

# DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM PARA UNA MÁQUINA LLENADORA DE LATAS



**Institución:** Universidad de Sevilla

**Titulación:** Ingeniería Industrial

**Fecha:** 10 de Mayo de 2009

**Autor:** Joaquín Rodríguez Blesa

**Tutor:** Dr. Adolfo Crespo Márquez

## 1 Tabla de contenido

2	INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO .....	6
2.1	Introducción .....	6
2.2	Objeto.....	7
2.3	Sumario del Proyecto .....	7
3	ANTECEDENTES .....	8
3.1	Algunas definiciones previas .....	8
3.2	Planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento en el proceso de diseño 21	
3.2.1	Generalidades .....	21
3.2.2	Concepto del mantenimiento .....	22
3.2.3	Planificación de la logística de mantenimiento.....	22
3.3	Análisis de la planificación del mantenimiento.....	23
3.3.1	Identificación de tareas de mantenimiento .....	23
3.3.2	Análisis del nivel de reparación.....	27
3.3.3	Plan de mantenimiento.....	29
3.4	La mantenibilidad.....	30
3.4.1	El concepto de mantenibilidad.....	30
3.4.2	Actividades de mantenibilidad .....	32
3.5	Relevancia del mantenimiento hoy en día .....	34
3.6	Proyectando sistemas de producción eficaces .....	37
3.7	Dirección de operaciones, gestión e ingeniería del mantenimiento .....	39
3.8	El ingeniero de mantenimiento.....	44
4	Modelo empresarial analizado.....	45

4.1	Tipo y actividad de la organización .....	45
4.2	El sector cervecero .....	46
4.3	El proceso de la cerveza .....	54
5	Herramientas de mantenimiento y gestión de éste .....	56
5.1	FMEA, FMECA y FTA .....	56
5.2	La herramienta RCM .....	61
5.2.1	Un poco de historia .....	61
5.2.2	La metodología RCM .....	62
5.2.3	Logros del RCM.....	66
6	Desarrollo del RCM de la llenadora de latas .....	69
6.1	El contexto operacional.....	69
6.2	Modo de funcionamiento de la máquina.....	73
6.2.1	Principio básico - Servicio de llenado .....	73
6.2.2	Principio básico - Servicio CIP-/SIP .....	79
6.3	Hoja de registro del FMEA.....	83
6.4	Hoja de decisión del RCM.....	96
6.5	Hoja de registro del RCM .....	108
7	Conclusiones .....	122
7.1	EL plan de mantenimiento .....	122
7.2	Distribución temporal de las actividades .....	124
8	Agradecimientos .....	141
9	Bibliografía .....	142

## Índice de tablas

Tabla 1 Intervalos relacionados con el tiempo .....	20
Tabla 2 Costes directos en mantenimiento en España (año 2000).....	35
Tabla 3 Criterios para la asignación de valores del FMEA.....	57
Tabla 4 ejemplo de tabla de FMEA .....	58
Tabla 5 Símbolos más usuales.....	60
Tabla 6 Beneficios del RCM .....	69
Tabla 7 Acometidas de alimentación .....	72

## Índice de figuras

Figura 1 Mantenimiento; visión general .....	19
Figura 2 Ejemplo de la hoja de trabajo del manual de mantenimiento.....	26
Figura 3 Desarrollo del plan de mantenimiento .....	30
Figura 4 La dirección de operaciones. Subsistemas.....	40
Figura 5 Dirección de operaciones, mantenimiento y fabricación .....	41
Figura 6 Distribución de las ventas por zonas en España .....	48
Figura 7 Centros productivos .....	49
Figura 8 Factorías de Heineken España.....	50
Figura 9 Fases de la elaboración de la cerveza .....	55
Figura 10 Ejemplo de árbol de fallos .....	60
Figura 11 Estrategias del mantenimiento .....	62
Figura 12 Árbol de decisión del RCM .....	64
Figura 13 Flujograma de implementación del RCM.....	66
Figura 14 Localización de la llenadora en la línea de envasado.....	70
<b>Figura 15 Fases de llenado</b> .....	<b>73</b>
Figura 16 Unidad de centrado.....	74
Figura 17 Mando de las válvulas de llenado .....	75
Figura 18 Fases de llenado .....	76
Figura 19 Fases de llenado .....	77
Figura 20 Fases de llenado .....	78

Figura 21 Fases de llenado .....	79
Figura 22 Fase del CIP.....	80
Figura 23 Diagrama EPS.....	82

## Índice de gráficos

Gráfico 1 Diferentes estados de un elemento .....	19
Gráfico 2 Intervalos relacionados con el tiempo .....	20
Gráfico 3 Consumo per cápita en Europa .....	47
Gráfico 4 Distribución de las ventas por canal de distribución en 2006.....	49
Gráfico 5 Distribución de las ventas por tipo de envase (2006) .....	50

## Índice de fotos

Foto 1 Fábrica de Jaén.....	51
Foto 2 Fábrica de Valencia .....	51
Foto 3 Fábrica de Madrid .....	52
Foto 4 Fábrica de Arano .....	52
Foto 5 Fábrica de Sevilla.....	53

## 2 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO

### 2.1 *Introducción*

Durante el curso 2007-2008 surgió la posibilidad de disfrutar de una beca en la nueva fábrica que la empresa Heineken, SA posee en Sevilla. Además de la beca existía la posibilidad de realizar un proyecto final de carrera relativo al mantenimiento de una de las máquinas con las que allí trabajé. La empresa tiene muy claro el nivel de calidad que espera de las nuevas instalaciones, y para preservarlas en las mejores condiciones posibles se optó por utilizar una herramienta que no les era desconocida y que les había dado buenos frutos en otras aplicaciones. Se trata de la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) ó MCF (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad).

En este caso se aplicará en la máquina más crítica de la línea de embotellado de latas, la llenadora. Se trata del cuello de botella de todo el proceso, pues toda la línea está a expensas del buen funcionamiento de la llenadora.

Debido a que hablamos de una máquina nueva, de tecnología distinta a la hasta ahora usada en anteriores experiencias en la empresa, nos encontramos ante todo un reto por cuanto no existe un histórico de fallos, y a la vez con una clara intención de hacer las cosas bien desde el principio. Es aquí donde el carácter vivo del RCM adquiere su importancia, pues más allá de la ayuda que se pueda obtener del instalador y de la corta experiencia que se tiene con la máquina, se deberán ir incluyendo los nuevos aspectos que de su uso intensivo se deriven, completando aquellos que por falta de previsión se pasaran por alto, y comprobando si la criticidad y el hincapié en determinados aspectos del plan de mantenimiento siguen siendo vigentes durante la vida de la llenadora.

El presente documento constituye la realización del proyecto fin de carrera “realización de un plan de mantenimiento mediante la metodología RCM para una máquina llenadora de latas”, que lejos de ser una entelequia académica, es la aplicación real de una de las herramientas más poderosas con las que cuenta la ingeniería y gestión del mantenimiento actual a un sistema productivo en su contexto operacional.

## 2.2 Objeto

El objeto de éste proyecto es la obtención de un plan de mantenimiento vivo y ajustado a una máquina llenadora de latas. Vivo por cuanto no es un estudio cerrado, sino que debe irse enriqueciendo con las aportaciones que de la experiencia en el uso del sistema se deriven, y ajustado porque es de aplicación a este sistema en particular, trabajando en su entorno y en sus condiciones determinadas de operación.

## 2.3 Sumario del Proyecto

El proyecto comienza explicando someramente el devenir del mantenimiento como disciplina imprescindible en una sociedad industrializada. Sus orígenes, alteraciones y su estado actual. Para ello me apoyaré en datos de lo que ha supuesto esta actividad en los distintos campos a través de su historia. Más adelante continuaremos poniéndonos en los antecedentes que llevaron a la aparición del RCM, a su evolución como metodología y a su aplicación en diversos campos de la industria.

Posteriormente se realiza una descripción del concepto de fiabilidad operacional y se detallan de forma breve las técnicas modernas de gestión del mantenimiento, realizando un especial énfasis en las que emplearemos en nuestro proyecto, como por ejemplo el FMEA (Failure Mode Effects Analysis), el FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), el FTA (Fault Tree Analysis), el Análisis Causa-Raíz (ACR) o la metodología de Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM).

A continuación nos ocupamos de definir el modelo empresarial que se va a analizar, detallando el tipo y actividad de la empresa Heineken, SA., que es objeto de estudio, y las características de la maquinaria de que dispone. Con posterioridad se realiza una primera evaluación de la situación inicial de sus activos, en términos de costes de mantenimiento y frecuencia de intervenciones, para abordar una primera clasificación de criticidad en la maquinaria que nos permita demostrar el porqué centrar el estudio en la llenadora.

Una vez seleccionado el sistema, se procede al análisis detallado de los elementos que componen dichos equipos con la finalidad de obtener una estructura ordenada por criticidad

de los mismos para posteriormente aplicarles las técnicas mencionadas de ingeniería de mantenimiento.

La sección final del proyecto es el plan de mantenimiento en sí y aborda una serie de propuestas para la mejora de la gestión del mantenimiento encaminadas a fomentar una gestión eficiente de la información del histórico de los equipos.

### 3 ANTECEDENTES

#### 3.1 *Algunas definiciones previas*

**Mantenimiento:** Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida.

**Gestión del mantenimiento:** Todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, y las realizan por medio de planificación del mantenimiento, control y supervisión del mantenimiento, mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos.

**Objetivos del mantenimiento:** Metas asignadas y aceptadas para las actividades de mantenimiento.

NOTA –Estas metas pueden comprender, por ejemplo, la disponibilidad, la reducción de costes, la calidad del producto, la protección del medio ambiente, la seguridad.

**Estrategia de mantenimiento:** Método de gestión utilizado con el fin de lograr los objetivos del mantenimiento.



**Plan de mantenimiento:** Conjunto estructurado de tareas que comprende las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para ejecutar el mantenimiento.

**Función requerida:** Función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado.

**Seguridad de funcionamiento:** Conjunto de las propiedades utilizadas para describir la disponibilidad y sus factores de influencia: fiabilidad, mantenibilidad y sostenibilidad del mantenimiento.

NOTA –La seguridad de funcionamiento se utiliza exclusivamente para descripciones generales en términos no cuantitativos.

**Sostenibilidad del mantenimiento:** Capacidad de una organización de mantenimiento de disponer del soporte de mantenimiento apropiado en el lugar necesario para desarrollar la actividad de mantenimiento requerida en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo determinado.

**Elemento:** Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda considerarse individualmente.

NOTA –Un número dado de elementos, por ejemplo, un conjunto de elementos o una muestra, pueden por sí mismos considerarse como un elemento.

**Activo:** Un elemento considerado formalmente como contable.

**Elemento reparable:** Elemento que puede, después de un fallo y bajo unas condiciones determinadas, devolverse a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida.

NOTA –Las condiciones determinadas pueden ser económicas, ecológicas, técnicas y/o otras.

**Elemento reparado:** Elemento reparable que es de hecho reparado después de un fallo.

**Elemento consumible:** Elemento o material que no es propiamente un elemento, y que se destina a una utilización única.

**Repuesto:** Elemento destinado a reemplazar un elemento análogo, con el fin de restablecer la función requerida original del elemento.

NOTA 1 –El elemento original puede repararse subsecuentemente.

NOTA 2 –Un elemento que está dedicado y/o es intercambiable para un elemento determinado se denomina a menudo elemento de recambio.

**Nivel de intervención:** Nivel de subdivisión de un elemento, desde el punto de vista de una acción de mantenimiento.

NOTA 1 –Ejemplos de niveles de intervención podrían ser sistema, subsistema o componente.

NOTA 2 –El nivel de intervención depende de la complejidad de construcción de un elemento, de la accesibilidad a los subsistemas, del nivel de competencia del personal de mantenimiento, de la disponibilidad de equipos de ensayo, de las consideraciones de seguridad y salud, etc.

**Disponibilidad:** Capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos.

NOTA 1 –Esta capacidad depende de la combinación de aspectos de la fiabilidad, la mantenibilidad y la sostenibilidad del mantenimiento.

NOTA 2 –Los recursos externos requeridos distintos de los recursos de mantenimiento no afectan la disponibilidad del elemento.

**Fiabilidad:** Capacidad de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo determinado.

NOTA –El término “fiabilidad” también se utiliza para designar el valor de la fiabilidad, y puede definirse a su vez como una probabilidad.

**Mantenibilidad:** Capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantenerse en, o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos.

NOTA –La mantenibilidad también se utiliza para designar el valor de la ejecución de la mantenibilidad.

**Fallo:** Cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida.

NOTA 1 –Después del fallo el elemento presenta una avería, la cual puede resultar completa o parcial.

NOTA 2 –El “fallo” es un evento, a diferenciar de la “avería” que es un estado.

**Causa de fallo:** Razón que conduce al fallo.

NOTA –Las razones pueden ser el resultado de uno o más de los siguientes factores: Fallo de diseño, fallo de fabricación, fallo de instalación, fallo por uso inapropiado, fallo por manipulación inadecuada, fallo relacionado con el mantenimiento.

**Fallo por desgaste:** Fallo cuya probabilidad de aparición se incrementa con el tiempo de operación o con el número de operaciones del elemento o con las tensiones aplicadas.

NOTA –El desgaste es un fenómeno físico que conduce a una pérdida o deformación del material.

**Fallo por envejecimiento:** Fallo cuya probabilidad de aparición se incrementa con el paso del tiempo. Este tiempo es independiente del tiempo de operación del elemento.

NOTA –El envejecimiento es un fenómeno físico que implica una modificación de las características físicas y/o químicas del material.

**Degradación:** Proceso irreversible en una o más características de un elemento con el tiempo, el uso o bien por una causa externa.

NOTA 1 –La degradación puede conducir al fallo.

NOTA 2 –La degradación se denomina a menudo desgaste.

**Fallo por causa común:** Fallos de diferentes elementos resultado de la misma causa directa que no son consecuencia los unos de los otros.

**Fallo primario:** Fallo de un elemento no causado directa o indirectamente por un fallo o avería de otro elemento.

**Fallo secundario:** Fallo de un elemento causado directa o indirectamente por un fallo o avería de otro elemento.

**Fallo repentino:** Fallo que no podría anticiparse por examen o monitorización previos.

**Mecanismo de fallo:** Procesos físicos, químicos o de otro tipo que conducen o que han conducido al fallo.

**Avería:** Estado de un elemento caracterizado por la incapacidad para desarrollar una función requerida, excluyendo la incapacidad durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos.

**Enmascaramiento de una avería:** Condición en la que existe una avería en un subelemento de un elemento pero no puede reconocerse por una avería del elemento o por otra avería de ese o de otro subelemento.

