para que los operarios queden satisfechos con los equipos y tener en cuenta los puntos de vista de los operarios. Para ello, es imprescindible que los propios trabajadores de los equipos, que suelen estar en mejor posición para saber que aportaciones ofrece el equipo para la empresa, participen desde el comienzo en el proceso de aplicación.

Esta etapa suele ocupar alrededor de un tercio del tiempo total de la aplicación del método del RCM y, además, provocar que el grupo que realiza el análisis adquiera un aprendizaje considerable. Esto es debido al estudio exhaustivo necesario sobre todos los activos para la correcta realización del citado método pionero. [5]

Para una mejor comprensión del método, de forma que queden claros los conceptos que a continuación se exponen, se irá explicando un ejemplo de un activo muy sencillo como es la cafetera de la Figura 2-6. [4]



Figura 2-6 Cafetera de ejemplo.

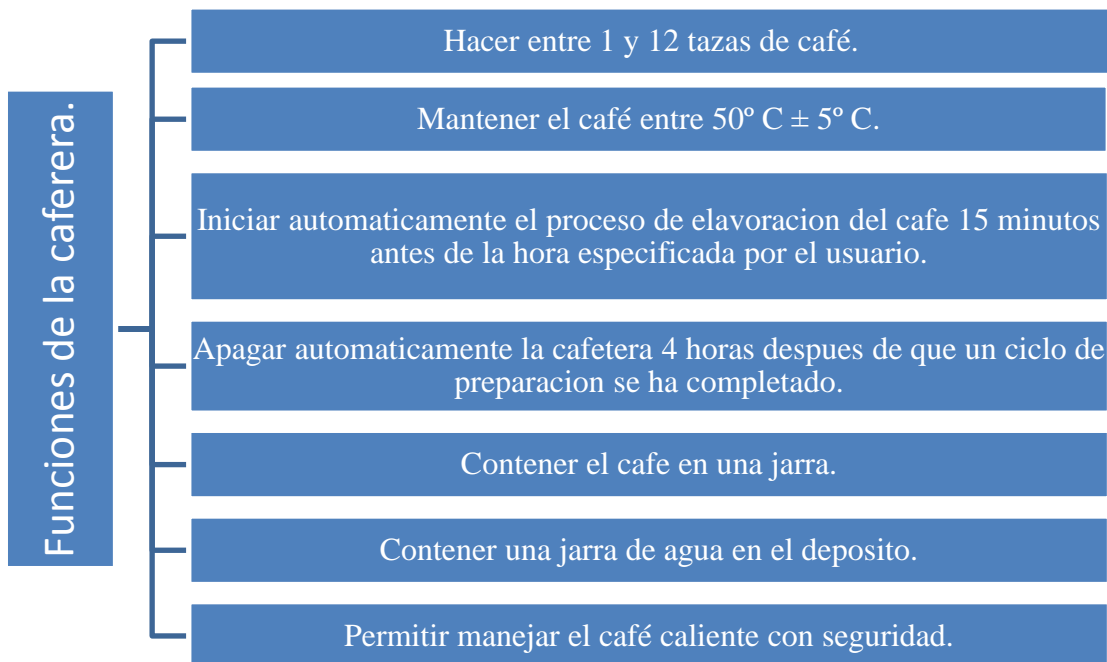


Figura 2-7 Funciones de la cafetera.

En esta Figura 2-7, se pueden ver fácilmente las funciones que se espera que realice una cafetera como la del ejemplo en la Figura 2-6. Una maquina o elemento puede tener diferentes funciones principales como es hacer entre 1 y 12 tazas de café en este sencillo ejemplo de la cafetera. Y también, secundarias como es permitir manejar el café caliente con seguridad que es asimismo muy importante. Para aplicar el método del RCM es necesario conocer tanto unas como otras para combatir así sus fallos y consecuencias y poder priorizar a la hora de asignar mantenimientos.

2.2.2 Fallos funcionales.

El mantenimiento establece los objetivos del mismo en base a las funciones y expectativas asociadas al funcionamiento de un determinado activo. Si éste, el activo, no cumple las funciones o se sale de los parámetros es debido a algún tipo de fallo del mismo. Para solventar cualquier clase de problema, hay que estudiarlo para poder aplicar la mejor solución. Por eso, se estudian y se clasifican los tipos de fallo en base a los análisis previos, siempre identificando las circunstancias y, después, los acontecimientos que pueden derivar en que los activos fallen.

Este método, al basarse en la confiabilidad, va a dejar al margen equipos que estén parcialmente inoperativos, es decir, aquellos que cumplen su función principal pero no cumplen los parámetros u otras funciones; y, evidentemente, también a los totalmente inoperativos. Ambos son englobados en diferentes subgrupos, cada uno de estos es conocido en RCM como fallo funcional. Por ejemplo, se considera no disponible, siguiendo estos criterios, si la cafetera quema el café o si lo prepara aguado, así como si no lo prepara.

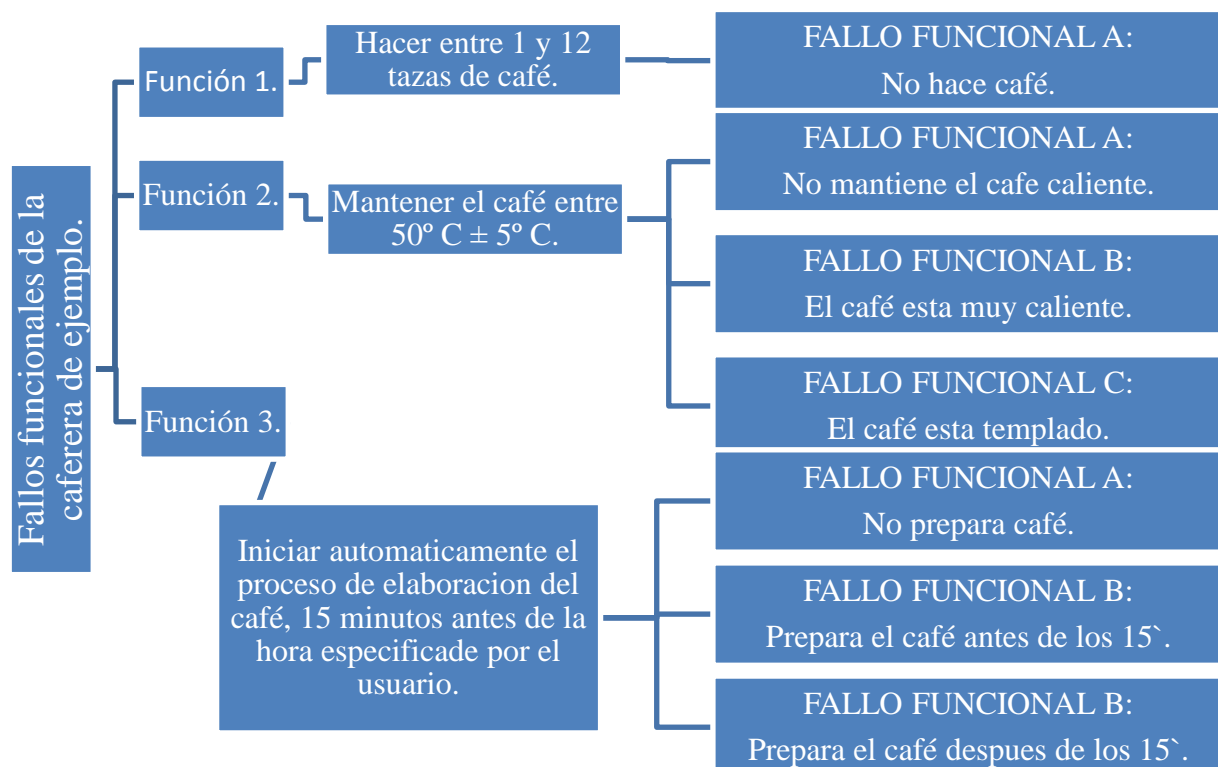


Figura 2-8 Fallos funcionales de la cafetera.

En el diagrama de la Figura 2-8 se puede apreciar visualmente como a raíz de las diferentes funciones que debe tener la cafetera de la Figura 2-6 tienen lugar los diferentes fallos funcionales. También, se puede observar como una misma función puede verse afectada por más de un fallo funcional.

2.2.3 Modos de fallo.

De nuevo, nos apoyamos en el pilar anterior del proceso RCM. Una vez se han identificado los fallos funcionales, el siguiente hito es averiguar de forma razonable todos los factores que puedan haber derivado en el estado de fallo. Estos factores se denominan modos de fallo. Además, se incluirán en estos aquellos ocurridos en máquinas iguales y similares siempre que trabajen en el mismo contexto. Asimismo, fallos prevenidos por políticas de mantenimiento contemporáneas al estudio, y probables fallos inminentes. [6]

Estas recopilaciones de fallos deben recoger también los errores humanos, ya sean en el propio diseño, como en los operarios o incluso en la plantilla de mantenimiento; y no solo los de la máquina. De esta manera quedan recogidos e identificadas todos los diferentes tipos de errores para que puedan ser solventados adecuadamente. [4]

Volviendo al ejemplo de la cafetera, Figura 2-9.



Figura 2-9 Modo de fallo de la cafetera.

Teniendo en cuenta además que los modos de fallo también pueden ser debidos a errores humanos.

2.2.4 Efectos del fallo.

Avanzando en el método RCM, el siguiente paso será la elaboración de una lista con los efectos de fallo. En ella se debe describir lo que ocurre con cada modo de fallo incluyendo la información necesaria para apoyar la evaluación de lo que implica dicho fallo. [4]



Figura 2-10 Efecto del fallo de la cafetera.

2.2.5 Consecuencias del fallo.

La cantidad de fallos de una empresa media tiene un volumen medio tan grande que no pueden solucionarse todos ellos por el elevado coste que supondría, tanto en inversión de capital como de tiempo [5]. Para entender esta afirmación, hay que tener en cuenta que este método engloba todo tipo de fallos, muy diferentes entre sí, incluyendo desde fallos humanos hasta diferentes errores de las máquinas. Esto es lo que complica aún más la situación y la aplicación del método, ya que no dejan de multiplicarse los errores y el análisis de cada uno de estos que lleva implícito.

Debido a esto, hay que clasificar las consecuencias de cada fallo para poder determinar donde es más crítico prevenir cada uno de los fallos. Es decir, establecer prioridades e incluso desechar el mantenimiento si no tiene consecuencias o estas son leves. Reduciendo los mantenimientos a simples limpiezas y lubricaciones muy básicas de la maquinaria en los casos menos críticos.

Se considera uno de los puntos claves del RCM reconocer que los fallos tienen una importancia incluso mayor que la de sus características técnicas. Por eso, esta filosofía RCM está de acuerdo en que la única razón para realizar cualquier clase de mantenimiento proactivo no es solo evitar los fallos, sino también disminuir y evitar sus consecuencias. El método del RCM diferencia estas consecuencias en cuatro tipos: consecuencias de fallos ocultos, consecuencias ambientales y para la seguridad, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales.

En base a estos se desarrolla el diagrama de decisión RCM de la Figura 2-11.

