

Diseño del plan de mantenimiento del sistema de embalado de una planta de R.S.U. mediante la aplicación de RCM2



Proyecto fin de carrera

Junio de 2013

Alumno: Ajax Ruiz Esquivias

Tutor: Víctor Lissen Ortega

ÍNDICE

1. - Introducción	2
2. - Objeto del proyecto	3
3. - Breve exposición de las bases del método RCM2	4
4. - El contexto operacional.....	20
4.1 - Sobre la planta de procesamiento de RSU y la materia prima	20
4.2. - El activo. Descripción de sus componentes	25
5. - Relación y evaluación de modos de fallo y fallos funcionales (AMFE).....	52
5.1 - Funciones principales	52
5.2 - Relación y evaluación de modos de fallo y fallos funcionales (AMFE).....	55
6. - Hoja de decisión RCM. Plan de mantenimiento.....	56
6.1 - Hoja de decisión RCM.....	56
6.2 – Lista de tareas.....	56
7. - Conclusiones.....	57
8. - Bibliografía.....	59
9. - Anexos	60
Anexo I - Hoja de información del AMFE.....	61
Anexo II - Hoja de decisión RCM.....	92
Anexo III - Lista de tareas.....	111
Anexo IV - Esquema del circuito hidráulico	117

1 – Introducción

El presente proyecto se redacta con carácter de proyecto final de carrera para la titulación de Ingeniero Técnico Industrial especialidad en Mecánica.

El plan de mantenimiento elaborado en este proyecto se aplica a una prensa embaladora que se encuentra situada al final de la línea de procesado de una planta de separación de residuos sólidos urbanos, que en adelante denominaremos como R.S.U. El sistema elegido para la elaboración de dicho plan es la metodología RCM2, también conocida como mantenimiento centrado en la fiabilidad. Basándose en los requerimientos de funcionamiento y sobre todo en el contexto en el que la máquina opera este método permite reducir considerablemente las operaciones destinadas al mantenimiento de la máquina, permitiendo definir sistemáticamente estrategias de mantenimiento con mejores resultados en lo que respecta a la seguridad, el medio ambiente y la productividad.

Para la elaboración del plan se presenta en este proyecto información sobre la planta industrial y el proceso que se lleva a cabo en ella, así como sobre la metodología en sí.

El proyecto consta de los siguientes documentos:

- Memoria
- Hoja de información RCM
- Hoja de decisión RCM
- Lista de tareas
- Esquema del circuito hidráulico

El plan elaborado sirve a su vez como guía para posibles futuras aplicaciones de la metodología a diferentes elementos de la planta de procesado de R.S.U.

2 – Objeto del proyecto

El presente proyecto tiene como fin la confección de un plan de mantenimiento específico de aplicación a una prensa embaladora de R.S.U. mediante la metodología RCM2, siguiendo los pasos que se exponen a continuación

- Realización del estudio y análisis de los modos de fallo y efectos de estos (AMFE) del sistema en su contexto operacional
- Determinación de las tareas de mantenimiento a aplicar a los componentes de la máquina así como la frecuencia de realización de las mismas
- Proporcionar información que sirva como base para futuras mejoras del sistema y/o realización de planes de mantenimiento para otros activos de la planta

3 – Breve exposición de las bases del método RCM2

Sea cual sea la actividad industrial o sector en el que se realice una función cualquiera, es fácil llegar a la conclusión de que los activos físicos utilizados para dicha actividad se deben ser objeto de mantenimiento.

La característica principal del método RCM se basa en la interpretación que hace del significado de la palabra mantenimiento. Si bien la primera idea que sugiere es similar a la definición que la RAE hace de la palabra mantener (Conservar algo en su ser, darle vigor y permanencia), este método no está tanto aplicado a lo que un activo ES sino a lo que un activo HACE. En otras palabras, un activo físico es puesto en servicio porque alguien quiere que éste haga algo, es decir, se espera que cumpla una función o funciones específicas. Por tanto cambiando la manera tradicional de entender el significado de mantenimiento lo que se debe preservar es el estado en el que el activo físico continúa haciendo lo que sus usuarios desean que haga.

Tras esto podemos dar una definición de RCM como **“proceso utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieran que haga en su actual contexto operacional”**.

El mantenimiento en sí sirve a tres grupos de clientes – los propietarios de los activos, los usuarios (usualmente los operarios de éste) y la sociedad en su totalidad. De esta manera los propietarios de los activos estarán satisfechos si de estos obtienen un beneficio que justifique la inversión realizada para adquirirlos. Los usuarios de los activos estarán satisfechos si cada activo continúa haciendo lo que ellos desean que haga dentro de un funcionamiento que ellos consideren satisfactorio. La sociedad en su totalidad se verá satisfecha si los activos no fallan de tal forma que afecten a la seguridad pública o al medio ambiente.

- Las siete preguntas básicas

El método RCM formula las siguientes siete preguntas sobre el activo que se desea mantener:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de funcionamiento del activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en el cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Qué es lo que causa cada fallo en sus funciones?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre el fallo?
5. ¿Hasta qué punto y de qué forma importa si ocurre cada fallo?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada fallo?
7. ¿Qué ocurre si no se puede encontrar una tarea proactiva apropiada?

Funciones principales y estándares de funcionamiento

En la definición que se ha planteado del método RCM se indica que el objetivo es que el activo continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga, es decir, es necesario conocer las funciones del activo y por tanto lo que se va a considerar fallo funcional.

Por esta razón, el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, conjuntamente con los estándares de funcionamiento deseado. Los usuarios de los activos suelen ser, con mucha diferencia, los mejor posicionados para saber exactamente qué contribución hace cada activo al bienestar físico y financiero de la empresa en su totalidad, de modo que es esencial que se involucren en el proceso RCM desde el principio.

Fallos funcionales

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo pueden dejar de cumplirse cada una de ellos.

Los sucesos que implican una alta probabilidad de que un activo no cumpla con los estándares de funcionamiento que sus usuarios buscan se definen como fallos. En RCM, estos sucesos o estados son conocidos como fallos funcionales ya que impiden que el activo pueda cumplir con una función de acuerdo con los parámetros de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Además de la total incapacidad para realizar la función, esta definición abarca también los fallos parciales que ocasionan que el activo, aunque siga funcionando, lo haga a un nivel inaceptable en el que no pueda mantener niveles de calidad o precisión adecuados.

Modos de fallo

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de fallo que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir. Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada fallo. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de fallo debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis del fallo en sí mismo.

Los modos de fallo posibles incluyen aquellos que han ocurrido en equipos similares operando en el mismo contexto. Se deben incluir también fallos que están siendo prevenidos por operaciones de mantenimiento ya existentes y aquellos fallos que, aunque no han tenido lugar, son considerados posibles en el contexto actual.

Efecto del fallo

Cuando se identifica cada modo de fallo, los efectos de los fallos también deben registrarse, en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera.

En esta descripción se debe incluir toda la información necesaria que servirá para evaluar las consecuencias de cada fallo, tal como:

- Qué evidencia, si es que la hay, tenemos de que el fallo ha tenido lugar.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad de las personas o el medio ambiente, si es que los afecta.
- De qué manera afecta a la producción o las operaciones.
- Qué daños físicos ha causado el fallo.
- Qué debe hacerse para reparar el fallo una vez que ha tenido lugar.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras de las siete preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

Consecuencias del fallo

Una vez que se hayan determinado las funciones, los fallos funcionales, los modos de fallo y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y cuánto importa cada fallo. La razón de esto es que las consecuencias de cada fallo es lo que se debe evaluar para tomar la decisión de si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar de encontrar dichos fallos.

La única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo, que definiremos más adelante, no es evitar los fallos en si mismos sino evitar o reducir las consecuencias de dichos fallos.

El proceso RCM clasifica las consecuencias de los fallos en cuatro grupos de la siguiente manera:

- Consecuencias de los fallos no evidentes (fallos ocultos): Los fallos que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otros fallos con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata los fallos ocultos, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

- **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** Un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe la normativa gubernamental relacionada con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada fallo tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.
- **Consecuencias Operacionales:** Un fallo tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costes industriales que se sumen al coste directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.
- **Consecuencias no operacionales:** Los fallos evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la propia reparación.

Si un fallo tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

En este punto tenemos información suficiente para confeccionar lo que se conoce como Hoja de Información del RCM (también llamada hoja de registro del RCM) que se configura de la siguiente manera.

HOJA DE INFORMACIÓN		Equipo:		Realizado por:		Hoja 01 de 01		
		Referencia:		Fecha:				
	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO	EFECTO DEL FALLO	TIPO DE CONSECUENCIA	
1		A		1				1
				2				2
				3				3
		B		1				4
				2				5
				3				6

Fig. 4.1. Hoja de Información del RCM

- Las tareas de mantenimiento y su elección

La mayoría de la gente cree que el mejor modo de mejorar al máximo la disponibilidad de un activo es hacer algún tipo de mantenimiento de forma rutinaria. Supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión para un período y luego se deterioran rápidamente. El pensamiento tradicional sugiere que un histórico extenso acerca de los fallos anteriores permitirá determinar la duración de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar.

Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de fallo que sobresalgan de los demás. En particular, las características de desgaste se encuentran a menudo únicamente donde los equipos entran en contacto directo con el producto. El reconocimiento de estos hechos ha persuadido a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea del mantenimiento sistemático. De hecho, esto se puede considerar la decisión en lo que respecta a fallos que tengan consecuencias sin importancia. Pero cuando las consecuencias son significativas, se debe de hacer algo para prevenir los fallos, o por lo menos reducir sus consecuencias.

Las tareas o técnicas de mantenimiento se dividen en dos categorías:

- Tareas predictivas o proactivas: Se llevan a cabo antes de que ocurra el fallo, incluyendo lo que se conoce como mantenimiento predictivo o preventivo y añadiendo los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición.
- Tareas “a falta de”: Actúan directamente sobre los fallos y son escogidas cuando no es posible utilizar una tarea proactiva apropiada y efectiva.

RCM clasifica las tareas de mantenimiento de la siguiente manera:

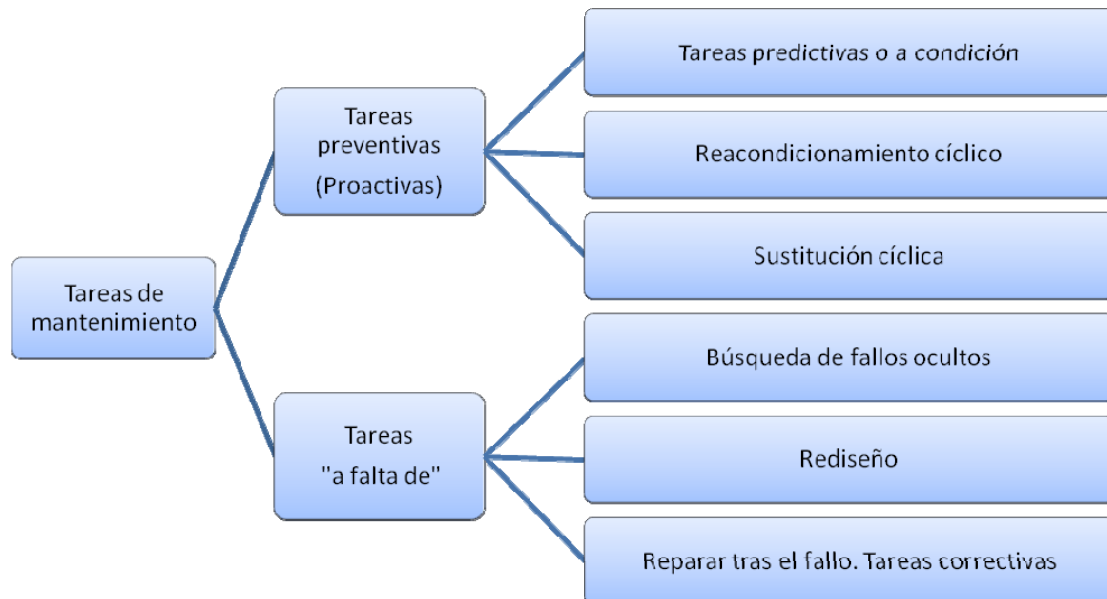


Fig. 4.2. Tareas de mantenimiento

A continuación se estudia cada una de las tareas utilizadas en RCM con más detenimiento.

Tareas a condición

La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de fallo y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, han llevado a la creación de nuevas técnicas de prevención de fallos. La mayoría de ellas se basan en el hecho de que la mayor parte de los fallos dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. Estas advertencias se conocen como fallos potenciales, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que está ocurriendo o va a ocurrir un fallo funcional.

En la figura se representa la evolución de una condición del activo con respecto al tiempo desde que el fallo comienza a ocurrir hasta que se da el fallo funcional. "F" representa el estado de fallo funcional que se desea evitar y "P" es el estado de fallo potencial definido en el párrafo anterior. Antes de alcanzar "P" el fallo no es detectable con lo que las tomas de datos realizadas antes proporcionarían referencias correctas; es por ello de vital importancia a la hora de aplicar esta técnica que los intervalos de toma de datos sean menores que el intervalo "P-F" ya que de otra manera el fallo podría tener lugar entre una toma de datos y la siguiente.

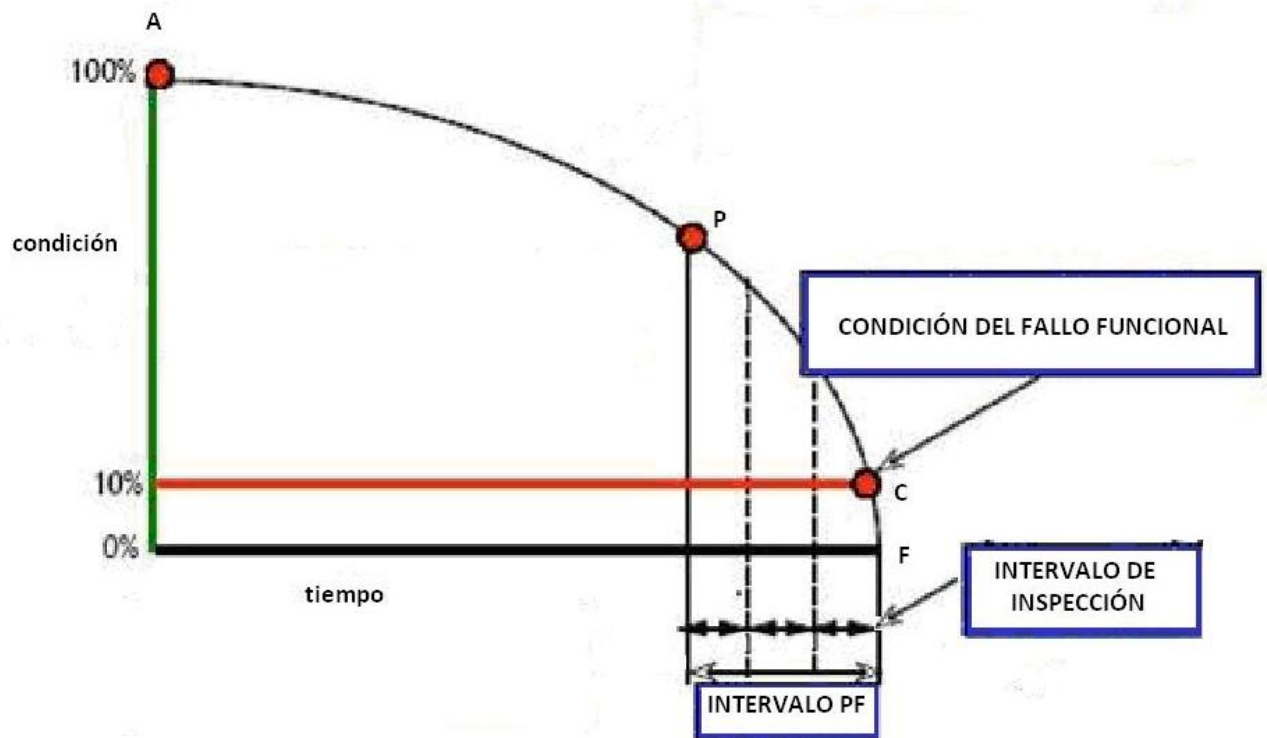


Fig. 4.3. Tareas a condición, cálculo de intervalos.

Esta técnica puede resultar muy útil en la prevención de fallos, pero si no se aplica correctamente, por ejemplo eligiendo condiciones difíciles de monitorizar o fijando tomas de datos con excesiva frecuencia, puede acarrear unos costes desorbitados.

Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas.

En ocasiones no es posible detectar el fallo potencial mediante monitorización y realizar una tarea a condición, o bien puede ser detectado pero no con el tiempo suficiente para evitar el fallo funcional. También es posible que la monitorización sea tenga un coste demasiado alto para que merezca la pena llevarla a cabo. En estas ocasiones se opta por reparar o sustituir la parte del activo correspondiente a frecuencias determinadas, independientemente del estado en el que se encuentre.

