



4. DESARROLLO DEL PROYECTO

El apartado que se inicia a continuación compone el núcleo de desarrollo del proyecto, se compone de siete sub-apartados:

Estructura de la información de los equipos, esta sección detalla la información que la organización maneja en su actual base de datos, y que sirven como punto de partida en nuestro análisis y evaluación de los motores.

Modelo actual de gestión de la maquinaria, establece los planes de mantenimiento preventivo y correctivo que se ejecutan sobre los equipos.

Evaluación de la situación inicial, detalla el análisis del número de intervenciones de mantenimiento, los costes que han aparecido, y la ordenación por criticidad de los elementos de los motores donde se localizan los fallos. Además, se recoge la evaluación de la tipología de los citados fallos. Todo el análisis se refiere a la totalidad del horizonte temporal de estudio (40 meses de funcionamiento de la organización).

Evaluación de la criticidad mediante la técnica de análisis de criticidad, donde se aplica la metodología descrita en el apartado Antecedentes y se ejecuta la sistemática descrita analizando los resultados derivados de su aplicación.

Evaluación de la Criticidad mediante la técnica de cuantificación del riesgo total anualizado, permite volver a realizar una jerarquización de los elementos, esta vez con criterios económicos. También se realiza una comparación con los resultados del análisis de criticidad para establecer con el máximo rigor los elementos más críticos.

Aplicación de la Técnica de análisis causa-raíz a la bomba inyectora, Siguiendo la sistemática descrita en el apartado Antecedentes se analiza la bomba inyectora y se proponen soluciones a los problemas encontrados en las mismas. Por último se realiza la *aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en fiabilidad a los inyectores*.



4.1. Estructura de la Información de los Equipos

Este punto del informe se establece para describir brevemente la información que aparece en la base de datos de TRANSMAR, S.L.

Sobre un extracto de una parte de la base de datos (ver imagen 4.1), que se adjunta a continuación, se describirá la información de la que disponemos:

OT	RTG	Motor	Horas	Motivo fallo	Corrección	Fecha	Rep.	Filtro	Hs	Total
770	3	Pegaso	78.995	R-1500	Mantenimiento Preventivo	25-jun-03	0,00	45,93	0	261,10
771	31	Man	16.421	R-1500	Mantenimiento Preventivo	25-jun-03	0,00	86,00	0	301,17
772	45	Pegaso	79.751	R-4500	Mantenimiento Preventivo	26-abr-03	284,38	0,00	0	617,73
773	26	Cummins	41.910	pérdidas en la Culata	Cambio de culatas	26-jun-03	759,72	0,00	89	2431,14
774	31	Man	16.421	paro del Ventilador	Cambiar rodillo tensor ventilador	26-jun-03	0,00	0,00	4	75,12

Imagen 4.1. Extracto de la Base de Datos de TRANSMAR, S.L.

La descripción de los campos es:

- OT: Número en el listado de órdenes de trabajo.
- RTG: Campo numérico que indica el trastainer que tiene el motor que se va a analizar.
- Motor: Tipo de Motor a analizar.
- Horas: Número de horas de funcionamiento del motor hasta que se produce una necesidad de realizar una acción correctiva o hasta que se acomete la tarea preventiva programada.
- Motivo fallo: Campo descriptivo del motivo de fallo observado, si se hubiese producido, o la revisión programada.
- Corrección: Operación correctiva realizada o indicación del tipo de mantenimiento preventivo ejecutado.
- Fecha: Indicador del día en el que se detecta la incidencia que haya ocurrido.
- Datos de costes de repuestos (Rep.), filtros, número de horas de intervención (Hs) y el coste total (total).

Además, la empresa posee la documentación referente a los equipos, manual del fabricante, hojas de características, etc. almacenadas y dispuestas para su consulta a la hora de ejecutar cualquier actividad.



4.2. Modelo Actual de Gestión de la Maquinaria

La base de datos es indicativa del modelo actual de gestión del mantenimiento de los equipos. Esta gestión se basa en la ejecución de cuatro tipos de actividades preventivas a intervalos regulares de horas de funcionamiento de los motores, las acciones correctivas que puedan producirse y las correspondientes reparaciones generales de los motores cuando es aconsejable.

Para el mantenimiento de los equipos se realizan las siguientes operaciones:

Mantenimiento Correctivo: Tipo de mantenimiento consistente en el reacondicionamiento o sustitución de partes en un equipo una vez que han se ha producido el fallo, devolviendo el equipo a su estado normal de funcionamiento.

Mantenimiento Preventivo: Tipo de mantenimiento consistente en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares de tiempo un equipo o sus componentes, independientemente del estado operativo o no operativo en el que se encuentre el equipo.

En la siguiente tabla (ver tabla 4.1) se resume los tipos de acciones preventivas ejecutadas:

Tipo de Acción	Intervalo de Ejecución
R-500	Tareas de mantenimiento preventivo ejecutadas a las 500 horas de funcionamiento del motor.
R-1500	Tareas de mantenimiento preventivo ejecutadas a las 1500 horas de funcionamiento del motor.
R-4500	Tareas de mantenimiento preventivo ejecutadas a las 4500 horas de funcionamiento del motor.
R-5400	Tareas de mantenimiento preventivo ejecutadas a las 5400 horas de funcionamiento del motor.

Tabla 4.1. Tipos de acciones preventivas ejecutadas



A continuación detallamos en qué consisten cada una de las actividades preventivas:

- **Revisión de 500 horas: R-500**

La lista de acciones que se realizan por parte del operario que se encarga de este mantenimiento es la siguiente:

- Estado del exterior del motor.
- Nivel de líquido refrigerante.
- Concentración del agente anticongelante.
- Nivel de aceite del motor.
- Sistema de alarma del motor.
- Funcionamiento de los instrumentos.
- Estanqueidad manguitos del líquido refrigerante.
- Tensión de las correas trapezoidales.
- Purgar agua del antefiltro del combustible.
- Elementos de unión.
- Respiradero del cárter.
- Anclajes del motor.
- Fugas de combustible.
- Fugas de escape.
- Ruidos y vibraciones.
- Baterías.
- Articulaciones, varillas y reenvíos.
- Aceite de motor.
- Cartucho(s) del filtro de aceite de motor.
- Filtros de combustible.
- Filtro líquido refrigerante.
- Antefiltro de combustible.
- Limpieza del filtro de aire.
- Marcha de prueba.



- **Revisión de 1500 horas: R-1500**

La lista de acciones que se realizan por parte del operario que se encarga de este mantenimiento es la siguiente:

- Estado del exterior del motor.
- Nivel de líquido refrigerante.
- Concentración del agente anticongelante.
- Nivel de aceite del motor.
- Sistema de alarma del motor.
- Funcionamiento de los instrumentos.
- Estanqueidad manguitos del líquido refrigerante.
- Rodillo tensor de la correa trapezoidal.
- Tensión de las correas trapezoidales.
- Juego de cojinetes de la bomba de agua.
- Purgar agua del antefiltro del combustible.
- Juego de válvulas.
- Elementos de unión.
- Respiradero del cárter.
- Turbocompresor.
- Anclajes del motor.
- Fugas de combustible.
- Fugas de escape.
- Poleas.
- Ruidos y vibraciones.
- Baterías.
- Articulaciones, varillas y reenvíos.
- Aceite de motor.
- Cartucho(s) del filtro de aceite de motor.
- Filtros de combustible.
- Filtro líquido refrigerante.
- Antefiltro de combustible.
- Sustitución del filtro de aire.
- Radiador.
- Motor.
- Marcha de prueba.



- Revisión de 4500 horas: **R-4500**

La lista de acciones de revisión que se realizan por parte del operario que se encarga de este mantenimiento es la siguiente:

- Estado del exterior del motor.
- Nivel de líquido refrigerante.
- Concentración del agente anticongelante.
- Nivel de aceite del motor.
- Sistema de alarma del motor.
- Funcionamiento de los instrumentos.
- Estanqueidad manguitos del líquido refrigerante.
- Rodillo tensor de la correa trapezoidal.
- Tensión de las correas trapezoidales.
- Juego de cojinetes de la bomba de agua.
- Purgar agua del antefiltro del combustible.
- Juego de válvulas.
- Elementos de unión.
- Compresión de los cilindros.
- Inyectores.
- Respiradero del cárter.
- Bombas de combustible.
- Turbocompresor.
- Anclajes del motor.
- Fugas de combustible.
- Fugas de escape.
- Poleas.
- Ruidos y vibraciones.
- Baterías.
- Amortiguador de vibración.
- Juego longitudinal del cigüeñal.
- Articulaciones, varillas y reenvíos.
- Aceite de motor.
- Cartucho(s) del filtro de aceite de motor.
- Filtros de combustible.



- Filtro líquido refrigerante.
 - Antefiltro de combustible.
 - Sustitución del filtro de aire.
 - Radiador.
 - Motor.
 - Marcha de prueba.
-
- Revisión de 5400 horas: **R-5400**

Las actividades coinciden con las realizadas en una revisión de 4500 horas.

4.3. Evaluación de la Situación Inicial

Desarrollamos una evaluación de la situación inicial, para ello se creó una nueva distribución de la información, que se detalla en el apartado 4.4.1 del presente informe y que se propone como primera mejora a la gestión del mantenimiento.

La evaluación general consistió en la realización de una minería de datos exhaustiva sobre el registro histórico, que comprende los años 2002 hasta 2004 y el periodo de enero a marzo de 2005, de intervenciones de mantenimiento en la terminal de contenedores.

Con carácter general se puede especificar el gran volumen de información que se ha manejado: **2000 órdenes de trabajo** y el alto coste involucrado: **900.000€** en la gestión del mantenimiento de estos equipos.

El resultado de la evaluación se muestra por secciones en los apartados siguientes.

4.3.1. Evaluación del Número de Intervenciones (Órdenes de Trabajo)

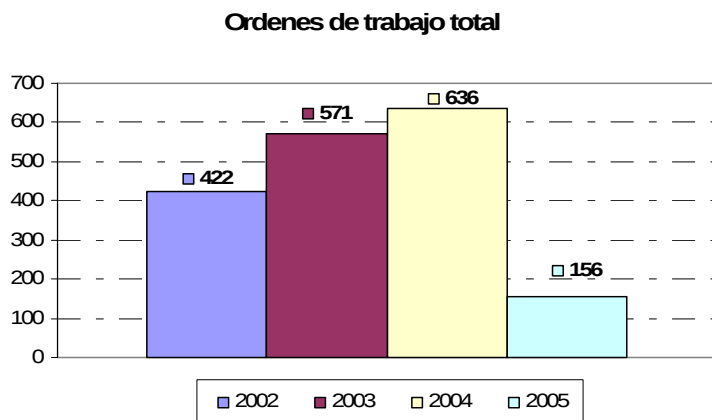
La evaluación del número de intervenciones en los equipos se realiza con las siguientes finalidades:

- Analizar en los distintos periodos temporales la evolución del número total de intervenciones de mantenimiento.
- Analizar en los distintos periodos temporales la evolución del número total de intervenciones relacionadas con mantenimiento preventivo y correctivo.



- Analizar posibles tendencias generales de cada uno de los tipos de mantenimiento, así como estudiar posibles interrelaciones entre los mismos.

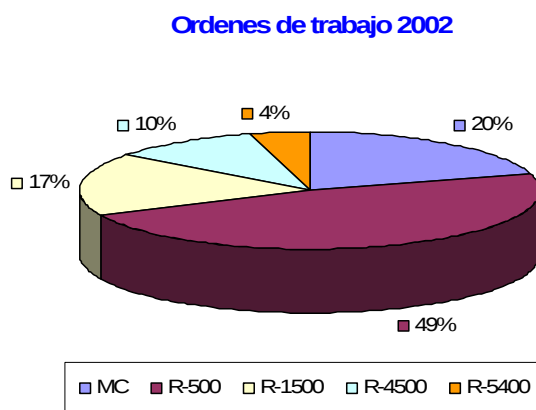
1. Diagrama de barras del total de intervenciones de mantenimiento (figura 4.1).



El número de intervenciones de mantenimiento es siempre creciente para todos los años (2002 – 2004), observándose la misma tendencia en 2005 ya que tras el análisis del primer trimestre de ese año el número de intervenciones ya representan el 25% de las del año anterior.

Figura 4.1. Total de intervenciones de mantenimiento

2. Diagrama de sectores: Órdenes de trabajo (figuras 4.2 hasta 4.5).

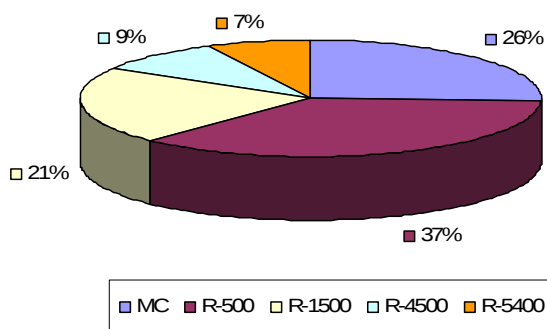


Para el año 2002 se aprecia como las revisiones de mantenimiento preventivo a las 500 horas de funcionamiento son las más representativas, representan casi la mitad de las intervenciones de mantenimiento, en cambio, el correctivo tiene un valor bastante menos representativo, el 80% de las intervenciones son preventivas.

Figura 4.2. Total de órdenes de trabajo de mantenimiento en 2002.



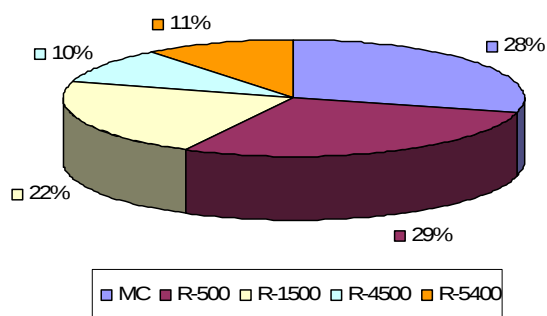
Órdenes de trabajo 2003



Para el año 2003 se vuelve a apreciar como las revisiones de mantenimiento preventivo a las 500 horas de funcionamiento son las más representativas, aunque en esta ocasión no son tan notorias en porcentaje, el mantenimiento correctivo en este año representó una de cada cuatro actividades de mantenimiento, aumentando su importancia relativa con respecto al año anterior. En este caso el 74% de las intervenciones son preventivas.

Figura 4.3. Total de órdenes de trabajo de mantenimiento en 2003.