En la Figura 2-11, la letra “H” hace referencia a fallo oculto, la “S” a seguridad, la “E” significa medio ambiente y la “O” a quiere decir operacional:

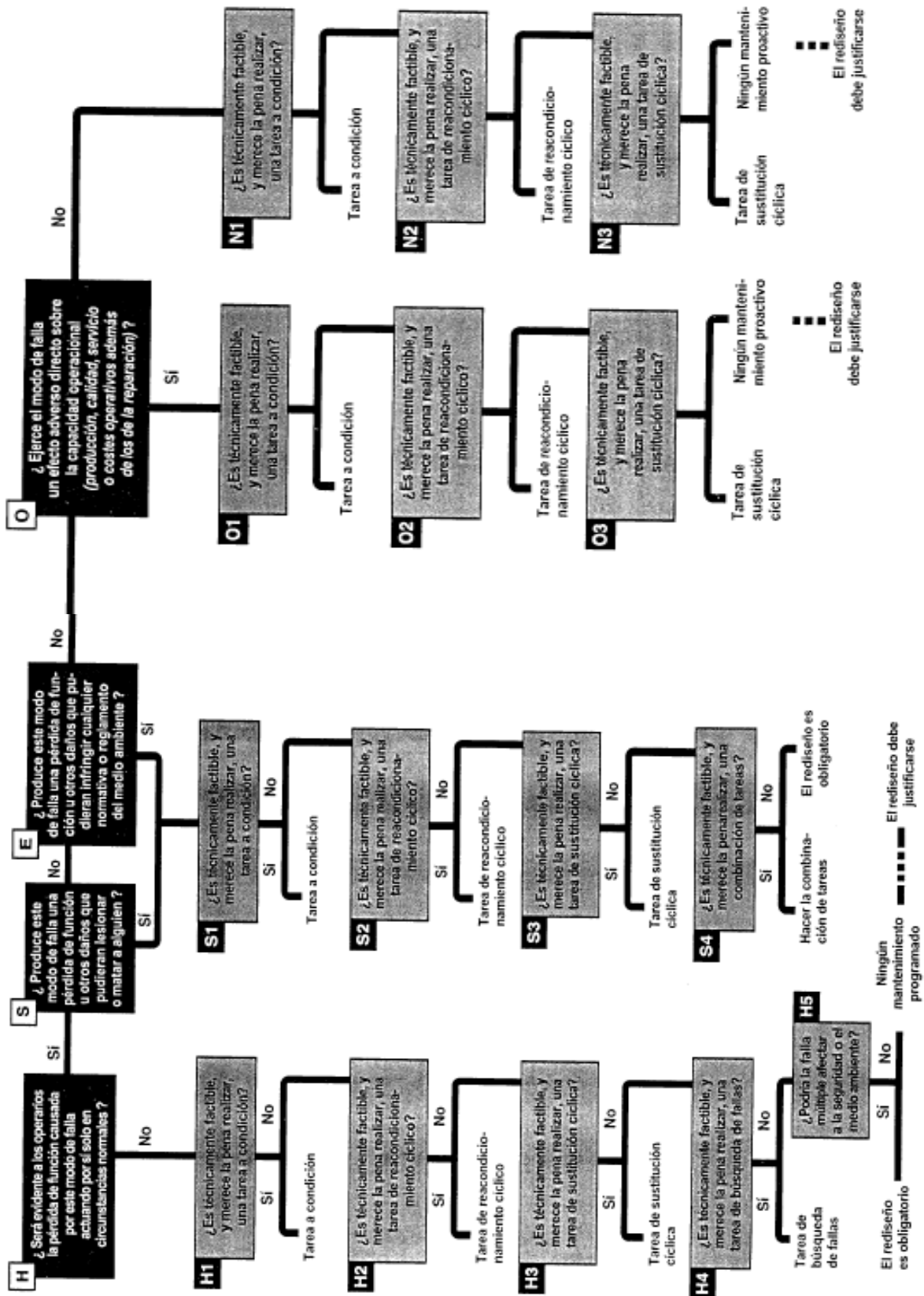


Figura 2-11 Diagrama de decisión RCM [4]

RCM usa estos tipos de consecuencias como pilares de su trabajo a nivel estratégico en cuanto a la toma de decisiones sobre mantenimiento. Para realizar la mejor decisión precisa una revisión de cada modo de fallo y sus consecuencias. Este proceso acaba con la idea de que todo fallo es malo y debe ser prevenido, focalizando así los esfuerzos sobre los mantenimientos más críticos. Se distinguen entonces los que tienen mayor relevancia sobre la empresa, quitando importancia a las que tienen menor resultado. También, invita a pensar de una manera más amplia en lo que a diferentes maneras de combatir fallos se refiere, en lugar de centrarnos exclusivamente con la prevención de fallos. Las diferentes técnicas para combatir fallos son: “tareas proactivas”, definidas en el apartado 2.2.6, y “acciones a falta de tareas proactivas” en el apartado 2.2.7.

2.2.6 Tareas proactivas.

Una buena parte de la población continúa creyendo que la mejor manera de optimizar la disponibilidad son los mantenimientos proactivos de rutina. Esto puede ser verídico para una minoría de equipos muy simples y otros equipos de más entidad o más complejos que presentan modos de fallo dominantes. Los equipos actuales son generalmente mucho más complejos que hace treinta años lo que ha derivado en diferentes patrones de fallo, representados en la Figura 2-4, tan modernos como los nuevos sistemas. A medida que estos se hacen más complejos aumentan los patrones modernos, demostrando así que se rompe la conexión confiabilidad-edad operacional.

Las tareas proactivas en RCM son empleadas para detectar potenciales fallos y permitir proceder eludiendo las consecuencias, si las hubiera, de que estas se conviertan en fallos funcionales. Estas tareas son muy eficientes para lidiar con los diferentes fallos, siempre que sean empleadas correctamente. De la misma manera, algunas tareas pueden llegar a ser una costosa pérdida de tiempo. La certeza de la toma de decisiones con la filosofía RCM puede llegar a ser muy particular. Las tareas proactivas se dividen en tres:

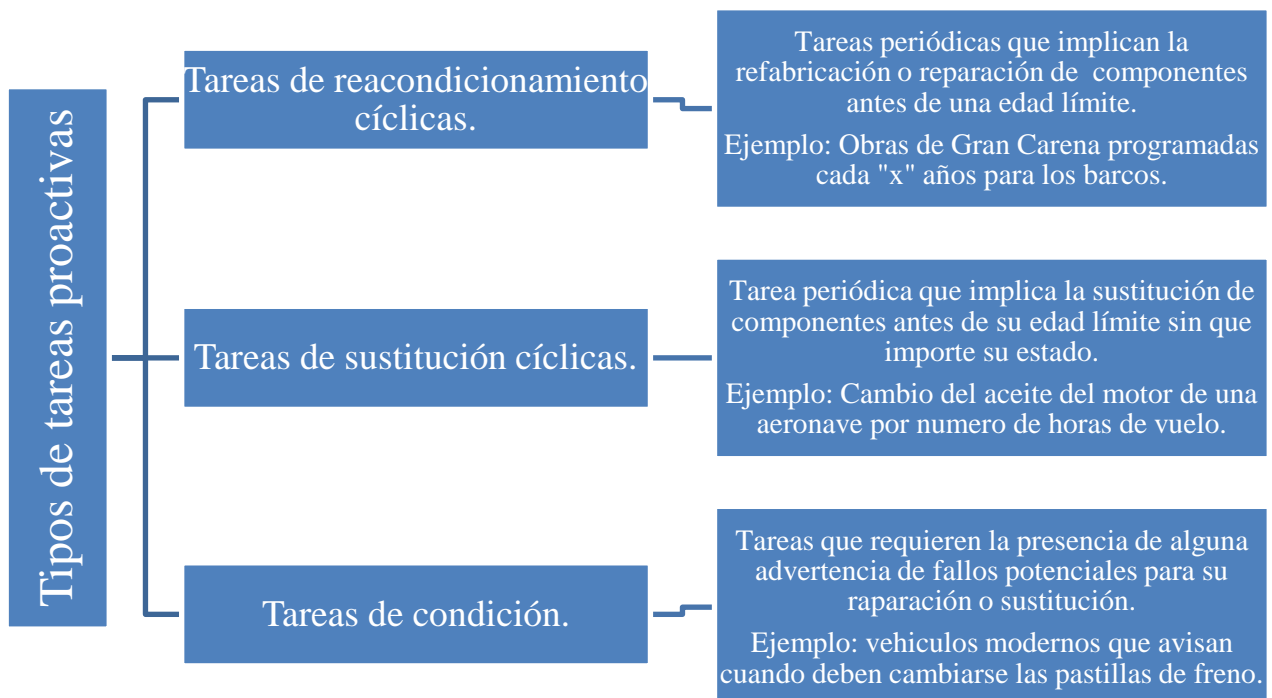


Figura 2-12 Tareas proactivas.

Las dos primeras tareas proactivas son cíclicas, o lo que es lo mismo periódicas, y por esto son considerados mantenimientos preventivos. Hace unos treinta años, estos eran los métodos más utilizados, pero es debido a lo que se expone a continuación por lo que se decrementó su uso en auge de otros.

Las tareas de reacondicionamiento cíclico implican la refabricación de un componente o la reparación de un conjunto antes de una edad límite específica sin que tenga relevancia el estado de dicho elemento. En la misma línea, en las tareas de sustitución cíclicas se van a sustituir antes de la edad límite los componentes sin que importe su estado. Esto supone un gran gasto económico para la empresa.

En cuanto a las tareas de condición, se podría decir que el aumento de la necesidad de prevención de los diferentes tipos de fallos, unido a la disminución de la eficacia de los métodos tradicionales van a desembocar en el desarrollo de nuevas formas de manejo de fallos. Actualmente, las nuevas técnicas parten de la base de que la mayor parte de los fallos presentan alguna advertencia de que el fallo es inminente. Estos fallos inminentes reciben el nombre de fallos potenciales e incluyen a todos aquellos que presentan condiciones físicas que dejan apreciar que un fallo funcional está muy próximo a ocurrir o están ocurriendo actualmente.

2.2.7 Acciones a falta de tareas proactivas.

En RCM se pueden distinguir tres grandes grupos de acciones a falta de tareas proactivas:

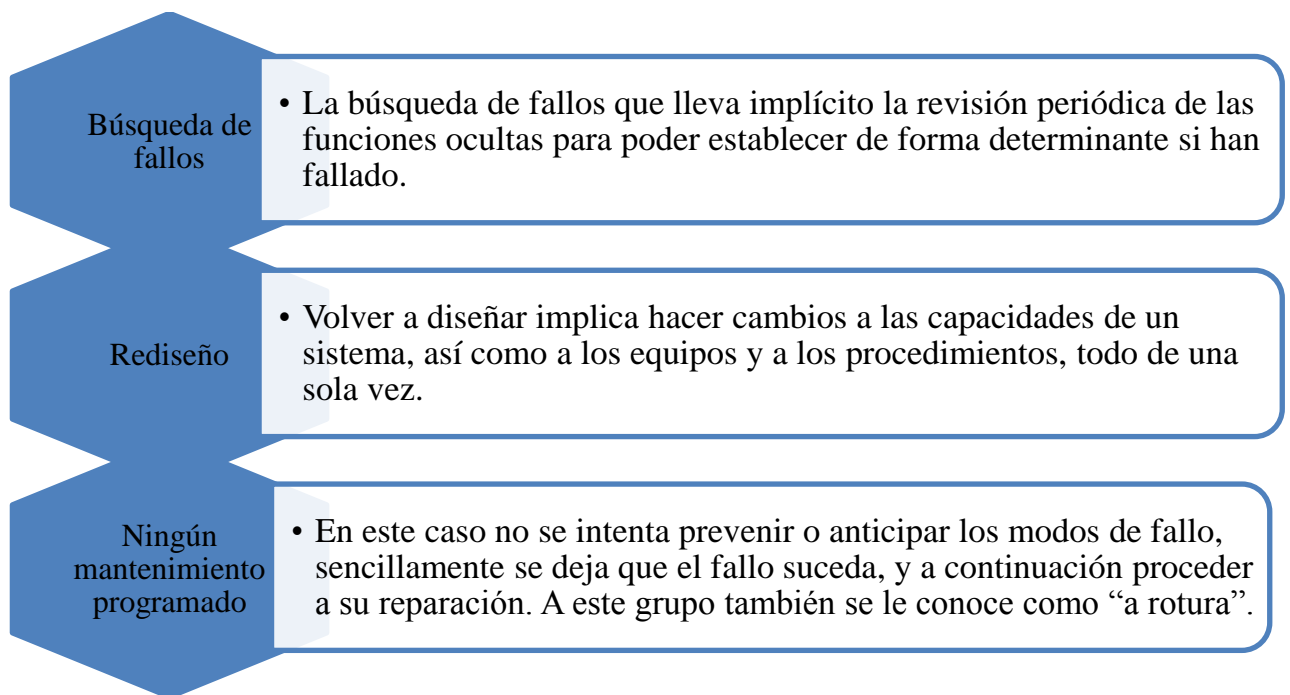


Figura 2-13 Acciones a falta de tareas proactivas.