Este era el método más utilizado antes de que comenzara a aplicarse RCM, y como se explicaba anteriormente su uso ha descendido en gran medida en la actualidad. Son básicamente tareas de mantenimiento preventivo.

La elección de las frecuencias de reacondicionamiento o sustitución puede llegar a ser complicada y se explicará más adelante cuando se aborde el tema de los distintos patrones de fallo que se tendrán en cuenta.

Tareas a falta de

Además de preguntar si las tareas sistemáticas anteriores son factibles, el método RCM se hace la pregunta de si merece la pena llevarlas a cabo, dependiendo de los costes que conlleven, los tiempos de parada que puedan implicar, etc. Dependiendo de la respuesta a esta pregunta dependerá también de las consecuencias del fallo que se pretende evitar. Si no es factible o no merece la pena realizar una tarea proactiva las tres alternativas posibles son:

Búsqueda de fallos ocultos/rediseño

El caso de modos de fallo ocultos es común en lo que respecta a sistemas de seguridad o sistemas protectores que no pueden ser monitorizados ya que normalmente no se encuentran en funcionamiento. Prevenir el fallo de una función no evidente sólo valdrá la pena si reduce el riesgo de un fallo múltiple asociado a esa función.

La opción de sustituir el componente puede no tener sentido ya que se sustituiría el componente por otro con las mismas probabilidades de fallo. Se opta por lo tanto por realizar pruebas de funcionalidad haciendo que el componente actúe mediante la simulación de las condiciones que lo harían actuar. Si no fuera posible realizar dicha prueba la solución es rediseñar para eliminar el fallo oculto.

En resumen, las tareas de búsqueda de fallos ocultos consisten en comprobar las funciones no evidentes de forma periódica para determinar si ya han fallado. Si no se puede encontrar una tarea de búsqueda de fallos que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, entonces la acción “a falta de” secundaria sería que la pieza debe rediseñarse.

Tareas correctivas. Esperar al fallo

Por último si un modo de fallo es evidente y no tiene consecuencias que afecten a la seguridad o el medio ambiente ni consecuencias operacionales únicamente vale la pena realizar una tarea sistemática si el costo de la misma durante un período de tiempo es menor que el de la reparación durante el mismo período.

Si no es así simplemente se espera a que tenga lugar el fallo sin dedicar esfuerzo alguno en tratar de prevenirlo y se repara a posteriori. Este modo de actuar se conoce mantenimiento por omisión.

Tipos de patrones de fallo

En un principio, antes de 1950, el modo de entender los fallos era que a medida que un componente envejecía aumentaban las probabilidades de que fallara tal y como se ve en la figura. Por tanto, como se ha comentado anteriormente, era usual la creencia de que con un histórico extenso de fallos de un componente se tendría información suficiente para estimar el momento en el que el componente fallaría y por lo tanto bastaría con programar su reacondicionamiento o sustitución antes de que fallara.

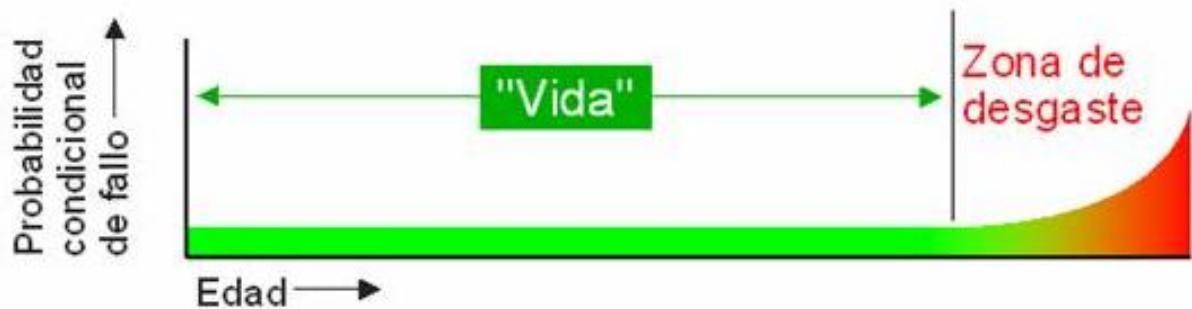


Fig. 4.4. Patrón de fallo tradicional

A partir de 1960 y con un conocimiento más extenso en lo que al desgaste se refiere, se introdujo la idea de que la probabilidad de fallo también es elevada en los primeros momentos de vida de un componente, lo que se conoce como mortalidad infantil. Se empezó a considerar entonces la “curva de la bañera” que se representa a continuación.

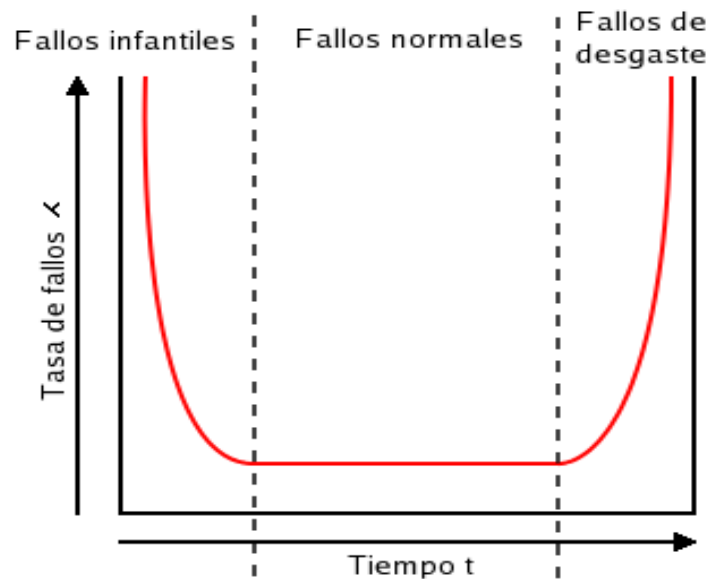


Fig. 4.5. Curva de la bañera

En 1978 la aviación comercial en Estados Unidos publicó un estudio de patrones de fallo en los componentes de aviones cambiando todas las costumbres que hasta el momento se tenía sobre el mantenimiento. En la actualidad no se consideran dos patrones de fallo en función de la vida de un componente, sino seis diferentes. Estos seis modelos se describen a continuación.

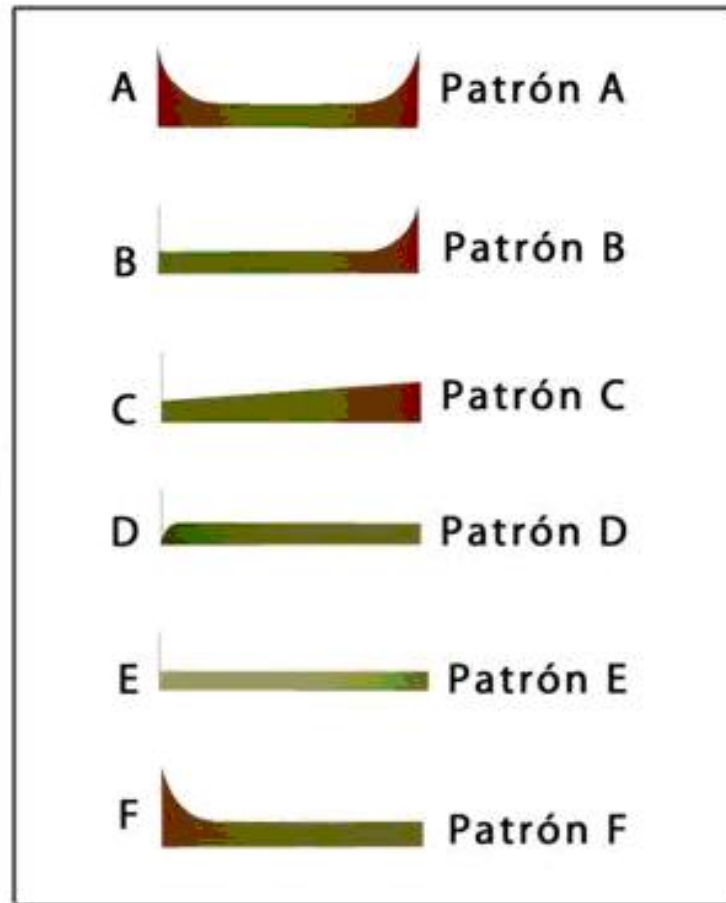


Fig. 4.6. Tipos de patrones de fallo

El modelo A es la conocida "curva de la bañera". Comienza con una incidencia de fallo alta (conocida como *mortalidad infantil o desgaste de rodaje*) seguida por una frecuencia de fallo que aumenta gradualmente o que es constante y luego por una zona de desgaste.

El modelo B muestra una probabilidad de fallo constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste (el modelo de la Primera Generación).

El modelo C muestra una probabilidad de fallo ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable.

El **modelo D** muestra una probabilidad de fallo bajo cuando la pieza es nueva o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante.

El **modelo E** muestra una probabilidad constante de fallo en todas las edades (fallo aleatorio).

El **modelo F** comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de fallo que aumenta muy despacio o que es constante.

Los estudios hechos en la aviación civil mostraron que el 4% de las piezas está de acuerdo con el modelo A, el 2% con el B, el 5% con el C, el 7% con el D, el 14% con el E y no menos del 68% con el modelo F. Esto da idea del cambio introducido en la idea tradicional del mantenimiento con el desarrollo de estos seis modelos.

En general, los modelos de los fallos dependen de la complejidad de los elementos. Cuanto más complejos sean, es más fácil que estén de acuerdo con los modelos E y F.

Estos hallazgos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre la fiabilidad y la edad operacional. Fue esta creencia la que llevó a la idea de que cuanto más a menudo se revisaba una pieza, menor era la probabilidad de fallo. Hoy en día, esto es raramente verdad, a no ser que haya un modo de falla dominante, los límites de edad no hacen nada o muy poco para mejorar la confiabilidad de un equipo complejo. De hecho las revisiones programadas pueden aumentar las frecuencias de los fallos en general por medio de la introducción de la mortalidad infantil dentro de sistemas que de otra forma serían estables.

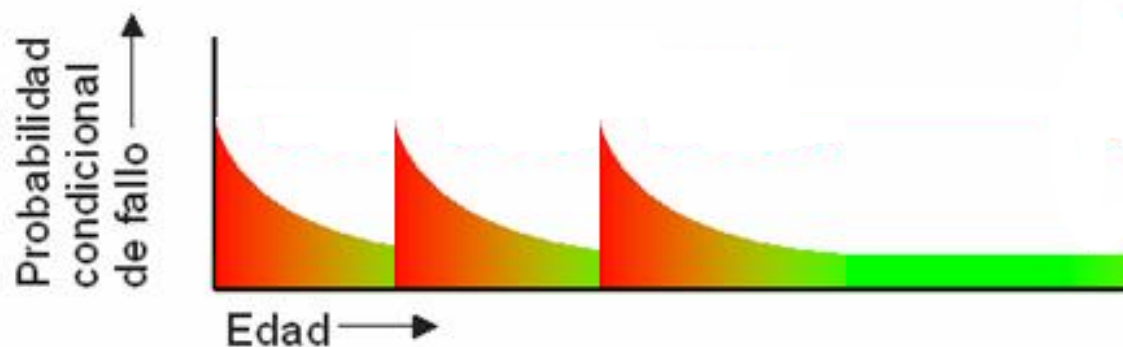


Fig. 4.7. Introducción de mortalidad infantil

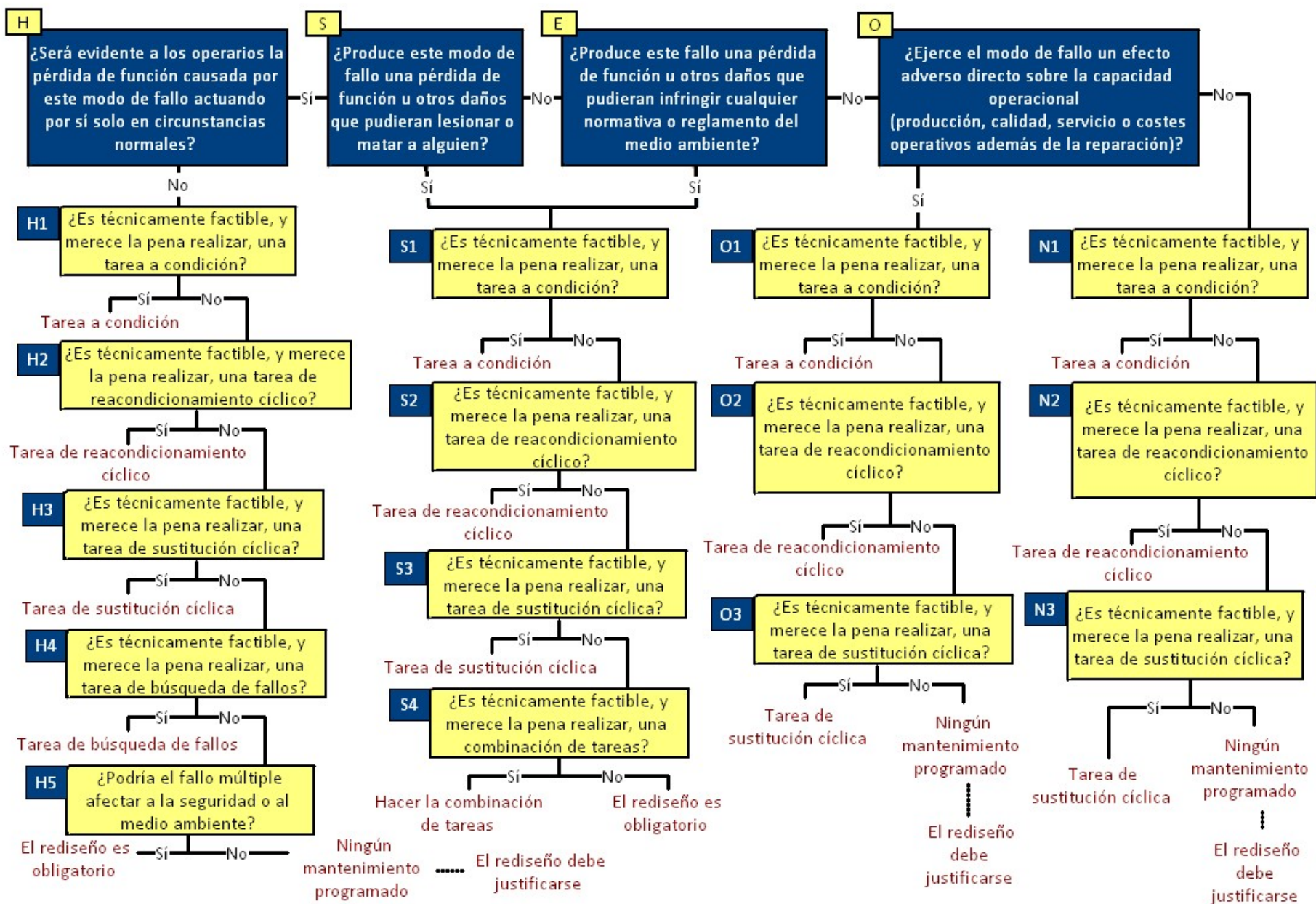
Después analizar los modos de fallo a través de la lógica mencionada anteriormente, los expertos deben consolidar las labores en un plan de mantenimiento para el sistema. Este es el "producto final" del RCM. Cuando este ha sido llevado a cabo, el encargado del mantenimiento y los usuarios deben continuamente esforzarse por optimizar el producto.

Llegados a este punto es posible confeccionar la hoja de decisión de RCM, que tiene la configuración que se indica a continuación.

HOJA DE DECISIÓN												Equipo: Realizado por:		Hoja 01 de 01			
												Referencia: Fecha:					
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 Q1 N1	H2 S2 Q2 N2	H3 S3 Q3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4					
																	1
																	2
																	3
																	4
																	5
																	6
																	7
																	8

Fig. 4.8. Hoja de Decisión de RCM

Esta tabla se informa fácilmente siguiendo el siguiente diagrama de flujo proporcionado por el método y que lleva a la tarea que más se ajusta a las necesidades de mantenimiento del activo en su contexto operacional.



– El grupo de trabajo RCM

Hemos visto que el proceso RCM hace siete preguntas básicas. En la práctica el personal de mantenimiento simplemente no puede contestar todas estas preguntas por sí mismo. Esto es porque muchas (si no la mayoría) de las respuestas solo pueden ser provistas por miembros de producción u operaciones. Esto se aplica especialmente a preguntas concernientes a funciones, resultados deseados, efectos de los fallos y sus consecuencias.

Por este motivo, un examen de los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo debe ser realizado por parte de equipos pequeños que incluyen por lo menos una persona de la función de mantenimiento y una de la función operativa. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben tener un conocimiento exhaustivo del activo que está siendo examinado. Cada miembro del grupo debe haber sido capacitado en RCM también. La constitución de un grupo de análisis de RCM típico se muestra en la figura siguiente.