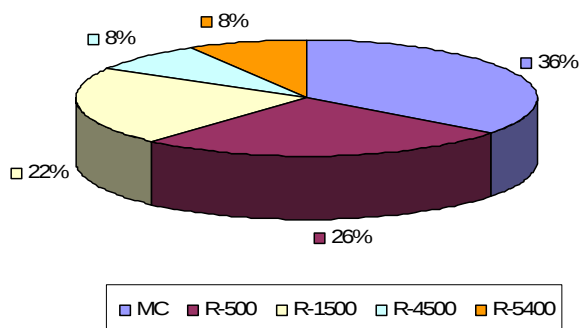
Órdenes de trabajo 2004



En el año 2004 el mantenimiento correctivo vuelve a incrementarse, en este caso únicamente dos puntos, de este modo, el mantenimiento preventivo vuelve a disminuir relativamente respecto al correctivo, situándose en el 72% del total de intervenciones de mantenimiento en la organización.

Figura 4.4. Total de órdenes de trabajo de mantenimiento en 2004.

Órdenes de trabajo 2005



Para el primer trimestre del año 2005 la situación empeora, el alto número de horas de funcionamiento que poseen los motores y la disminución de actividades de preventivo han situado al mantenimiento correctivo en el 36% del total de intervenciones, lo que conduce a la conclusión que de cada tres actividades sobre los equipos, una de ellas es tras el fallo y por lo tanto la máquina se encuentra sin capacidad para funcionar correctamente un tercio del tiempo total de operación.

Figura 4.5 Total de órdenes de trabajo de mantenimiento en 2005.



Como conclusión, podemos establecer que el porcentaje de las intervenciones de mantenimiento correctivo respecto del preventivo es siempre creciente para todos los años (2002 – 2005), estableciéndose aproximadamente en un porcentaje próximo a **un tercio del total** de las intervenciones de mantenimiento en la actualidad. La idea organizacional de ahorro realizando menos acciones de preventivo está suponiendo, a medida que el envejecimiento del motor es más notable, un aumento de la indisponibilidad de los equipos.

La tendencia natural debería ser el aumento de las intervenciones de mantenimiento preventivo, representando un porcentaje cada vez mayor de las intervenciones totales, para generar el máximo valor posible de disponibilidad de la maquinaria.

4.3.2. Evaluación de los Costes de Mantenimiento

La evaluación del coste del mantenimiento en los equipos se realiza con las siguientes finalidades:

- Analizar en los distintos periodos temporales la evolución del coste total de las intervenciones de mantenimiento.
- Analizar en los distintos periodos temporales la evolución del coste total de las intervenciones relacionadas con mantenimiento preventivo y correctivo.
- Analizar posibles tendencias que interrelacionen el coste de intervenciones de cada uno de los tipos de mantenimiento.

Es importante resaltar que en los datos que se presentan para el análisis de costes **no** están imputados los **15 000 euros por hora de pérdida de producción** cuando una grúa está parada por un fallo en el motor, este número dispararía aún más los costes de mantenimiento correctivo y agravaría considerablemente la situación analizada.



1. Diagrama de barras del total de costes de mantenimiento (figura 4.6).

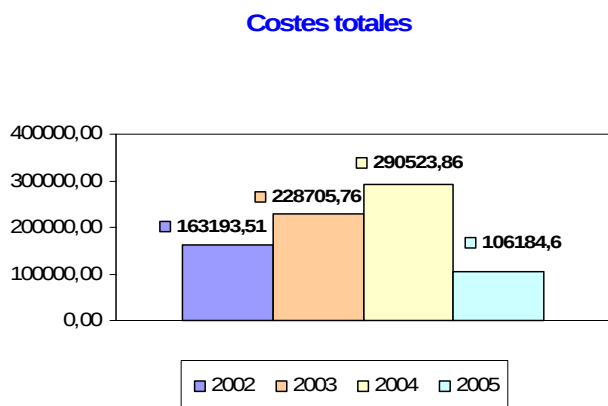


Figura 4.6. Total de costes de mantenimiento.

Los costes totales en las intervenciones de mantenimiento son siempre crecientes conforme pasan los años (2002-2004), en 2005 también se prevé un aumento debido a que el análisis, que solo alcanza al primer trimestre del citado año, refleja que el porcentaje de costes ya es próximo al **37%** de los aparecidos en el año anterior.

2. Diagrama de sectores: Órdenes de trabajo (figuras 4.7 hasta 4.10).

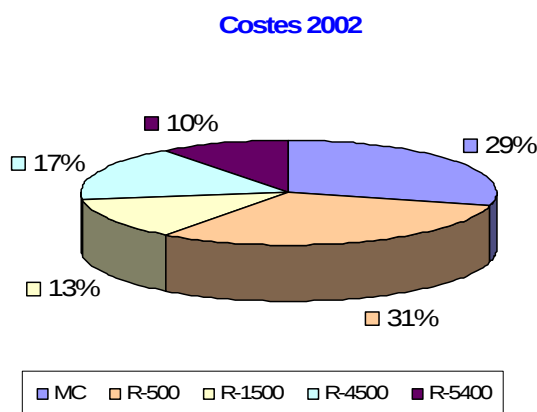
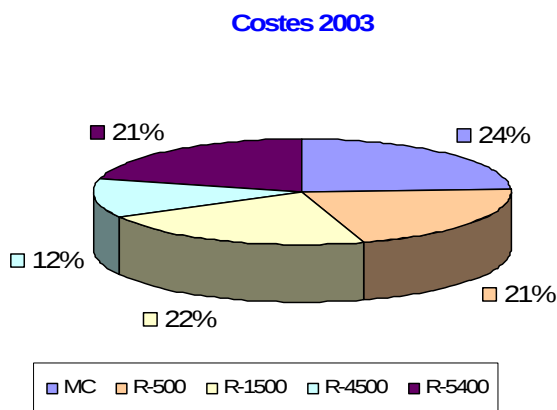


Figura 4.7. Total de costes de mantenimiento en 2002.

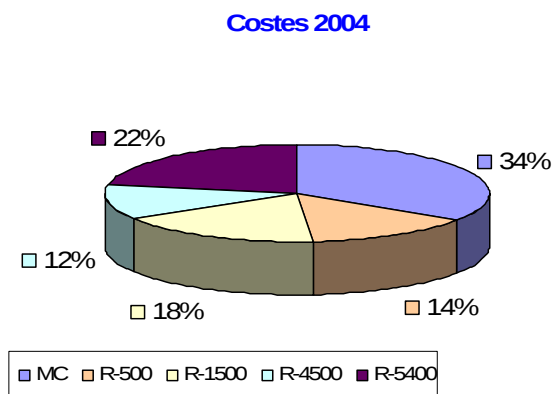
Para el año 2002 se aprecia como el coste más significativo es el de revisiones preventivas de 500 horas, lógicamente debido a que son las intervenciones más numerosas. No obstante, podemos apreciar que son del mismo orden los costes de mantenimiento correctivo, aunque este hecho se debió a la aparición de importantes problemas mecánicos en los árboles de levas, que son un elemento muy crítico de los equipos por su alto coste de reparación y/o sustitución.



Para el año 2003, el porcentaje de costes en mantenimiento correctivo se situó en el 24% del total, mientras que los costes de las revisiones de 500 y 1500 horas significaron cantidades económicas idénticas. Para este año, el porcentaje de peso del correctivo, frente al total, disminuyó cinco puntos.

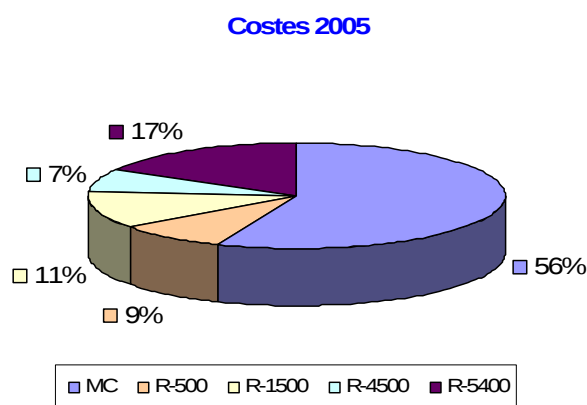


Figura 4.8 Total de costes de mantenimiento en 2003.



En el año 2004 el porcentaje de costes del mantenimiento correctivo es ya muy significativo, alcanzando una cifra del 34% del total de los costes de mantenimiento.

Figura 4.9 Total de costes de mantenimiento en 2004.



Para el primer trimestre del año 2005 la situación empieza a ser alarmante, el porcentaje de costes relativos al mantenimiento correctivo se sitúa en el 56% del total.

Figura 4.10 Total de costes de mantenimiento en 2005.

Como conclusión, podemos afirmar que la política de reducción de costes, disminuyendo las acciones de mantenimiento preventivo, no sólo no ha reducido el coste del mantenimiento total, ya que como se ha apreciado éste ha aumentado, sino que además ha generado un deterioro mayor en los equipos lo que genera un aumento de fallos y por lo tanto una pérdida de disponibilidad de los mismos para producir.

De forma que se invierte en mantenimiento preventivo una cantidad menor de lo que se gasta en operaciones correctivas y la disponibilidad de los equipos



disminuye debido a que las paradas para repararlos son cada vez son más frecuentes.

4.3.3. Evaluación de la Criticidad por Coste de la Maquinaria

La información anterior engloba el conjunto de la totalidad de la maquinaria de la organización, no obstante, para abordar el desarrollo de metodologías de gestión de mantenimiento, es preciso distinguir qué tipo de maquinaria es realmente crítica. Este punto es esencialmente importante ya que las técnicas modernas de gestión de mantenimiento son muy estrictas en el hecho de verificar si el estudio está justificado en relación al coste que supone llevarlo a cabo.

Un parámetro muy importante para los responsables de la empresa analizada era el coste horario de las grúas, este hecho condujo a que, en este punto del proyecto, el primer criterio para determinar la criticidad de la maquinaria fuese precisamente el coste horario de los equipos.

El número de equipos de cada tipo no coinciden, de forma que los cálculos deben tener en consideración el hecho, por ejemplo, que existen más motores cummins que de cualquier otro tipo. En la siguiente tabla (ver tabla 4.2) aparecen los equipos reales de la organización:

Tipo Motor	CUMMINS	PEGASO	MAN	VOLVO 1	VOLVO 2
Motores	13	8	11	6	9

Tabla 4.2 Tipos de Motor

A continuación se muestran las distintas tablas de costes para el horizonte de estudio de cada tipo de motor, con la contribución de los mismos al coste horario.

1. Operaciones de Mantenimiento Correctivo

En la siguiente tabla se muestra para cada tipo de motor y para cada año analizado, el coste de las intervenciones de mantenimiento correctivo.



Tipo Motor Año	CUMMINS	PEGASO	MAN	VOLVO 1	VOLVO 2
2002	17846,22 €	12348,87 €	2901,20 €	4373,42 €	0 €
2003	7917,71 €	5180,03 €	6033,70 €	3254,29 €	169,02 €
2004	21268,18 €	16298,21 €	3691,05 €	254,86 €	2490,99 €
2005	1260,15 €	829,23 €	1666,05 €	683,28 €	568,55 €
TOTAL	48.292,26 €	34.656,34 €	14.292,00 €	8.565,85 €	3.228,56 €
Total/Motor	3714,7 €	4332,1 €	1299,27 €	1427,64 €	358,73 €

Tabla 4.3. Costes Totales de mantenimiento correctivo.

La gráfica de costes es la siguiente (ver figura 4.11):

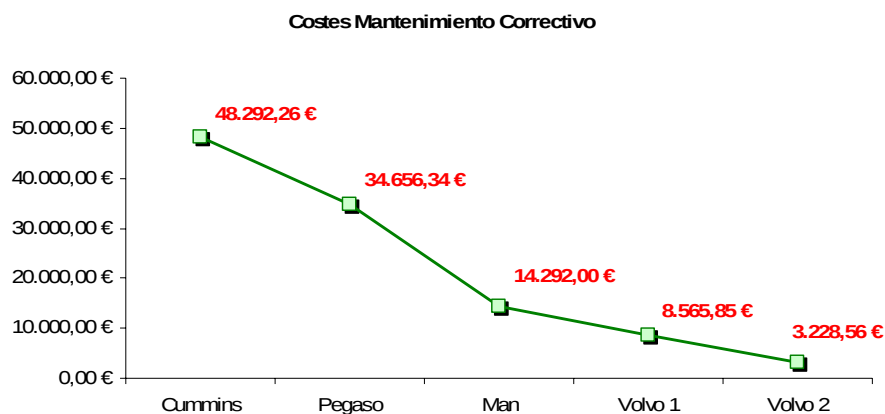


Figura 4.11. Costes Totales de mantenimiento correctivo por motor.

El más significativo se encuentra en la maquinaria con motor del tipo Cummins, aunque las cifras de costes de correctivos en los motores Pegaso son bastante próximas.



La contribución de esas cifras al coste horario es la siguiente (ver tabla 4.4):

Tipo Motor Año	CUMMINS	PEGASO	MAN	VOLVO 1	VOLVO 2
2002	0,31 €	0,38 €	0,05 €	0,12 €	0 €
2003	0,07 €	0,13 €	0,10 €	0,05 €	0 €
2004	0,35 €	0,37 €	0,52 €	0,01 €	0,04 €
2005	0,11 €	0,08 €	0,16 €	0,17 €	0,06 €
TOTAL	0,84 €	0,96 €	0,83 €	0,35 €	0,10 €

Tabla 4.4. Contribución al coste horario del coste de mantenimiento correctivo

La gráfica de costes es la siguiente (ver figura 4.12):

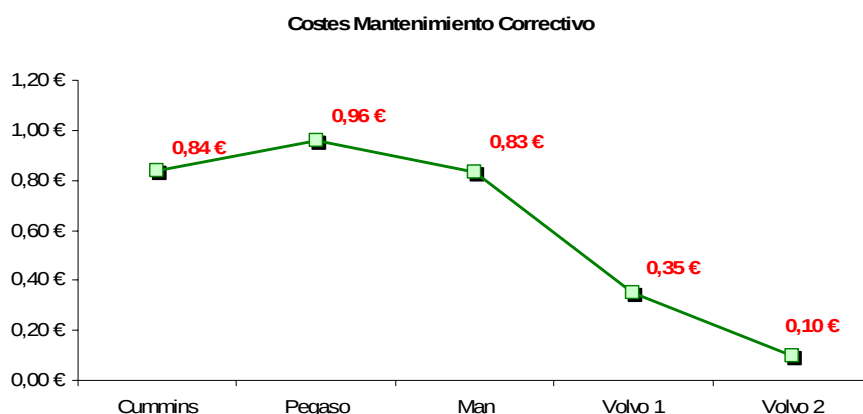


Figura 4.12. Contribución al coste horario del coste de mantenimiento correctivo

Observamos como el mayor coste horario aparece en los motores Pegaso, que serían consideradas como los más críticos en relación a los costes del mantenimiento correctivo.



2. Operaciones de Mantenimiento Preventivo

En la siguiente tabla se muestra para cada tipo de motor y para cada año analizado, el coste de las intervenciones de mantenimiento preventivo (ver tabla 4.5).