2.2.8 Proceso de selección en tareas RCM.

Otra de las claves de la filosofía RCM es la forma de proveer criterios simples, exactos y de fácil comprensión con el objetivo de elegir que tarea proactiva es la más factible técnicamente para una situación determinada. Además de decidir quién las debe de hacer y también con qué frecuencia.

Las características técnicas de la tarea y el fallo que se pretende prevenir determinan si una tarea proactiva es factible técnicamente o no. Hay una serie de filtros, disponibles en la

, que determinan cuándo una tarea puede ser preventiva de acuerdo al tipo de fallo que subsane. De esta manera no se utiliza esta técnica cuya eficiencia varía en función del tipo de fallo que vaya a combatir, como se ha visto anteriormente. Para poder subsanar los fallos que realmente lo necesitan, se debería de escoger entre una de las “acciones a falta de tareas proactivas” en lugar de una tarea proactiva en sí misma. Esto, añadido a que se eliminan otros procesos contraproducentes, desemboca en un mantenimiento más efectivo.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Aplicación del RCM.

Para desarrollar un plan de mantenimiento es necesario conocer todos los flujos dentro del taller, así como todos sus equipos, como aquellos de los que está provisto la Unidad Productiva de Ferrol (Navantia). Para la elaboración de este trabajo contamos con la información que nos ha proporcionado la empresa Navantia sobre el citado taller a través del director del mismo y del Jefe de Mantenimiento del astillero.

La UP de Ferrol (Navantia) transforma en sus instalaciones una gran variedad de tubos atendiendo a diferentes longitudes, diámetros, espesores y materiales con el objetivo de abastecer los distintos servicios que precisa un barco, como son el agua, los combustibles, los refrigerantes, etc.

A lo largo de sus más de doscientos años de vida, este taller de tuberos ha ido evolucionando. Debido al trabajo diario de su personal y la inversión económica se ha ido modernizando, hasta alcanzar su situación actual. Este taller, junto con su almacén y sus pañoles, están integrados, dentro de un plan de mejora continua, una filosofía japonesa conocida como “las 5s”. Las 5s se derivan del japonés, en cuyo país se desarrolló esta filosofía por la gigante automovilística Toyota®, y hacen referencia a lo que en español sería:

- Organización: separar innecesarios, eliminar del área de trabajo lo que sea inútil.
- Orden: constituir el espacio de trabajo de forma eficaz.
- Limpieza: incrementar la limpieza de los lugares.
- Estandarización, control visual: prevenir la aparición del desorden y la suciedad y establecer normas y procedimientos.
- Mantener la disciplina y el hábito: seguir fomentando la mejora.

Hasta la fecha, en este taller se han cumplido tres de estos cinco escalones de este ambicioso programa que son conocidos como OOL (organización, orden y limpieza). También, aplica la filosofía “kaizen”, igualmente japonesa, que mejora el flujo de los materiales dentro del taller en función de los distintos procesos e intentando evitar que recircule; como se puede ver en la Figura 3-1. Además,

siguiendo la línea de Navantia de calidad total, participa en la misma mediante los ámbitos de Calidad, Medio Ambiente y Prevención.

La capacidad media del Taller de Tuberos de Navantia Ferrol se establece actualmente en 12000 tubos al año, una cantidad equivalente a 30 kilómetros de tubería.

La tubería se transformará según las necesidades de cada servicio, empleando distintos tipos de material, según normas ASA o DIN:

- Materiales férricos: Acero al Carbono, Acero Inoxidable.
- Materiales no férricos: Cobre, aleaciones Cobre-Níquel.

El modus operandi del taller de tuberos es, básicamente, siempre igual, pero se modifican los traslados de cada uno de los tubos a fabricar atendiendo a su etiqueta, como la de la Figura 1-4; para cumplir las especificaciones técnicas del cliente para cada tubo. Para el traslado de los tubos de una zona de trabajo a otra se emplean las diferentes grúas y carritos del taller.

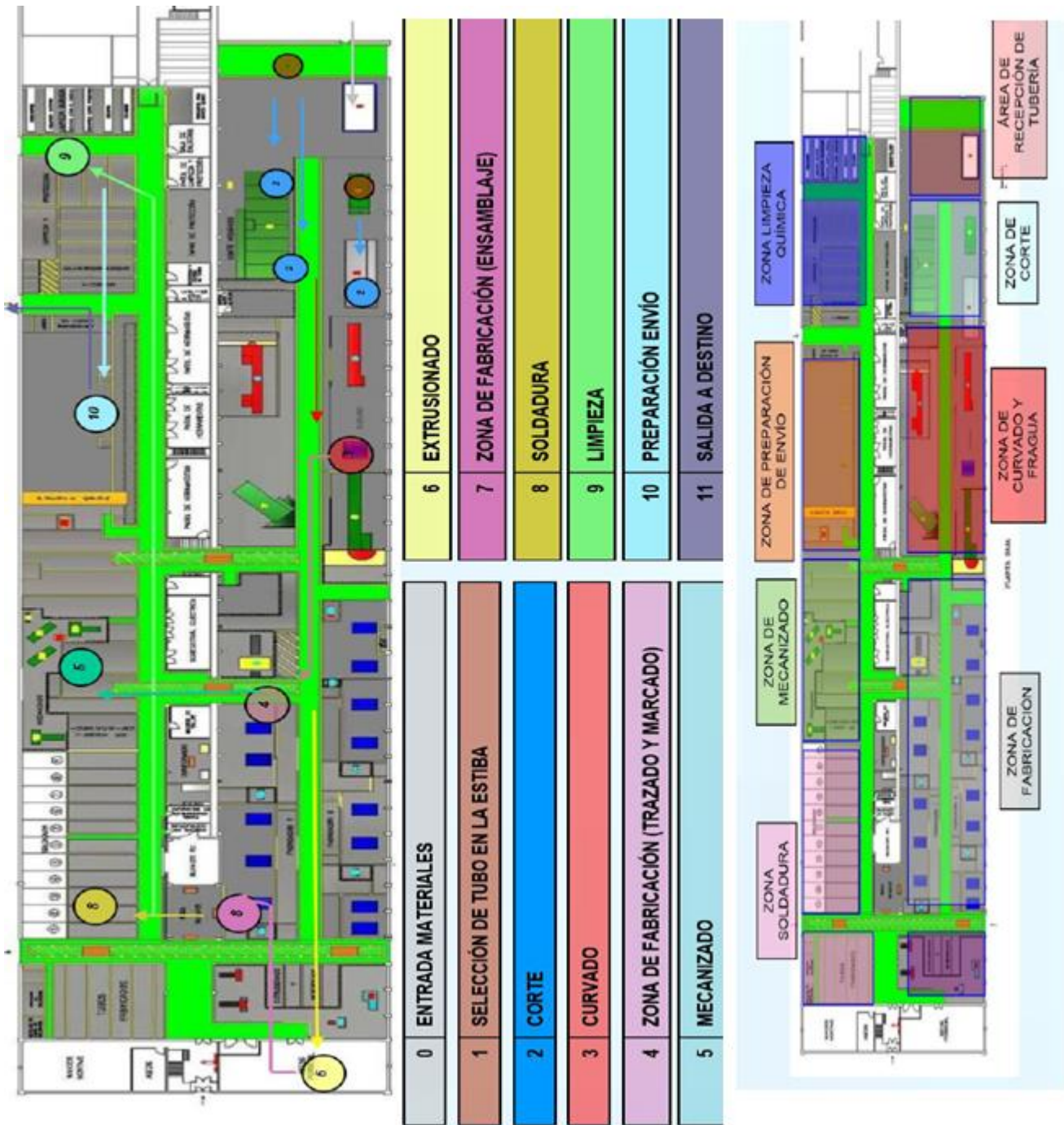


Figura 3-1 Diagrama de flujos UP de Ferrol. [7]

Atendiendo a la Figura 3-1, se distinguen los distintos flujos, así como, varias áreas en la UP de Ferrol que se definen a continuación:

I. Área de recepción de tubería.

En primer lugar, se recibirían los diferentes materiales, tubos a trabajar, y tras una inspección y comprobación de los mismos se procedería a su estiba. Aquí permanecerán hasta que sean extraídos para comenzar con los diferentes procesos necesarios para su transformación. Esta debe ser acorde al pliego de condiciones técnicas por lo que llevarán una etiqueta identificativa en la que figuren sus

especificaciones (Figura 1-4). Pasarán entonces por las diferentes zonas del taller representadas en la Figura 3-1.

II. Zona de corte.

Una vez seleccionados los tubos en la estiba, se trasladan a la zona de corte. Allí, en función del tipo de material, sus dimensiones y especificaciones técnicas, el proceso se realizará mediante corte térmico o corte mecánico. La zona de corte consta de las máquinas de la Figura 3-2.

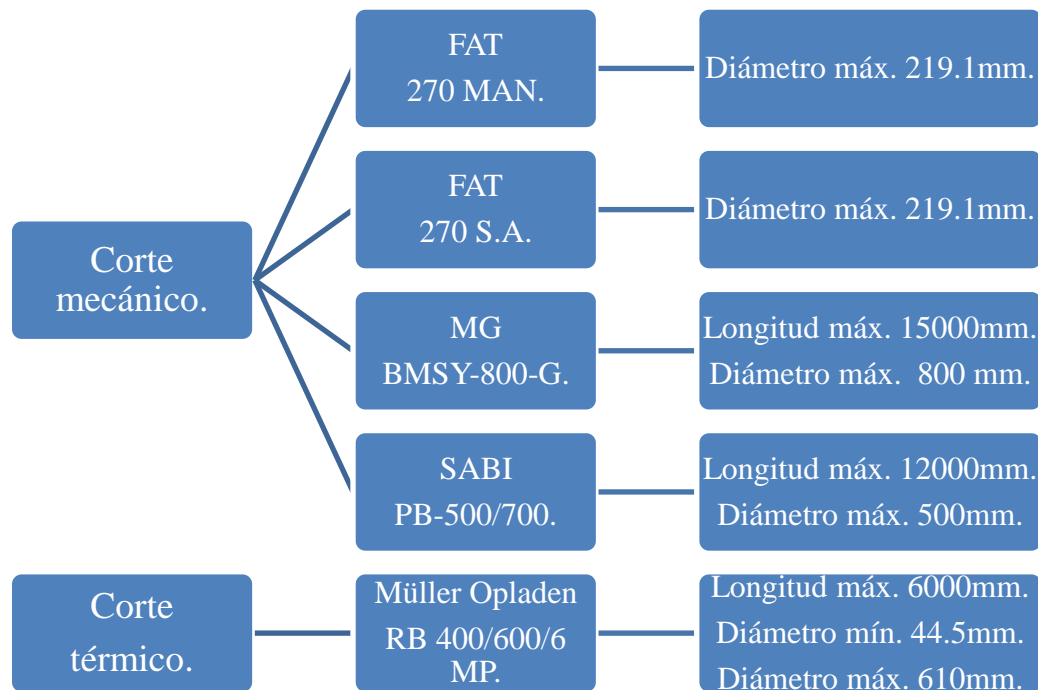


Figura 3-2 Clasificación de máquinas de corte de acuerdo a tipo, marca, modelo y capacidades. [7]

La máquina Müller Opladen modelo RB 400/600/6 MP realiza el corte de tuberías. Está equipada con diferentes boquillas intercambiables (plasma y oxicorte) lo que permite realizar el corte sobre metales férricos y no férricos, como la aleación CuNi.