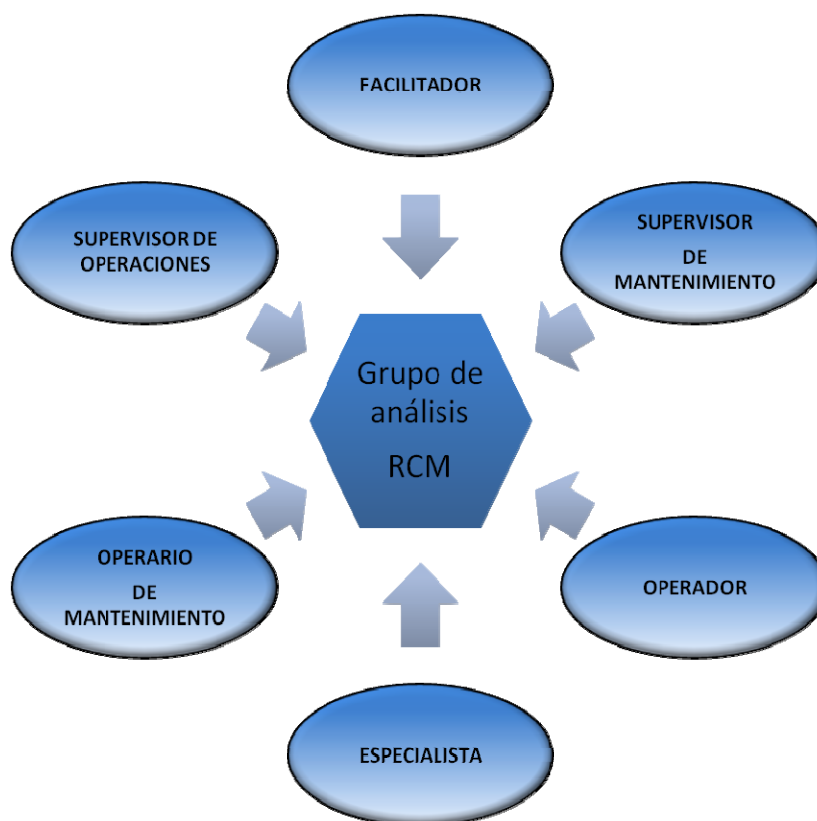


Fig. 4.9. Equipo RCM

El uso de estos grupos no solo permite que la gerencia acceda al conocimiento y la idoneidad de cada miembro del grupo en forma sistemática, sino que los miembros mismos aprenden mucho de cómo funciona el activo.

Facilitadores

Los grupos de examen RCM trabajan bajo la guía de especialistas altamente capacitados en RCM, conocidos como facilitadores. Los facilitadores son el personal más importante en el proceso de examen de RCM. Su papel es el de asegurar que:

- El análisis RCM se realice en el nivel apropiado, y que los límites del sistema estén definidos claramente, que no queden elementos importantes pasados por alto y que los resultados del análisis sean correctamente registrados.
- El RCM sea comprendido correctamente y aplicado por el grupo.
- El grupo alcance el consenso de una manera rápida y ordenada.
- El análisis progrese tal como se planeó y termine a tiempo.

Los facilitadores también trabajan con los gerentes del proyecto RCM ó los promotores para asegurar que cada análisis sea planificado adecuadamente y reciba el soporte gerencial y logístico apropiado.

– Los beneficios del método RCM

La contribución individual más importante del proceso RCM a la industria es que si se aplica correctamente le provee una base mucho más sólida para el emprendimiento de la labor de mantenimiento que cualquier otro método disponible hasta la fecha. Las áreas clave en que contribuye directamente a la eficacia y eficiencia del mantenimiento son las siguientes:

- **Mayor seguridad e integridad ambiental.** El RCM considera las consecuencias relacionadas con la seguridad y ambientales de cada modo de fallo antes de considerar su efecto sobre las operaciones. Esto trae el tema de la seguridad y el ambiente al principal ámbito de decisión de mantenimiento.
- **Rendimiento operativo mejorado (producción, calidad, servicio al cliente).** Al concentrarse en lo que los activos físicos hacen (sus funciones) en lugar de en lo que ellos son, el RCM permite que los usuarios identifiquen con mucho mayor claridad y precisión qué tienen que hacer para alcanzar mejoras reales y sustanciales a largo plazo en lo que respecta a la disponibilidad y fiabilidad de los equipos y maquinaria.
- **Menor coste y mayor eficacia de mantenimiento.** El RCM centra la atención continuamente sobre el funcionamiento de los equipos. Esto ayuda a asegurar que todo lo gastado en mantenimiento es gastado allí donde produce un mayor beneficio.

- **Una vida útil más larga de elementos de alto valor.**
- **Una base de datos integral.** Un examen RCM termina con un registro integral plenamente documentado de los requerimientos de mantenimiento de todos los activos importantes usados por la organización. Esto posibilita la adaptación a circunstancias cambiantes sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde el principio. Esto también habilita a los usuarios de equipos para que demuestren que sus programas de mantenimiento están sustentados sobre bases.
- **Mayor motivación de las personas,** especialmente la gente que está involucrada en el proceso de examen. Esto conduce a una comprensión general mejorada en gran medida del equipo en su contexto operativo, además de fomentar la implicación en los problemas de mantenimiento y sus soluciones. Esto también significa que las soluciones brindadas tendrán más probabilidad de ser duraderas.
- **Mejor trabajo de equipo.** El RCM provee un lenguaje técnico común y fácil de entender para todo aquel que tenga algo que ver con el mantenimiento. Esto da a la gente de mantenimiento y operaciones una comprensión mejor de lo que el mantenimiento puede (y no puede) hacer y qué debe hacerse para alcanzarlo.

Todos estos temas son parte de la corriente principal de gerencia de mantenimiento, y muchos son ya el objetivo de programas de mejora. Una característica principal del RCM es que provee un marco eficaz, paso a paso, para lidiar con todos ellos a la vez y para involucrar a todos lo que tengan algo que ver con el equipo en el proceso.

En esencia, la única forma de desarrollar una estrategia de mantenimiento verdaderamente viable a largo plazo es la de invertir las cantidades apropiadas de tiempo y energía en cada elemento del proceso. En particular, evitar la tentación de concentrarse demasiado pronto o con demasiada intensidad en técnicas y sistemas de mantenimiento sin asegurarse primero de que todo el mundo comparte una comprensión correcta de lo que debe hacerse para asegurar que cada activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

4 – El contexto operacional

Como se ha expuesto en el capítulo primero en el que se introduce el método RCM las condiciones en las que opera un activo tienen un efecto muy importante en las decisiones tomadas. Por ello el contexto operacional debe quedar perfectamente definido antes de aplicar el método. Se deben tener en cuenta para este punto las condiciones en las que funciona el activo, lo que se espera de éste y las consecuencias de los fallos y averías que puedan tener lugar. Para ello se evalúan tanto los costes económicos directos derivados de la reparación o sustitución de un componente del activo como el tiempo que se debe emplear en dichas reparaciones, así como los costes indirectos asociados a la parada del equipo. Asimismo se dedicarán unas líneas a describir el funcionamiento de la máquina, así como los pasos que es necesario seguir para que realice lo que se espera de ella sin poner en peligro a los operarios o el medio ambiente. Para todo lo mencionado en esta introducción es necesaria la estrecha colaboración de todos y cada uno de los integrantes del grupo de trabajo RCM descrito en el primer capítulo de este proyecto.

En este capítulo se abordarán estos aspectos proporcionando las herramientas que serán necesarias para la realización del plan de mantenimiento que queremos confeccionar.

4.1. – Sobre la planta de procesamiento de RSU y la materia prima

El activo objeto de este proyecto es una prensa hidráulica destinada a la compactación y embalado de plástico, papel y cartón procedente del procesamiento de RSU (residuos sólidos urbanos) en una planta dedicada al procesamiento y separación de este tipo de residuos tras su recogida no selectiva.

La planta está situada en el término municipal de Priego de Córdoba y procesa 50.000Tm. de RSU anualmente. La cifra de generación de residuos urbanos en Andalucía ha aumentado de manera sostenida, alcanzándose las 4.972.248Tm/año en 2008, lo que corresponde a un ratio de 1,66kg por habitante y día. En 1999, se estimaba una cifra de 1,19kg por habitante y día.

En cuanto a la tendencia creciente en la evolución de la generación, la observada en Andalucía es similar a la del resto de España y otros países europeos, pues está muy relacionada con los hábitos de consumo de las sociedades con un grado de desarrollo elevado, a las que se les presenta mayor variedad y cantidad de productos, cada vez mejor presentados y envasados, y con un uso cada vez más efímero.

La planta de clasificación de RSU está dispuesta en diferentes líneas de procesamiento que clasifican los RSU y que tienen como objeto separar los residuos en los diferentes elementos que lo componen, ya que cada uno de ellos será vendido a empresas dedicadas a su reciclaje. En lo que respecta a la prensa compactadora se encuentra al final de la línea como única máquina destinada a la compactación de plástico y papel/cartón. La planta dispone de un almacén de producto separado y dispuesto para

su compactación que actúa de pulmón en casos de parada de la máquina por avería, mantenimiento o en el caso de desbordamiento de su capacidad, aunque este último caso es muy improbable como veremos más adelante. La capacidad de dicho almacén es de unas 40Tm entre plástico y papel/cartón, es decir, la cantidad aproximada que se espera que la máquina procese en una jornada de 16 horas.

Funcionando 16 horas al día durante 6 días a la semana la prensa objeto de este proyecto procesará las siguientes cantidades de papel/cartón y plástico.

RESIDUOS	%PESO	Tm/h	Tm/día	Tm/mes	Tm/año
Papel-cartón	13	1,30	20,83	541,67	6500,00
Plásticos	10	1,00	16,03	416,67	5000,00
SUMA	23	2,30	36,86	958,33	11500,00

Tabla 4.1. Cantidades de papel/cartón y plástico procesadas

La compactadora se encuentra al final de las líneas y recibe el producto ya separado y listo para su embalado. Está situada a cubierto en una nave y sobre una losa de hormigón, dato que será de utilidad cuando llegue el momento de evaluar los riesgos de los fallos y concretamente el riesgo de vertido de aceite hidráulico al medio.

- Composición del RSU

El residuo es decepcionado en la planta en camiones procedente del acopio tras la recogida no selectiva de RSU, es decir, todo el residuo proviene de un solo tipo de contenedor. Aunque los camiones encargados de la recogida de las calles realizan una primera compactación que facilita el transporte, la posterior clasificación en la planta devolverá al residuo la densidad de origen.

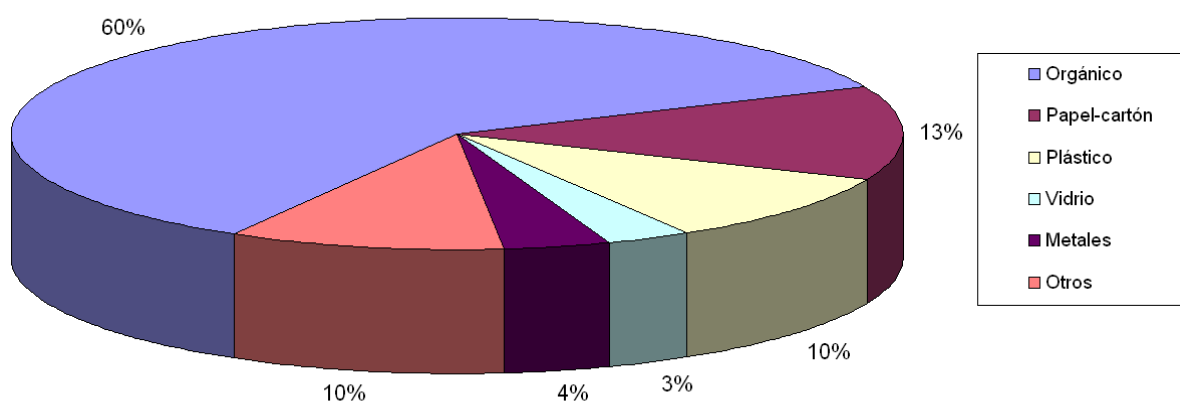


Fig. 4.2. Composición de los RSU

La planta trabaja ininterrumpidamente durante todo el año a razón de 6 días a la semana en dos turnos de 8 horas cada uno para procesar la cantidad de 50.000Tm anuales de las cuales el 23%, es decir, 11.500Tm son papel/cartón y plásticos. Ambos tipos de residuos se embalan y almacenan para su posterior venta.

En el RSU encontramos gran variedad de plásticos provenientes de diferentes usos según se aprecia en el siguiente gráfico.

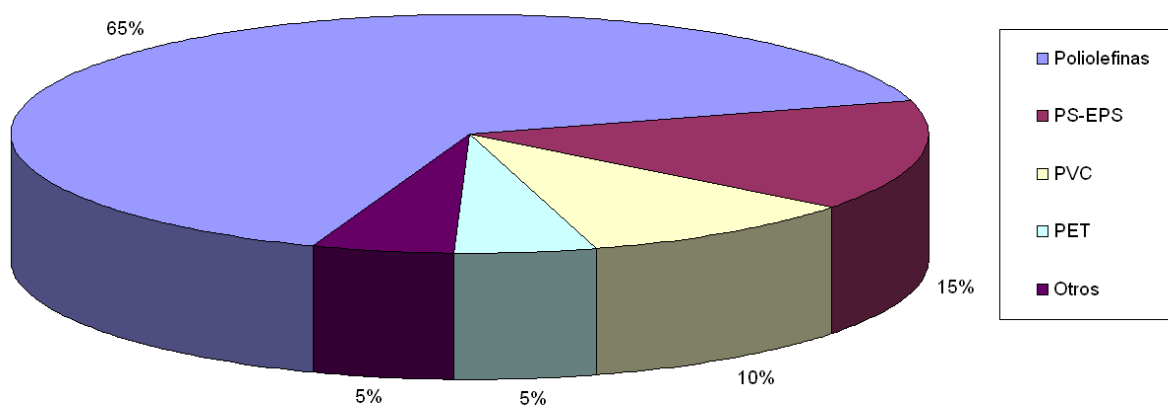


Fig. 4.3. Composición del plástico presente en el RSU

Dentro de las poliolefinas que componen la mayoría del plástico presente en el RSU están el polietileno de alta densidad (PEAD), el polietileno de baja densidad (PEBD), el polipropileno (PP) o el caucho o etileno-propileno (EPR), todos ellos muy utilizados y aptos para el reciclado. El siguiente grupo en composición es el formado por el Poliestireno (PS) y el Poliestireno Expandido (EPS) que son polímeros termoplásticos utilizados para fabricar envases por inyección. El Policloruro de Vinilo (PVC) podemos encontrarlo en la industria en dos tipos: Rígido, usado para fabricar envases, tuberías o juguetes, y flexible, utilizado como aislante para cables por su buena resistencia eléctrica y al calor. Por último y en menor cantidad el Tereftalato de Polietileno (PET) que es un poliéster utilizado fundamentalmente para fabricar envases y en la industria textil.

- Capacidad de la máquina y producto obtenido

Antes de ser compactados la densidad del plástico es aproximadamente 30kg/m^3 dependiendo del tipo de plástico que predomine y la densidad del papel/cartón es de 70kg/m^3 . Los materiales son compactados por la prensa en balas de dimensiones $150 \times 130 \times 85\text{cm}$ que pesan un promedio de algo menos de 500kg y cuyo grado de humedad es del 12% para el plástico y el 10% para el papel. Una vez compactados la densidad resultante es de entre 100 y 350kg/m^3 para los plásticos y de 600kg/m^3 para el cartón.

La prensa puede realizar una bala en un tiempo que ronda los 8 minutos alimentándose de forma continua mediante tolva. A continuación se muestra una relación de tiempos para diferentes factores de tiempos muertos entre el 0% y el 50%.

CAPACIDAD DE LA MÁQUINA				
Factor tiempos muertos (%)	0	10	25	50
min/bala	8	8,8	10	12
balas/min	0,125	0,114	0,100	0,083
balas/h	7,50	6,82	6,00	5,00
Tm/bala	0,489	0,489	0,489	0,489
Tm/h	3,666	3,332	2,933	2,444

Tabla 4.4. Capacidad de la máquina

Podemos comprobar que en el peor de los casos la prensa ofrece suficiente productividad para compactar las $2,3\text{Tm/h}$ necesarias. Esto es debido a dos motivos principalmente:

En primer lugar no es posible almacenar el producto sin procesar sin protegerlo del medio. El papel/cartón se deteriora rápidamente con el agua y el plástico es sensible a la luz influyendo en la calidad del producto final. Por otro lado, una vez procesado y embalado el problema es el mismo, las balas de papel/cartón siguen debiendo protegerse del agua y las balas de plástico no pueden almacenarse demasiado tiempo al aire libre ya que al estar expuestas al calor y la luz pueden dilatarse hasta el punto de comprometer el atado.