Tipo Motor Año	CUMMINS	PEGASO	MAN	VOLVO 1	VOLVO 2
2002	64275,81 €	13565,17 €	16467,52 €	18690,46 €	3800,47 €
2003	80005,35 €	22983,59 €	36270,68 €	22039,16 €	12114,36 €
2004	73388,83 €	19996,22 €	34430,8 €	23393,72 €	34479 €
2005	23235,12 €	4881,98 €	8000,62 €	3316,20 €	6677,31 €
TOTAL	240.905,11 €	61.426,96 €	95.169,62 €	67.439,54 €	57.071,14 €
Total/Motor	18531,16 €	7678,37 €	8651,77 €	11239,92 €	6341,24 €

Tabla 4.5. Costes totales de mantenimiento preventivo

La gráfica de costes es la siguiente (ver figura 4.13):

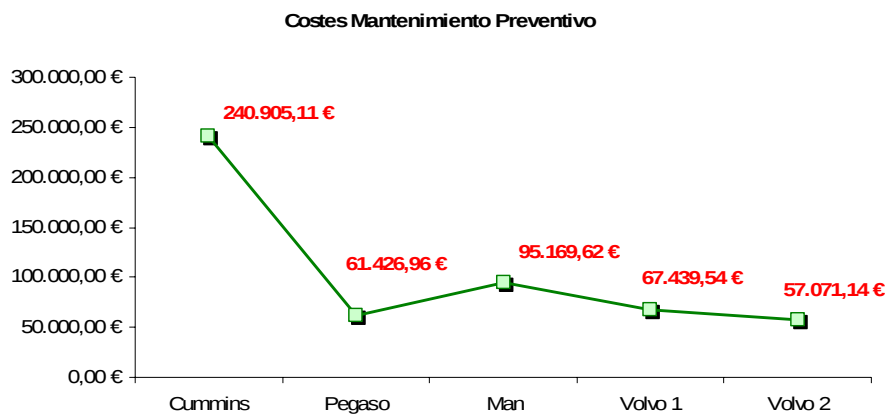


Figura 4.13. Costes totales de mantenimiento preventivo.

En este caso los más significativos son los Cummins que, aunque son más equipos que el resto, los costes de su mantenimiento preventivo son los más elevados aún considerando ese factor.



A continuación mostramos la tabla con la contribución al coste horario de las intervenciones de mantenimiento preventivo (ver tabla 4.6).

Tipo Motor Año	CUMMINS	PEGASO	MAN	VOLVO 1	VOLVO 2
2002	0,87 €	0,42 €	0,50 €	0,51 €	0,55 €
2003	1,01 €	0,61 €	0,59 €	0,59 €	0,25 €
2004	1,09 €	0,42 €	0,56 €	0,54 €	0,60 €
2005	1,91 €	0,60 €	1,26 €	0,66 €	0,82 €
TOTAL	4,88 €	2,05 €	2,91 €	2,30 €	2,22 €

Tabla 4.6. Contribución al coste horario del coste de mantenimiento preventivo

La gráfica de costes es la siguiente (ver figura 4.14):

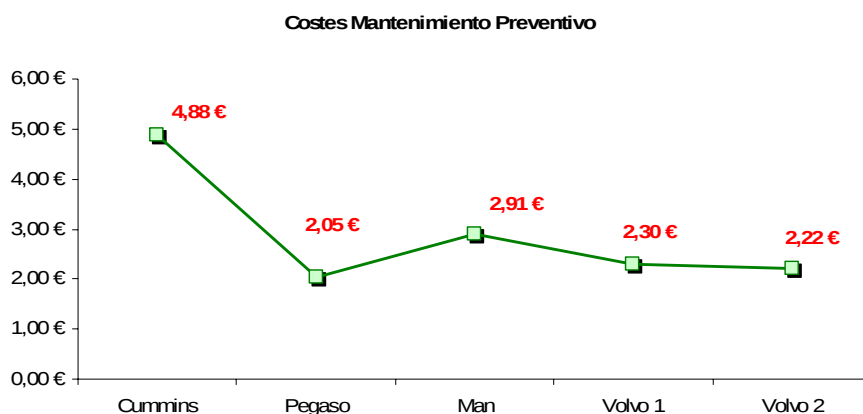


Figura 4.14. Contribución al coste horario del coste de mantenimiento preventivo

Podemos observar como el coste de las intervenciones de mantenimiento preventivo en la maquinaria cummins es más del doble de la inversión en cualquiera del resto de maquinaria. Basándonos en el criterio de costes preventivos, la maquinaria con motor cummins es la de criticidad mayor.



3. Reparaciones Generales

En este punto evaluamos la contribución al coste horario de las distintas reparaciones generales que se han realizado en la organización (ver tabla 4.7).

Tipo Motor Año	CUMMINS	PEGASO	MAN	VOLVO 1	VOLVO 2
2002	--	11634,75€	--	--	--
2003	--	7361,12 €	--	26827,51 €	--
2004	33307,74 €	19467,06 €	--	--	--
2005	54656,07 €	--	--	--	--
TOTAL	87.963,81 €	38.462,93 €	--	26.827,51 €	--
Total/Motor	6766,45 €	4807,87 €	--	26827,51 €	--

Tabla 4.7. Costes totales de reparaciones generales.

La representación gráfica de estos valores es (ver figura 4.15):

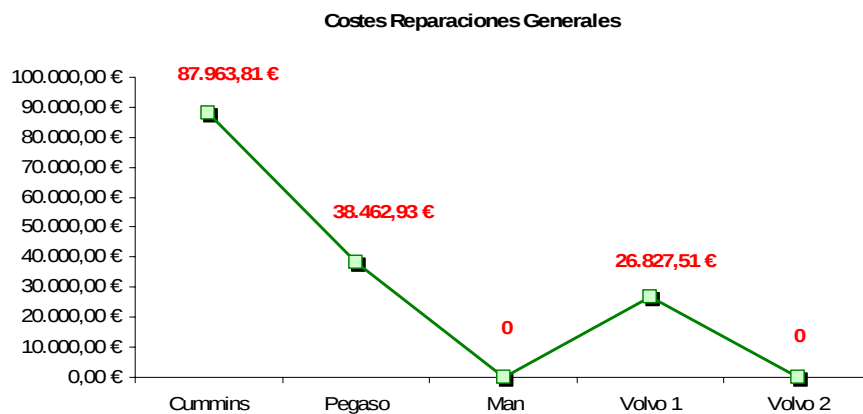


Figura 4.15. Costes totales de reparaciones generales.

La maquinaria cummins vuelve a ser la más crítica.



La contribución al coste horario de los costes de reparaciones generales es (ver tabla 4.8):

Tipo Motor Año	CUMMINS	PEGASO	MAN	VOLVO 1	VOLVO 2
2002		0,36 €			
2003		0,19 €		0,72 €	
2004	0,46 €	0,40 €			
2005	1,61 €				
TOTAL	2,07 €	0,95 €		0,72 €	

Tabla 4.8 Contribución al coste horario del coste de reparaciones generales

Gráficamente se muestra a continuación (ver figura 4.16):

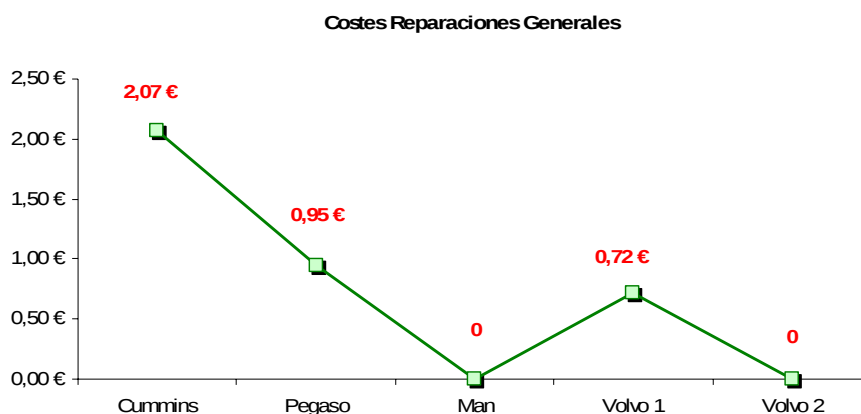


Figura 4.16. Contribución al coste horario del coste de reparaciones generales

Se puede apreciar claramente que el coste de las reparaciones generales para los motores cummins es el más significativo y por lo tanto adquiere la máxima criticidad desde este punto de vista.

Alcanzado este punto, todo hace indicar que la maquinaria cummins es la de mayor impacto económico para la organización.



Para concluir, realizamos una representación gráfica de la evolución de los costes horarios de los distintos tipos de maquinaria (ver figura 4.17).

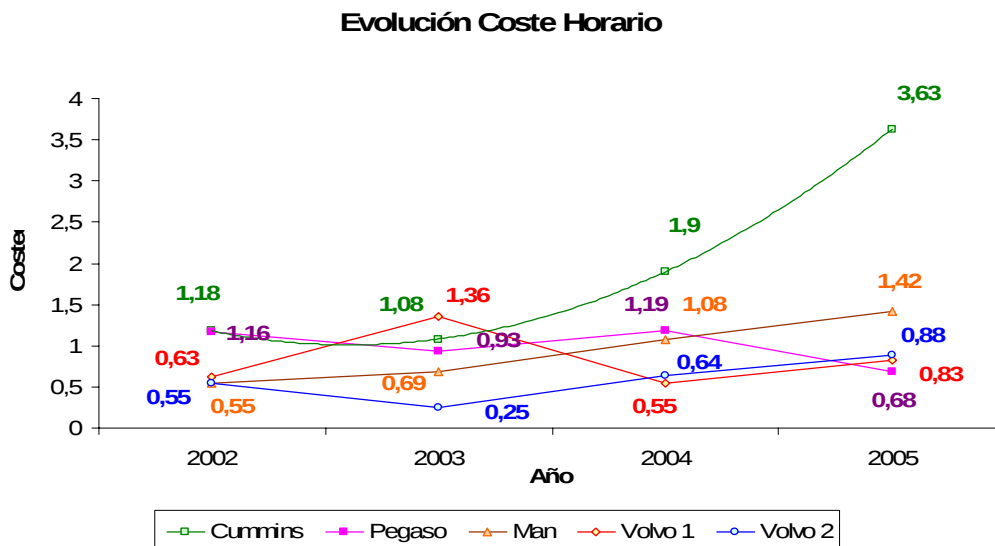


Figura 4.17. Evolución del Coste Horario de las intervenciones en motores.

Como conclusión podemos decir que se demuestra que planteando criterios de coste, las grúas que tienen instalados motores de tipo cummins son las más críticas. Este gasto más elevado puede estar justificado en el hecho de existir un número mayor de grúas con motores cummins. No obstante, en las tablas de costes totales se ha indicado en una fila de las mismas, el coste por unidad de motor, dividiendo el coste total entre el número de motores de cada tipo, esa medida ha verificado que la maquinaria crítica en la organización es la cummins.

4.3.4. Evaluación de la Tipología de Fallos en los motores Cummins

Una vez establecida la maquinaria crítica de la organización, el siguiente paso es determinar cuál de los elementos de la misma tienen un mayor impacto.

Para este fin emplearemos técnicas modernas de ingeniería de mantenimiento, que se analizan en el punto siguiente del proyecto, no obstante, podemos realizar una evaluación rápida a partir de los datos del histórico de fallos que se tienen.



Definimos el coeficiente NC como el producto del número de intervenciones que involucran a cada tipo de elemento de un motor cummins y el coste total de la citada intervención, de esta forma se obtiene la siguiente tabla de resultados (ver tabla 4.9):

Elemento	Número Intervenciones	Coste Total	Coeficiente NC
Bomba Inyectora	10	7788,5	77884,9
Inyectores	19	3399,9	64597,9
Motor	8	7221,0	57767,9
Culata	5	9684,1	48420,5
Árbol de Levas	3	10981,0	32943,1
Bomba de Agua	18	1581,6	28468,1
Radiador	13	1715,9	22307,2
Retén del Cigüeñal	3	958,9	2876,8
Filtros	7	356,2	2493,4
Circuito de Gasoil	4	291,2	1164,8
Manguitos	4	254,0	1016,1
Actuador	1	925,0	925,0
Termostatos	3	273,3	820,0
Turbo	2	262,9	525,8
Enfriadores	1	497,9	497,9
Batería	2	248,6	497,2
Sistema de Alarmas	1	344,7	344,7
Ventilador	3	76,6	229,8
Chapón	1	112,7	112,7
Latiguillo	1	38,3	38,3
Chapa	1	38,3	38,3
Circuito de Aceite	2	0,0	0,0

Tabla 4.9 Coeficiente NC para cada elemento del motor.



La representación gráfica del coeficiente NC marca una distribución clara de elementos críticos y no críticos de la maquinaria (ver figura 4.18).

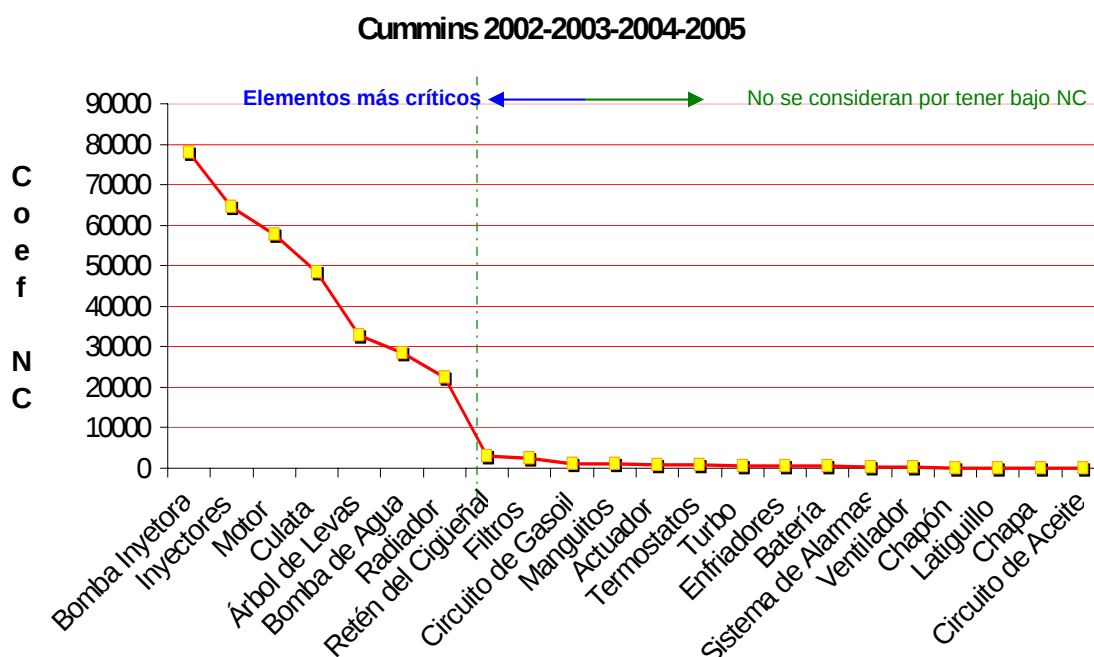


Figura 4.18. Coeficiente NC para cada elemento del motor.