Figura 3-3 Sierra FAT 270 MAN.

Tanto la máquina MG como la SABI están compuestas por una sierra de cinta de gran capacidad. Capaces de realizar el corte de tubos de mayor diámetro y longitud.

Las máquinas FAT, están compuestas por una sierra y se limitan a tubos más pequeños como se puede observar en la Figura 3-3. Además, en la misma Figura 3-3 se puede ver el compromiso con el medio ambiente de Navantia, se recoge la taladrina para su reciclaje ya que es un fluido altamente contaminante.

III. Zona de curvado y fragua.

El proceso de curvado se realiza con diferentes máquinas. La capacidad de la sección de curvado se resume en la siguiente Tabla 3-1.

Marca	Modelo	Capacidad min. (mm)	Capacidad máx. (mm)
TRANSFLUID	DB2060-CNC	21.3	60.3
TRANSFLUID	DB40120-3A-CNC	22	114.3
TEJERO	H-200 E	88.9	219.1
WALLACE	Nº 4	219.1	219.1

Tabla 3-1 Clasificación de máquinas de curvado de acuerdo a marca, modelo y capacidades. [7]

La moderna curvadora TRANSFLUID modelo DB2060-CNC permite el curvado de tuberías de acero al carbono, de hasta 5 milímetros de espesor, y acero inoxidable, de hasta 3 milímetros de espesor; de tuberías de hasta 6000 milímetros de longitud.

Por otro lado, la máquina curvadora TRANSFLUID modelo DB40120-3A-CNC permite el curvado de tuberías de acero al carbono, hasta 4 milímetros de espesor, y acero inoxidable, hasta 3 milímetros de espesor; de tuberías de hasta 6000 milímetros de longitud.

La curvadora TEJERO modelo H-200 E ha sido recientemente modernizada y permite el curvado de tuberías de acero al carbono, hasta 7.1 milímetros de espesor, y acero inoxidable, hasta 14.2 milímetros de espesor y tiene, con este material, una limitación de 168.3 milímetros de diámetro máximo; de tuberías de hasta 6000 milímetros de longitud.



Figura 3-4 TEJERO modelo H-200.

Por último, la curvadora WALLACE modelo N°4 es específica para el curvado de tubos con grandes espesores de acero al carbono con espesores de hasta 12.7 mm y longitudes de 6000 milímetros máximos.

IV. Zona de fabricación.

El proceso de fabricación se realiza en la nave número 2, en la zona contigua al curvado. Está dotada con 24 puestos de fabricación y como elementos auxiliares destacan los de la Tabla 3-2

Máquina	Marca	Modelo	Capacidad min. (mm)	Capacidad máx. (mm)
Conformadora	FOGG & YOUNG	POLIFORMA 200	57	219.1
Conformadora	FOGG & YOUNG	TFM-200	48.3	219.1
Extrusionadora	T-DRILL	T-250	30	273

Extrusionadora	T-DRILL	TEC-150	30	168.3
Mandrinadora	JUARISTI	MDR-90	219.1	610
Sierra	FAT	270 MAN.	-	219.1
Sierra	FAT	270 MAN.	-	219.1
Sierra	FAT	270 MAN.	-	219.1
Sierra	SABI	EB-250	-	219.1
Sierra	SABI	PBS-320/450	-	320
Taladro columna	ERLO	TCA-25	93 (r.p.m.)	1426(r.p.m.)
Taladro radial	SORALUCE	TRO-1250	25(r.p.m.)	1440(r.p.m.)
Torno universal	AMUTIO	HB-575//1500	-	575
Torno universal	AMUTIO- CAZENEUVE	HB-575//1000	-	575

Tabla 3-2 Elementos auxiliares en zona de fabricación. [7]

La máquina conformadora FOGG & YOUNG modelo POLIFORMA 200 realiza un rebordeado en frío en tubos de Cobre, CuNi y acero inoxidable necesario para el empleo de bridas locas en la unión de tubería.

La máquina conformadora FOGG & YOUNG modelo TFM 200, a diferencia de la anterior, realiza el rebordeado en caliente en tubos de acero al carbono, necesario para el empleo de bridas locas en la unión de tubería.

Esta máquina, la extrusionadora T-DRILL modelo T 250, realiza el extrusionado de ramales de tubería a 90° en frío en tubos de Cobre, CuNi y acero inoxidable.

La T-DRILL modelo TEC 150 extrusiona en caliente de ramales de tubería a 90° en tubos de acero al carbono, acero inoxidable, Cobre y CuNi.

La Mandrinadora JUARISTI modelo MDR-90 realiza tareas de refrentado, biselado, así como repaso de tubos y accesorios.

Las sierras FAT modelo 270 MAN, SABI modelo PBS-320/450 y SABI modelo PBS-250 con las limitaciones de la Tabla 3-2.

El taladro columna ERLO modelo TCA 25 realiza el barrenado de tubos, barrenado de sondas y otros accesorios como diafragmas.

El taladro radial SORALUCE modelo TRO 1250 realiza el barrenado de tubos, barrenado de sondas y otros accesorios como diafragmas.

Y los tornos universales, AMUTIO modelo HB-575//1500 y AMUTIO CAZENEUVE modelo HB-575//1000 con las capacidades expuestas en la Tabla 3-2.

V. Zona de soldadura.

El proceso de soldadura se realiza en la nave número 1. La sección está formada por 9 módulos de soldado independientes, provistos con máquinas para soldadura SMAW, GMAW Y GTAW-TIG Orbital. Un equipo de extracción de humos se encarga de mantener cada cabina en condiciones óptimas mientras se desarrollan los trabajos. La sección dispone de dos máquinas automáticas para soldadura orbital, la máquina AMI modelo 227. Y en ocasiones de mucha carga se suele recurrir a la subcontratación para cumplir los plazos.



Figura 3-5 Módulos de soldadura.

La máquina AMI modelo 227 de soldadura tiene capacidad para tubos de diámetros comprendidos entre 57 y 168.3 milímetros.

VI. Zona de limpieza y de protección.

La zona de limpieza y protección se sitúa también en la nave número 1 sobre un área de 300 m². Consta de 6 tanques con capacidad de 4000 litros para desengrase, decapado y pasivado de los tubos elaborados en el taller. Esta sección se complementa con una hidrolimpiadora de presión para limpieza y desengrase de los geles residuales del proceso de curvado. Una vez limpios, los tubos se protegen y se colocan en pales para su envío.



Figura 3-6 Zona de limpieza química.

Esta parte del taller está normalmente externalizada en cuanto a personal se refiere. No obstante, en situaciones de poca carga de trabajo puede realizarlo personal del taller. También se externalizan procedimientos de limpieza química para determinados materiales para los cuales no tienen capacidades en la UP de Ferrol.

VII. Grúas del taller de tuberos.

El Taller de Tuberos de Navantia Ferrol está formado por dos naves con una extensión de 5850 metros cuadrados. Cada nave dispone de 3 grúas con capacidad de 5 toneladas, con las características de la Tabla 3-3.

Nave	Capacidad de elevación (tn)	Luz (m)	Altura bajo gancho (m)
1	5	15.5	4.2
1	5	15.5	4.2
1	5	15.5	5
2	5	18	4.8
2	5	18	4.8
2	5	18	4.8

Tabla 3-3 Grúas del taller de tuberos. [7]

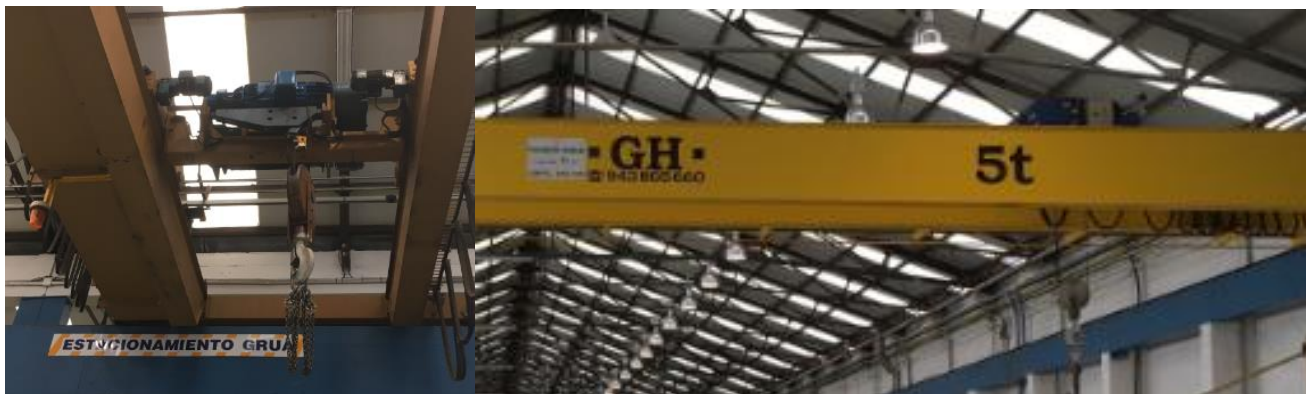


Figura 3-7 Grúa – Puente de 5 toneladas.

El traslado de tubos dentro de una misma nave, se realiza mediante las grúas-puente con capacidad de 5 toneladas., como el de la Figura 3-7.

El traslado de tubos entre naves, se realiza mediante carretones con capacidad de 5 toneladas., como el de la Figura 3-8.



Figura 3-8 Carretón taller de tuberos.

Los tubos se desplazan sobre palés independientes, a lo largo de los distintos procesos de fabricación, en función del material, evitando así cualquier tipo de contaminación, Figura 1-4.

3.1.1 Análisis de Modos de Fallo y Efectos: AMFE.

El AMFE es un análisis de riesgo dirigido a lograr el aseguramiento de la calidad. Es una metodología de análisis de modos de fallo y de fallos potenciales y por consiguiente de los efectos de estos fallos y de su criticidad. Para poder identificar los fallos que presentan un mayor riesgo y conforme a esto, seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada así sea correctivo, preventivo, predictivo e incluso acciones adicionales y complementarias.