En segundo lugar, estudiadas la evolución de la cantidad de RSU generada por habitante a lo largo del tiempo, mencionada anteriormente y sobre todo la tendencia creciente del procesado de plásticos procedentes de RSU, se puede afirmar que es necesario prever un aumento considerable de la actividad de la prensa. En la siguiente tabla podemos ver la evolución que ha sufrido la industria del plástico entre el año 1994 y 2003.

Año	Producción	Importación	Exportación	Consumo aparente	Consumo kg/hab
1994	2.487	1.398	1.375	2.510	63,07
1995	2.650	1.586	1.456	2.780	67.71
1996	2.651	1.820	1.477	2.994	74.18
1997	2.949	2.045	1.720	3.274	82.56
1998	3.260	2.327	1.897	3.690	92.39
1999	3.566	2.708	2.256	4.018	100.57
2000	3.566	2.708	2.256	4.018	100.57
2001	3.626	2.789	2.331	4.084	101.58
2002	3.792	3.288	2.457	4.623	115.00
2003	3.854	3.505	2.710	4.649	120.10

Tabla 4.5. Evolución del plástico en España en los últimos años (1000 Tm)

La entrada de producto es bastante predecible debido a su origen, y la venta del mismo un vez procesado se deriva de adjudicaciones trimestrales llevadas a cabo mediante oferta pública por lo que la demanda se fija dentro de unos límites. Los precios de venta del producto procesado son a su vez fijados en la adjudicación con lo que no es posible que su variabilidad influya en las decisiones que se tomen respecto al mantenimiento. El valor de venta del producto es el que se indica en la siguiente tabla.

Producto	Peso bala	€/kg	Precio bala
Bala PEAD/PEBD	560	0,328	183,87
Bala PE-PP	340	0,195	66,30
Bala PS-EPS	175	0,385	67,38
Bala PVC	390	0,415	161,85
Bala PET	400	0,427	170,72
Bala Papel-Cartón	600	0,087	52,20

Tabla 4.6. Precios de venta de los productos

Teniendo en cuenta los porcentajes de cada componente en el total se estima que cada tonelada procesada por la máquina tiene un valor de venta de 175€ por tonelada.

Expuesto esto es fácil llegar a la conclusión de que la productividad diaria de la prensa vendrá dada por la entrada más o menos constante de producto y la venta del mismo, lo que requiere cierta flexibilidad en la capacidad de procesado.

4.2. – El activo. Descripción de sus componentes

El activo para el que se desea definir un plan de mantenimiento mediante el método RCM es una compactadora/embaladora horizontal de plástico, papel y cartón de tipo de túnel cerrado.

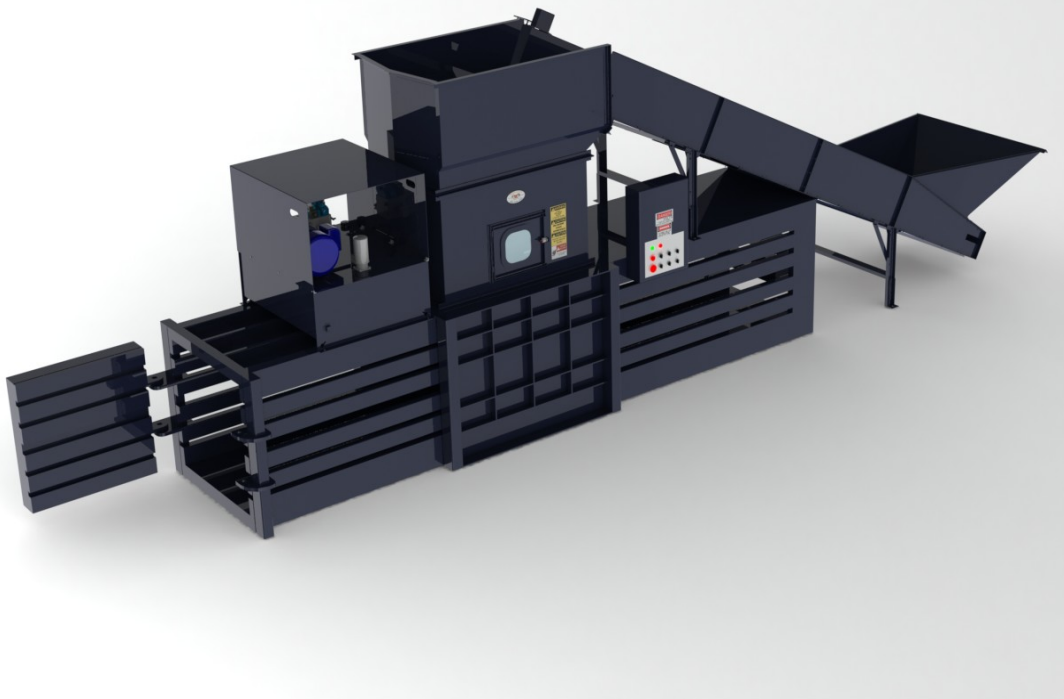


Fig. 4.7. Prensa horizontal de túnel cerrado

La embaladora se alimenta mediante cinta transportadora si bien también se puede alimentarse manualmente o mediante carretilla elevadora con dispositivo volcador, aunque dichos sistemas de alimentación no están incluidos dentro de los límites del activo que queremos mantener. Las partes fundamentales en las que podemos dividir la máquina son el sistema hidráulico formado por el grupo de presión, el tanque y dos actuadores, el bastidor formado por el túnel, la compuerta de bloqueo, la cámara del cilindro y la tolva y por último el cuadro eléctrico/panel de control.

Todo el proceso de prensado está controlado por un autómata programable de tipo PLC que no es objeto de este proyecto, ya que será la empresa suministradora la encargada de su buen funcionamiento.

El funcionamiento de la máquina se expondrá y explicará a conciencia en el capítulo siguiente en el que se trata el contexto operacional, limitándonos en este capítulo a describir cada uno de los elementos que componen el activo.

- Sistema hidráulico

Es parte fundamental de la embaladora y será objeto de la mayor parte de las operaciones de mantenimiento que se incluyan en el plan.

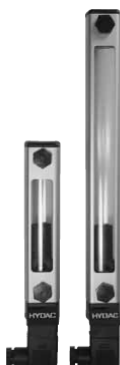
La misión del sistema hidráulico es proporcionar por un lado la fuerza de prensado mediante un actuador hidráulico y por otro efectuar el cierre y la apertura del sistema de bloqueo de la puerta que cierra el final del túnel.

La mayor parte del sistema está agrupada en un único bloque que incluye el tanque, el grupo motor-bomba, las válvulas de maniobra y seguridad y el sistema de refrigeración. Únicamente quedan fuera de este bloque los dos actuadores hidráulicos. Se compone de varios bloques o partes claramente diferenciadas que se describen a continuación incluyendo cada uno de sus componentes.

- Grupo tanque/depósito

El tanque tiene una capacidad de 450 litros de aceite hidráulico y está fabricado en acero, convenientemente pintado para evitar así su deterioro a causa de la corrosión. El tanque va montado en una bancada que asegura su estabilidad y sobre él van acoplados los siguientes componentes y dispositivos:

Control de nivel de aceite hidráulico de tipo óptico con montaje mediante tornillos en la pared del tanque. De esta forma se puede controlar al instante el nivel de líquido de forma segura.



Control de nivel de aceite hidráulico de tipo óptico con contacto eléctrico que permite su conexión al sistema de seguridad. Este contacto se activa cuando el flotador que marca el nivel de fluido llega a su punto más bajo (prefijado) y puede configurarse como normalmente abierto o normalmente cerrado.

Filtro de papel de baja presión según ISO 228 con una tasa de filtración de 20µm e indicador de atasco.



Sensor de temperatura de tipo termopar con un rango de entre -200°C y 600°C montado sobre taladro roscado.

Válvula de bola de diámetro nominal 80mm. Alimenta a la bomba de paletas PVV2 que se describirá más adelante.

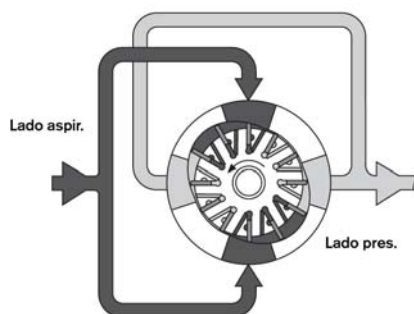
Opcionalmente al tanque puede llevar instalado un calentador de unos 2000W alimentado de corriente alterna para calentar el aceite a su temperatura de trabajo en climas fríos aunque no es el caso de la unidad objeto de este proyecto.

- Grupo motor-bomba

La presión de aceite de la central hidráulica se obtiene a través de una bomba accionada por un motor eléctrico. Los componentes del grupo motor-bomba son los siguientes.

Motor eléctrico trifásico alimentado a 400V con una potencia de 18,5kW y régimen de giro de 1500rpm.

Bomba de aceite de paletas constante (designación PVV2), desplazamiento de 160cm^3 y un caudal máximo de 300l/min. El eje de esta bomba está estriado y tiene un peso de 14,8kg. El diseño con dos cámaras de aspiración y dos de presión descarga hidráulicamente al eje que únicamente debe transmitir el par de giro, aumentando el rendimiento de la bomba.



Elementos de acoplamiento motor-bomba, campana y acoplamiento del tipo AB con brida del tipo B35. Proporciona un bajo nivel de emisión de ruido y protege el acoplamiento motor-bomba de la suciedad.



El montaje del grupo motor-bomba se ha realizado sobre el tanque de aceite con el motor unido a este mediante un bastidor, como se puede apreciar en la figura 4.8.

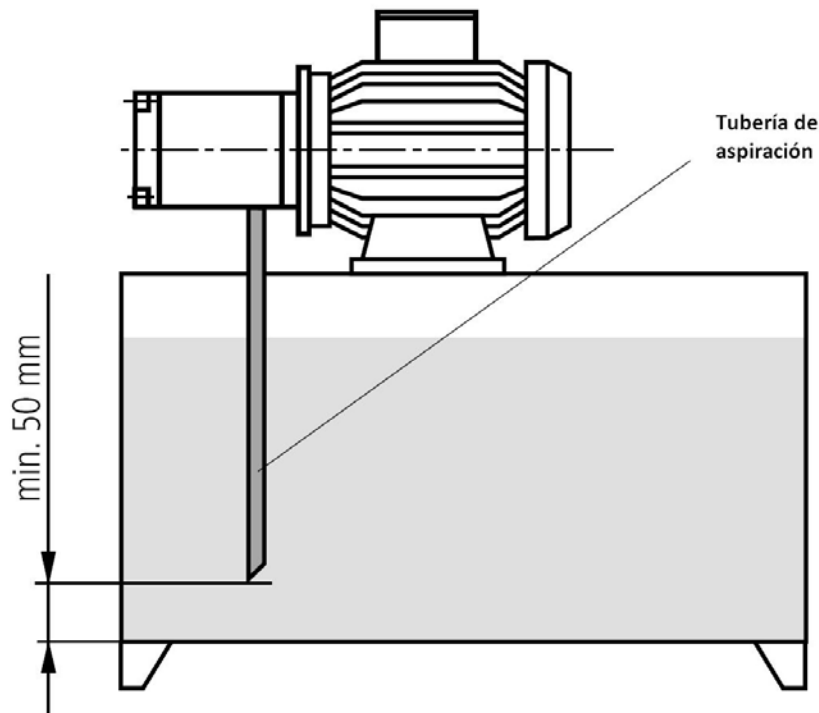


Fig. 4.8. Montaje motor-bomba sobre el tanque

- Grupo refrigeración

El grupo de elementos destinados a la refrigeración del aceite hidráulico están montados al final de la línea procedente de la válvula limitadora principal y del bloque de maniobra del actuador que controla el cierre del túnel.

De esta forma mientras la válvula limitadora este en funcionamiento el calor que se produce al atravesar al aceite dicha válvula será disipado. Los elementos que lo componen se describen a continuación.

Filtro de retorno de baja presión, 3 bar. y caudal máximo de 300l/min. La instalación de este filtro es de tipo semisumergido. Este tipo de filtro dispone de indicador de atascamiento de tipo manométrico.



Intercambiador de calor con radiador destinado a refrigerar el aceite del circuito hidráulico.

Válvula antirretorno de 35mm con conexión según DIN 2353 con una presión de trabajo de hasta 250bar similar a la instalada en el grupo motor-bomba, aunque algo mayor.

- Bloque de maniobra cilindro principal

Este bloque contiene los elementos que permiten el control del cilindro hidráulico principal, siendo su mantenimiento de vital importancia ya que de su buen funcionamiento depende el de la máquina en sí. Se compone de una válvula direccional de 4 vías, un conjunto de varios componentes destinados a la descarga controlada del sistema, una válvula limitadora de presión principal y una válvula antirretorno. Pasamos a describir dichos componentes a continuación.

Válvula direccional (Fig. 4.9.) de cuatro vías de accionamiento electro hidráulico con retorno/centrado por resorte y presión de trabajo de hasta 280bar. Este dispositivo está formado en realidad por dos válvulas distintas, una principal y otra de mando o pilotaje. En reposo los resortes de la válvula de mando mantienen centrada la corredera de dicha válvula con lo que las cámaras de los resortes de la válvula principal están conectadas y por tanto a la misma presión, manteniendo así la corredera principal centrada. Al actuar eléctricamente sobre la válvula de mando esta desplaza la corredera conectando la presión de mando con una de las cámaras de la válvula principal y desplazando su corredera. Si la tensión o la presión de mando desaparecen los resortes se encargan de centrar las correderas de ambas válvulas, aunque el conjunto se haya montado en posición vertical. En la figura se expone un esquema del conjunto.

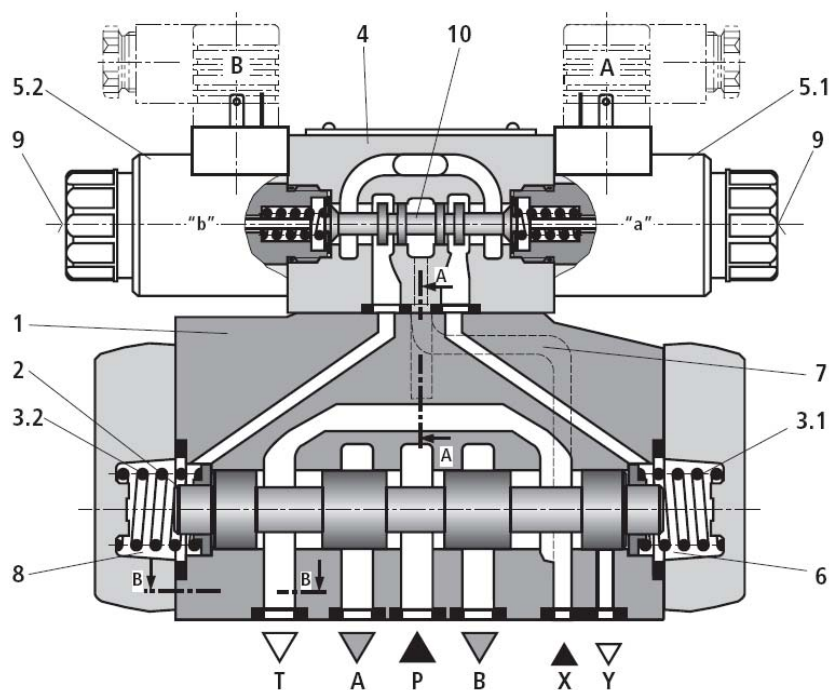
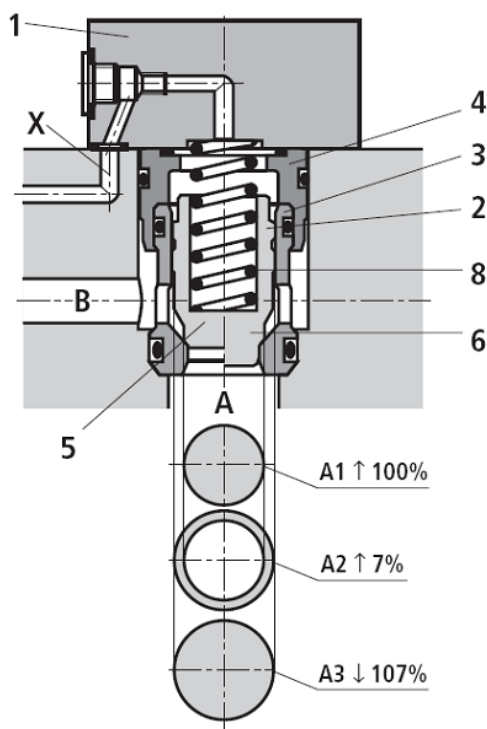


Fig. 4.9. Esquema válvula direccional de 4 vías tipo WEH

- 1 – Carcasa
- 2 – Pistón principal
- 3 – Resortes de retorno principales
- 4 – Válvula de pilotaje
- 5 – Solenoides de la válvula de pilotaje
- 6, 8 – Cámaras de resorte principales
- 7 – Conducto presión de mando
- 9 – Accionamientos de emergencia
- 10 – Pistón de mando
- T – Tanque
- P – Canal de entrada
- A/B – Canales de salida

Válvula insertable (Fig. 4.10.) de tipo LC con tapa de mando y válvula de asiento de 3 posiciones tipo M-SED (Fig. 5.11.). Su función es la descarga controlada del sistema de presión mediante el accionamiento eléctrico de la válvula de asiento. La válvula insertable actúa por diferencia de presiones tal como se indica en la figura a continuación. Si la presión soportada por la superficie A2 y A3 es la misma, siendo A2 el 7% que A3, la válvula permanece cerrada. Al accionar la válvula de asiento esta conecta el conducto X con el tanque con lo que la válvula insertable se abrirá conectando el conducto B con el A que a su vez está conectado al tanque.