**Avería latente:** Avería existente que todavía no ha sido detectada.

**Avería parcial:** Avería caracterizada por el hecho de que un elemento pueda desarrollar únicamente algunas pero no todas las funciones requeridas.

NOTA –En algunos casos puede ser posible utilizar el elemento con un resultado de servicio global reducido.

**Modo de avería:** Método mediante el cual se establece la incapacidad de un elemento para desarrollar una función requerida.

NOTA –Se desaconseja el uso del término “modo de fallo” en este sentido.

**Estado actual:** Características de un elemento en un instante dado.

**Estado de disponibilidad:** Estado de un elemento caracterizado por el hecho de que pueda desarrollar una función requerida, asumiendo que se proveen los recursos externos, si fueran necesarios.

**Estado degradado:** Estado de un elemento en el cual aquél continúa desarrollando una función en unos límites aceptables, pero inferiores a los valores especificados, o bien continúa desarrollando sólo algunas de sus funciones requeridas.

**Estado de indisponibilidad:** Estado de un elemento caracterizado bien por una avería o por una posible incapacidad para desarrollar una función requerida durante el mantenimiento preventivo.

NOTA 1 –Este estado está relacionado con la noción de disponibilidad.

NOTA 2 –Un estado de indisponibilidad se denomina en ocasiones estado de incapacidad interno.

**Estado de incapacidad:** Estado de un elemento caracterizado por su incapacidad para desarrollar una función requerida, por cualquier motivo.

**Estado de incapacidad externa:** Subestado del estado de incapacidad en el que el elemento está en un estado de disponibilidad, pero en el que los recursos externos requeridos faltan o se encuentran indisponibles debido a acciones planificadas distintas de las de mantenimiento.

**Estado de funcionamiento:** Estado en el que el elemento está desarrollando una función requerida.

**Estado de inactividad:** Estado de disponibilidad no operativo, durante un tiempo no requerido.

NOTA –El estado de la inactividad no se debería confundir con el funcionamiento en vacío, que es una condición de elementos rotando o moviéndose sin carga o salida útil.

**Estado de espera:** Estado de disponibilidad no operativo, durante el tiempo requerido.

**Estado de peligro:** Estado de un elemento en el que se estima que probablemente cause daños a las personas, daños significativos a los materiales o bien resulte en otras consecuencias inaceptables.

**Paro:** Cese de la operación previamente programado, por mantenimiento o por otros propósitos.

NOTA –El paro puede denominarse también "parada planificada".

**Mantenimiento preventivo:** Mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento.

**Mantenimiento programado:** Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a un programa de tiempo establecido, o a un número de unidades de uso definido.

**Mantenimiento sistemático:** Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a unos intervalos de tiempo establecidos, o a un número de unidades de uso, pero sin investigación previa de la condición del elemento.

**Mantenimiento basado en la condición:** Mantenimiento preventivo basado en la monitorización del funcionamiento y/o de los parámetros del elemento, y las acciones subsiguientes.

NOTA –La monitorización del funcionamiento y de los parámetros puede ser programado, bajo demanda o continuo.

**Mantenimiento predictivo:** Mantenimiento basado en la condición ejecutado siguiendo una previsión consecuencia del análisis y evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento.

**Mantenimiento correctivo:** Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida.

**Mantenimiento remoto:** Mantenimiento de un elemento ejecutado sin acceso físico del personal al elemento.

**Mantenimiento diferido:** Mantenimiento correctivo que no es ejecutado inmediatamente después de la detección de una avería, sino que es retrasado de acuerdo con las reglas de mantenimiento dadas.

**Mantenimiento de urgencia:** Mantenimiento correctivo que es ejecutado sin dilación después de que la avería se ha detectado, con el fin de evitar consecuencias inaceptables.

**Mantenimiento en uso:** Mantenimiento ejecutado durante el tiempo que el elemento está en uso.



**Mantenimiento en el terreno:** Mantenimiento ejecutado en la ubicación donde el elemento se utiliza.

**Automantenimiento:** Mantenimiento ejecutado por un usuario o un operario.

**Inspección:** Control de conformidad mediante medición, observación, ensayo o calibración de las características relevantes de un elemento.

NOTA –Generalmente la inspección puede ejecutarse antes, durante o después de otra actividad de mantenimiento.

**Soporte del mantenimiento:** Recursos, servicios y gestión necesarios para ejecutar el mantenimiento.

NOTA –El soporte puede incluir, por ejemplo, personal, equipos de ensayo, talleres, repuestos, documentación, herramientas, etc.

**Ámbito del mantenimiento:** Posición en una organización en la que los niveles especificados de mantenimiento se ejecutan sobre un elemento.

NOTA 1 –Ejemplos de ámbitos del mantenimiento son: el campo, el taller de reparación, el fabricante.

NOTA 2 –Los ámbitos del mantenimiento se caracterizan por la habilidad del personal, los medios disponibles, la ubicación, etc.

NOTA 3 –Los niveles de mantenimiento se caracterizan por la complejidad de la tarea de mantenimiento.

**Análisis de fallos:** Examen lógico y sistemático de un elemento que presenta un fallo, con el fin de identificar y analizar el mecanismo de fallo, la causa de fallo y las consecuencias del fallo.

**Análisis de averías:** Examen lógico y sistemático de un elemento con el fin de identificar y analizar la probabilidad, las causas y las consecuencias de averías potenciales.

**Documentación del mantenimiento:** Información en soporte escrito o electrónico requerida para ejecutar el mantenimiento.

NOTA –Esta información puede consistir en documentos técnicos, de gestión, administrativos u otros.

**Inventario de elementos:** Registro de los elementos individualmente identificados junto con su ubicación.

**Registro de mantenimiento:** Parte de la documentación de mantenimiento que contiene todos los fallos, averías e información de mantenimiento relativa al elemento. Este registro puede incluir a su vez los costes de mantenimiento, la disponibilidad del elemento, el tiempo de disponibilidad y cualquier otro dato relevante.

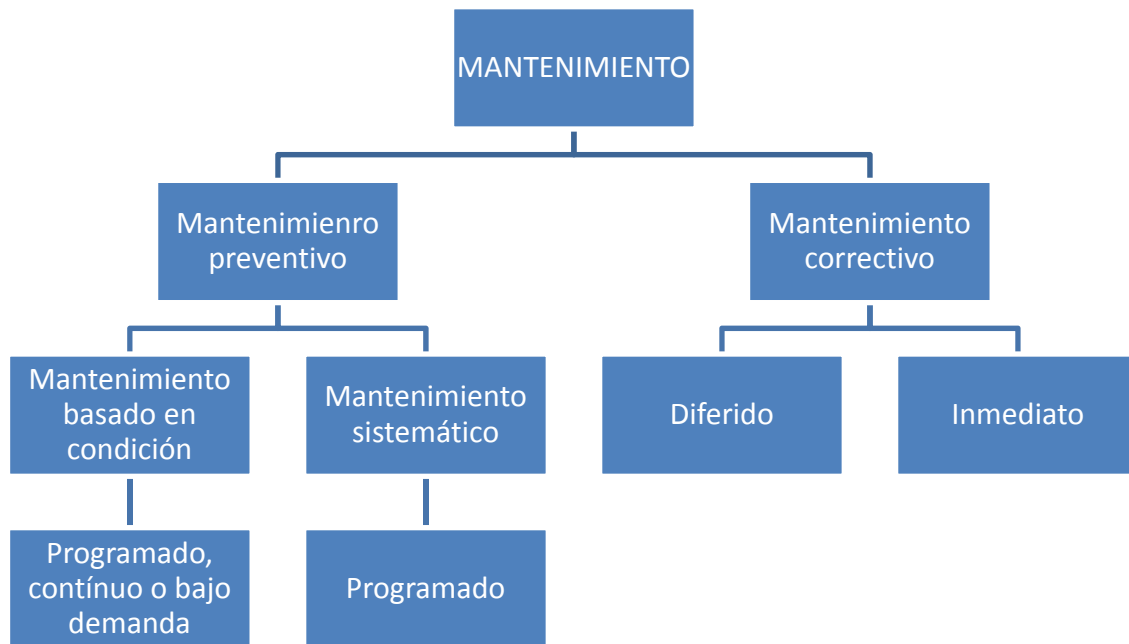


Figura 1 Mantenimiento; visión general

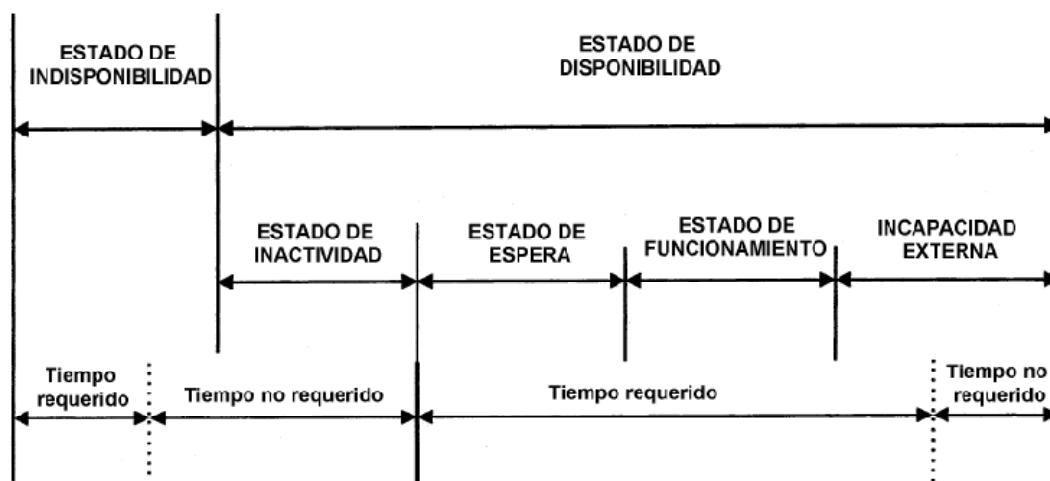


Gráfico 1 Diferentes estados de un elemento

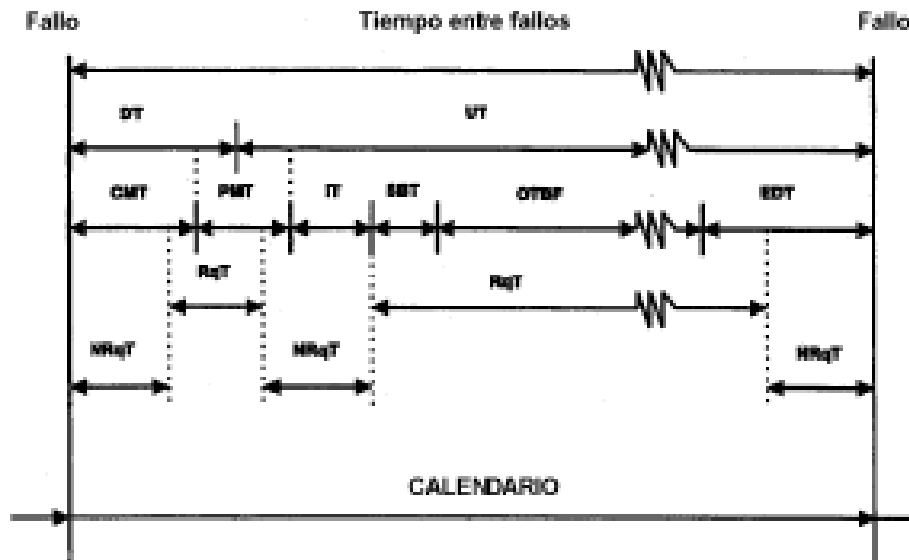


Gráfico 2 Intervalos relacionados con el tiempo

Abreviatura	Término
TBF	Tiempo entre fallos
DT	Tiempo de indisponibilidad
UT	Tiempo de disponibilidad
CMT	Tiempo de mantenimiento correctivo
PMT	Tiempo de mantenimiento preventivo
IT	Tiempo de inactividad
SBT	Tiempo de espera
OTBF	Tiempo de funcionamiento entre fallos
EDT	Tiempo de incapacidad externa
RqT	Tiempo requerido
NRqT	Tiempo no requerido

Tabla 1 Intervalos relacionados con el tiempo

## **3.2 Planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento en el proceso de diseño**

### **3.2.1 Generalidades**

Con el fin de que un sistema pueda ponerse en funcionamiento de manera eficiente y mantenerlo a largo plazo con un coste de ciclo de vida óptimo, es necesario planificar las actividades de mantenimiento y de logística de mantenimiento y adquirir los recursos necesarios. Estas actividades empiezan en las fases de concepción y desarrollo y continúan a lo largo de las siguientes fases del ciclo de vida. Los objetivos de la planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento son los siguientes:

- Desarrollar un concepto del mantenimiento e integrar los requisitos de mantenimiento y logística de mantenimiento dentro de los requisitos del sistema.
- Determinar la influencia del diseño de la mantenibilidad del sistema en términos de los requisitos de logística de mantenimiento y optimizar el concepto de mantenimiento.
- Definir los requisitos de la logística de mantenimiento así como el plan de mantenimiento.
- Especificar los recursos necesarios.

### 3.2.2 Concepto del mantenimiento

El desarrollo de un nuevo sistema o equipo comienza con la definición de los requisitos de operación. Continúa con el desarrollo del concepto del mantenimiento que proporciona una base común para la definición de los requisitos de mantenibilidad y de logística de mantenimiento que mejor se adaptan al diseño y satisfacen sus exigencias de operación.

El desarrollo del concepto del mantenimiento es uno de los pasos más importantes en el ciclo de adquisición del sistema porque da origen a la planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento, cuya responsabilidad puede separarse de la relativa a las actividades de ingeniería de mantenibilidad. El concepto del mantenimiento describe un plan para el mantenimiento del sistema o equipo y la logística de mantenimiento en un entorno de operación en términos de:

- Criterios para la elección de las líneas y niveles de mantenimiento.
- Políticas y exigencias para la logística de mantenimiento básica.
- Criterios para los equipos de ensayo y supervisión (integrados, automáticos, y de supervisión).

Para optimizar un diseño y conseguir los menores costes del ciclo de vida, el concepto del mantenimiento y los requisitos de mantenibilidad deben desarrollarse en paralelo.

### 3.2.3 Planificación de la logística de mantenimiento

El propósito de esta tarea es desarrollar el plan del programa de la logística de mantenimiento, así como los medios para controlarlo y revisarlo. El plan de la logística de mantenimiento debe prepararse para describir lo siguiente:

- Estructura de la dirección y responsabilidades para el programa de logística de mantenimiento.