En este apartado se realizará un estudio exhaustivo de todos y cada uno de los diferentes activos de un taller y de su entorno operativo. Para un correcto estudio y una correcta aplicación del método es muy importante definir de una manera fidedigna, clara y concisa las funciones de cada activo, así como de sus elementos, y conocer y comprender la filosofía de trabajo del taller de tuberos. Además, se debe considerar el diseño y las necesidades de trabajo del operario para posteriormente poder establecer los objetivos prioritarios del mantenimiento de acuerdo a sus estándares de actuación. Es decir, poder determinar su criticidad. Muchos libros de mantenimiento consideran altamente recomendable este análisis ya que para conocer cómo falla un equipo es preciso conocer cómo opera.

Para poder realizar esta tarea se debe nombrar un grupo de trabajo que incluya a personal de operación, personal de mantenimiento, especialista externo y facilitador, encargado de guiar el proceso RCM. De esta manera, se puede certificar que todos los puntos de vista se tienen en cuenta a la hora de realizar el análisis ya que participan personas de diferentes departamentos. La clave del éxito en este método para la mejora del mantenimiento es la participación de todos los miembros del grupo en una atmosfera relajada donde los desacuerdos sean debatidos con el fin de resolverlos, sin jerarquizaciones dentro del equipo de trabajo.

Clasificación	Severidad	Ocurrencia	Detección
1	Inactividad por periodo inferior a 4 horas.	Improbable.	Detección asegurada por el operario.
2	Inactividad por periodo menor de 24 horas.	Posible.	Detección asegurada por sistema de control.
3	Inactividad indefinida o por periodo mayor a 24 horas.	Frecuente.	Detección improbable por operario y sistema de control.

Tabla 3-4 Clasificación de niveles de Severidad, Ocurrencia y Detección.

En base al conocimiento de todos los equipos, se puede analizar la criticidad de éstos para una posterior clasificación. La clasificación en función de la criticidad no tiene un número definido, pero es recomendable un número impar, para poder definirlos con mayor exactitud, los valores medios como son, en orden de importancia: alta, media y baja. Las escalas consideradas para este proyecto son las de la Tabla 3-4.

En base a esos parámetros se definirá el NPR, Número de Prioridad de Riesgo, y con él poder cuantificar y definir las prioridades en las causas de fallo sobre las que habrá de intervenir para atajar esos modos de fallo. Es un valor definido por:

$$NPR = S \times O \times D$$

- Donde “S” es la severidad de que el taller tenga una maquina inoperativa.
- Donde “O” es la ocurrencia de fallo que tiene una máquina del taller.
- Donde “D” es la capacidad de detección de un fallo en una máquina.

Hay que tener en cuenta que la política de seguridad del personal de Navantia eleva a la máxima prioridad los fallos que pueden implicar lesiones o incluso la muerte a cualquiera de sus empleados, como es lógico. De la misma forma, aquellos fallos que afecten al medio ambiente tienen prioridad, siguiendo las políticas medioambientales de Navantia y de España. Esto no afecta directamente a la disponibilidad, pero sí al AMFE y al diagrama de decisión RCM, es decir, va a tener consecuencias en los resultados y en el NPR. Para que estas políticas se hagan efectivas, los factores que afectan a la seguridad del operario y al medio ambiente llevarán un coeficiente de corrección que aumente su NPR.

En este caso, la lista de equipos y sistemas que se ven más afectados desde un punto de vista basado en la disponibilidad para RCM, aplicando el método AMFE, son las máquinas de curvar, las grúas y la única máquina de cortar por oxicorte y, además, los trabajos de soldadura. Esto se debe a los aparatos que emplean para el desarrollo de su trabajo y a la cualificación necesaria de los soldadores en los distintos tipos de soldadura empleados en los astilleros. Estas soldaduras diferentes y complejas unidas al volumen de trabajo hacen, en ocasiones, necesaria la subcontratación.

A esta conclusión, relativa a los elementos críticos, no se ha llegado por la realización de un análisis, sino que ha sido consensuada por un panel de expertos formado por el director del taller de tuberos de Ferrol (Navantia) y su ayudante, un operario que además contaba con mucha experiencia. Para su enfoque, basado en la disponibilidad dentro de la filosofía RCM, se tienen en cuenta como factores a tener en cuenta los que tienen más carga de trabajo.

El próximo escalón a seguir en el método en AMFE es un análisis funcional de los equipos evaluados como de criticidad alta. A los equipos no considerados críticos se les aplicará un procedimiento genérico. Que normalmente consiste en un mantenimiento básico de limpieza y engrase y tareas preventivas y/o en unas reparaciones correctivas.

3.1.2 Análisis funcional.

Este análisis tiene como objetivo conocer e identificar las funciones principales de los activos, así como las secundarias, que el operario espera que éstos realicen. Esta etapa del método es fundamental ya que este estudio se usará para la evaluación de los modos de fallo.

De los diferentes sistemas que conforman el taller de tuberos, se han elegido como objeto de estudio los grupos más críticos en relación a la disponibilidad, dentro de un modelo de mantenimiento basado en la confiabilidad como es el RCM, que son los anteriormente citados, grupo de grúas, máquinas curvadoras, la máquina de oxicorte y los equipos de soldadura.

Y dentro de estos, se va a aplicar el método a dos máquinas, por falta de tiempo, que serán, una del grupo de las grúas, empleadas para el traslado de palés los tubos especialmente los de más entidad; y el grupo de las máquinas curvadoras, empleadas para doblar los tubos y la creación de codos.

En cuanto a las máquinas curvadoras, se ha seleccionado de entre todas las máquinas del taller de tuberos la curvadora TEJERO modelo H-200 ya que, es la que se ve más afectada por la calidad. Se debería seleccionar la máquina que tenga más carga atendiendo al criterio de disponibilidad. Se selecciona la criticidad para su posterior empleo como comparativo. Se pretende comparar resultados entre un método RCM basado en la disponibilidad, en este Proyecto de Fin de Grado; con el mismo método RCM, pero basado en la criticidad, en otro Trabajo de Fin de Grado diferente.

3.1.2.1 Análisis funcional: curvadora TEJERO modelo H-200.

Entrando un poco más en detalle sobre esta máquina, se trata de una curvadora de funcionamiento automático a través de un sistema hidráulico. No obstante, este modelo también permite trabajar de

forma manual, aunque, normalmente se usa de esta manera para la comprobación de utillajes. Posee 3 velocidades de curvado y tiene una potencia de 50 caballos de vapor. La presión hidráulica máxima son 250 kg/cm². Los elementos del sistema hidráulico, motor, bombas y elementos de maniobra de las bombas; están situados en el exterior de la máquina facilitando su manipulación. Así como el equipo eléctrico, que está también en el exterior, en un armario de fácil acceso y estanco. La tensión de trabajo en la máquina son 110 voltios. [10]

Las funciones de esta máquina son:

- Es una máquina diseñada especialmente para el curvado de tubos y perfiles en industrias. Es decir, función: curvar tubos.
- Iniciar automáticamente el curvado automático de tubos tras la pulsación del botón de “inicio de curvado automático”.
- Sostener el tubo una vez ha sido doblado para que no caiga.
- Apagar la máquina tras un tiempo sin uso.

3.1.2.2 Análisis funcional: puente – grúa de 5 toneladas.

Entrando un poco más en detalle sobre esta grúa, se trata de una grúa de funcionamiento mecánico muy antigua. Es por eso que se carece del manual, es decir, que se desconoce su paradero si es que alguna vez se supo. A partir de las explicaciones del personal de Navantia y un historial de fallos. Entre las diferentes modernizaciones destaca la del modo de control. Actualmente se controla mediante una botonera vía radio. Tiene movimiento longitudinal y transversal a través de unas guías que actúan a su vez como toma de tierra. Se mueven mediante un motor de 10kW. Son un problema potencial para la seguridad de los operarios por “fallo humano”, es decir un despiste del operario. [11]

Los Puente - Grúa de 5 toneladas tienen las funciones de:

- Son unas grúas que emplean los operarios de Navantia para el movimiento y traslado de los tubos en los que trabajan.
- Quedar en modo de espera sin perder tensión de trabajo; es decir, que no caiga la carga abajo si se suelta el mando.
- Aportar seguridad al operario para traslado de pesos.

3.1.3 Identificación modos de fallo.

A partir de las diferentes funciones previamente analizadas, se procede a la identificación de sus posibles modos de fallo. Los modos de fallo identificados de las máquinas seleccionadas, serán:

3.1.3.1 Modos de fallo: curvadora TEJERO modelo H-200.

Los modos de fallo identificados a través de la información que amablemente ha proporcionado el Taller de Tuberos de la U.P. Ferrol acerca de las máquinas curvadoras del taller, son:

- Falla la apertura de la mordaza en automático.
- Se suelta un latiguillo.
- Error humano.
- Rotura en piñón y cremallera.
- Fallo en el arranque de la bomba.
- Holguras en guías.
- Pérdida de aceite.
- Cadena de retomo de la matriz de la curvadora.
- Recorrido incompleto motor grupo hidráulico de presión.
- Rodamiento del soporte deslizante roto.
- Rotura de mandril 623-241(c-164).
- Rotura de tornillos.

3.1.3.2 Modos de fallo: puente – grúa de 5 toneladas.

Los modos de fallo identificados a través de la información que ha proporcionado el taller de tuberías sobre las diferentes grúas del taller, son:

- Fallo de acoples.
- Fallo de botonera vía radio.
- Fallo carril del carro de la grúa.
- Fallo en el carro de la grúa.
- Error humano.
- Fallo en el gancho.
- Fallo en los frenos elevación.
- Fallo en la traslación del puente.
- Fallo de velocidad.
- Fugas de aceite.
- Fallo en las reductoras.

- Fallo motor de 10kW.
- Fallo estructural.

3.1.4 Efectos y consecuencias del fallo.

Continuamos avanzando en método de modo que, una vez han sido identificados los distintos modos de fallo de cada máquina, en el siguiente paso se procede a realizar una lista de los efectos del fallo. Esta lista debe describir que ocurre con cada modo de fallo incluyendo la información necesaria para la posterior evaluación delo que implica dicho fallo. Los efectos del fallo pueden ser de muy distinta índole. Y a partir de estos efectos del fallo poder determinar sus consecuencias. Este análisis es fundamental para determinar posteriormente la criticidad y por consiguiente las prioridades de mantenimientos. Respecto a las dos máquinas que están siendo estudiadas:

3.1.4.1 Efectos y consecuencias del fallo: curvadora TEJERO modelo H-200.

En la Tabla 3-5 se muestran los resultados del análisis de los registros de fallos analizados para la curvadora Tejero.

Modo de fallo.	Efectos de fallo.	Consecuencias del fallo.	Detectable.
Falla la apertura de la mordaza en automático.	Fallo del sensor.	Máquina no operativa.	SI
Se suelta un latiguillo.	Racor flojo por vibración.	Máquina no operativa.	SI
Rotura piñón y cremallera.	Desgaste piñón.	Máquina no operativa.	SI
Holguras en guías.	Desajuste por uso.	La máquina está operativa. Posibles fallos de calidad.	SI
Fallo en el arranque de la bomba.	Protección eléctrica saltada.	Máquina no operativa.	SI
Perdida aceite.	Racor flojo por vibración.	La máquina está operativa.	SI
Cadena de retomo de la matriz de la curvadora.	Rediseño de seguridad.	La máquina está operativa.	SI
Recorrido incompleto motor grupo hidráulico de presión.	Desajuste del sensor.	Máquina no operativa.	SI
Rodamiento del soporte deslizante roto.	Fallo en rodamiento.	Máquina no operativa.	SI
Rotura de mandril 623-241(c-164).	Degradación forzada por uso inadecuado.	Máquina no operativa.	SI
Rotura de tornillos.	Tornillos rotos por flojedad.	Máquina no operativa.	SI
Error humano.	Cansancio, descuidos.	Máquina operativa. Seguridad operarios.	NO

Tabla 3-5 Efectos y consecuencias del fallo para cada modo de fallo en la curvadora TEJERO modelo H-200.