Podemos observar que los elementos más críticos desde el punto de vista del número de intervenciones y coste de las mismas son la bomba inyectora y los inyectores, es decir, el sistema de inyección de los motores.

Para contrastar esta primera estimación aplicamos las técnicas actuales de ingeniería de mantenimiento:

- La Técnica de Análisis de Criticidad (AC): Descrita en el punto siguiente, el **4.4** del presente documento.
- La Técnica de Cuantificación del Riesgo Total Anualizado (RTA): Descrita en el apartado **4.5** de este informe.



4.4. Evaluación de la Criticidad mediante la técnica de *Análisis de Criticidad*

Realizamos el análisis de criticidad ejecutando cada una de las fases que se describieron en el apartado 2.3.1 de este documento.

4.4.1. Fase 1: Selección de los elementos a evaluar. El resultado de la evaluación inicial del parque de motores de TRANSMAR, S.L. ha permitido concluir que la maquinaria crítica para la organización se corresponde con aquella cuyo motor es del fabricante cummins. De esta forma, el análisis de criticidad va enfocado a este tipo de maquinaria descartándose aquellas cuyo motor pertenezca a otro fabricante.

4.4.2. Fase 2: Definición de la ponderación para los distintos parámetros del análisis. Definimos Criticidad = Frecuencia de fallos (F) • Consecuencia (C), donde:

Frecuencia de Fallos (F): Es el número de incidentes aparecidos en un equipo para un tiempo t determinado.

La *Frecuencia de Fallos* se pondera de la siguiente forma (ver tabla 4.10):

Frecuencia de Fallos	Valor de Ponderación
Pobre: Superior a 3 fallo/año	4
Media: Entre 1 y 3 fallo/año	3
Buena: 1 fallo/2 años	2
Excelente: menos de 1 fallo/2 años	1

Tabla 4.10 Ponderación de la frecuencia de fallos.

Consecuencia (C): Se define a partir de la siguiente ecuación:

$$C=(IO \bullet FO)+CM+ISHA$$



donde

Impacto Operacional (IO): Es el impacto del fallo en las condiciones de operación de los equipos.

El Impacto Operacional se pondera de la siguiente forma (ver tabla 4.11):

Impacto Operacional	Valor de Ponderación
Parada inmediata de la grúa	10
Impacta en subsistemas y en otros sistemas	5
No genera ningún efecto significativo sobre la producción	1

Tabla 4.11. Ponderación del Impacto Operacional.

Flexibilidad Operacional (FO): Capacidad intrínseca de las características operacionales para responder a un fallo.

La Flexibilidad Operacional se pondera de la siguiente forma (ver tabla 4.12):

Flexibilidad Operacional	Valor de Ponderación
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido/almacén	2
Función de repuesto disponible	1

Tabla 4.12. Ponderación de la Flexibilidad Operacional.



Costes de Mantenimiento (CM): Costes de las intervenciones de mantenimiento en los equipos.

Los Costes de Mantenimiento se ponderan de la siguiente forma:

Costes de Mantenimiento	Valor de Ponderación
Mayor o igual a 9000€	5
Entre 5000 y 9000€	4
Entre 1000 y 5000€	3
Entre 500 y 1000€	2
Inferior a 500€	1

Tabla 4.13. Ponderación de los Costes de Mantenimiento.

Impacto en la Seguridad Ambiental y Humana (ISAH): Impacto de los fallos ocurridos relacionados con la seguridad de las personas y del medio ambiente con los que interaccionan los equipos.

Impacto en SAH	Valor de Ponderación
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	5
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores	2
No provoca ningún tipo de daños	1

Tabla 4.14. Ponderación del Impacto en Seguridad y Ambiente.



En la siguiente tabla presentamos un resumen completo de los conceptos y las ponderaciones que se van a emplear para desarrollar lo que se denomina la Matriz de Criticidad (ver tabla 4.15).

Frecuencia de Fallos		Costes de Mantenimiento	
Pobre: Superior a 3 fallo/año	4	Mayor o igual a 9000€	5
Media: Entre 1 y 3 fallo/año	3	Entre 5000 y 9000€	4
Buena: 1 fallo/2 años	2	Entre 1000 y 5000€	3
Excelente: menos de 1 fallo/2 años	1	Entre 500 y 1000€	2
Impacto Operacional		Inferior a 500€	1
Parada inmediata de la grúa	10	Impacto en SAH	
Impacta en subsistemas y en otros sistemas	5	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	5
No genera ningún efecto significativo sobre la producción	1	Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Flexibilidad Operacional		Provoca daños menores	2
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4	No provoca ningún tipo de daños	1
Hay opción de repuesto compartido/almacén	2		
Función de repuesto disponible	1		

Tabla 4.15. Resumen de Ponderaciones



4.4.3. Fase 3: Ejecución del análisis. Comenzamos extrayendo del histórico de fallos de los equipos qué elementos han necesitado de alguna operación de mantenimiento. De esta forma, los elementos a evaluar son: Bomba inyectora, inyectores, culata, árbol de levas, bomba de agua y radiador.

1. Bomba Inyectora. El resultado del análisis se representa en la tabla 4.16

Frecuencia de Fallos	Impacto Operacional:	Flexibilidad Operacional:	Costes de Mantenimiento	Impacto en SAH
4	10	4	4	2
Consecuencia: $C = (IO+FO)+CM+ISAH = (10 \cdot 4)+4+2 = 46$				
Criticidad Total: $CT = F \cdot C = 4 \cdot 46 = 184$				

Tabla 4.16. Resultado del Análisis en la Bomba Inyectora

La *bomba inyectora* se situaría en la zona de la matriz de criticidad señalada en la figura adjunta (ver figura 4.19). Su carácter sería crítico, la frecuencia de fallo es la máxima y las consecuencias de los fallos también se sitúan en una zona de valores elevados.

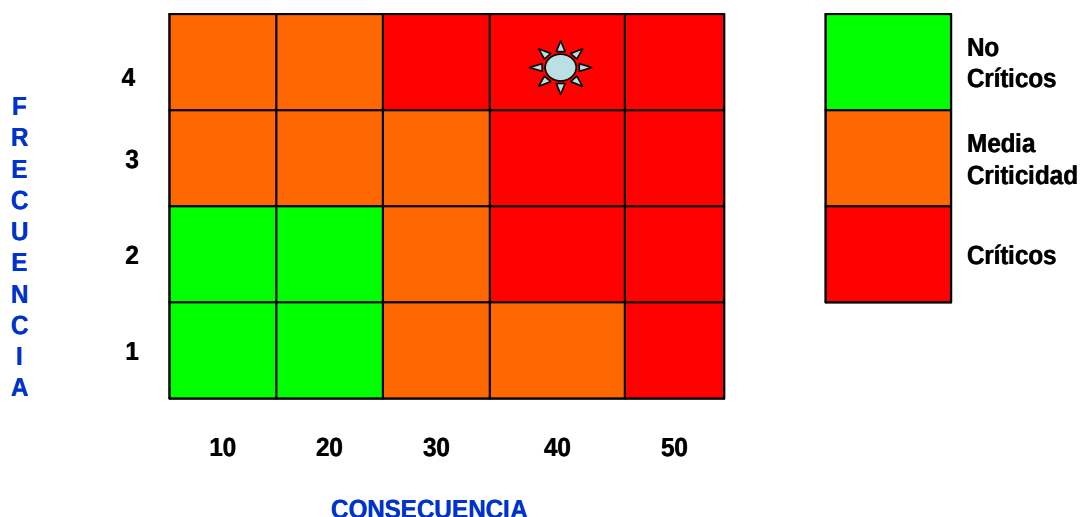


Figura 4.19. Posición en la matriz de criticidad de la bomba inyectora.



2. Inyectores. El resultado del análisis se representa en la tabla 4.17

Frecuencia de Fallos	Impacto Operacional:	Flexibilidad Operacional:	Costes de Mantenimiento	Impacto en SAH
4	10	4	3	2
Consecuencia: $C = (IO+FO)+CM+ISAH = (10 \cdot 4)+3+2 = 45$				
Criticidad Total: $CT = F \cdot C = 4 \cdot 45 = 180$				

Tabla 4.17. Resultado del Análisis en los inyectores

Los *inyectores* se situarían en la zona de la matriz de criticidad señalada en la figura adjunta (ver figura 4.20). Su carácter sería crítico, la frecuencia de fallo es la máxima y las consecuencias de los fallos también se sitúan en una zona de valores elevados.

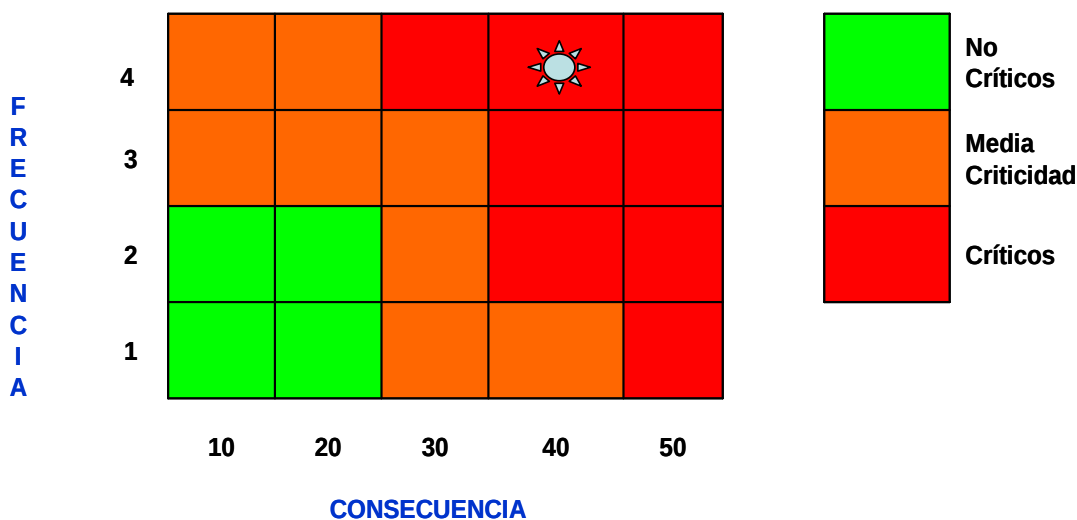


Figura 4.20. Posición en la matriz de criticidad de los Inyectores.



3. Culata. El resultado del análisis se representa en la tabla 4.18

Frecuencia de Fallos	Impacto Operacional:	Flexibilidad Operacional:	Costes de Mantenimiento	Impacto en SAH
3	5	4	5	2
Consecuencia: $C = (IO+FO)+CM+ISAH = (5+4)+5+2 = 27$				
Criticidad Total: $CT = F \cdot C = 3 \cdot 27 = 81$				

Tabla 4.18. Resultado del Análisis en la Culata

La *culata* se sitúa en la zona de criticidad media (ver figura 4.21), la frecuencia de los fallos es de carácter medio-alto pero las consecuencias del fallo tienen un valor relativamente bajo.

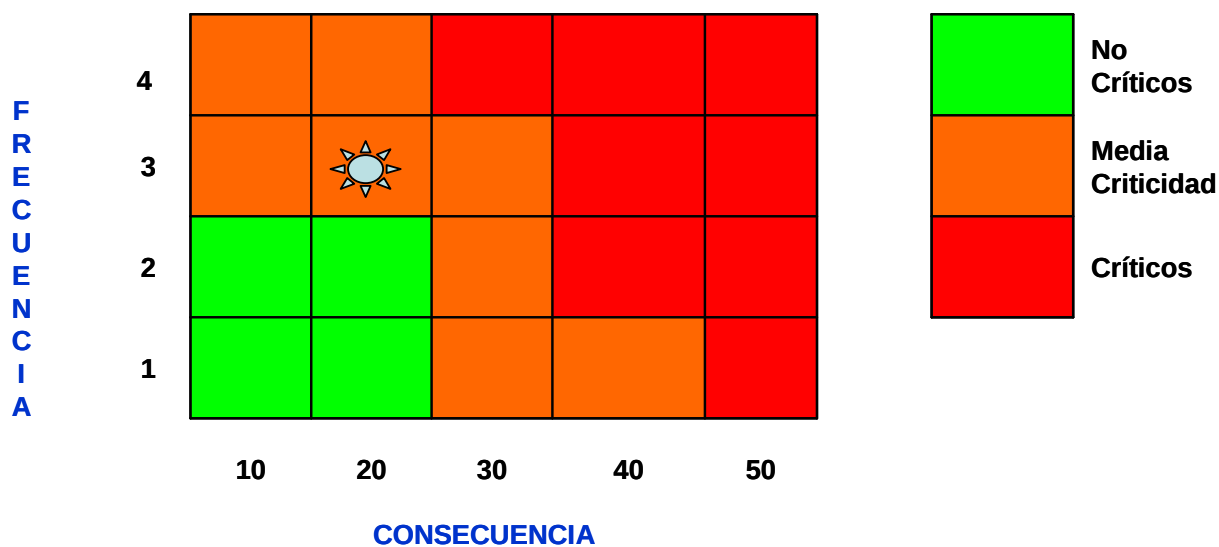


Figura 4.21. Posición en la matriz de criticidad de la Culata.



4. Árbol de levas. El resultado del análisis se representa en la tabla 4.19

Frecuencia de Fallos	Impacto Operacional:	Flexibilidad Operacional:	Costes de Mantenimiento	Impacto en SAH
1	5	4	5	4
Consecuencia: $C = (IO+FO)+CM+ISAH = (10+4)+5+4 = 49$				
Criticidad Total: $CT = F \cdot C = 1 \cdot 49 = 49$				

Tabla 4.19. Resultado del Análisis en el Árbol de Levas

El *árbol de levas* se sitúa en la zona de criticidad media (ver figura 4.22) debido a la baja frecuencia de aparición de fallos, no obstante las consecuencias de los mismos se establecen en una zona de criticidad alta.