- Interfaces con otros programas de ingeniería y tareas incluyendo las interfaces con los datos resultantes de dichas tareas: diseño, fiabilidad, mantenibilidad, factores humanos, seguridad, normalización.
- Métodos de revisión del diseño desde el punto de vista de la logística de mantenimiento.
- Identificación de cada tarea, su alcance e intensidad, y cómo será realizada.
- Métodos por los cuales los requisitos relacionados con la logística de mantenimiento se distribuirán a los diseñadores, contratistas y subcontratistas.
- Métodos y procedimientos para el control de un programa y de la revisión del diseño.

### **3.3 *Análisis de la planificación del mantenimiento***

#### **3.3.1 Identificación de tareas de mantenimiento**

Pueden identificarse las tareas del mantenimiento correctivo y preventivo utilizando las siguientes técnicas de análisis:

- Análisis de modos y de fallos y sus efectos (AMFE).
- Análisis de mantenimiento centrado en la fiabilidad (MCF).
- Revisión detallada de los requisitos funcionales y de prestaciones del sistema o equipo.

El AMFE identifica los modos de fallo de un sistema y de sus componentes, y por tanto las tareas de mantenimiento correctivas. Este análisis se describe en la Norma CEI 60812.

El análisis MCF basado en los datos del AMFE identifica las tareas de mantenimiento preventivo para:

- Detectar y corregir fallos incipientes antes de que ocurran o de que den lugar a defectos importantes;
- Reducir la probabilidad del fallo.
- Detectar fallos ocultos que hayan ocurrido.
- Incrementar la rentabilidad del programa de mantenimiento para el sistema o equipo.

#### *3.3.1.1 Tareas de mantenimiento correctivo*

Un AMFE identifica de forma sistemática los modos de fallo probables, los posibles efectos de cada fallo, y la criticidad de cada efecto para el cumplimiento de la misión, seguridad u otros resultados significativos. El AMFE se incluirá generalmente en el programa de fiabilidad, aunque el AMFE del sistema se desarrollará junto con las tareas de ALM (Análisis de la Logística de Mantenimiento), algunas de las cuales requieren los resultados del AMFE. En particular, el AMFE proporciona la base para la especificación y evaluación de capacidad de pruebas integradas y externas. La coordinación de tales tareas debe considerar el calendario de tareas del AMFE, el grado de detalle exigido para el nivel de mantenimiento considerado y la documentación de resultados.



### *3.3.1.2 Tareas de mantenimiento preventivo*

Un análisis de MCF consiste en una aproximación sistemática al análisis de los datos de fiabilidad y seguridad del sistema o equipo para determinar la viabilidad y conveniencia de tareas de mantenimiento preventivo, resaltar las áreas problemáticas de mantenimiento para considerar en la revisión del diseño y establecer el programa de mantenimiento preventivo más efectivo para el nuevo sistema o equipo. La lógica del MCF se aplica a los modos de fallo individuales de cada elemento identificado durante el AMFE, a través de una determinación progresiva de cómo pueden detectarse y corregirse los fallos inminentes para preservar los niveles inherentes de fiabilidad y seguridad.

### *3.3.1.3 Análisis de tareas de mantenimiento*

Debe realizarse el análisis de cada una de las tareas de mantenimiento identificadas. Debe hacerse un flujograma del procedimiento básico. Conviene dibujar primeramente los procesos para la localización de averías y los requisitos previos, seguido de un procedimiento paso a paso para cada fallo significativo del elemento identificado en el AMFE, así como para las tareas de mantenimiento preventivo identificadas en el análisis MCF. Debe registrarse la siguiente información:

- Exigencias de mantenimiento en términos de objetivo final de la acción de mantenimiento (por ejemplo, quitar y reemplazar, ajustar, etc.).
- Frecuencia del mantenimiento esperada o recomendada.
- Número de personas, especialidad y nivel de aptitud necesarios para realizar cada una de las tareas de mantenimiento descritas.
- Lugar o instalaciones requeridas para realizar las tareas de mantenimiento descritas.
- Tareas de mantenimiento en orden secuencial de ejecución, describiendo cada tarea con suficiente detalle técnico.
- Herramientas y equipos de ensayo necesarios para cumplir las tareas de mantenimiento en la secuencia requerida.

- Repuestos y consumibles requeridos para realizar las tareas de mantenimiento.
- El tiempo estimado para completar cada tarea y el tiempo total requerido para completar la secuencia.

A continuación se muestra un ejemplo de la hoja de trabajo del manual de mantenimiento.

<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO NUM.</b>		<b>REFERENCIAS:</b> (Identificar: instrucciones, planos, herramientas, listas, consumibles)
<u>MECANICA</u> <input type="checkbox"/>	<u>CONTROL</u> <input type="checkbox"/>	
<u>REQUISITO DE MANTENIMIENTO</u>	<u>FABRICANTE DEL ELEMENTO</u>	<b>REQUISITOS DE RECURSOS HUMANOS Y NIVEL DE APTITUD:</b> por ejemplo, 2 mecánicos de mantenimiento (hombre por día)
<u>FRECUENCIA</u>	<u>MODELO</u>	
	<u>CÓDIGO DEL EQUIPO</u>	
<u>SISTEMA O EQUIPO</u>	<u>NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA</u>	
<u>LOCALIZACIÓN</u> (localización o instalación donde se realice el mantenimiento)	<u>REVISIÓN:</u>	
<u>PREPARADO POR:</u>	<u>FECHA:</u>	
<u>APROBADO POR:</u>	<u>PÁGINA</u>	<u>DE</u>

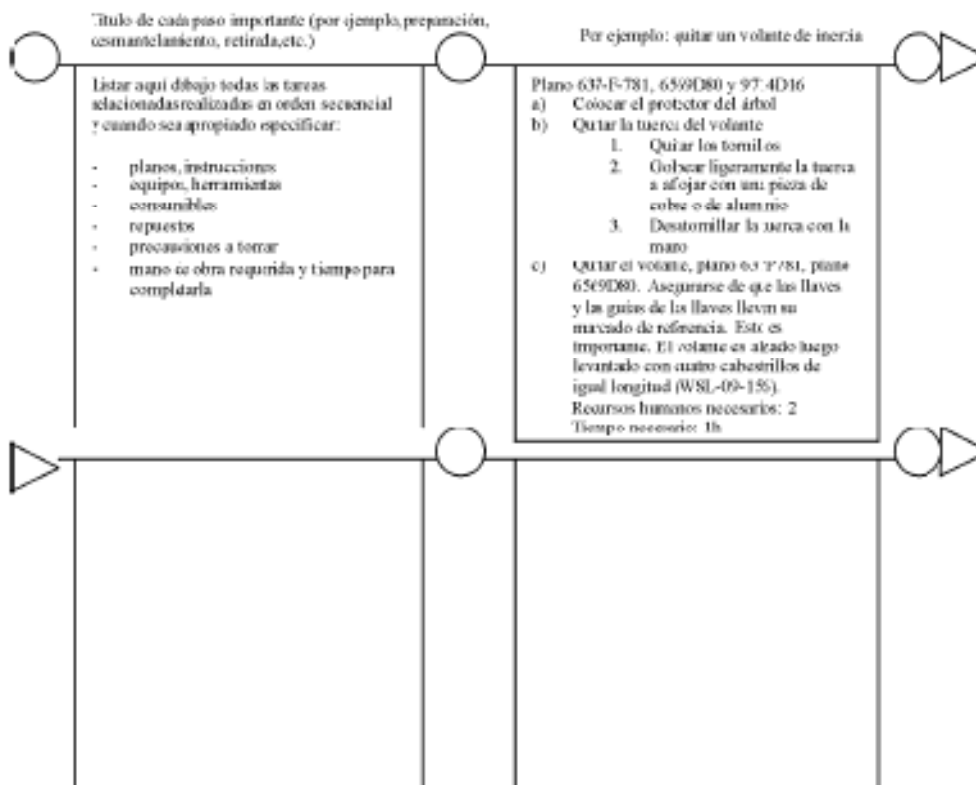


Figura 2 Ejemplo de la hoja de trabajo del manual de mantenimiento

### 3.3.2 Análisis del nivel de reparación

Al definir el concepto de mantenimiento detallado y establecer los criterios para el diseño del equipo, es necesario determinar si en caso de fallo se deben reparar los elementos en la línea de mantenimiento organizativo, intermedio o de almacén, o deben desecharse. El objetivo del análisis es definir las líneas y niveles de mantenimiento adecuados para minimizar los costes sujetos a restricciones de disponibilidad. Este análisis empieza en la fase conceptual del ciclo de vida del sistema o equipo en donde todo el concepto en su conjunto se analiza y se hace más detallado según progresa el diseño.

El análisis del nivel de reparación (ANR) es un proceso que permite:

1. Una toma de decisión sistemática:
  - Especificando qué hacer con los elementos que fallan.
  - Aplicando los mismos criterios a todos los elementos.
  - Eliminando las aproximaciones intuitivas.
2. Una comparación de políticas de reparación alternativas:

Reemplazo al fallar.

Reparación *in situ* o en el taller próximo.

Reparación en instalación centralizada.

Combinación de reparación próxima y centralizada.

3. Aplicación del análisis de coste de ciclo de vida (CCV):

- CCV completo, comparación económica de las alternativas de reparación cuando se consideran todos los factores económicos;
  - CCV parcial, considerándose solamente algunas categorías, por ejemplo, sólo costes incrementales de mano de obra y repuestos;
4. Consideración de implicaciones de carácter no económico:
- Aseguramiento de la seguridad.
  - Ambiente operativo.

Deben seleccionarse de forma cuidadosa los elementos del equipo para análisis y quedar limitados a los elementos más significativos del mantenimiento.

La siguiente información proporciona datos de entrada para el análisis del nivel de reparación:

- Datos operativos del equipo, cantidad, emplazamiento, tiempo de vida, etc.
- Alternativas de reparación viables.
- Factores de coste.
- Personal de reparación y recursos.
- Datos de mantenibilidad y fiabilidad del equipo.
- Tiempo de reparación y evolución y tiempo de transporte a y desde las instalaciones de reparación.

El resultado del análisis conceptual de los niveles de reparación proporciona un dato de entrada en el desarrollo para el concepto de mantenimiento y de política de reparación del sistema o equipo.

El resultado del análisis detallado de los niveles de reparación hace posible la asignación de un nivel de reparación para cada elemento y proporciona el dato de entrada en el análisis de tareas de mantenimiento y el desarrollo del plan.

### 3.3.3 Plan de mantenimiento

Las hojas de trabajo individuales del análisis de tareas de mantenimiento deben consolidarse en un plan de mantenimiento del sistema o equipo. Este plan debe definir los recursos globales de mantenimiento y soporte para conseguirlos requisitos operativos con un coste del ciclo de vida óptimo. El plan global proporciona información sobre si los objetivos especificados de mantenibilidad se cumplen y si se necesitan más actividades para cumplir con los requisitos del proyecto. El proceso de desarrollo del plan de mantenimiento se muestra en la figura siguiente:

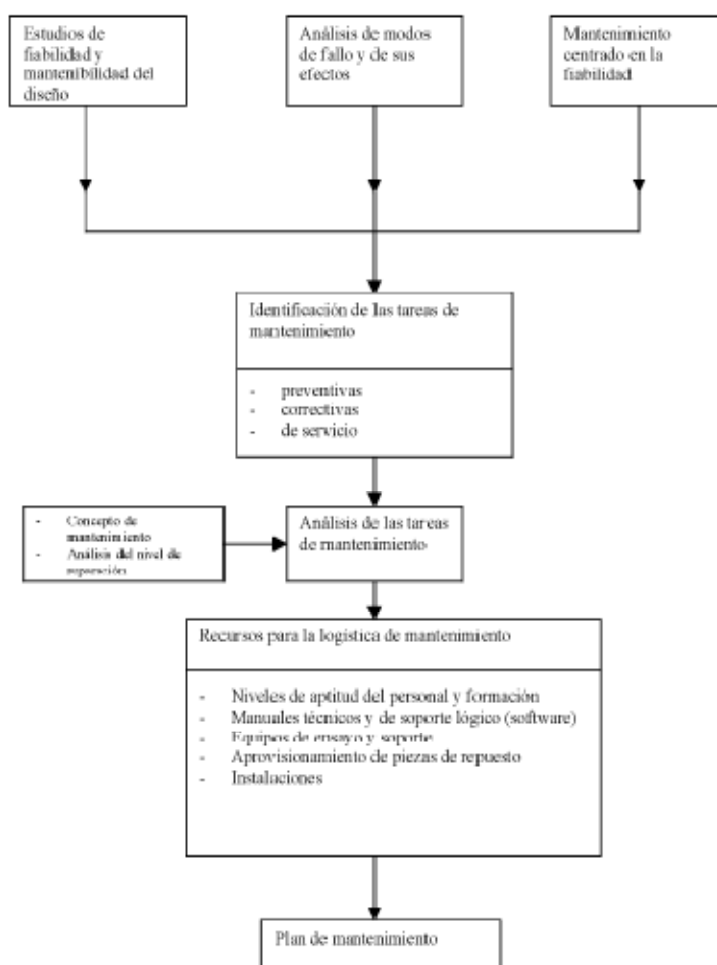


Figura 3 Desarrollo del plan de mantenimiento

### 3.4 La mantenibilidad

#### 3.4.1 El concepto de mantenibilidad

El concepto de mantenibilidad debe tener en cuenta las características de diseño, fabricación e instalación, que afectan a la aptitud del dispositivo para satisfacer las exigencias de utilización y de mantenimiento especificadas. Esta aptitud se mide usualmente en términos de duración de operaciones de mantenimiento, de exigencias de mantenimiento preventivo, etc.

Las duraciones de las operaciones de mantenimiento dependen de:

a) La capacidad del dispositivo a ser mantenido o vuelto a poner en servicio (facilidad de diagnóstico, accesibilidad de los elementos, etc.), teniendo en cuenta todas las posibles condiciones de utilización. La mantenibilidad de un equipo está influenciada por estos asuntos pero también está sometida a las restricciones que se indican en b).

b) Los medios utilizados en el mantenimiento (personal, formación, existencias de recambios, documentación, etc.

La ingeniería de mantenibilidad tiene por fin no sólo el obtener el nivel de calidad requerido, sino también asegurar que este nivel se obtenga con los medios previstos por la organización de mantenimiento. Aquí se trata de la mantenibilidad y de otros parámetros de diseño y de utilización que van íntimamente ligados; examina igualmente ciertos trabajos necesarios para satisfacer las condiciones de mantenibilidad que han sido especificadas, y que están relacionadas con la organización del mantenimiento.

Una parte importante del coste de explotación de un dispositivo está en los costos que lleva consigo la ejecución de las tareas necesarias para el mantenimiento del dispositivo en un estado de funcionamiento satisfactorio, o de su reposición a tal estado. Estos costos son función del número de tareas, de su complejidad y de su duración.