Además, en la Tabla 3-5, se ha incluido la detectabilidad del modo de fallo identificado, como introducción al resultado, el NPR.

3.1.4.2 Efectos y consecuencias del fallo: puente – grúa de 5 toneladas.

En la Tabla 3-6 se muestran los resultados del análisis de los registros de fallos analizados para el puente-grúa de 5Tn.

Modo de fallo.	Efectos de fallo.	Consecuencias del fallo.	Detectable.
Fallo de acoples.	Acoples con cepillos de tierra gastados.	Máquina no operativa por seguridad para el operario.	SI
Fallo de acoples.	Acoples con cepillos de tierra doblados.	Máquina no operativa por seguridad para el operario.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	El cable de la botonera que entra en una caja de interconexión para los vanos, tiene las venas al aire y está caja tiene las prensas rotas de los cables de los vanos del carro están rozados.	Carece de alimentación en la botonera ergo la grúa no responde a las órdenes del mando.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	Fallo en el cable.	Regulación de frenos de traslación del carro.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	Avería en el freno de elevación.	Máquina no operativa.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	La botonera del vía radio tiene la carcasa y la seta de parada rota.	Máquina no operativa.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	Mando de la vía radio con guardapolvos deteriorados. mando en mal estado.	Máquina no operativa.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	Cables	Máquina no operativa.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	Esta estropeado el mando	Máquina no operativa.	SI
Fallo de la botonera vía radio.	Falta llave de interruptor principal del mando y plástico de un pulsador.	Máquina no operativa.	SI
Fallo carril del carro de la grúa.	Los cepillos de puesta a tierra a los raíles están doblados porque llegan a	Máquina no operativa.	SI

	chocar contra el tope final.		
Fallo carril del carro de la grúa.	Carril del portacables dañado. Deformado.	Máquina no operativa.	SI
Fallo en el carro de la grúa.	Fallos de los frenos del carro.	Máquina no operativa.	SI
Fallo en el carro de la grúa.	Hay un patín en los vanos que llevan la alimentación al carro roto.	Máquina no operativa.	SI
Fallo en el carro de la grúa.	Los vanos rozan con la estructura de la viga.	Máquina no operativa.	SI
Fallo en el carro de la grúa.	Olor a quemado y humo en el carretel del cable.	Máquina no operativa.	SI
Fallo en el carro de la grúa.	Quedo sin pilas el mando.	Máquina no operativa.	SI
Fallo en el carro de la grúa.	Topes de carrito rotos.	Máquina no operativa.	SI
Error humano.	Cansancio, descuidos.	Máquina operativa. Seguridad operarios.	NO

Tabla 3-6 Efectos y consecuencias de fallos para cada modo de fallo del puente – grúa de 5 toneladas.

De la misma manera, en la Tabla 3-6, se ha incluido la probabilidad de detección del modo de fallo identificado, como introducción al resultado, el NPR.

De la misma manera, hay modos de fallo que no han sido incluidos en la citada Tabla 3-6 por falta de datos relativos a las grúas. Estos datos fueron reconstruidos por los expertos de Navantia posteriormente. Lamentablemente poco antes de la entrega del proyecto por lo que no han sido incluidos.

3.2 Problemas y soluciones.

3.2.1 Problemas durante el desarrollo del trabajo.

Los principales problemas están derivados de la falta de datos para el estudio, ya que Navantia ha empezado a registrar datos de mantenimiento y de fallos de una manera relativamente recientemente. Además, la forma de recopilar estos datos por parte de Navantia es, de momento, poco normalizada y, en cierta medida, caótica. Un mismo fallo en un activo se registra de diferentes maneras y diferentes nombres.

Relacionado con la falta de datos, cabe destacar también los datos confusos e incompletos debidos a un mal registro por parte de los operarios.

Otro problema destacado es la lejanía al taller de tuberos que, desgraciadamente, a supuesto impedimentos para poder visitarlo, conocer las instalaciones y equipos que debían ser objeto de exhaustivo estudio para el desarrollo del método RCM. Este factor, unido al horario restringido de profesores, por sus otras responsabilidades como docentes, alumnos, por su condición militar y la reticencia de este estamento a la pérdida de clases, y del muy implicado personal de Navantia, que desinteresadamente entrega parte de su tiempo de trabajo. Todo lo anteriormente mencionado, ha lastrado el desarrollo del análisis imprescindible de las máquinas del taller, completamente necesario para la metodología RCM.

Un problema siempre presente e ineludible es el inquebrantable paso del tiempo especialmente en trabajos con un gran volumen de información y muchos datos a analizar para el desarrollo del mismo en un plazo de tiempo muy limitado que además debe ser compartido con otros proyectos y responsabilidades implícitos en la carrera militar como son cualquier tipo de actos, desfiles o paradas que requieren muchas horas de ensayo.

3.2.2 Soluciones planteadas.

Finalmente, para poder desarrollar el trabajo, pese a la falta de datos, se recurrió a la aproximación, en algunos casos, de datos. Esta información es facilitada en base a la experiencia de los cualificados operarios de Navantia que llevan más tiempo trabajando en el citado taller de tuberos. Y, evidentemente, analizando los datos disponibles e interrogando al personal implicado en el mantenimiento se pudieron esclarecer muchas incógnitas sobre los archivos para su aplicación en el desarrollo de este trabajo.

A pesar de la lejanía al taller, situado en otra provincia, y los problemas derivados de los restrictivos horarios, tanto de la Escuela Naval Militar como de la UP de Navantia con lo que esto conlleva, se recurrió a una solución alternativa a parte de las visitas físicas (se realizaron dos). Así, se emplearon medios de comunicación audiovisual modernos, a través de internet, para sostener entrevistas con el personal de Navantia. A través de estas entrevistas se pudieron disipar las diferentes dudas y otras carencias que fueron surgiendo para lograr el desarrollo del trabajo.

4 RESULTADOS

4.1 Resultado del AMFE.

Como resultado del método AMFE, se establece un Numero de Prioridad de Riesgo (NPR) por cada modo de fallo, los efectos que lo producen y las consecuencias que provoca; atendiendo a la severidad, ocurrencia y capacidad de detección del mismo. El NPR es un dato objetivo elaborado a partir del análisis de los datos del taller de tuberos proporcionados por Navantia.

Posteriormente se jerarquizan todos los modos de fallo atendiendo al NPR para saber cuáles son los más críticos. Los más críticos son por consiguiente los que necesitan ser priorizados en mantenimiento, de la misma forma hay que procurar evitar que el modo de fallo se repita siguiendo la filosofía RCM.

4.1.1 Número de Prioridad de Riesgo, NPR.

En base a los datos analizados y la aplicación del método, se obtienen los siguientes datos de la Tabla 4-1 para la curvadora TEJERO modelo H-200 y la Tabla 4-2 para el puente – grúa de 5 toneladas.

Modo de fallo.	Efectos de fallo.	Consecuencias del fallo.	Severidad.	Ocurrencia.	Detección.	NPR.
Falla apertura de mordaza en automático.	Fallo del sensor.	Máquina no operativa.	2	1	1	2
Se suelta un latiguillo.	Racor flojo por vibración.	Máquina no operativa. Derrame de aceite.	1	3	1	3
Rotura piñón y cremallera.	Desgaste piñón.	Máquina no operativa.	3	1	1	3
Holguras en guías.	Desajuste por uso.	La máquina está operativa. Posibles fallos de calidad.	2	2	2	8
Arranque de la bomba.	Protección eléctrica saltada.	Máquina no operativa.	1	1	1	1

Perdida aceite.	Racor flojo por vibración.	La máquina está operativa.	1	3	1	3
Cadena de retomo de la matriz de la curvadora.	Mal diseño de seguridad.	La máquina está operativa.	3	1	1	3
Recorrido incompleto motor grupo hidráulico de presión.	Desajuste del sensor.	Máquina no operativa.	2	2	2	8
Rodamiento del soporte deslizante roto.	Fallo en rodamiento.	Máquina no operativa.	2	2	2	8
Rotura de mandril 623-241(c-164).	Degradación forzada por uso inadecuado.	Máquina no operativa.	3	2	1	6
Rotura de tornillos.	Tornillos rotos por flojedad.	Máquina no operativa.	1	2	1	2
Error humano.	Falta de atención.	Máquina operativa. Seguridad operarios.	3	3	3	27

Tabla 4-1 NPR para curvadora TEJERO modelo H-200.

Modo de fallo.	Efectos de fallo.	Consecuencias del fallo.	Severidad.	Ocurrencia.	Detección.	NPR.
Fallo de acoples.	Acoples con cepillos de tierra gastados.	Máquina no operativa por seguridad para el operario.	2	3	2	12
Fallo de acoples.	Acoples con cepillos de tierra doblados.	Máquina no operativa por seguridad para el operario.	2	2	2	8

Fallo de la botonera vía radio.	El cable de la botonera que entra en una caja de interconexión para los vanos, tiene las venas al aire y está caja tiene las prensas rotas de los cables de los vanos del carro están rozados.	Carece de alimentación en la botonera. La grúa no responde a las órdenes del mando que carece de energía.	3	2	1	6
Fallo de la botonera vía radio.	Fallo en el cable.	Regulación de frenos de traslación del carro.	2	3	3	18
Fallo de la botonera vía radio.	Avería en el freno de elevación.	Máquina no operativa.	2	2	3	12
Fallo de la botonera vía radio.	La botonera del vía radio tiene la carcasa y la seta de parada rota.	Máquina no operativa.	2	2	1	4
Fallo de la botonera vía radio.	Mando de la vía radio con guardapolvos deteriorados. mando en mal estado.	Máquina no operativa.	2	1	3	6
Fallo de la botonera vía radio.	Cables	Máquina no operativa.	3	3	3	27
Fallo de la botonera vía radio.	Esta estropeado el mando	Máquina no operativa.	2	2	3	12
Fallo de la botonera vía radio.	Falta llave de interruptor principal del mando y plástico de un pulsador.	Máquina no operativa.	1	3	1	3

Fallo carril del carro.	Los cepillos de puesta a tierra a los raíles están doblados porque llegan a chocar contra el tope final de hecho el soporte del cepillo es lo que hace de tope no tiene saliente de goma ni nada que toque antes del cepillo.	Máquina no operativa.	2	3	2	12
Fallo carril del carro.	Carril del porta cables dañado. Deformado.	Máquina no operativa.	2	1	3	6
Fallo en el carro de la grúa.	Fallos de los frenos del carro.	Máquina no operativa.	3	2	2	12
Fallo en el carro de la grúa.	Hay un patín en los vanos que llevan la alimentación al carro roto.	Máquina no operativa.	2	2	1	4
Fallo en el carro de la grúa.	Los vanos rozan con la estructura de la viga.	Máquina no operativa.	2	3	2	12
Fallo en el carro de la grúa.	Olor a quemado y humo en el carretel del cable.	Máquina no operativa.	3	2	1	6
Fallo en el carro de la grúa.	Quedo sin pilas el mando.	Máquina no operativa.	1	1	2	2
Fallo en el carro de la grúa.	Topes de carrito rotos.	Máquina operativa.	2	3	2	12
Error humano.	Cansancio, descuidos.	Máquina operativa. Seguridad operarios.	3	3	3	27

Tabla 4-2 NPR para el puente – grúa de 5 toneladas

4.1.2 Jerarquización del riesgo.

A partir de los diferentes números de prioridad de riesgo para los activos y atendiendo a la política de seguridad de la empresa (Navantia) para sus empleados se puede definir una jerarquía entre los activos. Con esta jerarquización se pueden definir las prioridades de mantenimiento y el tipo de mantenimiento necesario.