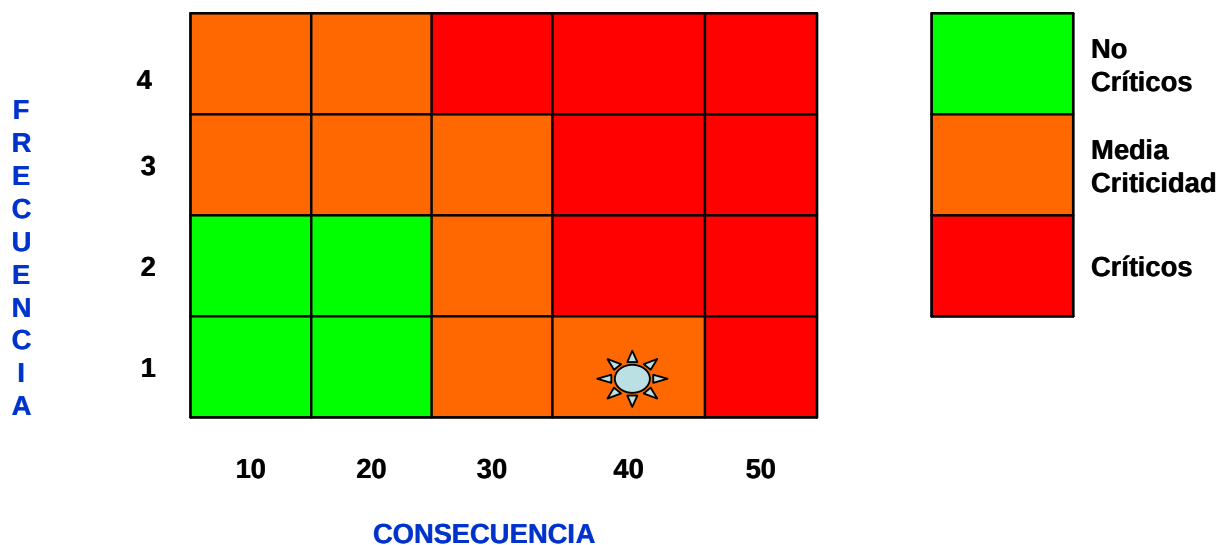


Figura 4.22. Posición en la matriz de criticidad del Árbol de Levas.



5. Bomba de Agua. El resultado del análisis se representa en la tabla 4.20

Frecuencia de Fallos	Impacto Operacional:	Flexibilidad Operacional:	Costes de Mantenimiento	Impacto en SAH
4	5	4	3	2
Consecuencia: $C = (IO+FO)+CM+ISAH = (5+4)+3+2 = 25$				
Criticidad Total: $CT = F \cdot C = 4 \cdot 25 = 100$				

Tabla 4.20. Resultado del Análisis en la Bomba de Agua

La *bomba de agua* se sitúa en la zona de criticidad media (ver figura 4.23) debido a la baja consecuencia de los fallos que se produzcan en el elemento. Sin embargo, la frecuencia de aparición de fallos es máxima.

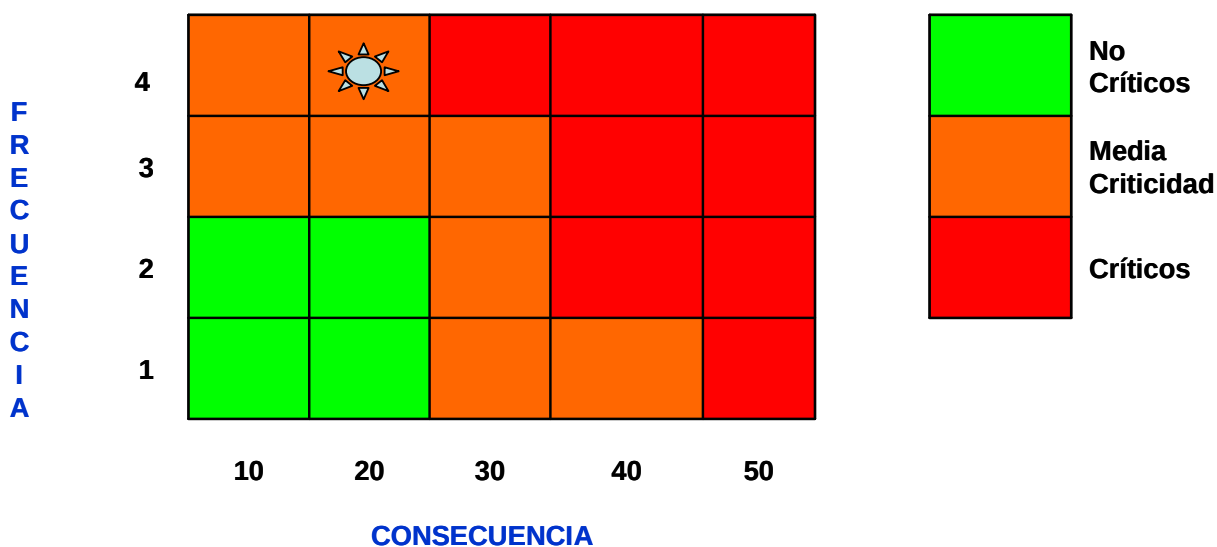


Figura 4.23. Posición en la matriz de criticidad de la Bomba de Agua.



6. Radiador. El resultado del análisis se representa en la tabla 4.21

Frecuencia de Fallos	Impacto Operacional:	Flexibilidad Operacional:	Costes de Mantenimiento	Impacto en SAH
4	5	4	3	2
Consecuencia: $C = (IO+FO)+CM+ISAH = (5 \cdot 4)+3+2 = 25$				
Criticidad Total: $CT = F \cdot C = 4 \cdot 25 = 100$				

Tabla 4.21. Resultado del Análisis en el Radiador

El *radiador* se sitúa, dentro de la matriz de criticidad, en la zona media (ver figura 4.24), esta situación está fundamentada en la baja consecuencia de los fallos que se produzcan en el elemento. No obstante, la frecuencia de aparición de fallos es la más elevada.

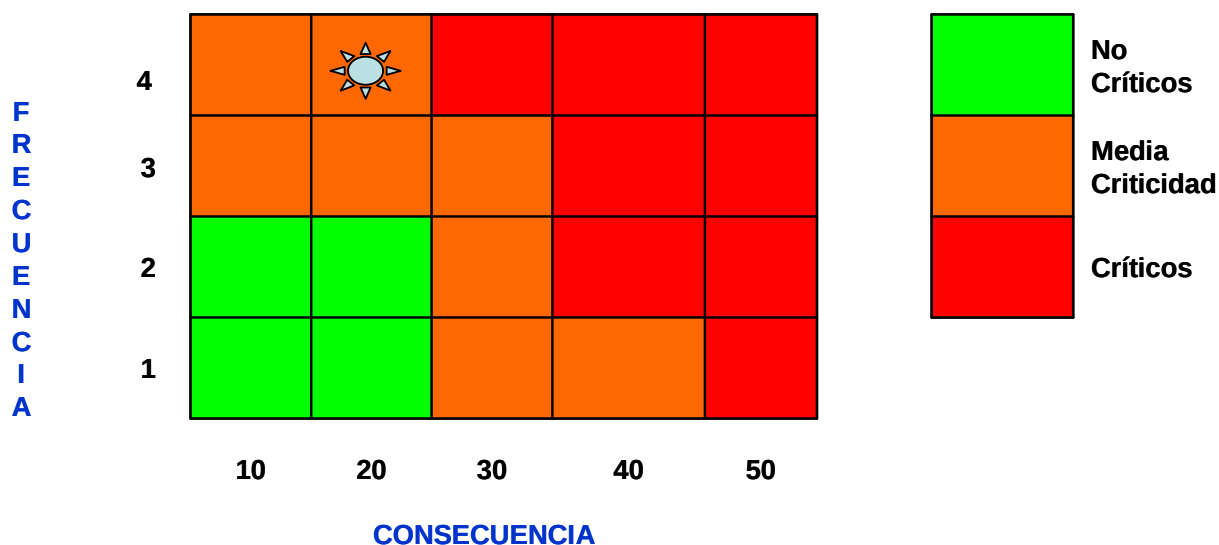


Figura 4.24 Posición en la matriz de criticidad del Radiador.



Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: Frecuencia y Consecuencia y se ubican en la matriz de criticidad – valor de frecuencia en le eje Y, valor de consecuencias en el eje X. La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en las tres áreas siguientes: Área de Elementos Críticos, Área de elementos de criticidad media y Área de elementos críticos.

La matriz de criticidad resultante se muestra a continuación (ver figura 4.25):

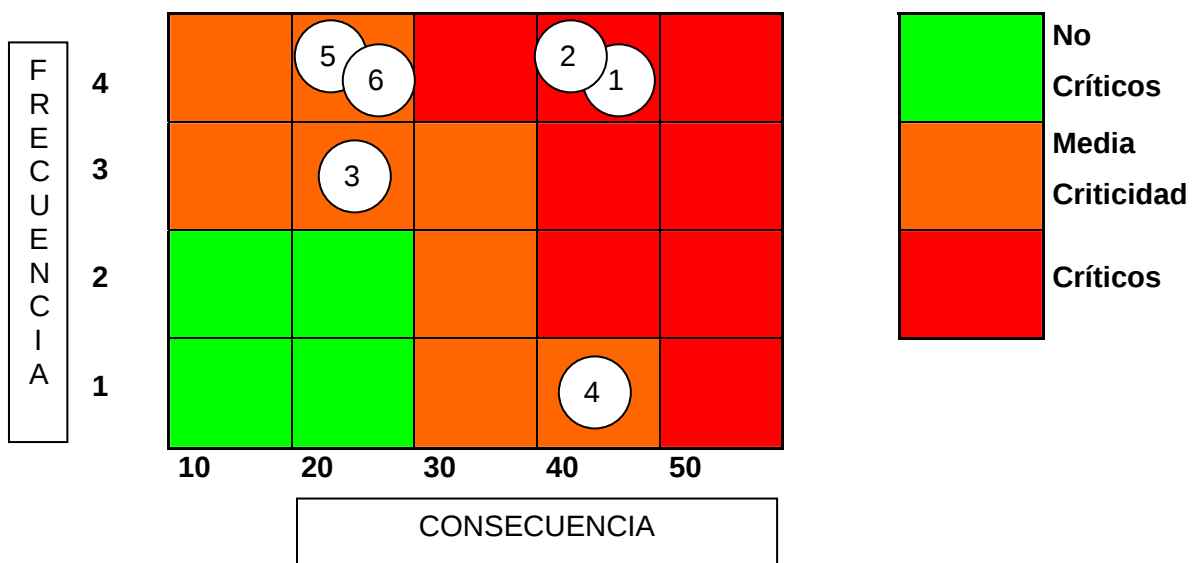


Figura 4.25. Matriz de Criticidad.

- | | | | |
|---|-----------------|---|----------------|
| 1 | Bomba Inyectora | 4 | Árbol de levas |
| 2 | Inyectores | 5 | Bomba de agua |
| 3 | Culata | 6 | Radiador |



4.5. Evaluación de la Criticidad mediante la Técnica de *Cuantificación del Riesgo Total Anualizado (RTA)*.

Es una técnica de cuantificación del Riesgo (*Dinero/Tiempo: €/año*), el resultado de la técnica se presenta en la tabla adjunta (ver tabla 4.22):

PROBLEMAS IDENTIFICADOS	FF fallos/año	CMO €	CM €	CAR €/año	TR horas	IP €/hora	PE €	PAF €/año	RTA €/año
Bomba inyectora	4	19,15	2492,00	10044,60	16	15000	240000	960000	970044,60
Inyectores	5	18,78	232,28	1255,30	11,5	15000	172500	862500	863755,30
Culata	1,5	18,13	2153,47	3257,40	38	15000	570000	855000	858257,40
Bomba de agua	5	19,14	140,00	795,70	5,5	15000	82500	412500	413295,70
Radiador	4	19,14	140,00	636,56	6,2	15000	93000	372000	372636,56
Árbol de levas	0,3	19,14	5408,75	1628,37	8	15000	120000	36000	37628,37

Tabla 4.22. Tabla resumen de la Cuantificación del Riesgo Total Anualizado.

La representación gráfica de la figura 4.26 permite visualizar claramente la jerarquización:

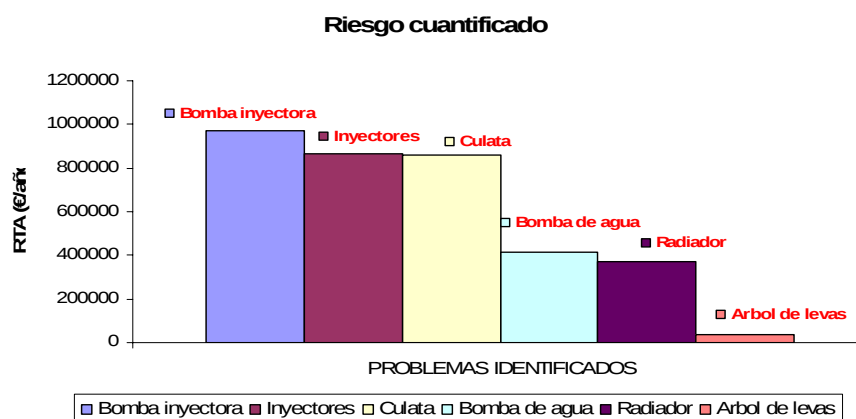


Figura 4.26. Jerarquización de elementos según la Técnica de RTA.

Los más críticos son la bomba inyectora y los inyectores, este hecho es complementario al resultado del análisis de criticidad, lo que permite asegurar que los problemas críticos de los equipos se centran en el *Sistema de Inyección*, compuesto por la bomba inyectora y los inyectores.



4.6. Aplicación de la Técnica de Análisis Causa-Raíz a la Bomba Inyectora

Es una metodología que permite de forma sistemática, identificar las causas raíces primarias de los problemas, para luego aplicar correctivos (soluciones) que las eliminen de forma definitiva.

1. Formación del Equipo de Trabajo. Como se explicó en el apartado 2.3.3 del documento, el equipo de trabajo es la primera fase antes de abordar la realización de un análisis causa-raíz, en este punto del proyecto, el equipo natural de trabajo ya está construido y forman parte de él un mecánico de la subcontrata de mantenimiento de TRANSMAR, S.L., otro mecánico del taller que repara las bombas inyectoras, una persona que conduce el análisis y un experto en aplicación de metodologías de gestión de mantenimiento.
2. Definición y Listado de Problemas

Que: Se ha producido un fallo es una bomba inyectora, la máquina se ha parado y existe un retraso en la producción.

Cuando: Recogemos en la tabla adjunta (ver tabla 4.23) los valores de la frecuencia de eventos en la bomba inyectora para el horizonte temporal de estudio.

Periodo	Número de Fallos
Año 2002	2
Año 2003	1
Año 2004	4

Tabla 4.23. Frecuencia de fallos por año de la bomba inyectora.

Donde: Los eventos se han registrado en las grúas de TRANSMAR, S.L. que tienen instalado un motor cummins (RTG 9, 10, 12, 14, 16, 23 y 26).

Impacto: Los eventos solo han generado un alto impacto económico. Las cifras del impacto se recogen a continuación (ver tabla 4.24):



Concepto	Descripción	Impacto Económico
Producción	20 h de parada no programada	300.000€
Mantenimiento	Coste de Materiales	2.500€
	Coste de Mano de Obra	382,60€

Tabla 4.24. Impacto Económico de los fallos de la bomba inyectora.