- 1 – Tapa de mando
- 2 – Conjunto de montaje
- 3 – Casquillo
- 4 – Anillo tórico
- 5 – Cono de la válvula
- 6 – Amortiguador
- 8 – Resorte de cierre

Fig. 5.10. Válvula insertable tipo LC con tapa de mando

A través de la tapa de mando se conectan los conductos B y X de la válvula insertable con la válvula de asiento de tres posiciones de tipo M-SED. En la imagen podemos ver el conjunto de los tres elementos.



A continuación se representa esquemáticamente la válvula de asiento de tipo M-SED indicando cada una de sus partes.

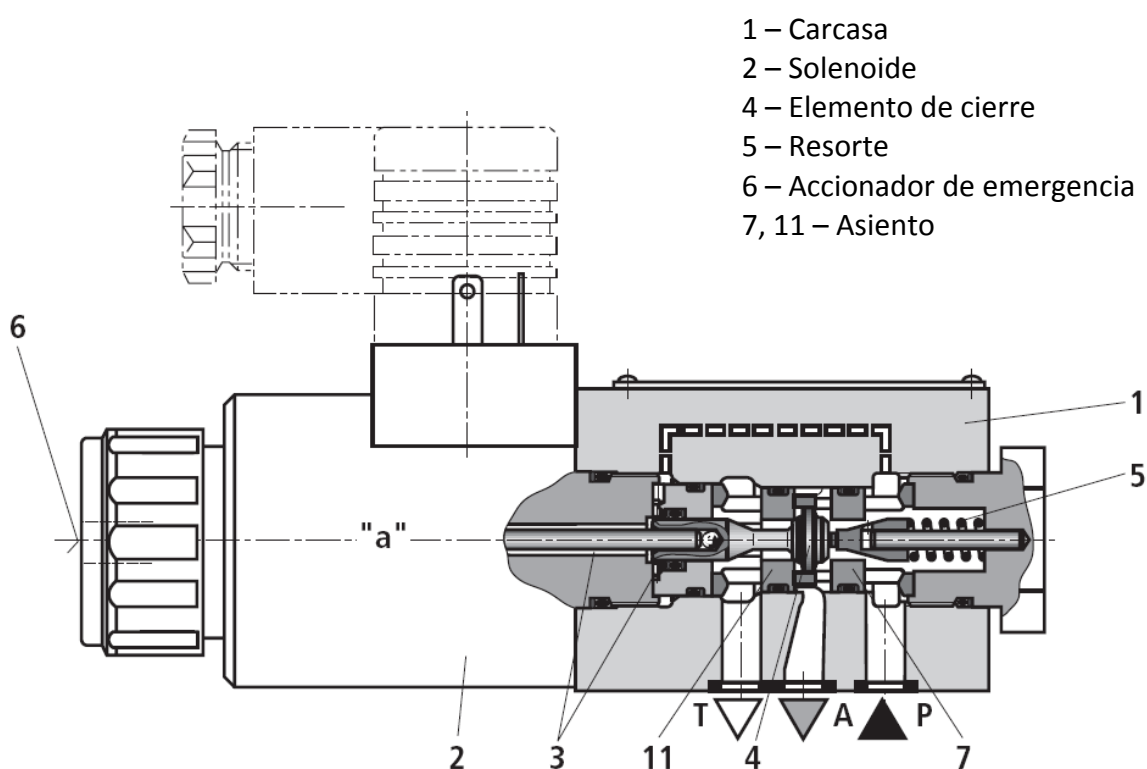


Fig. 4.11. Esquema válvula asiento tipo M-3SED

Válvula limitadora de presión (Fig. 4.12.) de tipo DBDS de asiento con mando directo ajustable hasta 250bar. El ajuste de la presión en este tipo de válvulas es de tipo continuo con mediante variador. La función de este elemento es la descarga de la presión de aceite del sistema mientras los actuadores no estén en funcionamiento o se alcance la presión preajustada en ésta. En la figura se muestra un esquema de la misma.

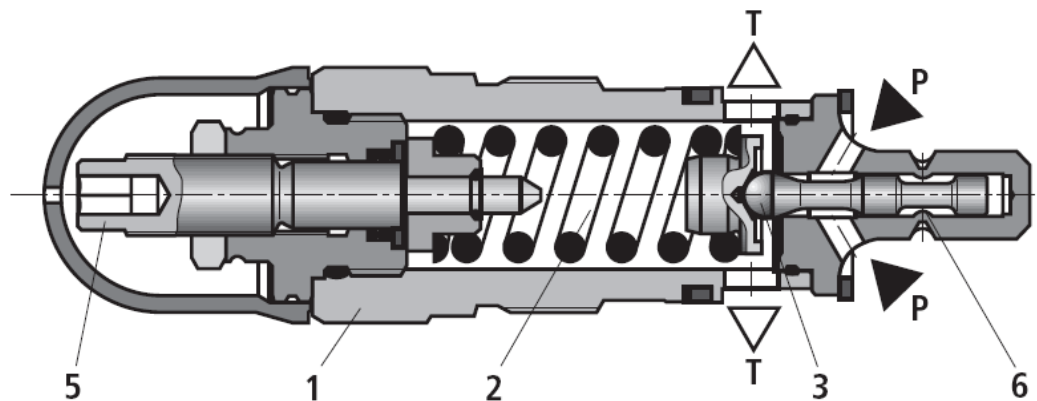


Fig. 4.12. Esquema válvula limitadora tipo DBDS

- 1 – Cuerpo
- 2 – Resorte
- 3 – Cono de amortiguación
- 5 – Elemento de ajuste de presión
- 6 – Muesca, limita el movimiento del pistón
- T – Canal de salida
- P – Canal de presión

Válvula antirretorno (Fig. 4.13.) de tipo M-SR insertable de configuración angular. Tiene una presión máxima de 315bar y su apertura se produce a partir de un máximo de 10bar según el caudal. Esta válvula se encuentra instalada entre la válvula direccional principal y el cilindro principal del compactador impidiendo que el fluido hidráulico pueda recorrer el sistema en dirección contraria. La descarga del sistema en el momento del retroceso del cilindro principal se realiza como hemos indicado en las anteriores páginas, por medio de la válvula de descarga de tipo LC. A continuación se presenta un esquema de esta válvula antirretorno.

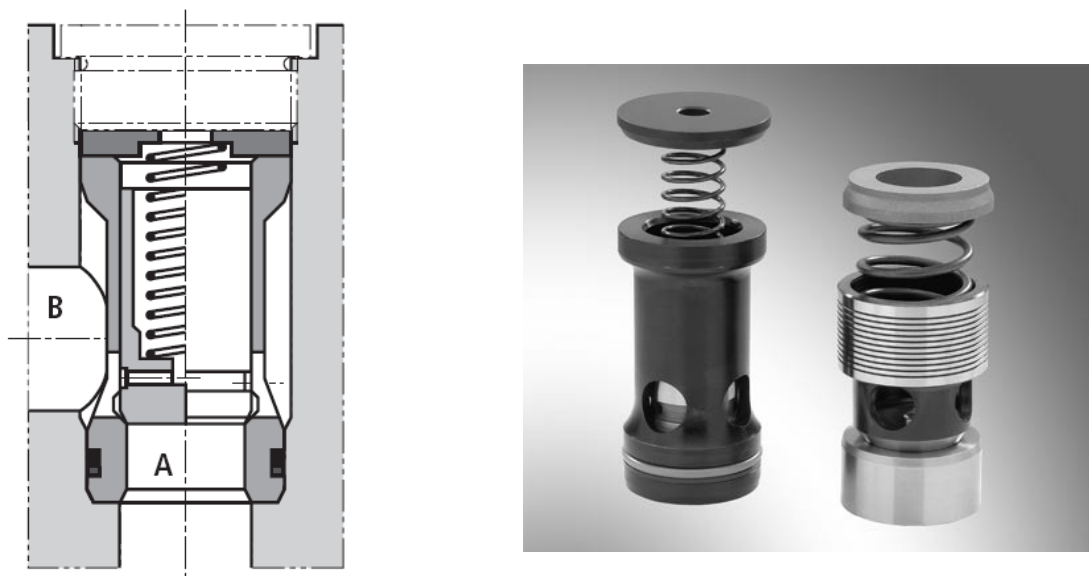


Fig. 4.13. Válvula antirretorno angular insertable de tipo M-SR

Transductor de presión (Fig. 4.14.) de tipo HM18 con electrónica incorporada destinado a proporcionar al PLC el valor de la presión del circuito hidráulico en cada momento. Gracias a este sensor el autómata sabe que se ha completado un ciclo de prensado y se puede comenzar el siguiente, o bien que la bala está lista. También es su cometido detectar sobrepresiones debidas a un fallo de la válvula limitadora principal DBDS10 para que el PLC detenga el motor eléctrico. A continuación se muestra un esquema del sensor.

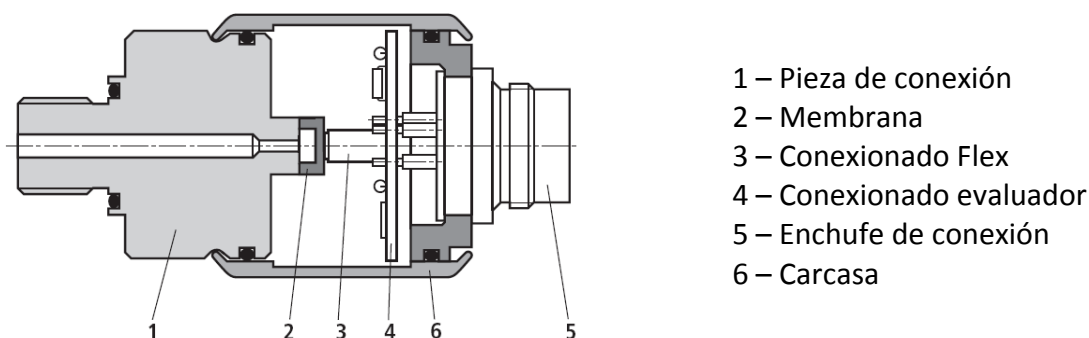


Fig. 4.14. Transductor de presión tipo HM18

- Bloque de maniobra cierre del túnel

Esta sección del grupo hidráulico comprende los elementos destinados al control del cilindro hidráulico que acciona el sistema de apertura y cierre de la puerta del túnel.

Válvula direccional (Fig. 4.15.) de 4 posiciones de corredera con solenoides de conmutación en aceite destinada a accionar el cilindro del sistema de atado. Al ser este cilindro de un tamaño mucho menor que el cilindro principal no es necesario recurrir a segundas válvulas para su descarga de presión con lo que esta válvula conectará directamente con el tanque la cámara del cilindro que no reciba aceite, ya sea en la carrera de avance como en la de retroceso. A continuación se muestra un esquema de la misma y se enumeran sus elementos principales.

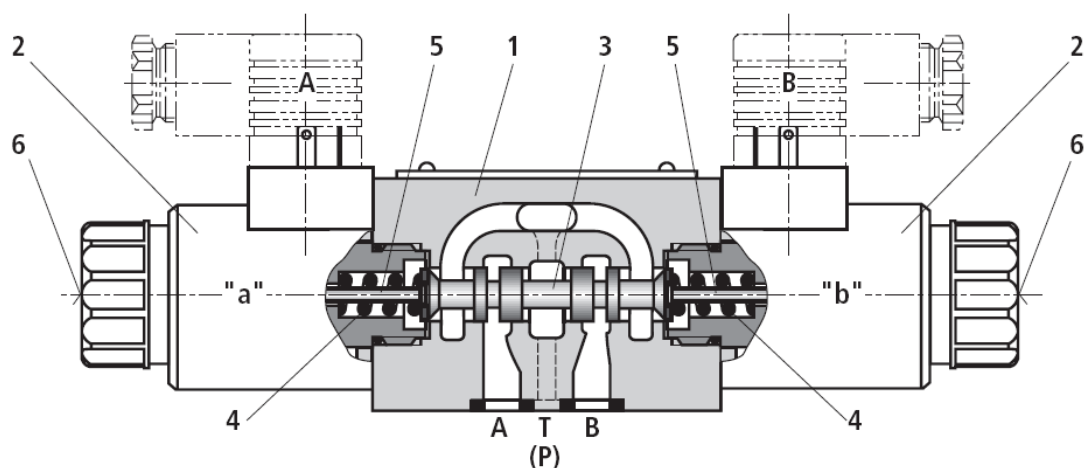
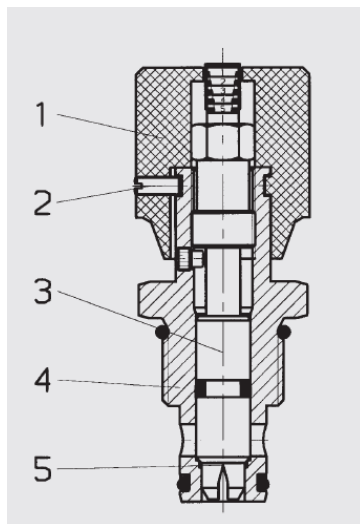


Fig. 4.15. Válvula direccional de 4 posiciones de tipo WE

- 1 – Carcasa
- 2 – Solenoides
- 3 – Pistón de mando
- 4 – Resortes de reposición
- 5 – Empujador
- 6 – Accionamiento de emergencia

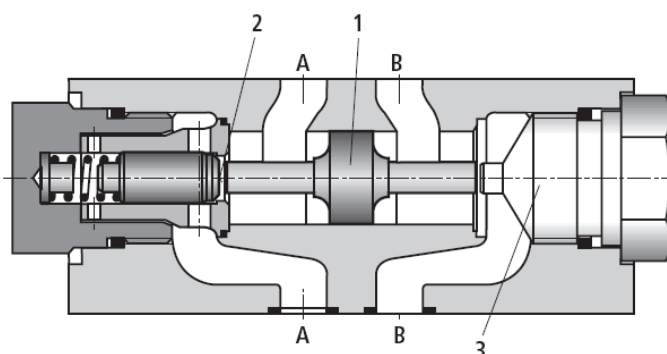
Válvula estranguladora (Fig. 4.16.) de tipo insertable según DIN-ISO 1219. El ajuste de este tipo de válvulas se realiza mediante mando giratorio (1 en la figura) y es continuo. Una vez ajustado se fija el mando mediante un tornillo. Esta válvula regula el caudal en ambos sentidos y su cometido es regular la velocidad en la carrera tanto de expansión como de retorno del cilindro que bloquea la puerta del final del túnel. Esta válvula es necesaria ya que al ser este cilindro mucho menor que el principal y recibiendo el mismo caudal la velocidad de actuación llegaría a resultar peligrosa. A continuación se presenta un esquema de la misma.



- 1 – Mando giratorio
- 2 – Tornillo de fijación
- 3 – Husillo de estrangulación
- 4 – Cuerpo de la válvula
- 5 – Apertura de estrangulación

Fig. 4.16. Válvula de estrangulación de tipo DVE

Válvula antirretorno pilotada hidráulicamente cuyo fin es impedir el movimiento del actuador secundario durante el proceso de prensado evitando así que se pueda dar una situación peligrosa al producirse el desbloqueo no deseado de la compuerta del final del túnel.



- 1 – Corredera
- 2 – Cierre cónico
- A – Conducto pilotado
- B – Conducto de pilotaje

Fig. 4.17. Válvula antirretorno pilotada

Esta válvula funciona de tal forma que bloquea el retorno de fluido por el conducto A mientras no exista presión de fluido en B, así se asegura que el actuador secundario permanecerá inmóvil hasta que sea necesario abrir la puerta.

- Actuadores Hidráulicos

Actuador principal, de doble efecto encargado de proporcionar la fuerza de prensado de entre 50.000kg y 60.000kg. Tiene un diámetro de 20cm, un vástago de 12,5cm y una carrera de 178cm. El actuador principal posee cuatro sensores en su recorrido, inicio y final de carrera, 75% de la dimensión de la bala y 100% de la dimensión de la bala. Tanto los sensores como su función se describen más adelante.