NOTA - El término "dispositivo" se utiliza para designar toda pieza individual, o conjunto de piezas, o materiales que pueden ser considerados individualmente y comprobados separadamente. Con el fin de evitar repeticiones, el término "dispositivo" incluye los dispositivos, los conjuntos de dispositivos, las muestras, etc., cada vez que el contexto lo justifique.

Los trabajos realizados durante el diseño de un dispositivo y destinados a modificar la tasa de fallos y la gravedad de dichos fallos son esencialmente del dominio de la fiabilidad.

Los trabajos realizados durante el diseño de un dispositivo y destinados a modificar el mantenimiento preventivo, así como la duración, el coste y las necesidades logísticas de trabajos de mantenimiento de todo tipo, son esencialmente del dominio de la mantenibilidad.

### 3.4.2 Actividades de mantenibilidad

A lo largo de la vida de un equipo, los dominios de la mantenibilidad y del mantenimiento, implican unos objetivos cuya definición y realización permiten conseguir el funcionamiento de un equipo a un coste óptimo. A continuación se describen los objetivos.

#### 1. Fase de organización (estudio y definición)

- Determinación y definición del medio ambiente. Las condiciones de utilización y de mantenimiento del dispositivo supondrán restricciones que limitarán los diseños posibles en materia de mantenimiento y deberán ser tenidas en cuenta en el estudio de la viabilidad y en la predicción de los costos del ciclo de vida.
- Condiciones de funcionamiento.
- Condiciones ambientales de explotación que afectan al dispositivo.
- Condiciones ambientales que afectan al mantenimiento.
- Medios de identificación de las necesidades de mantenimiento en particular detección de fallo y localización de su causa.
- Limitaciones impuestas por el acceso al punto donde es necesario aplicar las operaciones de mantenimiento.
- Descomposición del dispositivo por las necesidades de mantenimiento debidas a la localización, al nivel de la reparación y al nivel de cualificación del reparador.

Condiciones logísticas:



- Organización, locales, personal y formación existentes.
- Medios ya dedicados.
- Flexibilidad para la adquisición de nuevos medios.
- Definición de las exigencias de mantenibilidad. Las exigencias de mantenibilidad deben tener en cuenta las de explotación y fiabilidad, así como las restricciones económicas. Ya que esto no es siempre posible, estas exigencias deben ser expresadas bajo la forma de cláusulas cuantitativas, teniendo en cuenta la política de mantenimiento proyectada y todas las demás exigencias que debe satisfacer el dispositivo.

Convendrá igualmente prestar atención, durante esta fase, a la verificación de las prescripciones.

## 2. Fase de realización (diseño y producción)

- Satisfacción de las exigencias de mantenibilidad. El modo más eficaz de satisfacer las exigencias de mantenibilidad es aplicar un programa de mantenibilidad, considerándolo como parte integrante del programa técnico completo.
- Provisión de datos para la organización logística del mantenimiento. Las etapas de organización logística de mantenimiento deben corresponder con las de la realización del dispositivo, a fin de asegurar la disponibilidad de los medios de mantenimiento necesarios desde la puesta en servicio del dispositivo.

Los principales elementos que se deben incluir en el plan logístico de mantenimiento son los siguientes:

- Los procedimientos de mantenimiento del dispositivo (comprendida la revisión general).
- Las exigencias de aprovisionamiento inicial en piezas de repuesto, medios, equipos de control y utillaje.

- Las exigencias de formación de personal.
- Las exigencias relativas a la documentación técnica, etc.

El plan logístico será coherente con la política de mantenimiento y será constantemente puesto al día. Debe, también, prepararse un procedimiento para el análisis y la utilización de los resultados obtenidos.

### 3. Fase de explotación (utilización y mantenimiento)

- Ejecución del mantenimiento (correctivo y preventivo). Las tareas de mantenimiento son principalmente la adquisición, el análisis, la utilización de los datos de mantenimiento y la mejora del diseño que puede llevar a una modificación del dispositivo.

## **3.5 Relevancia del mantenimiento hoy en día**

Como es conocido, por mantenimiento se entiende (UNE-EN 13306:2002) una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida.

De acuerdo con el último informe quinquenal de la Asociación Española de Mantenimiento, el coste directo de este conjunto de actividades en España (en concreto se estima en el citado informe el número de recursos destinados por empresas, entidades, administraciones públicas y particulares a la compra de recambios, repuestos y accesorios, al pago de los trabajos contratados a terceros –materiales y mano de obra– originados por la reparación de averías, desgastes y roturas, y a la retribución del personal de plantilla de las

empresas o entidades, dedicado a realizar su propio mantenimiento) fue de 55 894 millones de euros en el año 2000, lo que supone aproximadamente un 9,4% del Producto Interior Bruto del año en cuestión. Costes directos que se distribuyen conforme a la tabla siguiente.

Sectores	Millones de Euros	Distribución %
Sector Primario Agricultura, pesca, ganadería, forestal	1742,9351	3.1
Sector Secundario Industria, construcción	19532,8934	35.0
Sector Terciario Comercio, Servicios, Transportes, Comunicaciones	7452,55009	13.3
Sector Público Administración Central, Comunidades Autónomas, Seguridad Social, Corporaciones Locales	5469,21015	9.8
Sector Privado Particulares en viviendas, enferos y vehículos	21696,537	38.8
TOTAL	55894,1257	100.0

Tabla 2 Costes directos en mantenimiento en España (año 2000)

Obviamente, los costes indirectos del mantenimiento, es decir, aquellos resultados que se producen en empresas y entidades, medidos como ahorros o incrementos de costes de operación a consecuencia de la buena o mala gestión del mantenimiento, exceden a buen seguro los datos ofrecidos con anterioridad. Sin embargo, tal y como se indica en el informe de la AEM, son datos difícilmente cuantificables, de manera que los costes directos de mantenimiento son quizás la única variable susceptible de ser cuantificada con razonable fiabilidad.

La magnitud de estos valores da una clara idea de la importancia del mantenimiento en nuestra sociedad actual, de lo fundamental que puede resultar para un país como el

nuestro el que exista una mayor cultura de mantenimiento a todos los niveles y en todos los ámbitos. Estos valores justifican, por tanto, la inversión que podamos hacer, en el mundo de la ingeniería, para el desarrollo de metodologías, técnicas, modelos y herramientas en general, que nos permitan mejorar la eficacia y eficiencia cotidianas en la gestión del mantenimiento.

Existen distintos enfoques que tradicionalmente se adoptan para intentar mejorar la gestión del mantenimiento en las empresas. En muchas ocasiones, la gerencia de la empresa decide optar por políticas similares a las de las empresas del sector. Se trata de realizar “copias” de políticas de mantenimiento (esto se conoce también como *benchmarking*) a intervalos regulares de tiempo. Se persigue con ello evitar quedar atrapado en determinados modos de pensamiento y actuación en la gestión. Las empresas que siguen esta práctica se sitúan a remolque de aquellas tecnológicamente más avanzadas. Está claro que la opción por una política de este tipo genera poco ímpetu para el desarrollo de una gestión competitiva, aquella propia de una empresa que quiere ser líder en su mercado.

Otro enfoque típico que se ha seguido en determinadas empresas es ir impulsando proyectos puntuales dentro del área de mantenimiento. Conforme aparecen diferentes “siglas”, que caracterizan distintas metodologías de mantenimiento, la gerencia realiza una apuesta por alguna de ellas, asumiendo que supondrá un cambio en la forma de hacer las cosas, suponiendo una repercusión favorable a corto plazo en los resultados empresariales.

Este tipo de actuaciones son muy valiosas bajo determinados aspectos, pero tienen el riesgo de ocasionar el apego de los gestores de mantenimiento a eslóganes y tendencias eventuales. El resultado puede ser la pérdida de orientación del mantenimiento respecto a los objetivos fundamentales del negocio. Es común también creer encontrar en la consultoría externa la solución a los múltiples problemas que se derivan de la gestión y la ingeniería del mantenimiento.

Se declina en muchos casos la opción sobre la paternidad del *know-how* de la gestión, que se confía a la empresa consultora, en otros esta paternidad es compartida. En la implementación de políticas cruciales para la empresa, y salvo que exista alguna implicación especial por parte de la consultora, es difícil conseguir mediante agentes externos el apoyo suficiente. Este es el caso, por ejemplo, de la implantación de los nuevos sistemas de gestión

del mantenimiento asistido por ordenador (GMAO), para lo cual se necesita el conocimiento de aspectos íntimos de la empresa, que ayuden a encontrar soluciones adecuadas a la misma.

Éste es un campo donde el hecho de que cada ambiente industrial es único se convierte en fundamental, y donde ningún conjunto general de procedimientos funciona en todo tipo de condiciones. Es por esto, que los gestores futuros del mantenimiento en las distintas empresas y organizaciones de todo tipo tendrán que apoyarse en métodos y técnicas que les ayuden a comprender cada día más su sistema, a encontrar los puntos críticos, a buscar soluciones creativas y a obtener una mejora continua dentro de una organización que debe tener capacidad para aprender.

Podemos concluir diciendo que el ingeniero de mantenimiento en nuestras empresas, deberá conocer los métodos y técnicas básicos de esta disciplina, tener intuición para identificar los puntos claves, evaluar el impacto de los cambios a realizar y tener capacidad para proyectar los esfuerzos de mejora.

### **3.6 *Proyectando sistemas de producción eficaces***

Un sistema de producción es eficaz (CEI 50(191):1990) cuando demuestra su aptitud para responder a una demanda de servicio de unas características cuantitativas dadas. La eficacia de un sistema productivo dependerá de su capacidad y de su disponibilidad.

La capacidad del sistema productivo es su aptitud, en condiciones internas dadas (por ejemplo, con cualquier combinación de equipos en diferentes estados de funcionamiento posible, averiados o no), para responder a una demanda de servicio de unas determinadas características cuantitativas. Mientras que la disponibilidad del sistema de producción será la aptitud del mismo para estar en situación de realizar una función requerida en condiciones dadas en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo dado, suponiendo que se proporcionan los medios exteriores necesarios.

El término “seguridad de funcionamiento” (en inglés *dependability*) expresa un concepto general, sin carácter cuantitativo, que engloba al conjunto de propiedades utilizadas para

describir la disponibilidad de un sistema de producción y los factores que la condicionan: fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento. Como se describe a continuación, el mantenimiento incide en cada uno de estos factores.

En primer lugar, la fiabilidad se define como la aptitud de un elemento para realizar una función requerida, en unas condiciones determinadas de empleo y mantenimiento, durante un intervalo de tiempo dado. Esto significa que sin un adecuado mantenimiento, las previsiones de fiabilidad de los equipos no se cumplen. Circunstancia que muchas veces no es tenida en cuenta en la industria.

En ocasiones se adquieren equipos para trabajar en condiciones duras de operación, con la confianza de que la fiabilidad que asegura su fabricante garantizará un mejor resultado en la disponibilidad de los mismos. Curiosamente, en muchos casos, los equipos teóricamente más fiables ofrecen un resultado parecido a los equipos reemplazados, ni mucho menos cercano a lo que cabía esperar teniendo en cuenta la información ofrecida por el fabricante. Si el mantenimiento de los equipos no era y continúa sin ser el adecuado, si se persiste en hacer las cosas mal, la disponibilidad esperada estará siempre amenazada. En segundo lugar, la mantenibilidad de un elemento se define como su aptitud, en condiciones dadas de utilización, para ser mantenido o restituido, a un estado en el que pueda realizar una función requerida. Siempre y cuando, de igual forma, su mantenimiento se lleve a cabo en condiciones dadas, y utilizando procedimientos y medios establecidos.

Mientras que fiabilidad y mantenibilidad hacen referencia a aptitudes propias de elementos o de sistemas, inherentes a los mismos, la logística de mantenimiento tiene que ver con aspectos organizativos, es la aptitud de una organización de mantenimiento, en unas condiciones dadas, para proporcionar sobre demanda los medios necesarios para mantener un elemento conforme a una política de mantenimiento dada. Las anteriores definiciones nos enseñan cómo el mantenimiento condiciona la eficacia de los sistemas productivos y debe considerarse por tanto como un aspecto estratégico, crucial para la obtención de una ventaja competitiva de la empresa, de los productos y servicios por ella suministrados. Además, estas definiciones nos enseñan igualmente la importancia de la consideración del mantenimiento de un elemento, no sólo en su fase de operación, sino fundamentalmente en la fase de preparación del mismo (concepto, diseño, fabricación, montaje y puesta a punto), en la cual se condicionan su fiabilidad y mantenibilidad, y por tanto se compromete la gran mayoría del coste de su ciclo de vida.

### **3.7 Dirección de operaciones, gestión e ingeniería del mantenimiento**

Centrándonos ahora en la fase operativa de los equipos, veremos a continuación el papel de la moderna ingeniería del mantenimiento en este período del ciclo de vida de los mismos, y su relación con la dirección de operaciones.

La función de producción se conoce también como función operativa y la gestión de la producción se denomina entonces gestión o dirección de operaciones, que se orienta a la utilización más económica de unos medios por unos empleados u operarios, con la finalidad de la transformación de unos materiales en producto o la realización de unos servicios.

La dirección de operaciones se lleva a cabo en la práctica mediante la interacción de distintos subsistemas que componen el sistema productivo. Por lo general, pueden distinguirse en la empresa los siguientes subsistemas:

- *Subsistema de planificación.* Encargado fundamentalmente de la previsión de la demanda y del establecimiento de los planes de producción a medio y largo plazo, es decir, las cantidades de cada artículo a producir en cada período de tiempo durante un determinado horizonte de planificación. Para ello en este subsistema se contrastan las previsiones de la demanda con las limitaciones de capacidad existentes, con los niveles de inventarios disponibles y con las políticas de servicio al cliente.
- *Subsistema de programación.* Este subsistema transforma el plan de producción, resultado del proceso de planificación, en un programa diario de producción, mucho más detallado en el tiempo y en las cantidades a producir. Se trata en definitiva de asignar órdenes de producción pendientes a centros de trabajo concretos, en períodos de tiempo determinados. La necesidad de programación aumenta cuando la diversidad de artículos ofrecidos por la empresa crece.

- *Subsistema de seguimiento y control.* Este subsistema tiene como función principal supervisar y asegurar que las previsiones establecidas en los programas de producción se cumplan en la ejecución real de los mismos. Se trata básicamente de hacer un seguimiento detallado de las órdenes de producción y corrección de las desviaciones que puedan surgir, y de controlar los niveles de inventario y movimientos de material a través de todo el sistema logístico de la empresa.
- *Subsistema de costes.* Cuyo propósito es la determinación del coste de cada uno de los productos y servicios, valorando los distintos factores productivos que intervienen en la consecución de los mismos y asegurando que se cumplen con las previsiones, o se eliminan las desviaciones, respecto al estándar establecido.