3. Diagnóstico y Determinación de las Causas Raíces

Las fases involucradas en este punto del análisis son:

3.1. Establecimiento de las Evidencias Físicas. Estas evidencias son las evidencias reales encontradas una vez que ocurre el incidente o evento de paro imprevisto (modos de fallos).

Un modo de fallo es el evento que origina la pérdida de la función (total o parcial) de un elemento.

En el caso de la bomba inyectora, las primeras evidencias que podemos suponer son las siguientes:

- Puede ser un problema con el filtro (obstruido o dañado).
- Puede ser un problema en la circulación por las tuberías.
- Puede ser un fallo en el sistema eléctrico y/o de control.
- Puede ser un fallo en algún elemento del sistema mecánico.
- Puede ser un problema del propio combustible.



De esta forma construimos el esquema siguiente (ver figura 4.27).

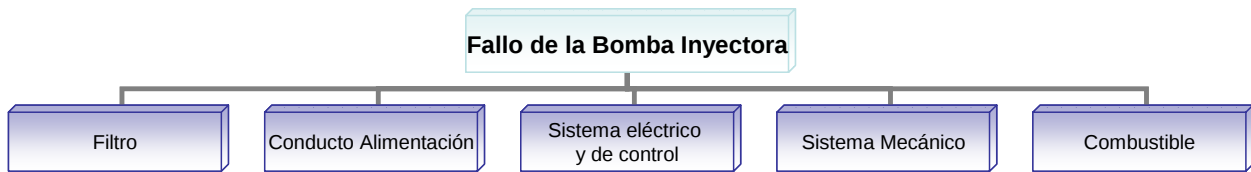


Figura 4.27. Fallos en la bomba inyectora

3.2. Establecimiento de las Hipótesis

A raíz de generar las primeras evidencias, se desarrollan las hipótesis de los posibles mecanismos que han originado los fallos. Las hipótesis dan respuesta al cómo ha podido ocurrir el fallo.

Las hipótesis han de ser contrastadas convenientemente dentro del grupo natural de trabajo; en caso negativo se desechan y en caso afirmativo se convierten, normalmente, en una causa raíz física.

A continuación, se especifican las hipótesis para cada una de las evidencias físicas (ver figuras 4.28 hasta 4.32).

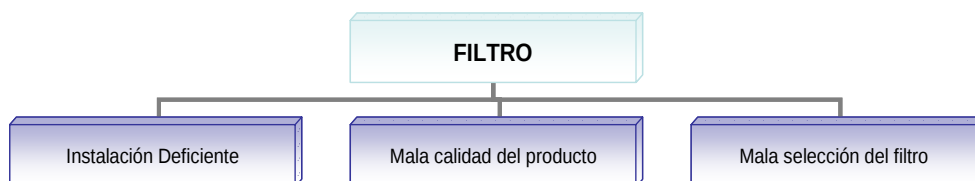


Figura 4.28. Hipótesis de fallo en el filtro

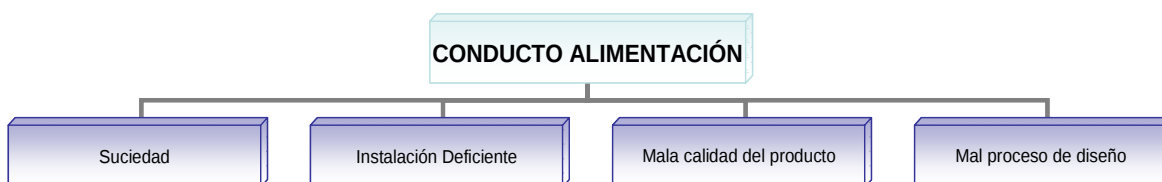


Figura 4.29. Hipótesis de fallo en el conducto de alimentación



Figura 4.30. Hipótesis de fallo en el sistema eléctrico y de control

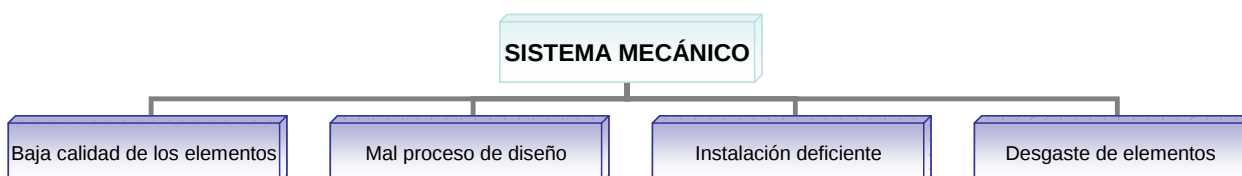


Figura 4.31. Hipótesis de fallo en el sistema mecánico

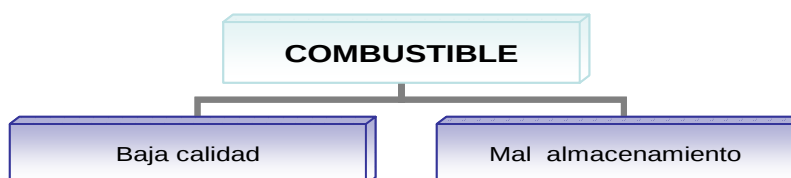


Figura 4.32. Hipótesis de fallo en el combustible



3.3. Validación de las Hipótesis

En una siguiente reunión, y una vez se han establecido convenientemente todas las hipótesis, el equipo natural de trabajo comienza con el proceso de validación de las mismas.

Los diagramas de este tercer módulo son los siguientes:

Validación de la Hipótesis de problemas en el **filtro** (ver figura 4.33).

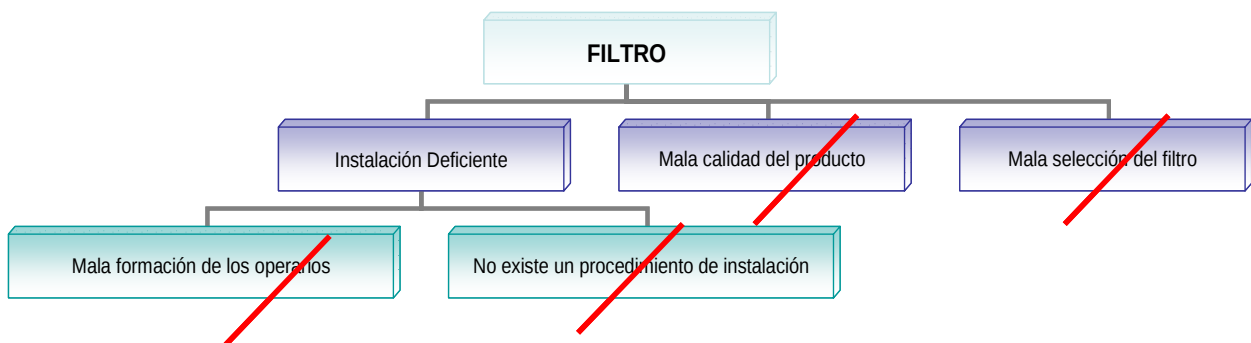


Figura 4.33. Validación de hipótesis de fallo en el filtro

Instalación deficiente: Los problemas de una instalación inadecuada del filtro pueden originarse desde dos focos:

- *Mala Formación de los Operarios*: Se descarta debido a que los operarios poseen un nivel de conocimientos suficiente para realizar su labor, y han sido previamente formados en los equipos que manejan.
- *No existe un Procedimiento de Instalación*: Se descarta debido a que en la organización existen los manuales necesarios para realizar las instalaciones de cualquier elemento de acuerdo a unos estándares definidos.

Mala Calidad del Producto: Se desecha ya que en materia de piezas y equipos la organización realiza las compras a los servicios oficiales homologados



correspondientes y se chequean los materiales a la recepción y previamente a su instalación en los equipos.

Mal Proceso de Selección: Se descarta debido a que el equipo cumple con las funciones para el cual está siendo requerido.

Validación de la Hipótesis de problemas en el **conducto de alimentación** (ver figura 4.34).

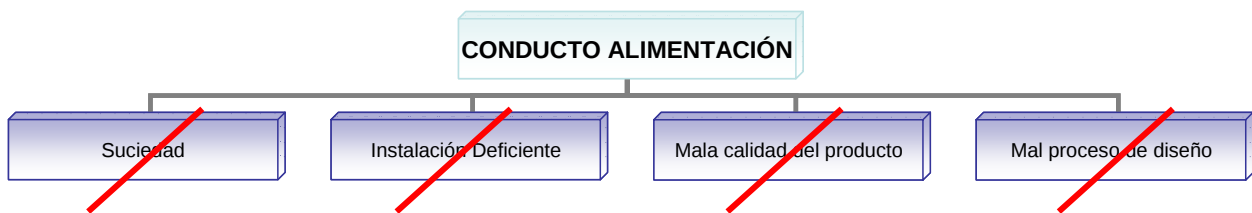


Figura 4.34. Validación de hipótesis de fallo en la tubería

Problemas de Suciedad: Se realiza una inspección de la tubería y se observa que el elemento no posee unos niveles de suciedad elevados que puedan ser causantes de los problemas en las bombas.

Instalación Deficiente: Se descartan debido a la formación adecuada de los operarios, a la escasa dificultad de montaje del sistema y a que no se observa que existan fugas de caudal en ninguna zona del elemento.

Mala Calidad del Producto: Se desecha ya que en materia de piezas y equipos la organización realiza las compras a los servicios oficiales homologados correspondientes.

Mal Proceso de Diseño: Se descarta debido a que el equipo cumple con las funciones para el cual está siendo requerido.



Validación de la Hipótesis de problemas en los **Sistemas Eléctricos y de Control** (ver figura 4.35).

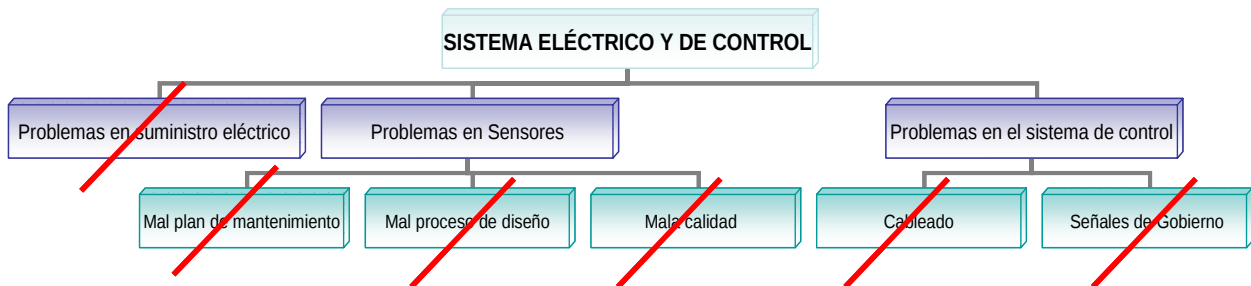


Figura 4.35. Validación de hipótesis de fallo en el sistema eléctrico y de control

Problemas de Suministro Eléctrico: Se descartan debido a que no existen indicios reales en la organización de problemas con el suministro eléctrico, además, las mediciones que se realizan en los equipos indican que los niveles del suministro eléctrico están en un rango que permite el funcionamiento correcto de los equipos.

Problemas en los Sensores: Los problemas en los sensores pueden originarse desde tres focos distintos:

- *Mal Plan de Mantenimiento*: Se descarta debido a que las condiciones de operación y el plan de mantenimiento, consistente en sustituciones cíclicas de los mismos, se adecuan a las recomendaciones de los fabricantes.
- *Mal proceso de Diseño*: Se descarta debido a que tras el chequeo de los equipos, se observa que cumplen con sus funciones.
- *Mala calidad de los productos*: Se desecha ya que en materia de piezas y equipos la organización realiza las compras a los servicios oficiales homologados correspondientes.

Problemas en el sistema de control: Los problemas en el sistema de control referentes al cableado y a la transmisión de señales de gobierno también se descartan ya que el origen de los mismos es análogo al de los sensores y se descarta por los mismos motivos que los anteriores.

Validación de la Hipótesis de problemas en el **Sistema Mecánico** (ver figura 4.36).

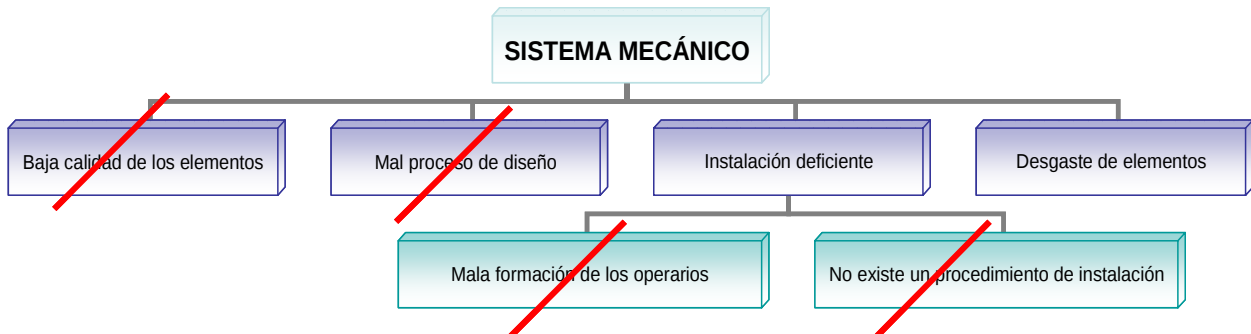


Figura 4.36. Validación de hipótesis de fallo en el sistema mecánico

Problemas Baja calidad de los elementos: Se desecha ya que en materia de piezas y equipos la organización realiza las compras a los servicios oficiales homologados correspondientes.

Mal proceso de diseño: Se descartan debido a la formación adecuada de los operarios, a la escasa dificultad de montaje del sistema y a que no se observa que existan fugas de caudal en ninguna zona del elemento.

Instalación deficiente: Se descarta debido a que el equipo cumple con las funciones para el cual está siendo requerido.

- *Mala Formación de los Operarios*: Se descarta debido a que los operarios poseen un nivel de conocimientos suficiente para realizar su labor, y han sido previamente formados en los equipos que manejan.
- *No existe un Procedimiento de Instalación*: Se descarta debido a que en la organización existen los manuales necesarios para realizar las instalaciones de cualquier elemento de los distintos equipos.

Desgaste de elementos: No se descarta esta hipótesis debido a que existen indicios de partes desgastadas en los elementos.

Tras realizar un análisis de los elementos se concluye que el combustible arrastra partículas que generan un desgaste de la mecánica de la bomba inyectora.



Validación de la Hipótesis de problemas en el **Combustible** (ver figura 4.37).