Actuador secundario destinado al bloqueo de la puerta que contiene el material mientras es prensado y hasta que se ha completado la bala. También de doble efecto pero mucho menor que el principal, tiene un diámetro de 10cm, un vástago de 5cm y una carrera de 30,5cm. Puede desarrollar una fuerza de en torno a 15.000kg.

- Bastidor

La estructura de la compactadora está formada por un bastidor de acero unido mediante soldeo. Todo el conjunto se ha convenientemente pintado para evitar la corrosión y aunque el ambiente en el que se encuentra no es especialmente corrosivo sí es sucio. Sus partes se describen a continuación.

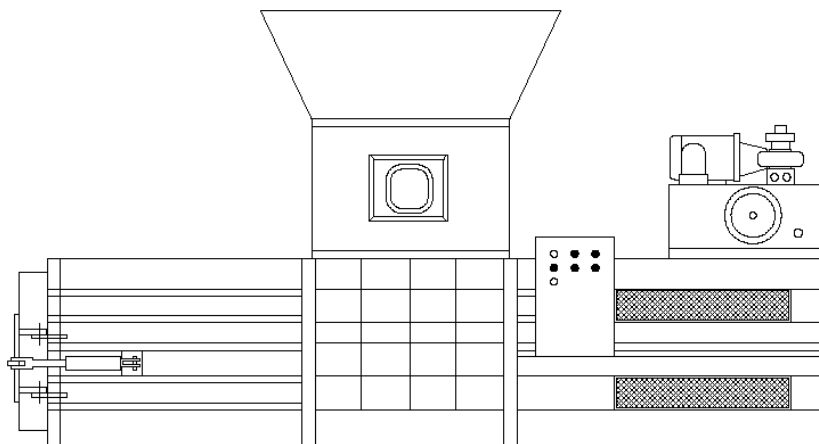


Fig. 4.18a. Alzado del bastidor de la máquina

- Tolva

Conformada en chapa de acero, es el lugar en el que la máquina recibe el material a compactar. En la tolva hay instalados dos sensores fotoeléctricos cuya misión es controlar la cantidad de residuo que se encuentra dentro de ella y así determinar el momento en que la cinta debe suministrar residuo a la tolva o dejar de hacerlo.

- Cámara de compresión

Situada justo debajo de la tolva es el lugar al que cae el residuo justo antes de ser compactado. Esta sección de la máquina posee un sensor fotoeléctrico que permite al PLC determinar el momento en el que debe actuar la prensa.

- Túnel

Cavidad formada por largueros de acero en la que se acumula el material compactado tras sucederse los ciclos de prensado. Es en el túnel dónde se va formando la bala. En su extremo tiene una puerta de acero unido mediante bisagras y cuyo mecanismo de bloqueo incluye el cilindro de menor tamaño. Esta puerta hace de tope e impide que el material salga por el extremo del túnel mientras es prensado.

- Cámara del cilindro

En la máquina, se encuentra en el lado opuesto al túnel y contiene el cilindro principal. Sobre esta cámara que al igual que el túnel está formada por largueros de acero se sitúa el conjunto formado por el tanque y el grupo de presión. Sobre el cilindro y solidaria al movimiento de la prensa se desplaza una chapa metálica que cierra la tolva por su parte inferior mientras el cilindro se desplaza en su carrera de ida e impide así que el residuo caiga detrás de la prensa.

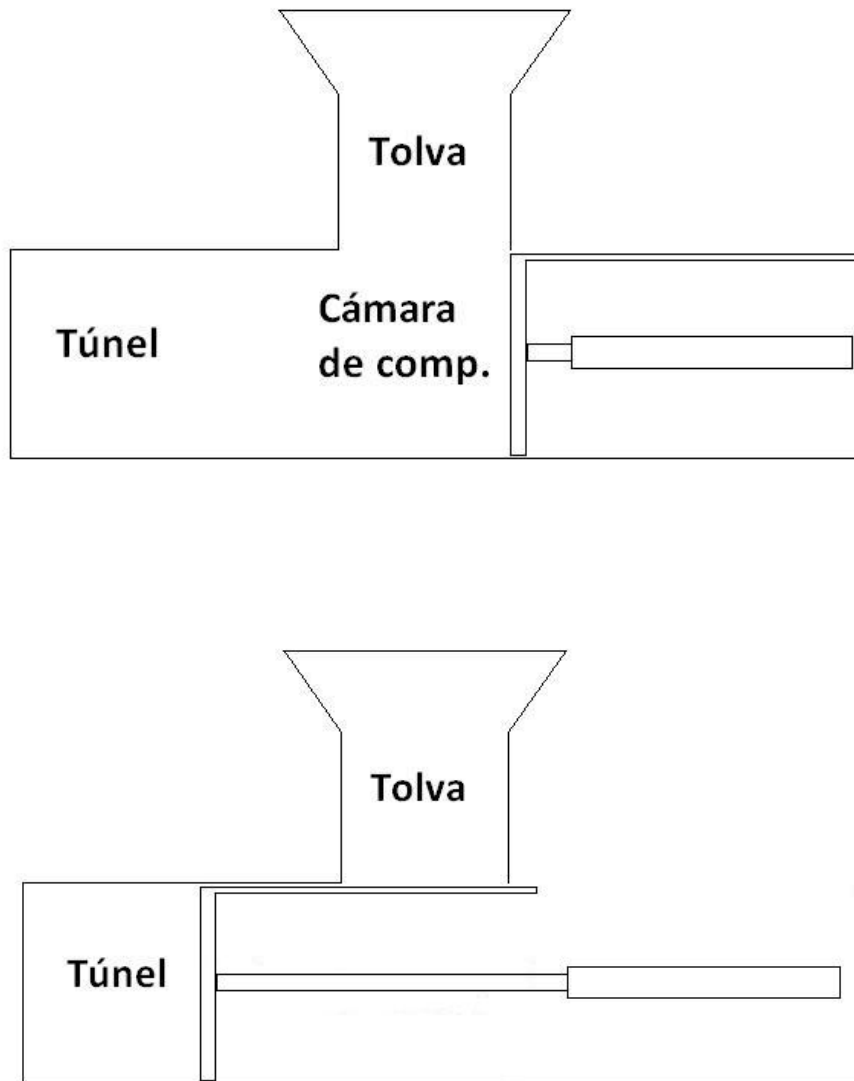


Fig. 4.18b. Cierre de la tolva en ciclo de ida

- Cuadro eléctrico/panel de control

El cuadro eléctrico se encuentra protegido dentro de un armario metálico que contiene básicamente un contactor eléctrico para el motor que acciona la bomba de aceite y el PLC encargado de comandar la máquina, aparte de las protecciones eléctricas pertinentes incluyendo un interruptor magnetotérmico y un interruptor diferencial, además de los diferentes relés que actúan sobre las electroválvulas.

El panel de control está situado sobre el armario que contiene el cuadro eléctrico y es la interfaz de control de la máquina. Aunque es sencillo contiene la información necesaria para operar la máquina en el contexto que describiremos en el siguiente capítulo.

Se compone de una llave de puesta en marcha similar a la de un coche, una “seta” de parada de emergencia que detiene el motor eléctrico así como un interruptor conectado a la cinta transportadora opcional que la detiene en caso de ser necesario.

También forman parte del panel un selector para elegir entre ciclo automático o retroceso del compactador y otro que permite abrir y cerrar el bloqueo de la puerta del túnel.

Hay en él cuatro indicadores luminosos, uno para indicar que el sistema se encuentra en funcionamiento, dos que avisan del estado en el que se encuentra la bala, uno para el 75% de su dimensión total y otro para el 100% que además indica posibles atascos. Y por último un indicador de nivel de aceite.



Fig. 4.19. Panel de control de la compactadora

– Sobre el funcionamiento de la máquina y el proceso de compactado

A continuación se explicará el funcionamiento de la máquina, así como las operaciones necesarias para llevar a cabo el proceso de compactado y embalado satisfactoriamente.

El funcionamiento de la máquina se basa en un proceso por lotes de tal manera que el material a compactar es prensado en varios ciclos de compactación y retroceso del cilindro hasta que la bala ha alcanzado las dimensiones deseadas

Las características de funcionamiento de la compactadora se detallan a continuación.

Tamaño bala		150x130x85
Peso bala	Cartón	500-635kg
	Plástico	410-500kg
Presión de trabajo	Normal	200bar
	Máxima	215bar
Motor		18,50kW (25CV)
Caudal bomba		240l/m
Cilindro principal	Diámetro	20cm
	Carrera	178cm
	Vástago	12,5cm
Cilindro cierre túnel	Diámetro	10cm
	Carrera	30,5cm
	Vástago	5cm
Fuerza prensado	Normal	50.000kg
	Máxima	54.000kg
Tanque		450l
Tiempo ciclo		22s
Nivel de emisión de ruido	En Motor	82dB
	En Controles	74dB

Tabla 4.20. Características operacionales

Las fases para la realización del proceso son las siguientes y serán detalladas a continuación.

- Puesta en marcha del sistema
- Ciclo automático
- Atado de la bala
- Expulsión de la bala
- Vuelta al ciclo automático

PUESTA EN MARCHA

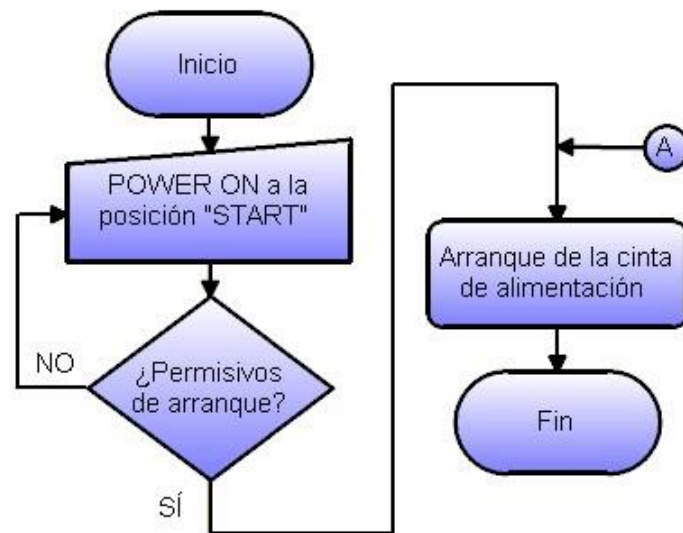
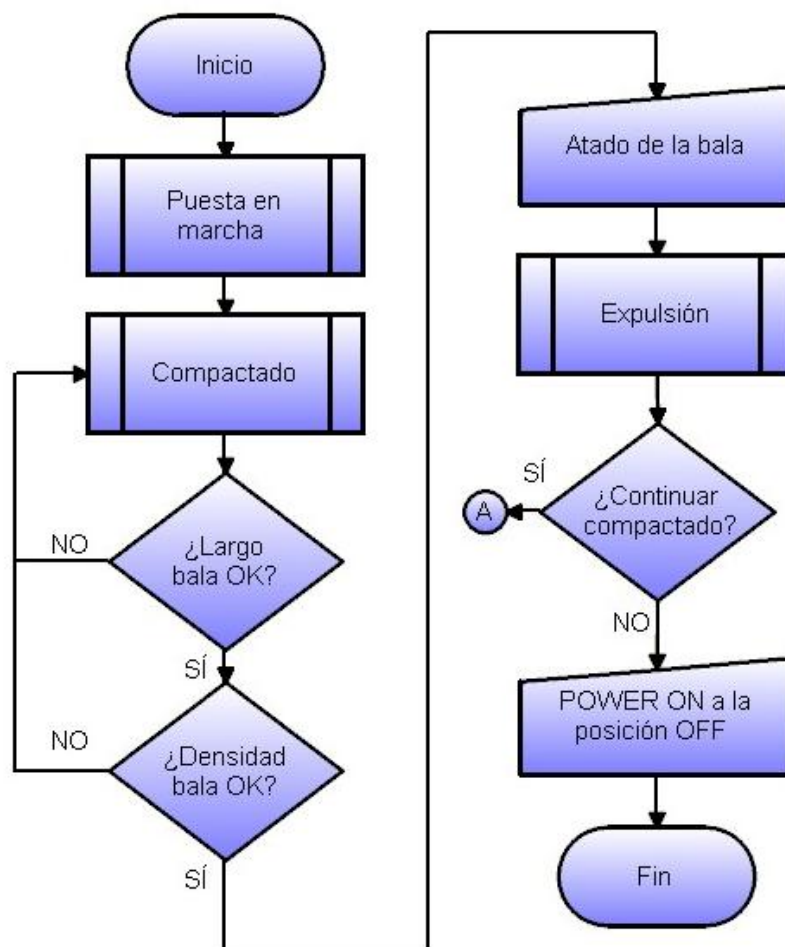
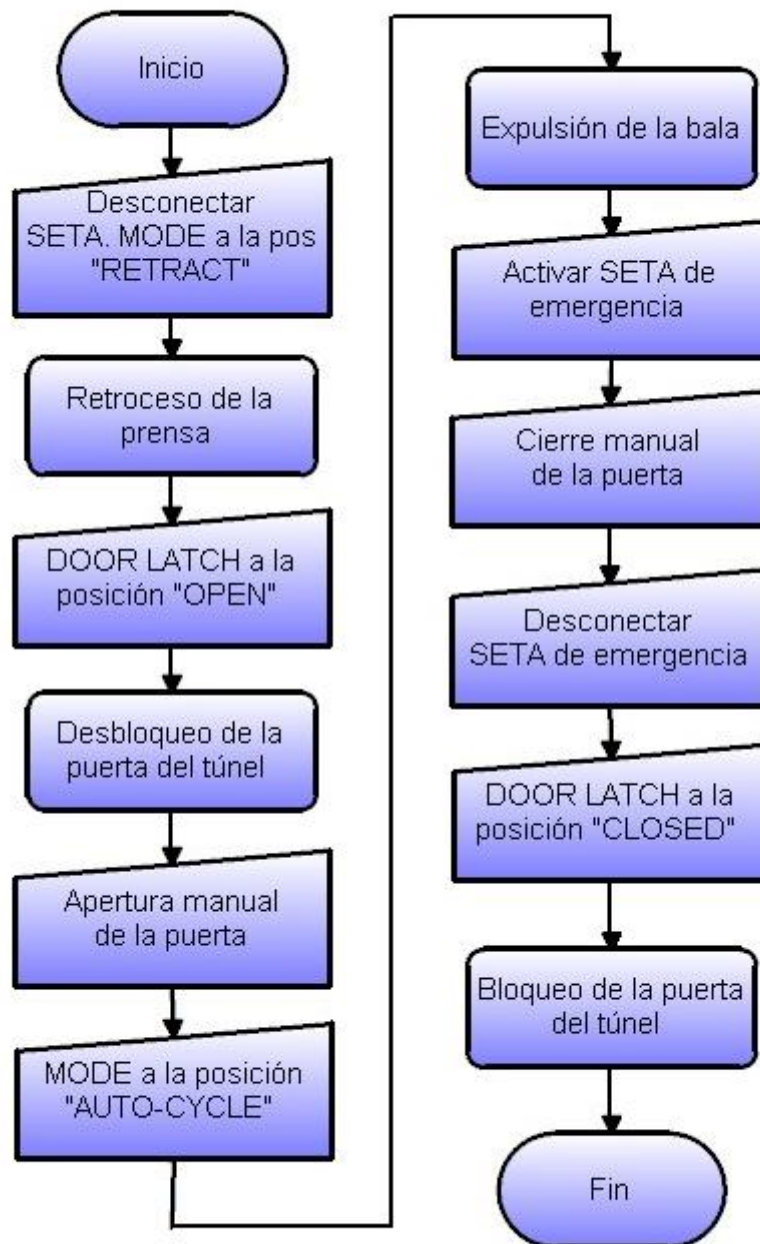


DIAGRAMA DEL PROCESO



EXPULSIÓN DE LA BALA



- Puesta en marcha del sistema

Antes de poner en funcionamiento la máquina se debe hacer una inspección visual de la misma y sus alrededores eliminando los restos de residuos que hayan podido quedar sin retirar.

Introducir la llave y girar a la derecha, el indicador luminoso POWER ON se iluminará. En el panel de control (Fig. 4.21), se debe comprobar que la “seta” de parada de emergencia esté desactivada y el selector de modo está situado en AUTO-CYCLE. Una vez comprobado se gira la llave nuevamente a la derecha, manteniendo la posición, lo que hará que la máquina emita una señal de aviso durante 5 segundos y el indicador luminoso situado encima del armario eléctrico empiece a parpadear. Tras 20 segundos de parpadeo este indicador se volverá fijo y se podrá retirar la llave.

En este momento la prensa hará un ciclo del cilindro principal y pondrá en marcha la cinta de alimentación.