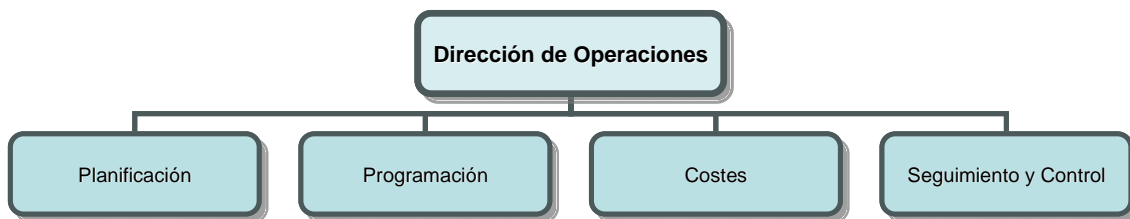


Figura 4 La dirección de operaciones. Subsistemas.

Dentro de cada uno de estos subsistemas se utilizan distintos métodos que ayudan en los distintos procesos de toma de decisiones que tienen lugar. Este es el caso, por ejemplo, de las técnicas de programación matemática utilizadas en el subsistema de planificación, o de los métodos y algoritmos de secuenciación de operaciones en máquinas dentro del subsistema de programación, de las técnicas ABC (*Activity Based Costing*, Sistemas de Costes Basados en Actividades) utilizadas en el subsistema de costes, o de las técnicas CPM (*Critical Path Method*, Método del Camino Crítico) dentro del subsistema de seguimiento y control.

A su vez, el desarrollo de los modernos sistemas de producción exige unos avanzados conocimientos tecnológicos en aspectos relacionados, por ejemplo, con la ingeniería de procesos o con los sistemas de comunicaciones. Es decir, las necesidades actuales de la función



producción en la empresa exceden en contenido y conocimientos a aquellos que incluimos dentro de lo que hemos denominado dirección de operaciones. Requieren de soluciones de ingeniería específicas para la resolución de problemas técnicos ligados a los sistemas físicos.

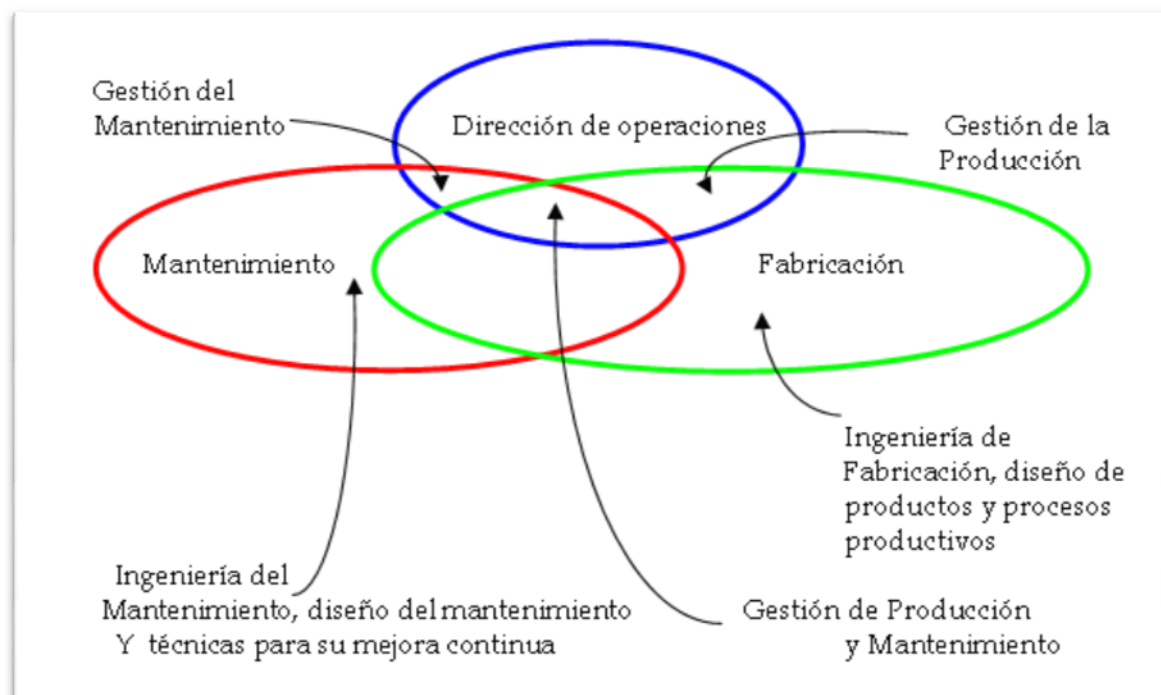


Figura 5 Dirección de operaciones, mantenimiento y fabricación

La gestión del mantenimiento, al igual que sucedía con la dirección de operaciones, se orienta a la utilización más económica de unos medios por parte de unos empleados u operarios, con la finalidad ahora de conservar y/o restituir los equipos de producción a unas condiciones que les permitan cumplir con una función requerida. En la práctica, la gestión del mantenimiento se implementa de forma idéntica a la dirección de operaciones, pues la gestión del mantenimiento forma parte de la dirección de operaciones. Sin embargo, utiliza una serie de métodos y técnicas específicos para la resolución de problemas muy concretos, ligados por completo al proceso de toma de decisiones en mantenimiento. Estos métodos y técnicas intentan recoger y tratar convenientemente la complejidad del problema, ofrecer a los

gestores de mantenimiento soluciones para priorizar y enfrentarse a los problemas, fórmulas para encontrar más fácilmente respuestas a los mismos. En los siguientes párrafos se han recogido testimonios que abundan en la necesidad de una mayor ordenación de estos métodos y técnicas específicos del mantenimiento.

Vagliasindi (1989) señala cómo para realizar el conjunto de actividades que componen la gestión del mantenimiento no es fácil encontrar en la empresa los procedimientos y sistemas de ayuda a la toma de decisiones que faciliten el proceso de mejora continua. Este autor destaca cómo normalmente existe una gran diversificación de los problemas a resolver por el gestor de mantenimiento, incluso en compañías pertenecientes al mismo sector productivo, lo cual dificulta el diseño de una metodología operativa de aplicación general.

Hipking (2000) presenta una lista de las barreras más importantes en la implementación adecuada de sistemas para la gestión de mantenimiento. La lista es el resultado de encuestas pasadas a gestores, supervisores y operadores de mantenimiento en distintas empresas, quienes indican que la falta de conocimiento de la planta y de los procesos que en ella tienen lugar es la principal limitación para la gestión adecuada del mantenimiento.

En segundo lugar se coloca la ausencia de datos históricos del funcionamiento y mantenimiento de la planta. En tercer lugar se sitúa la falta de apoyo de la alta dirección y a continuación el miedo a las paradas del proceso de producción para la realización de actividades de mantenimiento. Sus conclusiones tienen que ver con la necesidad de que la alta dirección de la empresa estudie mejor cómo apoyar al proceso de toma de decisiones en mantenimiento, de que se cuantifiquen mejor los objetivos de cada política y los resultados de las mismas, de que se formule de forma más clara la metodología de gestión.

Un último postulado del estudio aconseja que estas iniciativas se realicen por separado, llamando la atención sobre las mismas, y no conjuntamente con otras medidas de mejora que podrían restarles protagonismo.

Jonsson (2000) comenta igualmente la ausencia clara de configuraciones adecuadas para la gestión del mantenimiento en la industria, configuraciones que ayuden a entender las verdaderas dimensiones de la función de mantenimiento. Señala cómo investigaciones sucesivas (Wireman, 1990; Jonsson, 2000) muestran que el mantenimiento se encuentra aún en una fase de subdesarrollo en un tanto por ciento importante de compañías manufactureras. Para dar respuesta a todo lo anterior, podemos decir que en los últimos años

se produce un gran avance en una serie de tecnologías específicas de mantenimiento en distintos apartados (en aspectos relacionados, por ejemplo, con los sistemas de monitorización y conocimiento de la condición, con los sistemas de protección y control, con técnicas de ayuda al diagnóstico, con técnicas de automantenimiento, etc.), separados de aquellos que tradicionalmente se incluyen dentro de la dirección de operaciones y de la ingeniería de fabricación y que han cobrado una personalidad propia.

El resultado de lo anterior es lo que hoy conocemos como ingeniería del mantenimiento. Si bien la ingeniería y la gestión del mantenimiento tienen objetivos o metas similares (por ejemplo, y durante un cierto período del ciclo de vida de una empresa, uno de ellos podría ser la consecución de una disponibilidad dada de los equipos a un mínimo coste), es importante constatar que el entorno en el que ambas operan difieren notablemente (Dhillon, 2002).

De manera más específica, la ingeniería del mantenimiento es una función analítica, cuyo desarrollo debe de ser por tanto metódico y dotado de una alta premeditación. Por el contrario, la gestión del mantenimiento se realiza normalmente en circunstancias adversas y con alto nivel de estrés, teniendo como objetivo prioritario la inmediata restitución de los equipos a sus condiciones de operación, utilizando para ello los recursos disponibles.

Para finalizar, según el informe AMPC 706-132 (1075), la ingeniería del mantenimiento debe contribuir al logro de los siguientes objetivos:

- Mejorar las operaciones de mantenimiento.
- Reducir la cantidad y frecuencia de mantenimiento.
- Reducir los efectos de la complejidad de los sistemas.
- Reducir el nivel de especialización técnica en mantenimiento requerido al personal.
- Reducir la cantidad de aprovisionamientos.
- Optimización de la frecuencia y cantidad de mantenimiento preventivo a realizar.

- Mejorar y asegurar la máxima utilización de las instalaciones de mantenimiento.
- Mejorar la organización de mantenimiento.

### **3.8 El ingeniero de mantenimiento**

Desde hace más de una década, el ingeniero de mantenimiento se ha convertido en una figura fundamental del mantenimiento moderno. Según Furlanetto (1991), las funciones del ingeniero de mantenimiento actual pueden sintetizarse en los dos siguientes apartados:

- Proyectar el mantenimiento.
- Promover la mejora continua y la formación en mantenimiento.

El significado del primer apartado, proyectar el mantenimiento, está ligado sobre todo a escoger el enfoque más conveniente para el mantenimiento de una determinada instalación, en relación a los objetivos fijados de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, costes, etc. (objetivos estratégicos de la organización). Significa, por tanto, determinar para cada elemento de las instalaciones, y en función de las consecuencias que origina su fallo sobre el sistema total, cuáles deben ser: su tasa admisible de fallo, su mantenibilidad requerida, y proyectar los instrumentos y recursos necesarios para lograr lo anterior. El proyecto de una organización de mantenimiento, coherente con la política de la organización y con los instrumentos operativos a su disposición, llevará al ingeniero de mantenimiento al diseño, entre otras cosas, de:

- Los planes básicos de mantenimiento aplicando metodologías adecuadas.
- Los estándares y procedimientos para las intervenciones de mantenimiento.
- El sistema de información de mantenimiento.

- Los criterios para la gestión de los repuestos y materiales de mantenimiento.

La ingeniería de mantenimiento, además de optimizar las decisiones actuales, debe ocuparse igualmente de mejorar el mantenimiento futuro de las instalaciones. Estas tareas son más costosas de sistematizar y requieren el desarrollo de una alta sensibilidad en la organización para la recepción de nuevas ideas. En especial aquéllas innovadoras que contribuyan a la mejora de la eficacia y eficiencia del mantenimiento. El ingeniero de mantenimiento debe ser, en este sentido, punto de referencia de la organización, principal promotor de la formación continua y de la sensibilización sobre la problemática del mantenimiento.

## 4 Modelo empresarial analizado

Detallaremos ahora la información relativa a la empresa y su actividad. Concretamente se realiza una definición del tipo de empresa, la distribución física de sus instalaciones y la actividad comercial en la que opera actualmente. A continuación se comentarán someramente los procesos que se realizan en las instalaciones en las que está situada la llenadora, sirviéndonos, en parte, para presentar a la máquina en su contexto operacional.

### 4.1 *Tipo y actividad de la organización*

La historia de Heineken comenzó hace más de 140 años, en 1864, cuando Gerard Adriaan Heineken adquirió una pequeña fábrica de cerveza en el corazón de Amsterdam. Desde entonces, cuatro generaciones de la familia Heineken han expandido la marca y la compañía por toda Europa y el resto del mundo. Además de la marca Heineken, posee más de 170 internacionales, regionales, locales y especialidades. Marcas como Amstel (la 3ª cerveza más bebida en Europa), Cruzcampo, Tiger, Ochota, Murphy's y Star.

Heineken tiene 115 fábricas en más de 65 países, y está haciéndose un hueco importante en mercados emergentes como Rusia, China e Hispanoamérica. Con un volumen global de cerveza de 132 millones de hectolitros, Heineken ocupa el cuarto lugar en el sector mundial cervecero en volumen de ventas y el primero en Europa. Esta cobertura global se consigue a través de la combinación de empresas totalmente adquiridas, licencias comerciales, afiliaciones sociedades y alianzas estratégicas.

En 2006 la media de empleados llegó a 57.557 (pro rata). y los ingresos ascendieron a 12 mil millones de euros obteniéndose un beneficio neto que ascendió a 930 millones de euros.

## 4.2 *El sector cervecero*

El consumo de cerveza realizado por los españoles en 2007 fue de **56 litros *per cápita***<sup>7</sup>, un 5% menos que el año pasado, debido a las bajas temperaturas registradas el pasado año, así como al aumento de la población en cerca de medio millón de personas<sup>8</sup>.

Es importante destacar el consumo realizado por los turistas, una de las variables que, junto al clima, más inciden en la ingesta de cerveza en España. En 2007 el número de turistas que nos visitaron experimentó un crecimiento del 2% con respecto a 2006 hasta los 59,2 millones, procedentes sobre todo de Reino Unido (27,5%) y Alemania (17%), países con consumos *per cápita* de cerveza que llegan a duplicar el español.

Esta cifra indica que el consumo de cerveza por persona en nuestro país es de los más moderados de la Unión Europea. Si a este hecho se suman las pautas mediterráneas que tradicionalmente han estado asociadas a esta bebida (de carácter social, en compañía de amigos o familiares, junto con alimentos o aperitivos...), se puede concluir que el uso que la mayoría de la población hace de la cerveza es responsable y moderado, a diferencia de lo que ocurre, por ejemplo, en el norte de Europa.

Estas pautas de consumo de cerveza en España están en consonancia con los bajos porcentajes de abuso de alcohol en general: mientras que en nuestro país el 5% de la población ha manifestado que suele ingerir más de cuatro consumiciones o copas en un solo

día, la media europea se duplica (10%) y en el caso de países del norte, como Irlanda o Finlandia alcanza el 34 y 27% respectivamente.