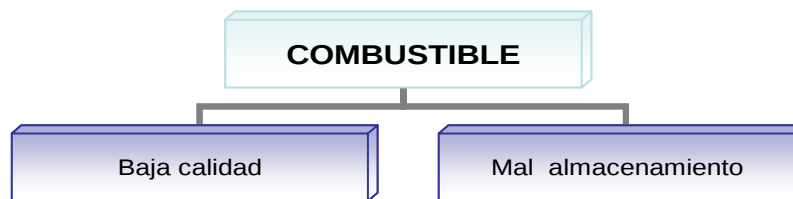


Figura 4.37. Validación de hipótesis de fallo en el combustible

Problemas Baja calidad Se elaboran análisis del combustible y se observa la presencia de un porcentaje muy elevado de agua y de sedimentos en el combustible.

Mal almacenamiento Los depósitos de almacenamiento están deteriorados, existen impurezas en el combustible que provienen directamente de las paredes interiores de los depósitos.

3.4. Identificación de las Causas Raíces

El siguiente paso es buscar las causas raíces de las hipótesis que se han verificado, de esta forma, el equipo natural de trabajo clasifica las causas de acuerdo a lo establecido en la metodología y propone las distintas soluciones a implantar.

a. Causa Raíz Física: Aquellas que engloban materiales y elementos tangibles.

El análisis del combustible arroja la existencia de un porcentaje muy alto de agua y de impurezas, de esta forma existe una causa raíz física de los problemas en la bomba inyectora, la mala calidad del combustible está generando un desgaste en los elementos mecánicos de la bomba y un mal funcionamiento de la misma, que provocan a su vez la pérdida de función del elemento.



Adicionalmente, este hecho deriva en problemas en los inyectores, ya que las partículas mecánicas de la bomba inyectora, que van a circular en el combustible, generan desgaste en el inyector y problemas de obstrucción en la boquilla de salida de los mismos.

b. Causa Raíz Humana: Aquellas que generan fallos debidos a la intervención inapropiada de un ser humano.

No hay realmente una causa raíz humana porque no hay intervención humana sobre el combustible entre su compra y su utilización.

c. Causa Raíz Latente: Aquellas generadas por una deficiencia en los sistemas gerenciales y administrativos (procedimientos, instrucciones técnicas,...).

Existen dos causas raíces latentes, una se fundamenta en el hecho de no existir un procedimiento para el control de calidad del combustible adquirido, se intenta conseguir un ahorro económico importante con la compra de combustible y se adquiere uno inadecuado.

La otra causa raíz latente está establecida en base a la no existencia de un procedimiento de mantenimiento para los depósitos donde se encuentra el combustible adquirido, de esta forma, aparecen infiltraciones de humedad en el combustible, que generan un aumento del porcentaje de agua en el mismo; además, el desgaste de las paredes del depósito provoca la inclusión de partículas en el combustible.

4. Identificación en Implantación de Soluciones

Finalmente, el análisis causa-raíz concluye en los problemas con la calidad del combustible adquirido y de los depósitos de almacenamiento (ver figura 4.38).

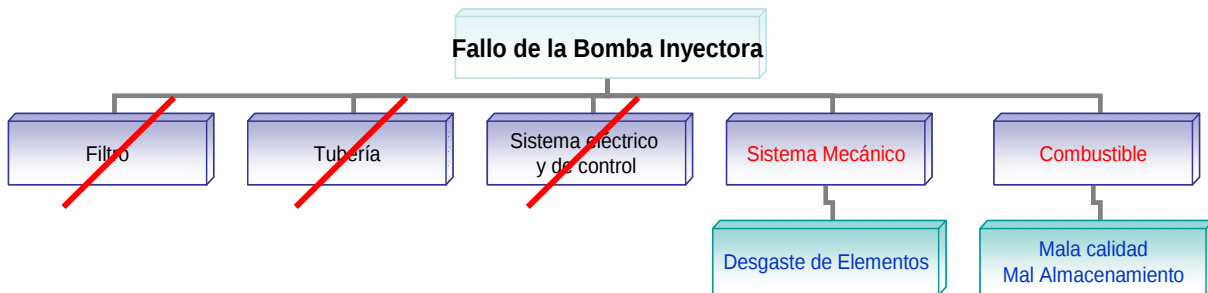


Figura 4.38. Identificación de las Soluciones

Las soluciones a implantar son:

- Sustitución del combustible adquiriendo uno de mayor calidad.
- Sustitución de los depósitos de almacenamiento actuales, adquiriendo unos nuevos cuyas paredes no se desgasten por la acción del combustible y que impidan las infiltraciones de humedad desde el exterior hacia el combustible.

Las soluciones deben seleccionarse si evitan o reducen realmente la aparición de fallos y si está justificada su implantación. Desde un punto de vista técnico siempre es aconsejable implantar las soluciones, pero a menos que la recurrencia del fallo genere problemas legales o de seguridad, la solución tiene que ser justificada económicamente y las consideraciones técnicas no serían suficientes.

En cuanto a la sustitución del combustible no existen problemas debido a que la organización tiene en espera de apertura una refinería que abastezca de combustible a sus equipos. No obstante, la sustitución de los depósitos si tiene que estar justificada, de esta forma planteamos un *Análisis Coste- Beneficio -Riesgo* para justificar su aplicación.



El análisis consiste en cuantificar la situación actual y compararla con una situación futura (posterior al cambio propuesto), para ello aplicamos la metodología de *evaluación del riesgo expresado en Costes Anuales Equivalentes*.

La sistemática a seguir es:

Realizar la evaluación de la Situación Inicial con el fallo que se ha detectado.

Realizar la evaluación de la Situación Final sin el fallo.

Calcular los beneficios de la implantación para concluir si es viable o no acometer la implantación de la solución.

Evaluación de la situación actual (ver tabla 4.25)

Análisis Coste Riesgo Beneficio (ACRB)

Paros Bomba Inyectora-- Evento: Problema con el combustible			
	Mínimo	Máximo	Unidades
1. Frecuencia Fallos	2	6	fallos/año
2. Costes Mano obra	18,78	19,15	€
3. Costes Materiales	2222,15	2492	€
4. Costes anuales reparar (2 + 3) * (1)	4481,86	15066,9	€/año
5. Tiempo de reparación	4	16	horas
6. Impacto producción	15000	15000	€/horas
7. Penalización evento (5 * 6)	60000	240000	€
8. Penalización anual * fallos (7 * 1)	120000	1440000	€/año
Riesgo total anualizado: (4) + (8)	124481,86	1455066,9	€/año

Tabla 4.25. ACRB. Situación Inicial



Evaluación de la situación futura (ver tabla 4.26)

Análisis Coste Riesgo Beneficio (ACRB)

Paros Bomba Inyectora-- Solución propuesta: Sustitución de depósitos			
	Mínimo	Máximo	Unidades
1. Frecuencia Fallos	0,5	2	fallos/año
2. Costes Mano obra	18,78	19,15	€
3. Costes Materiales	2222,15	2492	€
4. Costes anuales reparar (2 + 3) * (1)	1120,57	5022,3	€/año
5. Tiempo de reparación	4	16	horas
6. Impacto producción	15000	15000	€/horas
7. Penalización evento (5 * 6)	60000	240000	€
8. Penalización anual * fallos (7 * 1)	30000	480000	€/año
Riesgo total anualizado: (4) + (8)	31120,57	485022,3	€/año

Tabla 4.26. ACRB. Situación Futura

Beneficios del cambio (ver tabla 4.27)

Análisis Coste Riesgo Beneficio (ACRB)

Paros Bomba Inyectora-- Solución propuesta: Sustitución de depósitos			
	Mínimo	Máximo	Unidades
Situación actual:			
Costes anuales reparar	4481,86	15066,9	€/año
Penalización anual * fallos	120000	1440000	€/año
Riesgo total:	124481,86	1455066,9	€/año
Situación futura control combustible:			
Costes anuales reparar	1120,57	5022,3	€/año
Penalización anual * fallos	30000	480000	€/año
Riesgo total esperado:	31120,57	485022,3	€/año
Beneficio del cambio:			
Costes de reparación	3361,29	10044,6	€/año
Penalización por fallos	90000	960000	€/año
Beneficios totales:	93361,29	970044,6	€/año

Tabla 4.27. ACRB. Beneficios del cambio



Podemos ver los importantes beneficios que pueden realizarse con los cambios propuestos. Estas soluciones previenen o mitigan el problema sin crear problemas adicionales.

La organización decidió realizar la inversión en los depósitos nuevos, cuyo coste aproximado era de **250.000€** la amortización de los mismos se prevé para un corto plazo de 3 años.

5. Evaluación de la Efectividad de las Soluciones

Queda pendiente la evaluación de la efectividad de las soluciones que habría de realizarse auditando la nueva situación real que aparece tras la adquisición de los depósitos.



4.7. Aplicación de la Metodología RCM a los Inyectores Cummins

La misión del inyector es asegurar la introducción dosificada, pulverización y reparto del gasoil en la cámara o en la precámara de combustión. El inyector recibe el gasoil de la bomba de inyección con la presión necesaria para provocar la apertura del inyector, que a su vez enviará el diesel al cilindro.

1. Selección del sistema y definición del contexto operacional. El sistema elegido, por sus condiciones de criticidad son los inyectores de los equipos con motor cummins. Según la evaluación del histórico de fallos, aparecen entre 5 y 6 fallos cada año, lo que conduce a un fallo cada 1/5 o 1/6 de año, como la media de horas de funcionamiento de las grúas es de 7000 horas por año, se estima que aparece un fallo cada 1400 horas de funcionamiento del motor.

Comenzamos el estudio realizando el diagrama EPS (Entrada-Proceso-Salida) que nos fijará los límites objeto de estudio y la lista los componentes del equipo que realmente son objeto de análisis (ver figura 4.39).

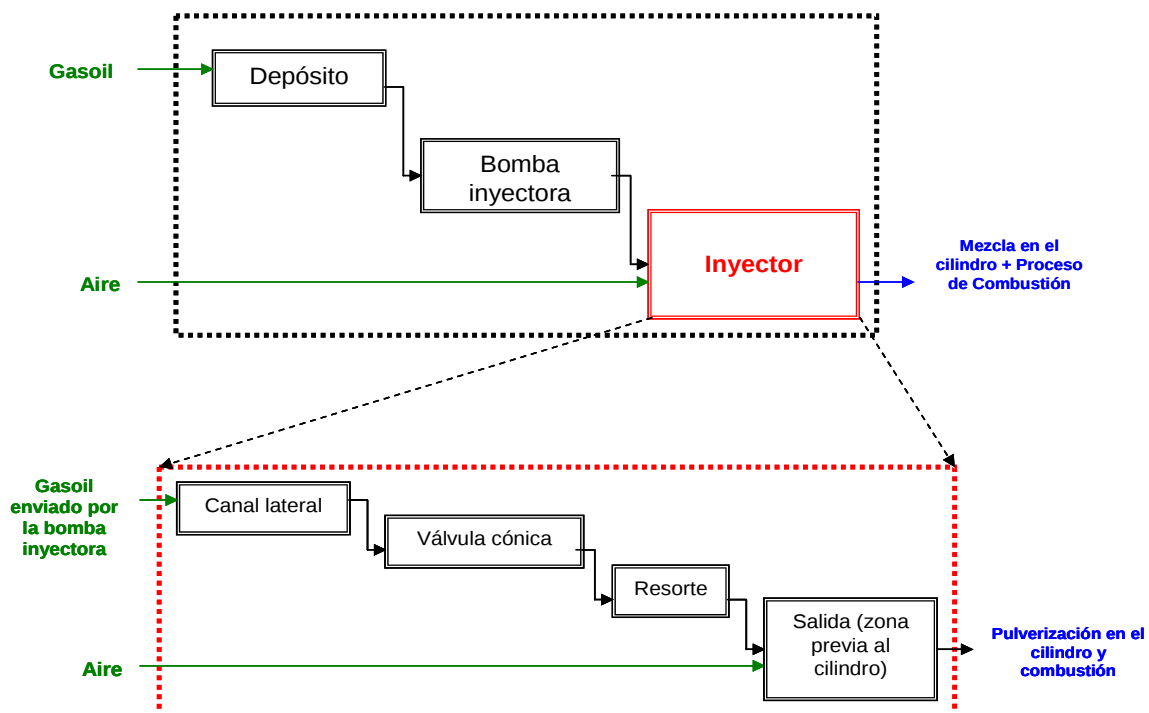


Figura 4.39. Diagrama funcional del proceso del sistema de inyección del motor cummins



2. Determinación de las funciones del sistema. En el sistema de inyección de un motor diesel los inyectores, dentro de sus correspondientes portainyectores, son los nexos entre la bomba de inyección y el motor.

Las funciones del elemento son:

- Realizar la inyección del combustible de forma dosificada y en las condiciones óptimas de operación.
- Generar las condiciones óptimas de la corriente de combustible que inyecta.
- Estanqueizar la cámara de combustión.

El carburante diesel es inyectado a alta presión, los valores en el caso de inyección directa oscilan entre 150 y 300 atmósferas.

La velocidad de inyección ronda el metro por segundo y durante el proceso, el inyector limita la cantidad de carburante que llega a la cámara de combustión, ya que un problema en el mismo genera condiciones no operativas de inyección y por lo tanto bajo o nulo rendimiento de la combustión en el motor.

El inyector, debido a su tamaño, longitud y forma del orificio de salida, afecta a la preparación del combustible, interviniendo activamente en la potencia, consumo y emisiones del motor.

El transcurso deseado de la inyección se consigue mediante una “correcta” regulación de la sección de la corriente que atraviesa el inyector (dependiente de la carrera de la aguja del mismo) y por la regulación del movimiento de la aguja del inyector. Finalmente, también debe ser capaz de estanqueizar el sistema de inyección para protegerlo de los gases calientes de la combustión, que pueden alcanzar a temperaturas próximas a 1000°C. El posible retorno de estos gases, cuando el inyector está “abierto”, se evita estableciendo una presión en el interior de su cámara superior a la presión de combustión, por este motivo, es de especial importancia que al final del proceso de inyección, cuando la presión interior esté en descenso y la de combustión sea elevada, exista un ajuste perfecto entre la bomba inyectora, el inyector y el muelle de presión.



Como conclusión tenemos que:

Función Primaria del Inyector es realizar la inyección de combustible diesel en la cámara de combustión en condiciones de presión que oscile en el rango 150-300 atmósferas, evitando además la recirculación de los gases de combustión.

Función Secundaria 1 del Inyector: Alimentar a la cámara de combustión en el rango de condiciones de operación.

Función Secundaria 2 del Inyector: Evitar que existan fugas de combustible.

3. Determinación de los fallos funcionales. En este apartado detallamos los fallos asociados a las funciones definidas en el apartado anterior:

Función Primaria: Realizar la inyección de combustible diesel en la cámara de combustión en condiciones de presión que oscile en el rango 150-300 atmósferas, evitando además la recirculación de los gases de combustión.

- Fallo Funcional Primario 1: No ser capaz de inyectar combustible diesel en la cámara de combustión.
- Fallo Funcional Primario 2: No establecer las condiciones de presión suficientes que eviten la recirculación de los gases de combustión.

Función Secundaria 1: Alimentar a la cámara de combustión en el rango de condiciones de operación.