Aunque las decisiones relativas al mantenimiento se realizaran máquina por máquina en el punto 4.2, la jerarquización se realiza en base a los NPR de todos los elementos del taller. Y en caso de que dos elementos diferentes tengan el mismo NPR, se priorizara el más inseguro para los operarios. En este caso se realizará de solo dos de los equipos que son: la curvadora TEJERO y la grúa-puente de 5Tn. Debido a que han sido los únicos seleccionados y estudiados.

En base a estas instrucciones y con los NPR se desarrolla la siguiente Tabla 4-3:

NPR.	Activo.	Modo de fallo.	Efecto de fallo.
27	Grúa.	Error humano.	Cansancio, despiste.
27	Curvadora.	Error humano.	Cansancio, despiste.
18	Grúa.	Fallo de la botonera vía radio.	Fallo en el cable.
12	Grúa.	Fallo de acoples.	Acoples con cepillos de tierra gastados.
12	Grúa.	Fallo de la botonera vía radio.	Avería en el freno de elevación.
12	Grúa.	Fallo de la botonera vía radio.	Esta estropeado el mando
12	Grúa.	Fallo carril del carro.	Los cepillos de puesta a tierra a los raíles están doblados porque llegan a chocar contra el tope.
12	Grúa.	Fallo en el carro de la grúa.	Fallos de los frenos del carro.
12	Grúa.	Fallo en el carro de la grúa.	Los vanos rozan con la estructura de la viga.
12	Grúa.	Fallo en el carro de la grúa.	Topes de carrito rotos.
8	Curvadora.	Holguras en guías.	Desajuste por uso.
8	Curvadora.	Recorrido incompleto motor grupo hidráulico de presión.	Desajuste del sensor.
8	Curvadora.	Rodamiento del soporte deslizante roto.	Fallo en rodamiento.
8	Grúa.	Fallo de acoples.	Acoples con cepillos de tierra doblados.
6	Curvadora.	Rotura de mandril 623-241(c-164).	Degradación forzada por uso inadecuado.
6	Grúa.	Fallo de la botonera vía radio.	El cable de la botonera que entra en una caja de interconexión para los vanos, tiene las venas al aire y está

			caja tiene las prensas rotas de los cables de los vanos del carro están rozados.
6	Grúa.	Fallo de la botonera vía radio.	Mando de la vía radio con guardapolvos deteriorados. mando en mal estado.
6	Grúa.	Fallo carril del carro.	Carril del portacables dañado. Deformado.
6	Grúa.	Fallo en el carro de la grúa.	Olor a quemado y humo en el carretel del cable.
4	Grúa.	Fallo de la botonera vía radio.	La botonera del vía radio tiene la carcasa y la seta de parada rota.
4	Grúa.	Fallo en el carro de la grúa.	Hay un patín en los vanos que llevan la alimentación al carro roto.
3	Curvadora.	Se suelta un latiguillo.	Racor flojo por vibración.
3	Curvadora.	Rotura piñón y cremallera.	Desgaste piñón.
3	Curvadora.	Perdida aceite.	Racor flojo por vibración.
3	Curvadora.	Cadena de retomo de la matriz de la curvadora.	Mal diseño de seguridad.
3	Grúa.	Fallo de la botonera vía radio.	Falta llave de interruptor principal del mando y plástico de un pulsador.
2	Curvadora.	Falla apertura de mordaza en automático.	Fallo del sensor.
2	Curvadora.	Rotura de tornillos.	Tornillos rotos por flojedad.
2	Grúa.	Fallo en el carro de la grúa.	Quedo sin pilas el mando.
1	Curvadora.	Arranque de la bomba.	Protección eléctrica saltada.

Tabla 4-3 Jerarquización del riesgo.

4.2 Resultado: decisión RCM.

Continuando con la filosofía RCM y en función de la jerarquización del método AMFE realizado previamente se proponen soluciones para acabar definitivamente con los fallos. Para ello se propondrán “tareas proactivas” o bien “medidas a falta de tareas proactivas”. De esta manera se procurará que se reduzca el número de fallos en cada activo y, en el mejor de los casos, lograr que erradique. De modo que para la curvadora seleccionada y la grúa, quedará:

4.2.1 Curvadora:

Respecto a los fallos de la máquina curvadora, atendiendo al NPR, se proponen las siguientes medidas:

I. Error humano.

Este modo de fallo es sin lugar a dudas el más complicado de solucionar ya que no se trata de un fallo de una máquina. No es algo tan sencillo como un recambio de un elemento si no que atañe a la persona. Tampoco afecta a la disponibilidad, porque la máquina seguiría operativa, pero es crítica para la seguridad del operario y como tal es prioritaria para Navantia. Como medidas iniciales para combatir este fallo se propone: la supervisión del curvado mediante un operario con una dilatada experiencia y grabar las tareas de curvado. Grabando las tareas de curvado se pueden analizar tanto las operaciones como los próximos accidentes y estudiar dichas grabaciones para intentar atajarlos. Esto es en RCM una medida “a falta de tareas proactivas” conocida como búsqueda de fallos.

II. Holguras en guías.

Este fallo se produce por uso continuado, es un claro ejemplo de mantenimiento cíclico. No es crítico para la disponibilidad ya que la máquina queda operativa, pero si para la criticidad. Como medida inicial se propone una de las “tareas proactivas”, en particular, la conocida como “tarea de sustitución cíclica”. En esta tarea se cambiarían las guías tras un número de horas de servicio, en este caso bastaría con ajustarlas de nuevo en lugar de sustituirlas. Y, a posteriori, la monitorización del estado de las guías para un mantenimiento más ajustado y económico, es decir, dentro de las “tareas proactivas” unas “tareas de condición”.

III. Recorrido incompleto motor grupo hidráulico de presión.

La máquina falla debido a un desajuste del sensor, que deja la máquina inoperativa. En este caso, se considera única opción a una medida “a falta de tareas proactivas”. Un mantenimiento conocido como “ningún mantenimiento programado” o “a rotura”. Este consiste en esperar a que el fallo suceda, sin intentar atajarlo, y posteriormente subsanarlo. Es decir, cuando se desajuste el sensor, reajustarlo.

IV. Rodamiento del soporte deslizante roto.

La curvadora queda inoperativa tras la rotura de uno de sus rodamientos. En este caso, se consideran tres opciones:

- 1) Una medida “a falta de tareas proactivas”. Un mantenimiento de “ningún mantenimiento programado” o “mantenimiento a rotura”. Este consiste en esperar a que el fallo suceda, sin intentar atajarlo, y posteriormente subsanarlo. Falla el rodamiento, se sustituye.
- 2) Una de las “tareas proactivas”, en particular, la conocida como “tarea de sustitución cíclica”. En esta tarea se cambiarían los rodamientos tras un número de horas de servicio.
- 3) De ser posible, una “tareas de condición”, también dentro de las “tareas proactivas”, consistente en monitorizar el estado de los rodamientos y sustituirlo antes de que se produzca el fallo.

V. Rotura de mandril.

La máquina queda inoperativa debido a la rotura del mandril. Como medida a tomar se propone una medida “a falta de tareas proactivas”. Un mantenimiento de “ningún mantenimiento programado” o “mantenimiento a rotura”. Este consiste en esperar a que el fallo suceda, sin intentar atajarlo.

VI. Se suelta un latiguillo.

Prioridades:

- 1) En este caso, se propone un reapriete periódico del racor del latiguillo y la limpieza de la fuga. Este se corresponde con una tarea de mantenimiento simple y cíclica.
- 2) Como segunda opción, reducir las vibraciones de la máquina que son las que producen el fallo de los latiguillos. Esto sería una medida “a falta de tareas proactivas” de “rediseño”.
- 3) Como otra opción, se puede plantear el rediseño de los latiguillos o del racor para evitar que quede flojo por vibración. Esto sería una medida “a falta de tareas proactivas” de “rediseño”.

VII. Rotura piñón y cremallera.

El desgaste del piñón provocó el fallo en la máquina y como consecuencia se produce su estado de inoperatividad. Para evitar este fallo o procurar que falle menos se propone la monitorización del estado del piñón. Es decir, una mejora mediante una “tarea de condición” encuadrada dentro de las “tareas proactivas”.

VIII. Perdida aceite.

En este caso, se propone la limpieza de la fuga de aceite. Este se corresponde con una tarea de mantenimiento simple y cíclica. Habría que proceder mediante una “búsqueda de fallos” en cuadrada dentro de medidas “a falta de tareas proactivas”.

IX. Cadena de retomo de la matriz de la curvadora.

Este fallo afecta en particular a la seguridad del operario y por ello requiere poner protecciones; es decir requiere de un rediseño. Una vez cubierta, la cadena de retomo de la matriz de la curvadora no supondrá un mayor peligro para el operario.

X. Falla apertura de mordaza en automático.

El desajuste del sensor hace que falle la máquina, que deja la máquina inoperativa. En este caso, se considera única opción a una medida “a falta de tareas proactivas”. Un mantenimiento conocido como “ningún mantenimiento programado” o “a rotura”. Este consiste en esperar a que el fallo suceda, sin intentar atajarlo, y posteriormente subsanarlo. Es decir, cuando se desajuste el sensor, reajustarlo.

XI. Rotura de tornillos.

Prioridades:

- 1) Se estima conveniente continuar en la línea del mantenimiento actual.
- 2) Como futura opción, estudiar bajo qué circunstancias de trabajo de la máquina se provoca el colapso de los tornillos y de esta manera poder atajarlo. Es decir, solucionar los fallos antes de que sucedan. Esto sería una medida “a falta de tareas proactivas” de “búsqueda de fallos”.

XII. Arranque de la bomba.

Se estima conveniente continuar en la línea del mantenimiento actual. Debido a que es un fallo poco crítico para la disponibilidad.

4.2.2 Grúas:

Respecto a los fallos de la grúa, atendiendo al NPR, se proponen las siguientes medidas para mejorar el actual sistema de mantenimiento:

I. Error humano.

Este modo de fallo es sin lugar a dudas el más complicado de solucionar ya que no es un fallo de una máquina. Tampoco afecta a la disponibilidad, pero es crítica para la seguridad del operario. Como medidas iniciales se propone: la supervisión del movimiento de pesos mediante un operario con una dilatada experiencia. Además, la manera de evitar este tipo de fallos o de reducir el número de incidencias es aumentando la formación del trabajador. Esto es en RCM una medida “a falta de tareas proactivas” conocida como “rediseño”.

II. Fallo de la botonera vía radio.

Es un fallo muy habitual y crítico para la disponibilidad de la grúa. Por esto, se propone un rediseño de la botonera vía radio.

III. Fallo de la botonera vía radio.

Los cables de la botonera afectan a los frenos de traslación del carro. En este caso se propone continuar con el mantenimiento habitual ya que no es un caso crítico que afecte a la disponibilidad.

IV. Fallo de acoples.

Los acoples se del uso se estropean, se recomienda un mantenimiento mediante tareas de condición. Ya que se gasta el acople y puede ser “monitorizado”, puede un operario comprobarlo con un calibre antes y después de cada uso. De esta manera al pasar de un parámetro se sustituye.