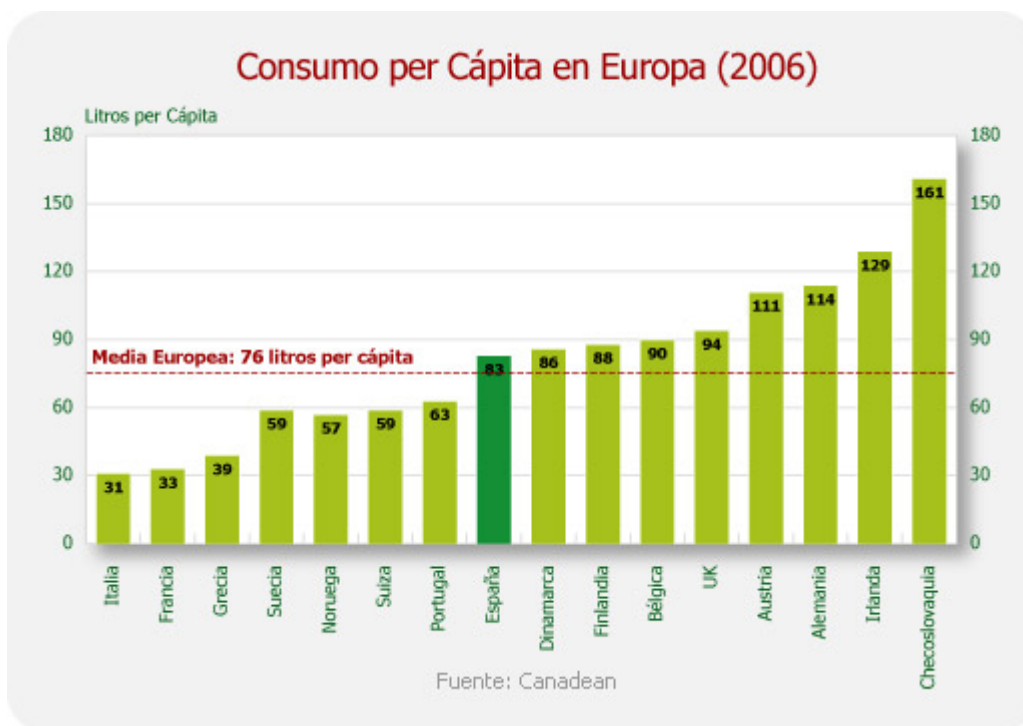


Gráfico 3 Consumo per cápita en Europa

En los últimos años los patrones de consumo de alcohol han variado, y en la actualidad su ingesta está más extendida durante los fines de semana, especialmente entre los jóvenes de 25 a 34 años. Según el estudio “Jóvenes y Alcohol”, la cerveza no es una de las bebidas preferidas por este colectivo los fines de semana, especialmente durante la tarde-noche; en cambio, el 43% de los jóvenes hasta 35 años que han afirmado que consumen bebidas alcohólicas sí consumen bebidas fermentadas (vino o cerveza) durante el resto del día, sobre todo en momentos asociados al aperitivo y las comidas. El Plan Nacional Sobre Drogas también confirma un descenso de un 25% en el consumo de cerveza entre los adolescentes (14-18 años) en días laborables y de un 20% en fines de semana.

Mientras que se ha incrementado el consumo *per cápita* de cerveza un 9% en los últimos años (de 54,37 litros en 2001 a 59,10 litros en 2006), ha descendido un 14% la ingesta de alcohol puro (gramos de alcohol contenidos en el total de bebidas consumidas), de casi 9 gramos a 7,5 debido fundamentalmente a la baja graduación de la cerveza.

El carácter social de la cerveza lo confirma el hecho de que en 2007 el 72% de la cerveza se consumió en hostelería y restauración y sólo algo más de la cuarta parte en el hogar; no obstante es precisamente en el entorno familiar donde más se incrementó el consumo de esta bebida (un 1,5%).

### Distribución de las ventas por zonas en España<sup>21</sup>



Figura 6 Distribución de las ventas por zonas en España





Figura 7 Centros productivos

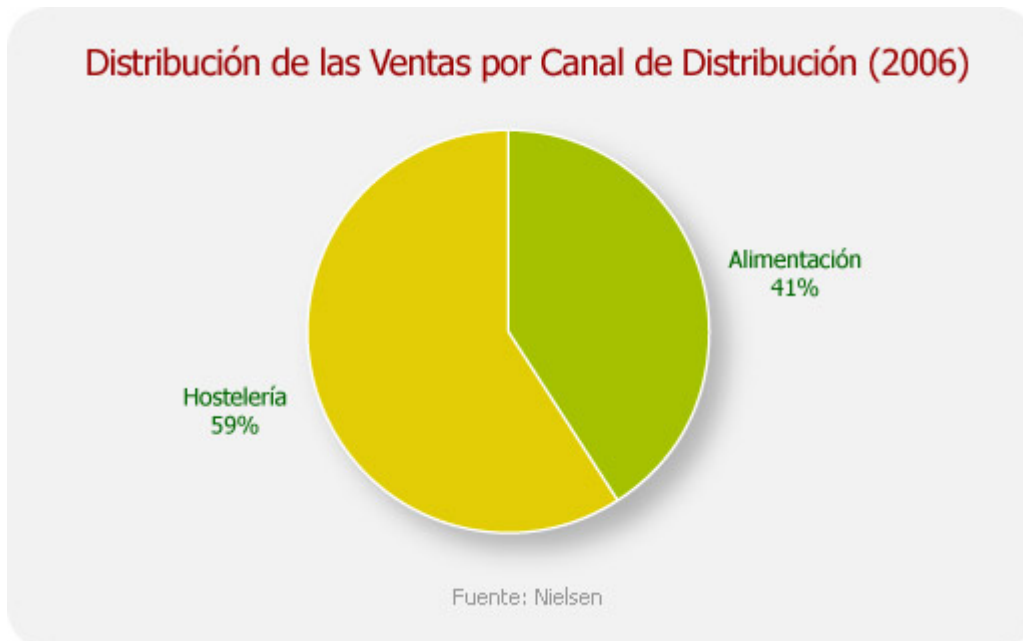


Gráfico 4 Distribución de las ventas por canal de distribución en 2006

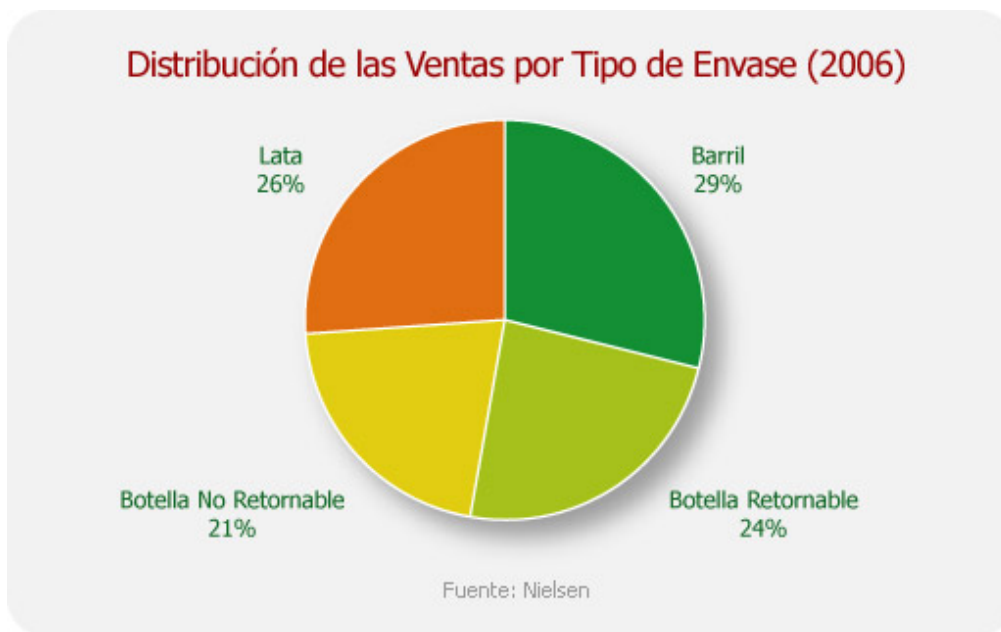


Gráfico 5 Distribución de las ventas por tipo de envase (2006)

Heineken España, SA nace de la fusión de las empresas Grupo Cruzcampo y El Aguila S.A. La compañía dispone actualmente de las siguientes fábricas en el territorio español:



Figura 8 Factorías de Heineken España

## Fábrica de Jaén



Foto 1 Fábrica de Jaén

Fundada por la Compañía El Alcázar, en 1963 se pone en funcionamiento esta fábrica situada en un paraje olivarero denominado La Imora. Se extiende por una superficie de 126.000 m<sup>2</sup> y alcanza una capacidad productiva de un millón cuatrocientos mil hectólitros anuales.

Además de barril y botella, sólo en sus instalaciones se puede envasar un formato innovador, el PET. Desde 1983, Jaén elabora la cerveza de Navidad Cruzcampo y actualmente produce en exclusividad el tinto Latino. Además produce también las marcas Amstel y Cruzcampo.

## Fábrica de Valencia



Foto 2 Fábrica de Valencia

Fue inaugurada en 1975, en la población valenciana de Quart de Poblet, para sustituir a la antigua planta de El Águila de El Cabañal que ya se encontraba dentro de los límites de la ciudad.

Tiene una superficie de 205.000 m<sup>2</sup> y su capacidad productiva es de dos millones setecientos mil hectolitros anuales. La fábrica cuenta con líneas de envasado para barril,

botella y lata, de las marcas Amstel, Cruzcampo, Heineken y Buckler Sin. Además es la primera en disponer de un sistema carga automática de camiones.

## Fábrica de Madrid



Foto 3 Fábrica de Madrid

Construida en 1967 por la compañía El Águila S.A, se sitúa estratégicamente en el norte de la capital de España, concretamente en el municipio de San Sebastián de los Reyes. Tiene una extensión de 348.000 m<sup>2</sup> y una capacidad de producción de 2,8 millones de hectolitros anuales.

En sus instalaciones, se producen y envasan las marcas Heineken, Amstel, Cruzcampo y Buckler en los formatos barril, botella retornable, botella no retornable y lata, con la peculiaridad de realizar exclusivamente el formato barril de 20 litros para la instalación "David", así como la producción de la cerveza Shandy y Buckler 0,0.

## Fábrica de Arano



Foto 4 Fábrica de Arano

En el término municipal de Arano, Navarra, se encuentra esta fábrica, construida por la familia Kutz a finales de los 70. La fábrica se estrenó con la producción de sus antiguas marcas

El León y Keler a finales de 1982, terminando así con la actividad de su antigua fábrica de San Sebastián. Tiene una extensión de 120.000 m<sup>2</sup> y una capacidad productiva de 900.000 hls/año. Está situada a 90 km de Pamplona y a 20 km de San Sebastián.

Se caracteriza por la flexibilidad con que adapta sus producciones a la hora de envasar en su línea de barriles o en su línea de botellas todo tipo de productos, entre los que destacan sus exclusivos Legado de Yuste, Amstel Oro, Amstel 1870, Amstel Reserva así como diferentes tipos de barril y de botella, retonable y no retornable.

En 2005 obtuvo el "Premio Navarro a la Excelencia" así como el Sello de Plata Europeo EFQM, que le acredita oficialmente por la "Excelencia Europea" en su gestión.

## Fábrica de Sevilla



Foto 5 Fábrica de Sevilla

La nueva fábrica de Heineken España en Sevilla, es la más moderna, vanguardista y de avanzada tecnología de Europa. Ha supuesto una inversión de 320 millones de euros, la mayor realizada hasta la fecha por la iniciativa privada en Andalucía. Sustituye a la primitiva factoría de La Cruz del Campo, que con sus 103 años de funcionamiento ininterrumpidos ostentaba el record nacional de longevidad productiva.

La nueva fábrica de Sevilla tiene una capacidad técnica de producción de 520.000.000 litros/año (un 45 por ciento más que la antigua) y es capaz de elaborar ocho millones de cañas de cerveza diarias, tantas como habitantes tiene Andalucía o Madrid y Barcelona juntas. Es también una de las más productivas del continente con una producción anual prevista de 18.000 hectolitros por persona. Dispone del más avanzado equipamiento técnico, entre los

que destaca la mayor línea de envasado de latas existente en Europa, con una capacidad de 90.000 latas a la hora.

La nueva factoría se alza sobre una superficie de 71 hectáreas en el paraje conocido como La Caridad—Cañada de Pero Mingo (Huerta del Huracán), dentro del término municipal de Sevilla y próximo a la barriada de Torreblanca y a los límites de los términos municipales de Alcalá de Guadaíra y de San José de la Rinconada.

### **4.3 El proceso de la cerveza**

#### **Fases de elaboración**

- Transformación de los granos de cebada en malta
  - El grano germina de forma controlada (remojo)
  - Tueste del grano
  - Desgerminación. El grano ya se denomina malta
    - Braceado
  - La malta se muele y mezcla con agua a 75º
  - Transformación del almidón en dextrinas y maltosa
  - Solubilización de los azúcares para obtener el mosto
  - El mosto se filtra para eliminar residuos
  - En la caldera de cocción se lleva a ebullición. Lúpulo
  - Solubilización de las resinas del lúpulo
  - Caramelización de los azúcares
  - Oxidación de tanino y lúpulo = color del mosto

Posteriormente se enfría la mezcla.