- Fallo Funcional Secundario 1: No ser capaz de inyectar combustible diesel en la cámara de combustión dentro del rango de presiones de operación, por defecto, inyectando carburante a una presión inferior a 150 atmósferas, o por exceso inyectándolo por encima de las 300 atmósferas.



Función Secundaria 2: Evitar que existan fugas de combustible.

- Fallo Funcional Secundario 2: No ser capaz de evitar que existan fugas de combustible.

4. Identificación de los modos de fallos. Para cada uno de los fallos funcionales definidos con anterioridad establecemos sus modos de fallo:

Fallo Funcional Primario 1: No ser capaz de inyectar combustible diesel en la cámara de combustión.

- Modo de Fallo Primario 1A: Acumulación de impurezas en la tobera del inyector que evita la salida del carburante.

Fallo Funcional Primario 2: No establecer las condiciones de presión suficientes que eviten la recirculación de los gases de combustión.

- Modo de Fallo Primario 2A: Desgaste excesivo del muelle de presión.

Fallo Funcional Secundario 1: No ser capaz de inyectar combustible diesel en la cámara de combustión dentro del rango de presiones de operación.

- Modo de Fallo Secundario 1A: Acumulación de impurezas en la tobera del inyector que evita parcialmente la salida del carburante.
- Modo de Fallo Secundario 1B: Desgaste excesivo de la tobera que produce una mala pulverización del combustible.

Fallo Funcional Secundario 2: No ser capaz de evitar que existan fugas de combustible.

- Modo de Fallo Secundario 2A: Aparición de fisuras y grietas por problemas de corrosión en el inyector.

5. Determinación de los efectos y consecuencias de los fallos. Para determinar los efectos y consecuencias de los fallos empleamos el siguiente diagrama de bloques (ver figura 4.40).

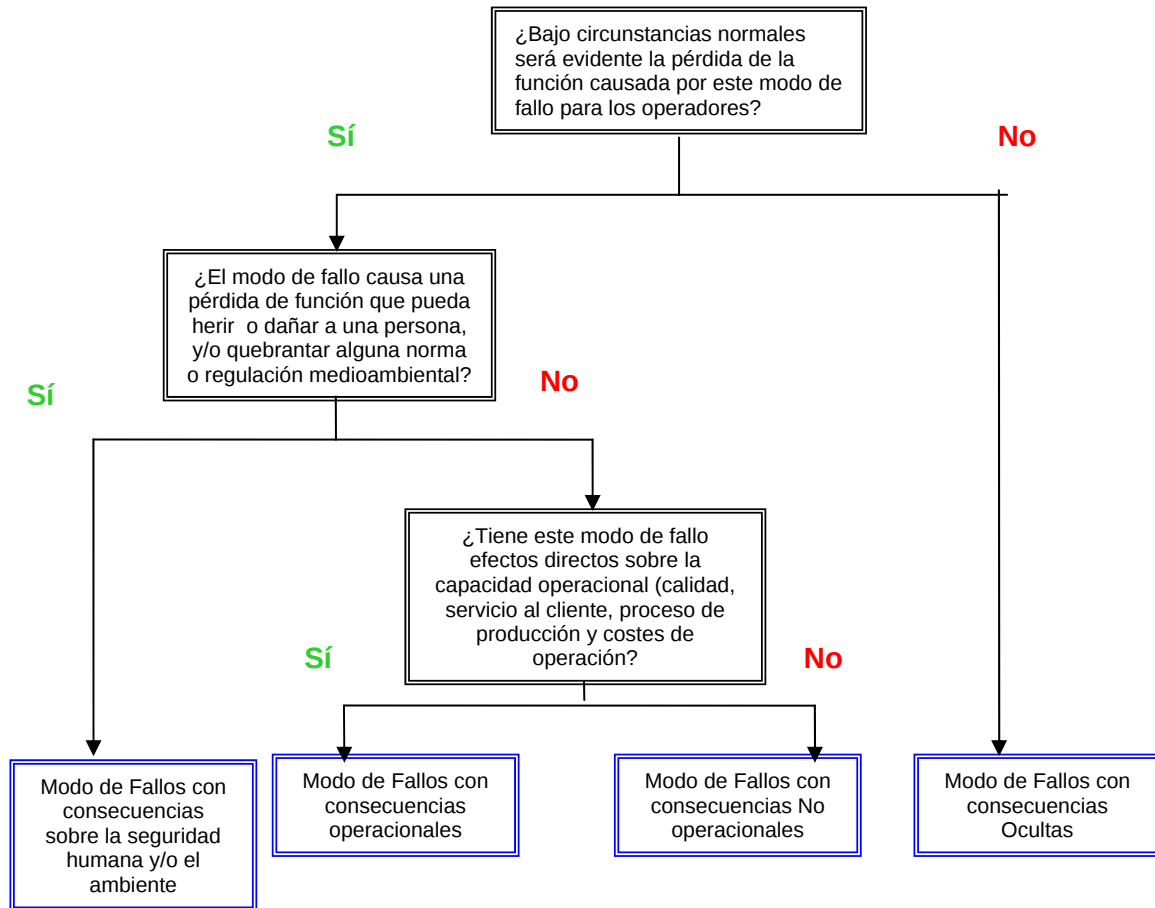


Figura 4.40. Lógica de determinación de efectos y consecuencias de fallos

Los modos de fallo anteriormente establecidos, son siempre evidentes para los operarios en circunstancias normales, la pérdida de función asociada, en principio, no daña a ninguna persona ni quebranta ninguna norma o ley, salvo el modo de fallo secundario 2A, que también afectará al medio ambiente, y provocan un alto impacto operacional ya que derivan en una mala combustión en el motor que hará que el rendimiento de éste sea muy bajo e incluso nulo, degenerando en una parada completa de la grúa y por lo tanto provocando un aumento de los costes y disminución de la producción, que derivarán en una mala calidad en el servicio al cliente.

6. Aplicación de la hoja de decisión. Una vez identificadas las consecuencias por cada modo de fallo, tenemos que identificar el tipo de actividad de mantenimiento, apoyándose en el árbol de decisión del RCM, que se presenta a continuación (ver figura 4.41).

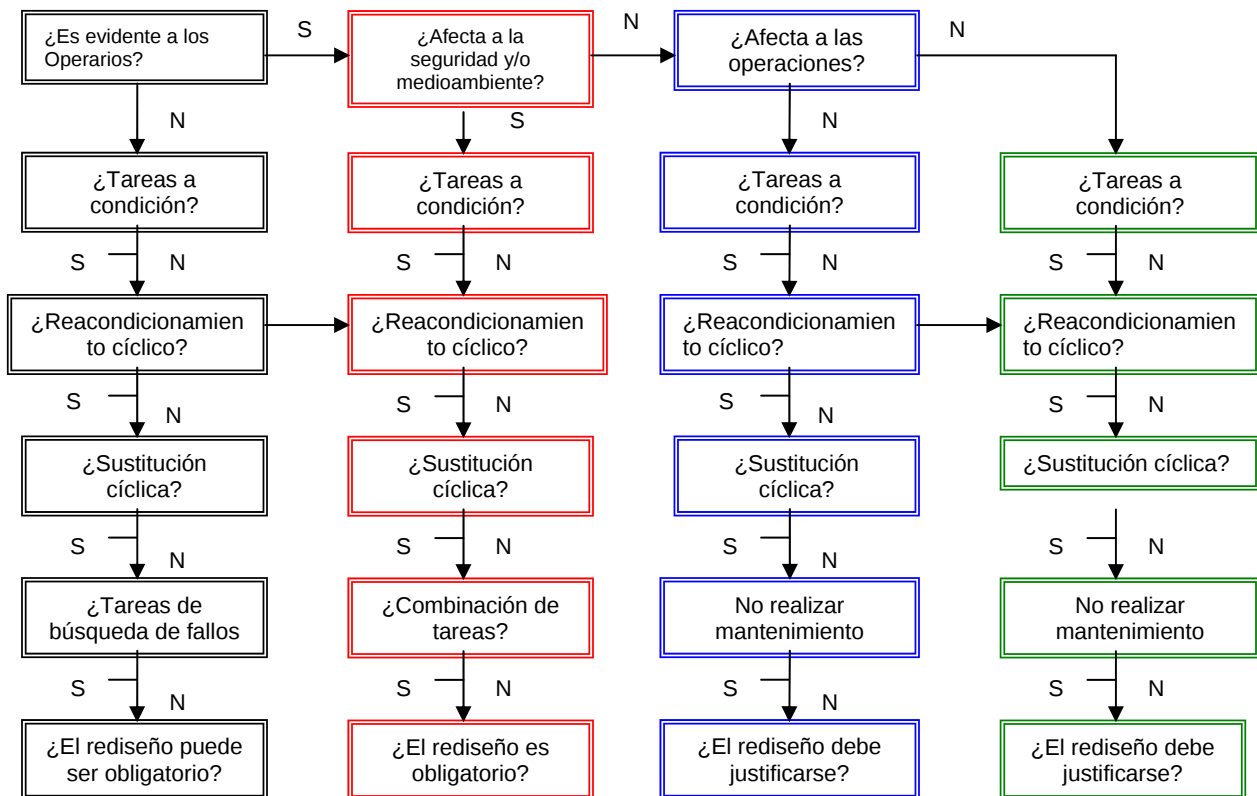


Figura 4.41. Hoja de decisión del RCM

Aplicamos el flujograma de decisión para los modos de fallo definidos con anterioridad:

Modo de Fallo Primario 1A: Acumulación de impurezas en la tobera del inyector que evita la salida del carburante.

- ¿Evidente a los Operarios?: SI.
- ¿Afecta a la seguridad o al medio ambiente?: NO.
- ¿Afecta a las operaciones?: SI.
- ¿Tareas a condición? No se implementa ninguna acción de mantenimiento predictivo.



- ¿Reacondicionamiento cíclico? Se realizan limpiezas de la tobera del inyector cada 5400 horas, dentro de una operación de mantenimiento preventivo.

Modo de Fallo Primario 2A: Desgaste excesivo del muelle de presión. Este modo de fallo no ha ocurrido

- ¿Evidente a los Operarios?: SI.
- ¿Afecta a la seguridad o al medio ambiente?: NO.
- ¿Afecta a las operaciones?: SI.
- ¿Tareas a condición? No se implementa ninguna acción de mantenimiento predictivo.
- ¿Reacondicionamiento cíclico? No se realiza reacondicionamiento cíclico.
- ¿Sustitución Cíclica? Se realiza una sustitución del muelle cada 5400 horas de funcionamiento.

Modo de Fallo Secundario 1A: Acumulación de impurezas en la tobera del inyector que evita parcialmente la salida del carburante.

- ¿Evidente a los Operarios?: SI.
- ¿Afecta a la seguridad o al medio ambiente?: NO.
- ¿Afecta a las operaciones?: SI.
- ¿Tareas a condición? No se implementa ninguna acción de mantenimiento predictivo.
- ¿Reacondicionamiento cíclico? Se realiza una limpieza de la tobera cada 5400 horas de funcionamiento.

Modo de Fallo Secundario 1B: Desgaste excesivo de la tobera que produce una mala pulverización del combustible.

- ¿Evidente a los Operarios?: SI.
- ¿Afecta a la seguridad o al medio ambiente?: NO.
- ¿Afecta a las operaciones?: SI.
- ¿Tareas a condición? No se implementa ninguna acción de mantenimiento predictivo.



- ¿Reacondicionamiento cíclico? No se realiza reacondicionamiento cíclico.
- ¿Sustitución Cíclica? Se realiza una sustitución de la tobera cada 10.800 horas de funcionamiento.

Modo de Fallo Secundario 2A: Aparición de fisuras y grietas por problemas de corrosión en el inyector.

- ¿Evidente a los Operarios?: SI.
- ¿Afecta a la seguridad o al medio ambiente?: NO.
- ¿Afecta a las operaciones?: SI.
- ¿Tareas a condición? No se implementa ninguna acción de mantenimiento predictivo.
- ¿Reacondicionamiento cíclico? No se realiza reacondicionamiento cíclico.
- ¿Sustitución Cíclica? Se realiza una sustitución del inyector completo cada 10.800 horas de funcionamiento.



7. Resumen del estudio y conclusiones (ver tabla

Función	Tipología	Fallo Funcional	Modo de Fallo	Frecuencia de Fallo	Efecto del Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar
Primaria	1A	No ser capaz de inyectar combustible diesel en la cámara de combustión	Acumulación de impurezas en la tobera del inyector que evita la salida del carburante	5 o 6 veces por año	No se inyecta carburante en la cámara de combustión y no es posible el funcionamiento de la grúa	Preventivo. Reacondicionamiento cíclico cada 5400h	Limpieza de la Tobera.
Primaria	2A	No establecer las condiciones de presión suficientes que eviten la recirculación de los gases de combustión	Desgaste excesivo del muelle del inyector	No ha ocurrido	No se establecen las condiciones de presión suficientes que eviten la recirculación de los gases de combustión	Preventivo. Reacondicionamiento cíclico cada 5400h	Sustitución del muelle.
Secundaria	1A	Acumulación de impurezas en la tobera del inyector que evita parcialmente la salida del carburante	Suciedad en el inyector que tapa la salida del inyector	5 o 6 veces por año	No se produce una inyección en condiciones óptimas.	Preventivo. Reacondicionamiento cíclico cada 5400h	Limpieza de la Tobera.
Secundaria	1B	Desgaste excesivo de la tobera que produce una mala pulverización del combustible	Desgaste excesivo de la tobera que produce una mala pulverización del combustible	5 o 6 veces por año	No se produce una inyección en condiciones óptimas.	Preventivo. Reacondicionamiento cíclico cada 10800h	Sustitución de la tobera



Secundaria	2A	Aparición de fisuras y grietas por problemas de corrosión en el inyector	Aparición de fisuras y grietas por problemas de corrosión en el inyector	No ha ocurrido	No se produce una inyección en condiciones óptimas. Problemas medioambientales	Preventivo. Reacondicionamiento cíclico cada 10800h	Sustitución del inyector
------------	----	--	--	----------------	--	---	--------------------------

Tabla 4.28. Resumen Planes de mantenimiento de los inyectores

Con carácter genérico se establece el siguiente plan de mantenimiento:

- Introducción en el plan de mantenimiento preventivo de 5400 horas las siguientes operaciones:
 - Limpieza completa del inyector.
 - Sustitución del muelle del inyector.
- Introducción de una acción de mantenimiento preventivo cada 10.800 horas consistente en sustituir todo el inyector por un repuesto nuevo.

Además, el plan de mantenimiento que se detalla se ajusta a las condiciones actuales de los equipos, no obstante, los problemas de desgaste del inyector se esperan, debido a que son causados por las impurezas que arrastra el combustible, que desaparezcan tras la sustitución de los depósitos de combustible y la del propio combustible por otro de mayor calidad.