V. Fallo de la botonera vía radio.

Los cables de la botonera afectan a los frenos de elevación del carro. En este caso se propone un rediseño ya que no es un caso crítico que afecte a la disponibilidad, pero si es crítico para la seguridad de los operarios.

VI. Fallo de la botonera vía radio.

La grúa queda inoperativa, se recomienda continuar con el mantenimiento habitual.

VII. Fallo carril del carro.

Este es un caso que precisa un rediseño claramente porque se estropea el cepillo debido a una falta de protección del mismo que choca al mover el carro.

VIII. Fallo en el carro de la grúa.

En este caso se propone continuar con el mantenimiento habitual ya que no es un caso crítico que afecte a la disponibilidad.

IX. Fallo en el carro de la grúa.

Los vanos rozan la grúa, es necesario un rediseño para que no rocen y se estropeen.

X. Fallo en el carro de la grúa.

En este caso se propone continuar con el mantenimiento habitual ya que no es un caso crítico que afecte a la disponibilidad.

XI. Fallo de acoples.

Los acoples golpean en este caso y por ello se estropean, por este motivo se recomienda un rediseño de la máquina para evitarlo.

XII. Fallo de la botonera vía radio.

En este caso se propone continuar con el mantenimiento habitual.

XIII. Fallo de la botonera vía radio.

En este caso se propone continuar con el mantenimiento habitual

XIV. Fallo carril del carro.

Se recomienda un rediseño del carril para evitar que quede inoperativo.

XV. Fallo en el carro de la grúa.

Esto es debido a una mala refrigeración por eso se recomienda un mantenimiento a falta de tareas proactivas de búsqueda de fallos.

XVI. Fallo de la botonera vía radio.

Se recomienda continuar en la línea del mantenimiento actual.

XVII. Fallo en el carro de la grúa.

Se estima oportuno continuar con el mantenimiento establecido.

XVIII. Fallo de la botonera vía radio.

Se propone continuar con el mantenimiento habitual.

XIX. Fallo en el carro de la grúa.

Se propone un rediseño para que avise cuando la batería del mando esté próxima a agotarse.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones y resolución de objetivos.

5.1.1 Conclusiones.

El RCM es un método iterativo que busca acabar con las causas de fallo. En función del enfoque que se seleccione, en este caso disponibilidad de las máquinas, se establecerá una jerarquía de prioridades (nivel de criticidad). Previos al comienzo del estudio y a la aplicación del método RCM, deberá determinarse qué función o funciones del taller se desean analizar. Esta criba inicial puede estar basada en la experiencia del personal del taller, en el caso de no existir datos históricos fiables, tal y como ha ocurrido en el presente TFG. Por ello, conviene destacar la importancia de una buena base de datos. Ésta ha de estar compuesta por los datos necesarios expresados de una forma clara y concisa.

La principal dificultad en el desarrollo del presente trabajo han sido las bases de datos provistas por Navantia, ya que más de la mitad de los registros analizados están incompletos. Una buena base de datos de fallos de activos en metodología RCM, debería recoger los siguientes datos sobre el fallo:

1. Número de registro del fallo.
2. Tarea. Para que se emplea el activo en el que se localiza el fallo, si es una máquina de curvado, de corte, etc.
3. Máquina. La marca del fabricante de la máquina en la que tiene lugar el fallo.
4. Modelo. Nombre que le da el fabricante a la máquina en la que sucede el fallo.
5. Modo de fallo. Servicio, es decir, a que parte de la máquina afecta el fallo, alimentación, control, etc.
6. Causas del fallo. Que circunstancias han propiciado la aparición del fallo.
7. Responsables del fallo. Determinar si ha sido una imprudencia humana o no.
8. Posibilidad de detección del fallo antes de que suceda. Casilla de selección SI ó NO.
9. Consecuencias del fallo para la producción. Como se ven afectadas las capacidades de la máquina: inoperativa, control en local, impacto en la calidad, etc.

10. Consecuencias del fallo para la seguridad del operario. Casilla de selección SI ó NO.
11. Consecuencias del fallo para el medio ambiente. Casilla de selección SI ó NO.
12. Medidas correctoras. Breve descripción de cómo se solucionó el fallo.
13. Responsables de decidir el mantenimiento.

Es muy importante el modo en el que se recogen los datos. Una base de datos con un registro caótico implica un mayor periodo de tiempo para su análisis y ante una base de datos incompleta, resulta vital la experiencia de los trabajadores.

Es fundamental disponer de los manuales de las máquinas a analizar debido a que hay que tener en cuenta el mantenimiento recomendado por el fabricante. No obstante, no solo este ya que no siempre se emplea una máquina para lo que ha sido inicialmente diseñada ni bajo el mismo régimen de trabajo. Además, del manual se extraen datos de funcionamiento y del diseño muy importantes para entender fallos y localizar fallos potenciales.

La herramienta AMFE y los NPR generados y usados para el desarrollo del trabajo son una pieza clave del RCM. Gracias al AMFE y al NPR se pueden determinar una criticidad en cada modo de fallo y sus consecuencias y lo más importante, establecer una jerarquización objetiva. Además, para un mayor control de los fallos que afectan tanto a la seguridad como al medio ambiente se incluyen unos factores de corrección para determinar el NPR. A partir de esta jerarquización comienza a decidir el RCM la mejor manera de mantener cada activo de forma confiable con el criterio seleccionado; disponibilidad en este caso.

5.1.2 Consecución de objetivos.

El primer objetivo marcado es la base para la realización del trabajo. La primera parte de dicho objetivo es relativamente sencilla, en esta se estudia y aprende la filosofía de mantenimiento centrada en la confiabilidad que está siendo implantada en Navantia desde hace relativamente poco tiempo.

Al inicio del trabajo queda supuesto que no va a ser posible el estudio completo del taller de tuberos de Ferrol, por el tiempo necesario requerido para ello. Esto es porque el RCM es una metodología iterativa de modo que precisa mucho tiempo para su estudio, ya que es necesario analizar un volumen de información muy grande (más de 4000 fallos solo para dos activos), y desarrollo. No obstante, se estudia el método RCM para su posterior desarrollo. A pesar de no analizar completamente todos los activos del taller, se desarrollaron tanto el método RCM como el AMFE y también la asignación de NPR para el par de activos seleccionados de la UP de Ferrol cumpliendo con los primeros objetivos. Estos activos fueron seleccionados en base a la criticidad, bajo el criterio de máxima disponibilidad, que presentan para el taller. La forma de selección de activos críticos es mediante un panel de expertos, que es una de las maneras que permite el método RCM, debido al corto periodo de tiempo disponible.

El desarrollo del AMFE culmina con la jerarquización de la criticidad de los fallos, con el input de aplicar las políticas de seguridad y respeto al medio ambiente, a través del NPR.

Por lo tanto, se puede afirmar que el trabajo ha cumplido con su objetivo final de conseguir desarrollar parcialmente un plan de mantenimiento basado en RCM con el criterio de máxima disponibilidad para aplicar en el taller de tuberos de Ferrol. Las dos visitas a Navantia han hecho posible la resolución de estos objetivos mediante los intercambios de información y de puntos de vista del autor con los miembros del panel de expertos de Navantia formado por tres ingenieros y un operario con mucha experiencia. Este es un punto clave del RCM que necesita un grupo muy variado para exponer las diferentes ideas y puntos de vista.

5.2 Líneas futuras.

Este es un método con muchas posibilidades que podría ser aplicado en unidades de la Armada, como se predijo en el inicio del trabajo (punto 1.2). Y podría ser interesante su aplicación en instalaciones de la Escuela Naval Militar, a través de un estudio realizado por los próximos Alféreces de Fragata. Estos podrían realizar un Trabajo de Fin de Grado (TFG) aplicando esta metodología a distintos destinos de la ENM como pueden ser los talleres del “Barrio Industrial”, o aplicarlo al patrullero Tabarca basado en Marín, también dentro de las instalaciones de la ENM. De esta manera el centro a estudiar quedaría cerca de los alumnos y tutores. Este aspecto es muy importante de cara a visitas al centro de trabajo, además de una mayor facilidad de reunión por parte de los paneles de expertos o grupo de trabajo, los tutores y los alumnos.

Con un desarrollo bien planteado desarrollado por los ingenieros de Navantia puede ser el futuro inmediato del mantenimiento en los buques de la Armada. Se puede decir que ha sido planteado en los Buques de Acción Marítima (BAM) a través de su SICP (Sistema Integrado de Control de Plataforma) y que se pretende implantar en las futuras fragatas F-110 de la Armada.



Figura 5-1 BAM Tornado, P-44. [8]

Por otra parte, la aplicación del método RCM al taller de tuberos de Navantia no ha sido finalizada, ya que no ha sido aplicado a todo el taller. Esto quiere decir que podrían realizarse otros TFG en un futuro próximo completando la aplicación del método a la citada UP de Ferrol. Y con ello poder desarrollar propiamente el plan de mantenimiento del taller.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jefatura de Apoyo Logístico, MANTENIMIENTO EN LA ARMADA, Madrid: Armada Española, 2006.
- [2] Armada Australiana, «Wikipedia,» 19 Noviembre 2014. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Armada_Real_Australiana#/media/File:HMAS_Canberra_\(LHD_02\)_at_berth_prior_to_commissioning.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Armada_Real_Australiana#/media/File:HMAS_Canberra_(LHD_02)_at_berth_prior_to_commissioning.jpg). [Último acceso: 22 Febrero 2017].
- [3] «Navantia.es,» [En línea]. Available: http://www.navantia.es/noticia.php?id_noti=221. [Último acceso: Febrero 2017].
- [4] J. Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- [5] «RCM (Mantenimiento basado en la fiabilidad) de sistemas con apoyo bayesiano,» T.M.I.
- [6] L. Hine, «Una imagen distinta_Artistas,» [En línea]. Available: <http://unaimagendistinta2.blogspot.com.es/2015/04/lewis-hine-mecanico-trabajando-en.html>. [Último acceso: 7 marzo 2017].
- [7] Pruftechnik, «Pruftechnik,» VIBROTIP EX, [En línea]. Available: <https://www.pruftechnik.com/es/productos/sistemas-de-monitorizacion-de-condiciones/equipos-de-medicion-moviles-para-el-monitoreo-de-condiciones/vibrotip-ex.html>. [Último acceso: 6 marzo 2017].
- [8] «RCM Industrial,» T.M.I.
- [9] Navantia, SEPI, «CATALOGO TALLER TUBOS,» FERROL, 2014.
- [10] TEJERO.SL, Curvadora Universal H-200 E, Zaragoza.
- [11] J. Porto y Á. Fernández, Interviewees, [Entrevista]. 3 Marzo 2017.
- [12] Armada Española, «Juan Carlos Diaz Lorenzo. La mar es mi camino,» [En línea]. Available: <http://www.juancarlosdiazlorenzo.com/el-bam-tornado-patrulla-en-la-operacion-contra-la-pirateria-en-el-indico/>. [Último acceso: 27 FEBRERO 2017].
- [13] «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso: 13 enero 2015].

- [14] J. Rodríguez y V. Fernández, *Cómo redactar el estado del arte de un trabajo*, Editorial Genios, 2010.
- [15] P. Martínez y A. García, *Cómo escribir una buena memoria de TFG*, Publicaciones del 2000, 2013.
- [16] A. Pérez, *Cómo escribir una bibliografía*, Nuevas publicaciones.
- [17] J. Pérez, *Mantenimiento Navantia: Introduccion a R.C.M.*, Navantia Ferrol.