- Decocción (en baja fermentación):
  - Primer calentamiento de 45º a 76º durante 5 - 6h
  - Calentamiento en diferentes calderas hasta ebullición
  - Unión al braceado
    - Infusión (en alta fermentación)



- Elevación lenta de temperaturas durante 1h
- Hasta los 68º en diferentes etapas
- Adición de agua caliente y trasiego de líquido claro
  - Fermentación

Alta Fermentación

De 14 a 25º

De 3 a 6 días

(levadura en superficie al 3er. día)

- Maduración de 4º a 5º

Baja Fermentación

De 5 a 12º

De 7 a 10 días

(precipitación de levadura y caída al fondo)

- Maduración de 0º a 2º

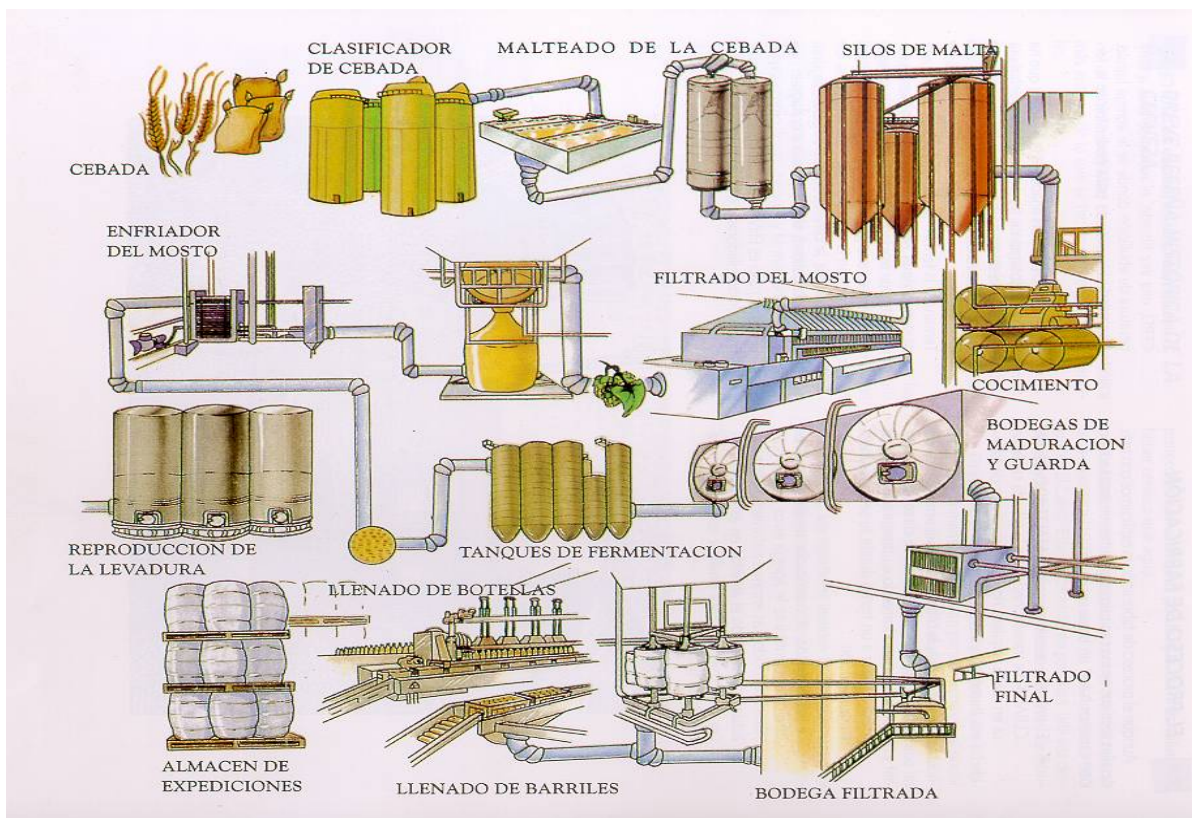


Figura 9 Fases de la elaboración de la cerveza

## 5 Herramientas de mantenimiento y gestión de éste

### 5.1 FMEA, FMECA y FTA

El uso de Failure Mode Effects Analysis (FMEA) no es nada nuevo. Tiene sus raíces en estándares militares de 1949. Es una herramienta efectiva de análisis de fiabilidad que llega a cualquier nivel deseado (unidades, sub-unidades, partes, elementos, etc.).

Se puede utilizar por si misma o como precursora de análisis del tipo RCM (Reliability Centered Maintenance), FTA (Fault Tree Analysis), y HAZOP (Hazard and Operability).

Es un método válido en las etapas de diseño, construcción y operación, en el que se determinan los modos de fallo, sus efectos, y acciones para atenuarlos. FMEA captura la información histórica para el uso en la mejora futura del producto. Es un documento vivo ya que a través del ciclo de desarrollo, cambio y actualización tanto del producto como del proceso se introducen a menudo nuevos modos de fallo.

Los tipos de FMEA son:

- Sistema
- Diseño
- Proceso
- Servicio
- Software

Un estudio FMEA genera un Risk Priority Number (RPN) para cada modo de fallo. Cuanto más alto sea éste número, más serio será el fallo y más esfuerzo se le asignará.

Para simplificar, la tabla del FMEA se genera tomando todos los modos de fallo conocidos y evaluándolos de tres formas:

- Severidad (S), importancia del fallo
- Ocurrencia (O), frecuencia de aparición del fallo
- Detección (D), probabilidad de que el fallo sea detectado



A continuación podemos ver los criterios usuales para la asignación de valores y un ejemplo de tabla de FMEA

RPN Calculation Method: Cause RPN = Severity x Occurrence x Detection    Mode RPN = Sum of Cause RPNs    Item RPN = Sum of Mode RPNs plus Sub Item RPNs

Severity Rating Scale		Occurrence Rating Scale			
#	Description	Criteria	#	Description	Criteria
1	None	Slight inconvenience to operation or operator or no effect.	1	Remote: Failure is unlikely	<= 0.01 per thousand pieces; Ppk => 1.67.
2	Very Minor	A portion (less than 100%) of the product may have to be reworked, with no scrap, on-line but in-station.	2	Low: Relatively few failures	0.1 per thousand pieces; Ppk => 1.30.
3	Minor	A portion (less than 100%) of the product may have to be reworked, with no scrap, on-line but out-of-station.	3	Low: Relatively few failures	0.5 per thousand pieces; Ppk => 1.20.
4	Very Low	The product may have to be sorted, with no scrap, on a portion (less than 100%) reworked	4	Moderate: Occasional failures	1 per thousand pieces; Ppk => 1.10.
5	Low	100% of product may have to be reworked, or vehicle/item repaired off-line but does not go to repair department.	5	Moderate: Occasional failures	2 per thousand pieces; Ppk => 1.00.
6	Moderate	A portion (less than 100%) of the product may have to be scrapped with no sorting, or vehicle/item repaired in repair department with repair time less than half an hour.	6	Moderate: Occasional failures	5 per thousand pieces; Ppk => 0.94.
7	High	Product may have to be sorted on a portion (less than 100%) scrapped, or vehicle/item repaired in repair department with repair time between half an hour and an hour.	7	High: Frequent failures	10 per thousand pieces; Ppk => 0.86.
8	Very High	100% of product may have to be scrapped, or vehicle/item repaired in repair department with a repair time greater than one hour.	8	High: Frequent failures	20 per thousand pieces; Ppk => 0.78.
9	Hazardous with warning	May endanger operator (machine or assembly) with warning.	9	Very High: Persistent failures	50 per thousand pieces; Ppk => 0.55.
10	Hazardous without warning	May endanger operator (machine or assembly) without warning.	10	Very High: Persistent failures	=> 100 per thousand pieces; Ppk => 0.55.

Detection Rating Scale		Classification Options		
#	Description	Criteria	Abbreviation	Description
1	Very High	Discrepant parts cannot be made because item has been error proofed by process/product design.	C	Critical
2	Very High	Error Proofed or Gauging Inspection. Error detection in-station (automatic gauging with automatic stop feature). Cannot pass discrepant part.	KI	Key Intermediate
3	High	Error Proofed or Gauging Inspection. Error detection in-station, OR in subsequent operations by multiple layers of acceptance: supply, select, install, verify. Cannot accept discrepant part.	KLd	Key Leading
4	Moderately High	Error Proofed or Gauging Inspection. Error detection in subsequent operations, OR gauging performed on setup and first-piece check (for setup causes only).	KLg	Key Lagging
5	Moderate	Gauging Inspection. Control is based on variable gauging after parts have left the station, OR Go/No Go gauging performed on 100% of the parts after parts have left the station.	S	Significant
6	Low	Gauging or Manual Inspection. Control is achieved with charting methods, such as SPC (Statistical Process Control)		
7	Very Low	Manual Inspection. Control is achieved w/ double visual inspection only.		
8	Remote	Manual Inspection. Control is achieved w/ visual inspection only.		
9	Very Remote	Manual Inspection. Control is achieved w/ indirect or random checks only.		
10	Almost Impossible	Manual Inspection. Cannot detect or is not checked.		

Tabla 3 Criterios para la asignación de valores del FMEA

**POTENTIAL  
FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS  
Front Door L.H.**

System 1 - Automobile  
 Subsystem 2 - Closures  
 X Component 3 - Front Door L.H.  
 Model Year(s)/Vehicle(s) 199X/Lion 4dr/Wagon  
 Core Team A. Tate Body Engrg, J. Smith - OC, R. James - Production, J. Jones - Maintenance

Process Responsibility Body Engineering  
 Key Date 3/31/2003

FMEA Number 1450  
 Page 4 of 7  
 Prepared By J. Ford - X6521 - Assy Ops  
 FMEA Date (Orig.) 3/10/2003 (Rev) 3/21/2003

Item	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S/N	OCCUR	Potential Cause(s)/Mechanism(s) of Failure	OCCUR	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	Detect	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results				
													Actions Taken	sev	OCC	Det	Risk
3 - Front Door L.H.																	
Manual application of wax inside door.  To cover inner door, lower surfaces at minimum wax thickness to retard corrosion.	Insufficient wax coverage over specified surface.	Deteriorated life of door leading to: - Unsatisfactory appearance due to rust through paint over time. - Impaired function of interior door hardware.	7		Manually inserted spray head not inserted far enough.	8		Visual check each hour - 1/shift for film thickness (depth meter) and coverage.	5	280	Add positive depth stop to sprayer.  Automate spraying.	Mfg Engrg - 3/10/2003  Mfg Engrg - 3/10/2003	Stop added, sprayer checked on line.  Rejected due to complexity of different doors on same line.	7	2	5	70
					Spray head clogged - Viscosity too high - Temperature too low - Pressure too low.	5	Test spray pattern at start-up and after idle periods, and preventive maintenance program to clean heads.	3	105	Use Design of Experiments (DOE) on viscosity vs. temperature vs. pressure.	Mfg Engrg - 3/10/2003	Temp and press limits were determined and limit controls have been installed - control charts show process is in control Cpk = 1.85.	7	1	3	21	
					Spray head deformed due to impact.	2	Preventive maintenance program to maintain heads.	2	28			7	2	2	28		
					Spray time insufficient.	8	Operator instructions and lot sampling (10 doors/shift) to check for coverage of critical areas.	7	352	Install spray timer.	Maintenance - 3/10/2003	Automatic spray timer installed - operator starts spray, timer controls shut-off - control charts show process is in control Cpk = 2.05.	7	1	7	49	

Tabla 4 ejemplo de tabla de FMEA

FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis ó Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad) hace un análisis más cuantitativo que FMEA, asignándole a cada modo de fallo un índice de criticidad.

Según la norma MIL-STD-1629-A, se tiene:

El número de criticidad de un determinado modo de fallo es:

$$C_m = \beta \alpha \lambda_p t$$

El índice de criticidad del elemento es:

$$C_r = \sum_{n=1}^j (C_m)_n$$

Donde:

$C_r$  = criticidad del elemento

$C_m$  = criticidad para un modo de fallo bajo una particular clasificación de severidad (ver 4.4.3)

$\beta$  = probabilidad condicionada de que se pierda la operabilidad dado que el modo de fallo ha ocurrido

$\alpha$  = ratio del modo de fallo. La probabilidad expresada como fracción decimal de que la parte o el elemento fallen en el modo identificado

$\lambda_p$  = ratio del fallo de la parte

FTA (Fault Tree Analysis) ó Análisis por Árboles de Fallos (AAF), es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente.

El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes. Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo (por ejemplo rotura de un depósito de almacenamiento de amoníaco) en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos, etc.

Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos.

Cada uno de estos aspectos se representa gráficamente durante la elaboración del árbol mediante diferentes símbolos que representan los tipos de sucesos, las puertas lógicas y las transferencias o desarrollos posteriores del árbol.

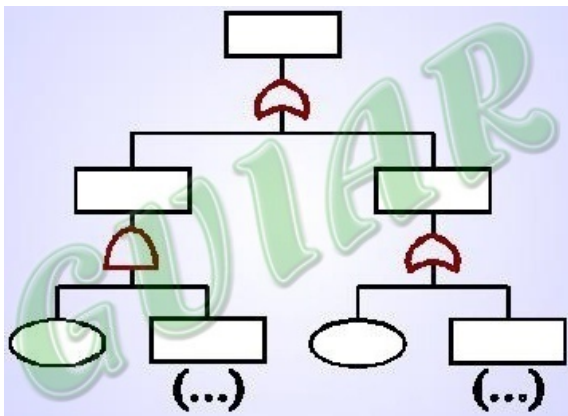


Figura 10 Ejemplo de árbol de fallos

Los símbolos más importantes son los siguientes:

 <p><b>SUCESO BÁSICO</b> suceso de fallo básico; no requiere posterior desarrollo</p>  <p><b>SUCESO CONDICIONANTE</b> condiciones o restricciones aplicables a cualquier bloque lógico</p>  <p><b>SUCESO NO DESARROLLADO</b> suceso que no se ha desarrollado más, por información insuficiente o consec. insignificantes</p>  <p><b>SUCESO EXTERNO</b> sucesos que se espera que ocurran normalmente</p>	 <p><b>PUERTA LÓGICA "Y"</b> el suceso de salida ocurre si y sólo si ocurren todos los de entrada</p>  <p><b>PUERTA LÓGICA "O"</b> el suceso de salida ocurre si y sólo si ocurren uno o más de los de entrada</p>  <p><b>PUERTA LÓGICA "O" EXCLUSIVA</b> el suceso de salida ocurre si ocurre exactamente una de las entradas</p>  <p><b>PUERTA LÓGICA "Y" PRIORITARIA</b> el suceso de salida ocurre sólo si todas las entradas ocurren en una secuencia específica ordenada</p>  <p><b>PUERTA LÓGICA DE INHIBICIÓN</b> el suceso de salida ocurre partiendo de una única entrada siempre que se satisfaga una condición dada</p>
 <p><b>SUCESO INTERMEDIO</b> suceso de fallo que ocurren por una o más causas anteriores que actúan a través de bloques lógicos</p>	 <p><b>TRANSFERENCIA INTERIOR</b> Indica que el árbol sigue su desarrollo en otro lugar</p>  <p><b>TRANSFERENCIA INTERIOR</b> Indica dónde debería unirse la</p>

Tabla 5 Símbolos más usuales

Es una metodología que se puede aplicar a sucesos relativamente complejos para los cuales intervienen muchos elementos y que se pueden descomponer en sucesos más sencillos.

Requiere de uno o dos analistas con amplia experiencia y conocimiento del sistema a analizar, frecuentes consultas a técnicos, operadores y personal experimentado en el funcionamiento del sistema y la documentación necesaria consiste en diagramas de flujos, instrumentación, tuberías, junto con procedimientos de operación y mantenimiento.

Para terminar, podemos decir que comparado el FMEA/FMECA, el FTA puede tomar mejor en cuenta las influencias externas (humanas y ambientales) y manejar situaciones en las que más de un fallo tiene que ocurrir para que se dé el evento indeseado a nivel de sistema.