Fig. 4.21. Panel de control de la compactadora

- Ciclo automático

Se alimenta la cinta transportadora con material que cae llenando la cámara de compresión de la máquina hasta que el nivel de material alcance al detector de célula fotoeléctrica de dicha cámara. En ese momento la prensa hará un ciclo de compresión volviendo el cilindro a su posición inicial. Este proceso cíclico se repite entre 4 y 6 veces según el material que se esté compactando y las dimensiones que se desea que tenga la bala. Durante el compactado la cinta de alimentación funcionará hasta que el nivel de residuo alcance el sensor óptico de la parte superior de la tolva, lo que hará que se detenga para evitar el vertido de residuo fuera de la tolva. Al agotarse el residuo contenido en la tolva y alcanzar el nivel el sensor de la parte inferior, la cinta se volverá a poner en funcionamiento. De esta manera el operario debe preocuparse únicamente de alimentar la máquina mientras se forma la bala.

Combinando el sensor inferior de la tolva y el instalado en la cámara de compresión la máquina es capaz de detectar atascos en la alimentación del material. El atasco se notifica con la iluminación intermitente del indicador luminoso 100% FULL/JAM en el panel de control y la parada de la cinta de alimentación. Si se produce, será necesario detener la máquina por completo girando la llave a la izquierda para resolverlo y posteriormente realizar la puesta en marcha del sistema explicado anteriormente.

Si el ciclo automático se desarrolla con normalidad, al alcanzar el 75% de la longitud prefijada para la bala el indicador luminoso 75% FULL se iluminará indicando que quedan pocos ciclos para finalizar la bala.

Este proceso lleva entre 4 y 5 minutos dependiendo del número de ciclos que hayan sido necesarios, teniendo en cuenta que la duración del ciclo de ida y vuelta del cilindro es de aproximadamente 22 segundos.

Al llegar a la longitud de bala deseada el indicador luminoso 100% FULL/JAM se iluminará y la prensa se detendrá sin hacer el retroceso, indicando que la bala puede ser atada. Existen cuatro sensores de carrera instalados en el cilindro principal, inicio y final de carrera (fijos) y dos sensores ajustables para fijar el 75% y el 100% de la dimensión total de la bala. Estos sensores de carrera unidos al presostato del circuito hidráulico permiten conocer tanto el grado de compactación como la longitud alcanzada y de esta así calcular si es necesario otro ciclo o no. De esta manera, al alcanzar el presostato la presión preajustada la máquina comprueba si se ha llegado a la longitud deseada y si es así se detiene en espera del atado.

- Atado de la bala

Las balas se atan con alambre mientras la prensa las mantiene sujetas con las dimensiones requeridas. Para completar esta operación son necesarios 4 minutos aproximadamente.

- Expulsión de la bala

Para expulsar la bala ya atada es necesario abrir la puerta del túnel y comenzar a formar una nueva bala, de tal forma que al compactar material para la nueva bala se expulsará la bala atada.

En primer lugar ha de girarse el mando de selección de modo a la posición RETRACT y girar la llave a la derecha para que el cilindro retroceda. Seguidamente se usará el mando de control del bloqueo de la puerta del túnel para desbloquearla manteniendo la posición OPEN hasta que quede totalmente libre. Para abrir la puerta con seguridad es necesario detener la máquina utilizando el botón de parada de emergencia, y una vez abierta se selecciona el modo automático para empezar una nueva bala. La apertura de la puerta lleva aproximadamente 1 minuto.

Se activa entonces el modo automático desde el panel de control llevando el conmutador MODE a la posición "AUTO-CYCLE" para que la máquina comience el compactado y aprovecha así el primer ciclo de la siguiente bala para expulsar la bala formada y atada.

Una vez expulsada la bala se detendrá la máquina mediante el interruptor de parada y se cerrará la puerta del túnel. Posteriormente debe cerrarse el bloqueo de la puerta del túnel con la máquina detenida. Se continúa entonces con el ciclo automático hasta que se conforme otra bala y se repite el proceso completo.

El proceso completo de formar una bala ya atada lleva un total de 8 minutos con un factor de tiempos muertos del 0%. Como se indica en la tabla de la página 23 con un factor de tiempos muertos del 50% el tiempo empleado por bala es de menos de 13 minutos y aún así es suficiente para procesar los 2.300kg/h que se pretenden embalar.

– Sobre el control de calidad del proceso

Las balas formadas deben tener unas características concretas para su venta, fundamentalmente de tamaño y densidad/peso pero también se exige que no contengan otros residuos ya sean plásticos, papel-cartón u orgánicos.

Este último requisito, así como las dimensiones de la bala, pueden ser comprobadas por los operarios tanto midiendo como a simple vista. En lo que respecta a la densidad de la bala la forma más fácil de obtenerla es pesando y midiendo la bala, ya que dos de las tres dimensiones de la bala son fijas y vienen dadas por las dimensiones del túnel (150x130). La tercera dimensión es variable y condiciona el volumen de la bala aunque en el caso de esta máquina esta dimensión se ha fijado en 85 cm. La bala puede ser pesada sin problemas con la ayuda de una carretilla elevadora o una transpaleta.

Por tanto se puede llegar fácilmente a la conclusión de que algo no marcha bien simplemente controlando la longitud y el peso de muestras de balas y calculando el valor de densidad que le corresponde.

– Sobre los tiempos y costes de reparación del activo

Este punto es de vital importancia para obtener un resultado realmente útil en la aplicación del método RCM ya que dependerá de las consecuencias que tenga una avería en concreto el que se busque prevenirla en mayor o menor medida.

- Cálculo de los costes indirectos de parada de la máquina

Como se ha expuesto anteriormente se dispone de un almacén de producto sin procesar con capacidad para 16 horas de trabajo a razón de 2,30Tm/h, es decir, con el almacén vacío la máquina puede dejar de trabajar 16 horas hasta que comienza a afectar a la producción. Normalmente dicho almacén se encuentra a la mitad de su capacidad con lo que el margen final es de 8 horas. En el caso más desfavorable y previendo un factor de tiempos muertos del 10% la prensa tiene capacidad suficiente para devolver el almacén a la mitad de su capacidad procesando las 2,30Tm/h en menos de 40 horas y tardaría menos de 20 horas en vaciarlo por completo.

El principal problema que debe tratarse al aparecer una avería que impide continuar procesando material es el deterioro de la materia no procesada, ya que además se trata de material de baja densidad y en condiciones de almacenaje al aire libre el simple efecto del viento es perjudicial.

Se estima que se pierde un 20% del material al almacenarlo al aire libre por lo que las pérdidas ocasionadas por una avería son del 20% del valor de venta del producto a partir de la novena hora. Según el valor de venta de 175€/Tm calculado anteriormente

las pérdidas son de 35€/Tm almacenada en el exterior lo que a razón de 2,3Tm/h y 16 horas al día hace un total de algo menos de 1.300€ de pérdida por cada día que la máquina no procese desde que se ha llenado por completo el almacén.

Este dato permite dar respuesta a la quinta de las siete preguntas que el método RCM nos hace sobre cada fallo, evaluando si merece o no la pena prevenirlo dependiendo de las semanas, días u horas de parada y por tanto los costes que impliquen.

- Averías y su reparación

La planta dispone de personal y equipo para hacer frente a ciertas averías y tendrá que recurrir a personal externo para las más complejas o específicas.

Asimismo, habrá operaciones o tareas de mantenimiento que puedan ser desempeñadas por el personal propio de la planta y otras más específicas o que requerirán equipo especializado tendrán que subcontratarse a empresas especializadas en cada sector. Como ejemplo podemos poner la mayoría de operaciones de reparación del motor eléctrico, reparación y/o limpieza de electroválvulas direccionales o reparaciones en los actuadores principal y secundario.

La planta dispone de personal técnico que se encarga de las tareas de reparación y mantenimiento de instalaciones eléctricas entre las que se encuentra la que alimenta la máquina objeto de este proyecto. También dispone de un operario mecánico de máquinas que desempeña labores de soldadura y engrase de la máquina, montaje y desmontaje de conductos hidráulicos y limpieza de los elementos más sencillos que componen el sistema hidráulico de la compactadora, tales como tubos flexibles, válvulas antirretorno o válvulas estranguladoras.

A continuación se muestra una relación de repuestos básicos y su precio aproximado, que se tendrá en cuenta a la hora de valorar las operaciones de mantenimiento que se deben llevar a cabo sobre la compactadora.

REPUESTO	COSTE	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL
Aceite Hidráulico, alcanzar nivel	5,00 €	litro	360	1.800,00 €
Aceite Hidráulico, tanque completo	5,00 €	litro	450	2.250,00 €
Cuñas de alineación para el acoplamiento	40,00 €	pack	1	40,00 €
Material rediseño de conductos de aspiración	250,00 €	-	1	250,00 €
Cable/manguera de alimentación	1,00 €	metro	30	30,00 €
Flexo 350/SAE6000 (14)	30,00 €	unidad	1	30,00 €
Flexo SAE6000	30,00 €	unidad	2	60,00 €
Contactador 63A 4NA 400V HAGER ES463	120,00 €	unidad	1	120,00 €
Seta emergencia SCHNEIDER ZB4BS844 22MM	19,00 €	unidad	1	19,00 €
Motor eléctrico Siemens 18,5kW 1500 rpm	900,00 €	unidad	1	900,00 €
Rodamientos SKF	14,00 €	unidad	2	28,00 €
Carcasa Motor	300,00 €	unidad	1	300,00 €
Eje motor eléctrico	150,00 €	unidad	1	150,00 €
Transductor de presión con electrónica integrada	225,00 €	unidad	1	225,00 €
Sellos varios para elementos hidráulicos	20,00 €	pack	1	20,00 €
Sensor de carrera para cilindro hidráulico	35,00 €	unidad	1	35,00 €
Sensor óptico	23,00 €	unidad	1	23,00 €
Resorte para válvula	10,00 €	unidad	1	10,00 €
Solenoides para electroválvula	40,00 €	unidad	1	40,00 €

Tabla 4.22. Relación de repuestos

– Sobre las tareas de mantenimiento llevadas a cabo por personal propio

Como se ha indicado anteriormente la planta dispone de personal técnico de mantenimiento que dispone de conocimientos y material necesario para realizar las siguientes tareas de mantenimiento.

- Revisión y reparación de la instalación eléctrica de alimentación

- Detección de fugas internas en el actuador principal y la bomba de paletas constante PVV2 (12):

Con el fin de evitar pérdidas de presión y caudal como consecuencia del deterioro de elementos del sistema como son el sello/retén del cilindro principal o el desgaste de las paletas de la bomba PVV2 (12), se propone realizar la siguiente tarea a condición indicada en la lista de tareas del Anexo III.

En primer lugar se cronometra el movimiento del cilindro para detectar la pérdida de caudal. Si como resultado de la prueba se obtiene un tiempo superior a 10 segundos por metro en la carrera de ida o superior a 6 segundos por metro en la de retorno, se procederá de la siguiente manera:

En primer lugar y por sencillez se comprueba que el retén del actuador principal esté en buen estado conectando una bomba manual al cilindro y comprobando que mantiene la presión según norma ISO. De detectar el fallo del retén éste debe ser sustituido, y en el caso de que el estado sea correcto el fallo está en el conjunto motor-bomba.

La pérdida de caudal de la bomba puede ser consecuencia de un régimen de giro del motor inferior a 1500rpm con lo que antes de sustituir el juego de montaje de la bomba por este motivo es necesario comprobar el régimen de giro del motor haciendo uso de un medidor estroboscópico. Si la pérdida de caudal con respecto al caudal teórico de la bomba de 240l/min supera el 20% será necesario sustituir el cartucho del juego de montaje de la bomba.



Fig. 4.23. Juego de montaje intercambiable de la bomba de paletas PVV2

- Medición mediante vibrómetro de tipo piezoeléctrico o similar:

Se realiza esta prueba con el fin de detectar posibles fallos en el motor eléctrico o en el acoplamiento de éste con la bomba de paletas PVV2 (12). La prueba se realizará mediante la utilización de un vibrómetro de tipo piezoeléctrico o similar que permita la medición de aceleración, velocidad y desplazamiento. Como base para el análisis de resultados se propone tomar los valores dados por la norma ISO 10816 sobre el estado de motores de *Clase II* de potencias entre 15 y 75kW.

La prueba se debe realizar según norma ISO en ambos apoyos del motor y al menos en dos ejes. Al detectarse un posible fallo mediante el vibrómetro se deben realizar en este orden las siguientes tareas:

- Desacoplar el motor de la bomba y realizar nueva medida, si el resultado es satisfactorio comprobar el alineado motor-bomba y realizar medida tras el alineado dando por terminada la tarea.

- Sustitución del motor por el repuesto disponible en almacén y sustitución de rodamientos del motor desmontado comprobando el estado de los rodamientos retirados. Realizar nueva medida tras sustituir los rodamientos dando por terminada la tarea si el resultado es satisfactorio.
- Envío a especialista del motor averiado para su reparación.

VIBRACIÓN SEGÚN ISO 10816					
MÁQUINA		Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
mm/s					
Velocidad de vibración	0,28				
	0,45				
	0,71		BUENO		
	1,12				
	1,80				
	2,80		SATISFACTORIO		
	4,50				
	7,10		DEFECTUOSO		
	11,2				
	18,0				
	28,0		INACEPTABLE		
	45,0				

Tabla. 4.24. Resultados de la prueba de vibración según ISO 10816

	Resultado	Medidas a tomar
Color	Ligera coloración oscura sin posos en el fondo	Ninguna, el aceite va oscureciendo su color a medida que acumula horas de uso
	Fuerte coloración oscura con posos en el fondo	Filtrado completo del aceite y realización de análisis en laboratorio
Presencia de materias extrañas	Limpio, transparente y sin incrustaciones	Ninguna
	Limpio y transparente con pequeñas incrustaciones	Acortar los intervalos de comprobación
	Partículas de suciedad en suspensión (turbiedad) o suciedad depositada en el fondo	Filtrado de la carga de aceite y limpieza de todo el sistema, control del filtro de baja presión 0160 MG (7) en busca del origen y la tipología de las partículas. Realización de análisis en laboratorio
Agua en la carga de aceite	Turbiedad (emulsión), separación visible del agua	Comprobación de la presencia de agua mediante muestra. Separado y vaciado del agua presente en el aceite mediante purga inferior del tanque
Espuma	Creciente formación de espuma. Salida de espuma del depósito	Comprobación de la estanqueidad al aire de la tubería de alimentación y el nivel de líquido en el tanque
Olor	Olor a aceite quemado	No es motivo de preocupación mientras no se presenten simultáneamente otras alteraciones
	Olor ácido con coloración oscura y posos en el fondo	Cambio de aceite inmediato y limpieza completa del sistema

Tabla. 4.25. Análisis visual y olfativo del aceite hidráulico

- Examen visual y olfativo del líquido de presión:

Como norma general para líquidos de presión a base de aceite mineral es posible realizar un examen visual y olfativo de una pequeña muestra que permita detectar posibles defectos y pérdida de propiedades. Los resultados del examen visual y olfativo pueden comprobarse en la siguiente tabla. Se recomienda la realización de una analítica del aceite al menos una vez al año.

- Realización de la prueba de RTG (resistencia a tierra) mediante megger:

Se deben desconectar de la alimentación todos los circuitos para los que se vaya a medir el nivel de aislamiento, quedando los terminales libres. Ha de realizarse la prueba manteniendo la medida durante 1 min. y empleando una tensión de 500V en corriente continua. Un resultado menor de 1,5 MegOhms indica deficiencias en el aislamiento del circuito en cuestión. Se debe medir tanto el aislamiento de cada fase del motor con la carcasa (puesta a tierra del motor) como de las fases entre sí.

5 – Relación y evaluación de modos de fallo y fallos funcionales (AMFE)

Una vez que se ha analizado tanto la máquina como el contexto en el que opera (capítulos 1 y 2 de este documento) podemos abordar el punto principal que es la aplicación del método RCM, comenzando por dar respuesta una a una a las siete preguntas que nos propone.

5.1. – Funciones principales

¿Cuáles son las funciones y estándares de funcionamiento del activo en su actual contexto operacional?

Para dar respuesta a esta pregunta se ha analizado el sistema de producción de la planta y la máquina en sí. Es fácil llegar a la conclusión de que la función principal de la compactadora es producir balas a partir del material separado en la planta a razón de una cantidad que viene dada por la procesada por las líneas de triaje y separación que la preceden. Ahora bien, el proceso de conformado de las balas implica operaciones manuales como el atado que no dependen del estado de la máquina ni de su correcto mantenimiento y por tanto no deben incluirse directamente en lo que se pretende que la máquina haga.

Aunque las operaciones manuales que se han mencionado en el párrafo anterior no dependen del estado de la máquina, se debe fijar una cantidad de material a procesar para a partir de esta cantidad hallar los requerimientos funcionales que sí dependen del estado de la compactadora. Esta cantidad es 2,3Tm/h, pero si se fija esta cantidad como estándar de funcionamiento se corre el riesgo de no poder hacer frente a averías y paradas de mantenimiento ya que la máquina, procesando 2,3Tm/h no es capaz de vaciar el almacén de material separado con lo que a partir de la novena hora de parada, por cada hora que la máquina no esté procesando la planta incurrirá en unas pérdidas de 175€/h. Si vemos de nuevo la tabla de capacidad de la máquina que se presentó en el capítulo 3 tomaremos como factor de tiempos muertos correcto un valor del 10% y como mínimo aceptable un 25% de tal forma que la máquina sea capaz de procesar al menos 2,9Tm/h, es decir, 6 balas por hora de trabajo.

CAPACIDAD DE LA MÁQUINA				
Factor tiempos muertos (%)	0	10	25	50
min/bala	8	8,8	10	12
balas/min	0,125	0,114	0,100	0,083
balas/h	7,50	6,82	6,00	5,00
Tm/bala	0,489	0,489	0,489	0,489
Tm/h	3,666	3,332	2,933	2,444

Fig. 5.1. Capacidad de la máquina

A partir del dato de las 2,9Tm/h podemos definir los requerimientos funcionales asociados con la productividad que dependen directamente del mantenimiento. En condiciones de funcionamiento normales el tiempo necesario para hacer un ciclo de ida y vuelta de la prensa es de 22 segundos. La máquina precisa de entre 6 y 7 ciclos de prensado para formar una bala por lo que en el caso más desfavorable de necesitar 7 ciclos tardaría 154 segundos para formarla por completo. Podemos definir por tanto como requerimiento funcional que la máquina debe tardar menos de 200 segundos, es decir, 3 minutos y 20 segundos en formar una bala y detenerse en espera del atado. Para que se cumpla esta función es necesario que la máquina se encuentre correctamente alimentada y ello implica que la tolva debe proporcionar residuo suficiente para que durante el proceso de compactado se produzcan los menores tiempos muertos posibles. Dado el volumen de la tolva y la posición de los sensores ópticos que controlan la cinta de alimentación se fija la cantidad a contener por la tolva como 2,3m³, añadiendo además que no se debe verter residuo al exterior por razones de seguridad.

Tras el atado de la bala, que debe realizarse en un tiempo de aproximadamente 4 minutos, se procede a la expulsión de la misma y debe abrirse la compuerta que cierra el final del túnel. Para ello se acciona el actuador secundario cuyo movimiento está limitado en velocidad para garantizar la seguridad de la persona que lo opera. Dicho actuador debe tardar entre 2 y 20 segundos en realizar el recorrido completo de apertura o cierre. Si tarda menos de 2 segundos se corre riesgo bien de atrapamiento bien de recibir un golpe, si tarda más de 20 segundos se perjudica la productividad. Se estima que el proceso completo de apertura y cierre de la puerta no debe llevar más de 1 minuto. Para la expulsión de la bala se utiliza el primer ciclo de compactación de la siguiente bala y por tanto ya se ha contemplado en los requerimientos funcionales anteriormente expuestos, ahora bien, es fundamental que la puerta del túnel se pueda abrir y cerrar sin problemas y para garantizarlo se ha añadido a las funciones principales.

Por otro lado se espera que las balas tengan unas características concretas, algunas fijadas por las empresas que compran el producto como la homogeneidad y la limpieza del material y otras derivadas del transporte de las balas como el peso y las dimensiones. Dos de las dimensiones de las balas son fijas y tienen la medida de la sección transversal del túnel de la máquina, pero la tercera puede ajustarse y el valor nominal serán 85cm con una tolerancia del 10%, es decir, entre 77 y 94cm. El peso de la bala depende del material que se compacte, tomando como valor de control la densidad de la bala ésta varía entre los 106kg/m³ del Poliestireno/Poliestireno Expandido y los 362kg/m³ del papel/cartón, con una tolerancia del 5%.

Hasta aquí las funciones asociadas a la producción de balas, tratamos a continuación funciones fundamentales relativas a la seguridad y el medio ambiente, que son tenidas en cuenta en gran medida al aplicar el método RCM.

En primer lugar, durante la compactación el cilindro aplica una fuerza sobre el material y la puerta del túnel que puede llegar a alcanzar los 54.000 kg con lo que es

fundamental que el bloqueo de la puerta del túnel sea efectivo para evitar el desbloqueo durante el compactado y el riesgo de lesión que ello supone.

En segundo lugar se deben cumplir unos niveles máximos de emisión de ruido según la legislación vigente por lo que debe incluirse esta condición como función principal. Según el fabricante el nivel de emisión de ruido de la máquina es de 82dB en la zona del motor y de 74dB en la zona del panel de control, ambas medidas realizadas a una distancia de 1m. Según el Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo, para emisiones continuas de nivel diario equivalente mayor de 80dBA es necesario que el trabajador utilice protección auditiva y para valores superiores a 90dBA es necesaria la creación de un programa de medidas técnicas destinado a disminuir la generación o la propagación del ruido, u organizativas encaminadas a reducir la exposición de los trabajadores al ruido. Es por ello necesario mantener el nivel de emisiones de la máquina por debajo de 90dBA y este será otro requerimiento funcional.

En tercer lugar la máquina ha de ser respetuosa con el medio ambiente, debiendo evitar el vertido de agentes contaminantes siendo en este caso dicho agente el aceite contenido en el tanque y el circuito hidráulico.

De esta forma la relación de funciones principales a desempeñar por la compactadora son las siguientes.

Funciones principales	
1	Compactar el residuo de la tolva en una bala de 150x130x85±9 cm y D±d' kg/m ³ de cartón o plástico en no más de 200 seg.
2	Ser capaz de mantener la puerta del túnel bloqueada durante los ciclos de prensado
3	Ser capaz de desbloquear la puerta del túnel en 2 a 20 seg.
4	Ser capaz de bloquear la puerta del túnel en 2 a 20 seg.
5	Permitir la apertura y cierre manual de la puerta del túnel
6	Ser capaz de contener en la tolva hasta 2,3m³ de plástico o papel/cartón sin vertido alguno al exterior
7	Evitar contaminar las balas con aceite hidráulico
8	Mantener el nivel de emisión ruido por debajo de 90 dBA. en el panel de control

Tabla 5.2. Funciones principales

5.2. – Relación y evaluación de modos de fallo y fallos funcionales AMFE

Partiendo de las funciones principales se ha analizado de qué manera puede la máquina dejar de cumplir dichas funciones, analizando cada una de las posibilidades y describiendo los efectos, permitiendo de esta forma concretar lo que ocurrirá al darse el fallo y por tanto las pistas que tendrán los operarios para percatarse de que el fallo se ha dado. Se ha dado respuesta a las preguntas dos, tres y cuatro de las siete planteadas por el método y se ha volcado toda esta información en la HOJA DE INFORMACIÓN.

¿De qué manera falla en el cumplimiento de sus funciones?

¿Qué es lo que causa cada fallo en sus funciones?

¿Qué sucede cuando ocurre el fallo?

6 – Hoja de decisión RCM. Plan de mantenimiento

6.1. – Hoja de decisión RCM

Utilizando el diagrama de flujo que se mostraba en el capítulo 1 y habiendo evaluado los costes y las repercusiones de cada uno de los fallos propuestos se confecciona la HOJA DE DECISIÓN DEL RCM, proponiendo las tareas adecuadas y la frecuencia de su realización.

¿Hasta qué punto y de qué forma importa si ocurre cada fallo?

¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada fallo?

¿Qué ocurre si no se puede encontrar una tarea proactiva apropiada?

6.2. – Lista de tareas

A partir de la HOJA DE DECISIÓN DEL RCM se elabora el plan de mantenimiento, es decir, la combinación de tareas necesarias para que la máquina no cese en la realización de las funciones principales que se han descrito en el capítulo 6. Estas tareas deben llevarse a cabo según la frecuencia indicada para hacer el método lo más eficaz posible.

7 – Conclusiones

Tal y como se expone en el capítulo 5 al producirse una avería no se producen pérdidas hasta la 9ª hora de parada de la máquina y éstas ascienden a 1.300€ por día. Para una avería concreta en la que sea necesaria la sustitución del elemento averiado, si el coste que supone la compra y recepción de este elemento no supera la cantidad que se obtiene de multiplicar los días de parada por las pérdidas diarias es necesario disponer de un repuesto en el almacén de la planta. De esta forma se tiene la siguiente lista de elementos que se recomienda tener en almacén, que puede ser modificada si cambian las condiciones de precio y/o costes de recepción en el futuro.

- Motor eléctrico
- Tubos flexibles 350/SAE6000 (14)
- Rodamientos
- Presostato (24)
- Válvula de bola DN80 (8)
- Válvula antirretorno RDH35 (28)
- Electroválvula 4WEH (34)
- Válvula insertable LC32 (35)
- Válvula de asiento M-3SED (37)
- Válvula limitadora de presión DBDS (38)
- Válvula antirretorno insertable M-SR 25 (39)
- Válvula estranguladora insertable DVE (41)
- Electroválvula 4WE (42)
- Válvula antirretorno pilotada (44)
- Filtro de baja presión 0160 MG (7)
- Aceite suficiente para un llenado completo del tanque

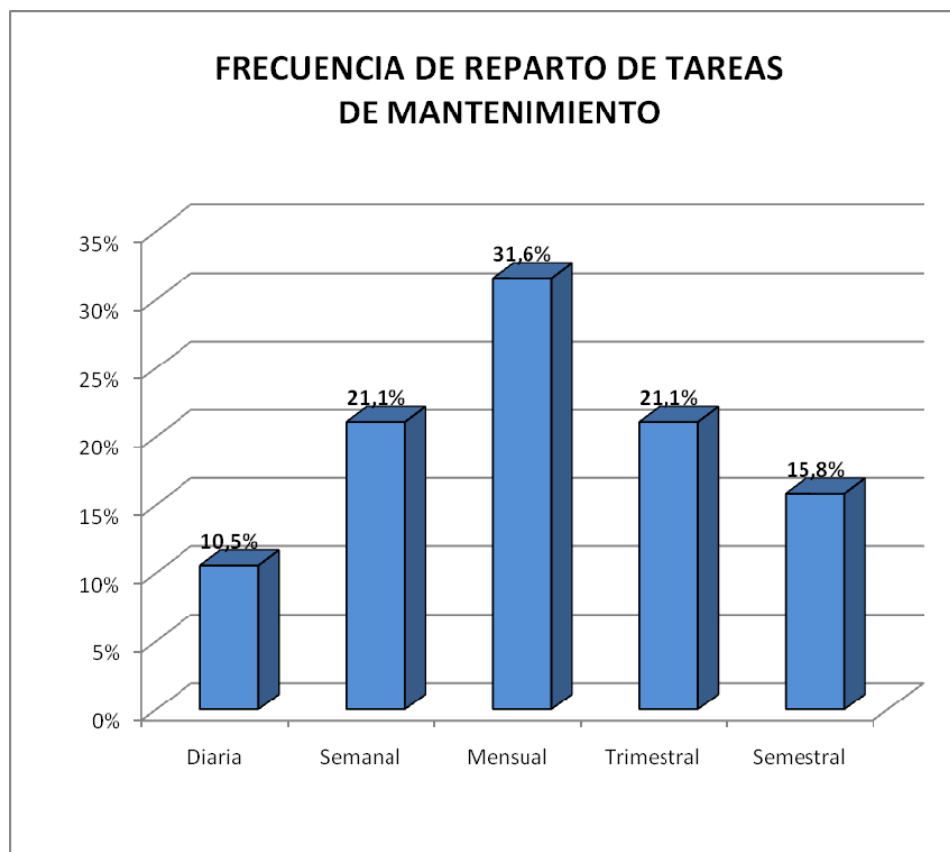
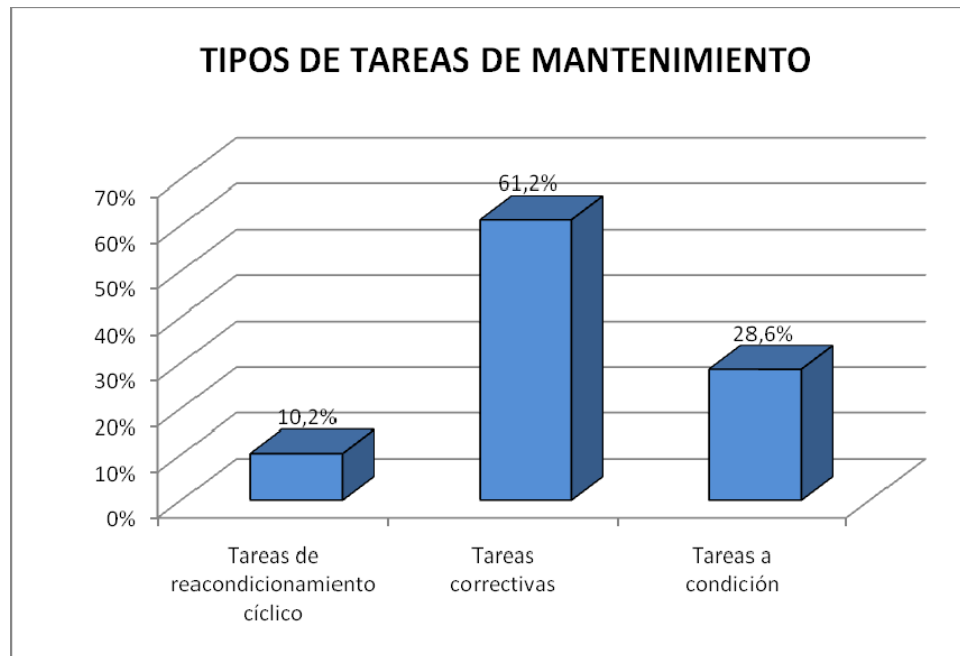
Se puede constatar en el siguiente gráfico de barras que gran parte (61,2%) de tareas de mantenimiento son del tipo “correctivo”, que únicamente se realizarán en el caso de fallo del elemento en cuestión, evitando así la realización de muchas tareas innecesarias. Esto es debido a que existe un gran número de averías cuya reparación es rápida si se dispone del repuesto y que por tanto dan lugar a una respuesta negativa a la pregunta que el método nos propone sobre si merece la pena llevar a cabo una tarea de mantenimiento.

Por otro lado vemos que en segundo lugar (28,6%) se encuentran las tareas de tipo “a condición”.

El menor número de tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica indica que éstas sólo se realizarán en los casos en los que la reparación de la avería implique una parada de 9 o más horas que provoque pérdidas.

Podemos afirmar que de no aplicar el método RCM se podría caer en la tentación de tratar de evitar un gran número de modos de fallo (el 61,2% de ellos) sin que ello contribuyese a mejorar la seguridad o la producción.

Sobre la frecuencia de realización de dichas tareas de mantenimiento se aprecia que se concentra aproximadamente en el centro de la distribución de frecuencias, lo que indica que no habrá demasiadas tareas que se realicen ni muy frecuentemente ni entre periodos muy largos de tiempo.



Todas las tareas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo pueden ser realizadas por el personal propio de la planta lo que supone un ahorro considerable en gastos de externalización de procesos, mano de obra y desplazamiento de técnicos especialistas, etc. Esto es posible por tratarse de una planta de un tamaño considerable y que agrupa distintos tipos de máquinas y que posee su propio equipo y taller de mantenimiento.

Tras aplicar RCM2 a la compactadora se ha detectado que, para el modo de fallo 2.A.1 que se refiere a la capacidad de la máquina para mantener bloqueada la puerta del túnel durante el proceso de prensado, tras constatar que no existe ninguna tarea que garantice el cumplimiento de la función 2 ya que se trata de un error de operación, debe procederse al rediseño del dispositivo. Se propone para ello por un lado la instalación de un sensor en el sistema de bloqueo que informe de su estado al PLC, y por otro la modificación de la programación del PLC de manera que se establezca un límite a la presión alcanzada por el sistema en el movimiento de avance del cilindro principal si la puerta del túnel no está correctamente cerrada. Al producirse la apertura no deseada del bloqueo durante el prensado debe abrirse la válvula de descarga LC32 de forma inmediata para reducir la presión del sistema lo antes posible y minimizar así el riesgo de lesión al operario.

De esta manera se asegura el cumplimiento de la Función Principal 2 evitando riesgos de lesión a los operarios.

Tras la exposición de las conclusiones se presentan como anexos las hojas de información y decisión del RCM, así como la lista de tareas y un esquema del circuito hidráulico de la máquina.

8 – Bibliografía

- John Moubray. *Reliability-centered Maintenance*. 2ª Ed. Industrial Press Inc., 2001
- Anthony Smith. *Reliability centered Maintenance*. McGraw-Hill 1993.
- ISO 2372/1974. Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s
- IEEE 43. Realización de test de resistencia a tierra mediante el dispositivo Megger.
- Gilberto Henríquez Harper. *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. Ed. Limusa 2000.
- Bosch Rexroth. *Documentación, catálogos y literatura técnica sobre oleohidráulica y sus componentes*.
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

9 – Anexos

Anexo I - Hoja de información del AMFE

Anexo II - Hoja de decisión RCM

Anexo III - Lista de tareas

Anexo IV - Esquema del circuito hidráulico