La utilización conjunta del FMEA y del FTA, lleva a la obtención de cuadros de causas y efectos, que muestran la relación lógica entre todas las causas identificadas y sus consecuencias simples o múltiples.

## **5.2 La herramienta RCM**

### **5.2.1 Un poco de historia**

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante los 1960s y 1970s, en varias industrias con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físicos – y para manejar las consecuencias de sus fallas. De estos procesos, el RCM es el más directo.

El RCM fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability Centered Maintenance”, el libro que dio nombre al proceso. Este libro fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los USA, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG – 1: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970 para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la



ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los USA).

En 1980, la ATA produjo el MSG – 3, Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG – 3 ha sido revisado dos veces, la primera vez en 1988 y de nuevo en 1993, y es el documento que hasta el presente lidera el desarrollo de programas iniciales de mantenimiento planeado para la nueva aviación comercial.

### 5.2.2 La metodología RCM

El mantenimiento centrado en fiabilidad (MCF) ó RCM (Reliability Centered Maintenance) es una de las técnicas organizativas actuales aplicadas al mantenimiento que más significativamente mejora sus resultados.

Es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando sean rentables para la empresa.

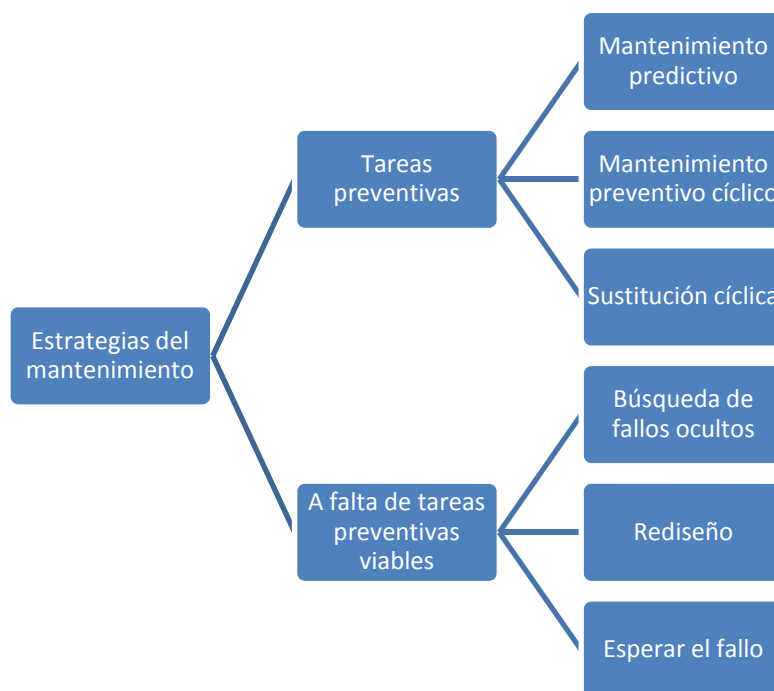


Figura 11 Estrategias del mantenimiento

Se debe responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de ejecución asociados con el activo (equipo a mantener) en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera puede fallar y no cumplir las funciones y estándares anteriores?
- ¿Qué causa cada fallo funcional?
- ¿Qué ocurre cuando sucede un fallo?
- ¿Qué ocurre cuando falla y qué repercusiones tiene? (Disponibilidad, costes accidentes, etc.)
- ¿Qué puede hacerse para prevenir cada fallo funcional?
- ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea de prevención adecuada a esta fallo?





Este enfoque gradual de “arriba-abajo” significa que las tareas sistemáticas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente. Esta característica del RCM normalmente lleva a una reducción significativa en los trabajos rutinarios. También quiere decir que las tareas restantes son más probables que se hagan bien. Esto combinado con unas tareas útiles equilibradas llevará a un mantenimiento más efectivo. Si esto compara el enfoque gradual tradicional de abajo a arriba. Tradicionalmente, los requerimientos del mantenimiento se evaluaban en términos de sus características técnicas reales o supuestas, sin considerar de nuevo que en diferentes condiciones se aplican consecuencias diferentes. Esto resulta en un gran número de planes que no sirven para nada, no porque sean “equivocados”, sino porque no consiguen nada.

El proceso del RCM considera los requisitos del mantenimiento de cada elemento antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener los equipos como está funcionando hoy, y no como debería de estar o puede que esté en el futuro.

Los trabajos de RCM son arduos y tediosos, pues hay que analizar cada equipo, cada subconjunto, sus formas de fallo, las averías ocultas, etc. Conviene limitar las reuniones de forma rigurosa intentando no sobrepasar las 3 horas de duración.

Los integrantes típicos de un grupo de trabajo son: el guía o facilitador, un técnico de ingeniería, uno de mantenimiento, operarios y un técnico de producción.

El técnico de ingeniería es el responsable del proyecto del equipo, de su compra y recepción. De no ser suficiente con él, puede contarse con la presencia del constructor e instalador.

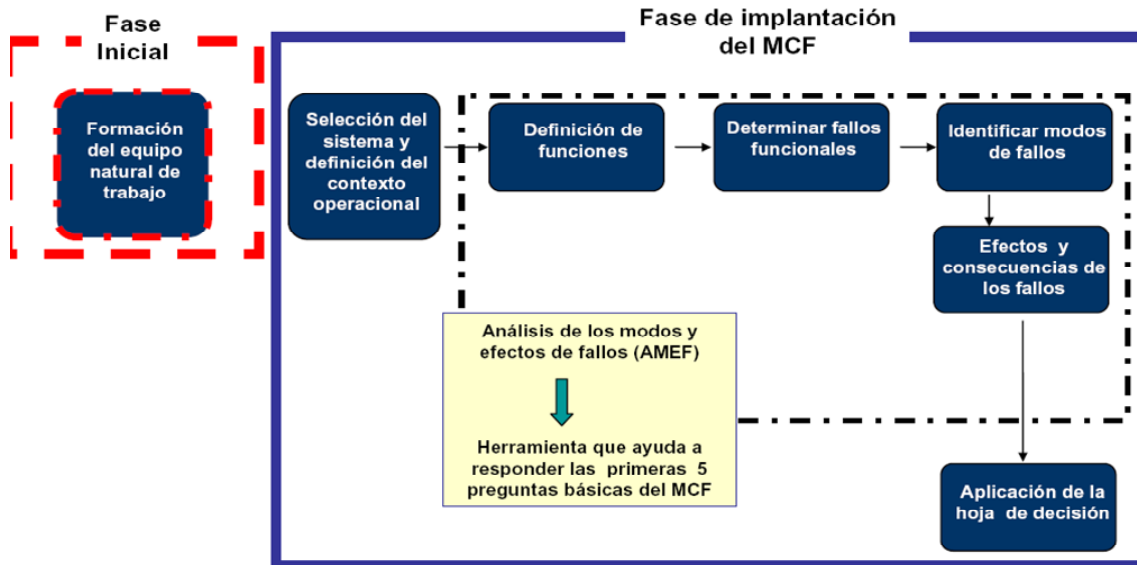


Figura 13 Flujograma de implementación del RCM

### 5.2.3 Logros del RCM

El RCM2 ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. Cuando se aplica correctamente produce los beneficios siguientes:

1. Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:
  - Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
  - La disposición de nuevos dispositivos de seguridad.
  - La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
  - Claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.
  - Menos fallas causados por un mantenimiento innecesario.
  
2. Mejores rendimientos operativos, debido a:

- Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
  - Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
  - Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
  - Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
  - Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas
  - Menos problemas de “desgaste de inicio” después de las interrupciones debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.
  - La eliminación de elementos superfluos y como consecuencia los fallas inherentes a ellos.
  - La eliminación de componentes poco fiables.
  - Un conocimiento sistemático acerca de la nueva planta.
3. Mayor Control de los costos del mantenimiento, debido a:
- Menor mantenimiento rutinario innecesario
  - Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre las consecuencias de las fallas)
  - La prevención o eliminación de las fallas costos.
  - Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva
  - Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal tiene mejor conocimiento de las plantas
  - Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición (condition monitoring).
  - Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.

4. Una amplia base de datos de mantenimiento, que:

- Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
- Provee un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
- Provee una base valiosa para la introducción de los sistemas expertos
- Conduce a la realización de planos y manuales más exactos
- Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver a considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.

5. Mayor motivación de las personas:

Especialmente en el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un “compartir” más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.

6. Mejor trabajo de grupo:

Motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones. Esto mejora la comunicación y la cooperación entre:

- Las áreas: Producción u operación así como los de la función del mantenimiento.
- Personal de diferentes niveles: los gerentes los jefes de departamentos, técnicos y operarios.
- Especialistas internos y externos: los diseñadores de la maquinaria, vendedores, usuarios y el personal encargado del mantenimiento.

Muchas compañías que han usado ambos sistemas de mantenimiento han encontrado que el RCM les permite conseguir mucho más en el campo de la formación de equipos que en la de los círculos de calidad, especialmente en las plantas de alta tecnología.

Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento, y muchos ya son la meta de los programas de mejora.

Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez, y para hacer participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.

BENEFICIOS QUE TRAE CONSIGO OPTIMAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL				
CALIDAD	TIPO DE SERVICIO	COSTO	TIEMPO	RIESGO
-Aumenta la disponibilidad de las plantas (2-10%) -Elimina los fallos crónicos -Aumenta la flexibilidad operacional -Programa de mant. basado en data real	-Mejora trabajo el equipo y la comunicación -Ayuda a entender mejor los requerimientos de los clientes -Disminuye las paradas no programadas	-Reduce los niveles de mant. programado(10-50%) -Optimiza los programa de mant. - Administración de contratos más eficiente -Alarga la vida de los equipo de propósitos especiales -Actividades de mant. en función de un análisis costo beneficio	-Reduce el tiempo de reparación (MTTR) -Reduce la duración de las paradas de planta - Aumenta la corrida de las plantas (60-300%)	- Seguridad e integridad ambiental son prioritarios -Fallos con consecuencias a la seguridad o al ambiente son inaceptables -Reduce al mínimo la posibilidad de múltiples fallos

Tabla 6 Beneficios del RCM

## 6 Desarrollo del RCM de la llenadora de latas

### 6.1 El contexto operacional

La factoría se alza sobre una superficie de 71 hectáreas en el paraje conocido como La Caridad—Cañada de Pero Mingo (Huerta del Huracán), dentro del término municipal de Sevilla y próximo a la barriada de Torreblanca y a los límites de los términos municipales de Alcalá de Guadaíra y de San José de la Rinconada. Dentro de ella, en la nave dedicada a envasado, la máquina forma parte de la línea de latas (llamada internamente la 1100).

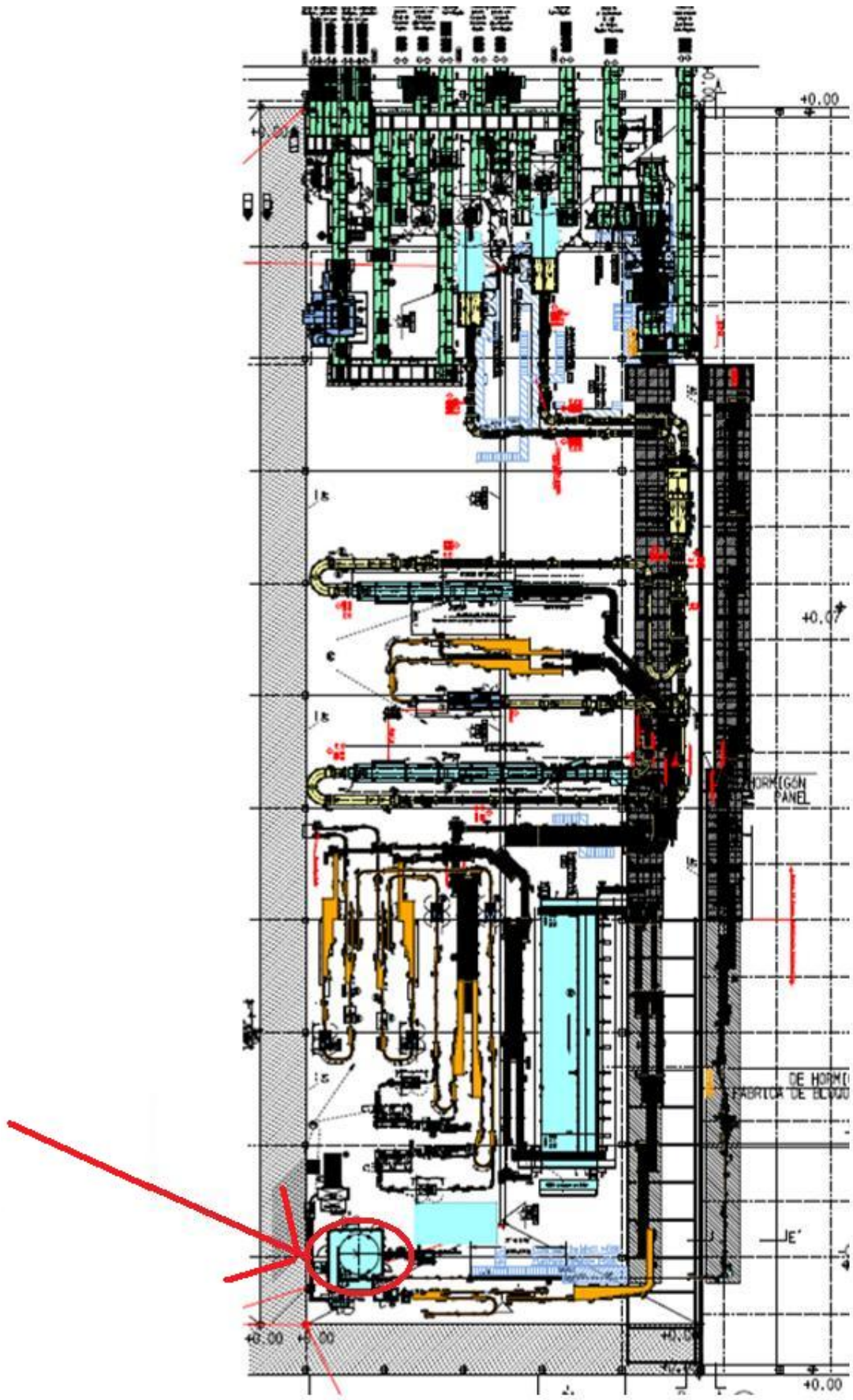


Figura 14 Localización de la llenadora en la línea de envasado

La máquina funciona a tres turnos de ocho horas cada uno, desde primera hora del lunes hasta la mañana del domingo que para. La máquina trabaja todo el año, excepto alguna fiesta puntual y alguna semana de overhaul. Es utilizada por tres operadores distintos y ocasionalmente por un cuarto operador más general llamado "hombre G".

1. Los parámetros de funcionamiento son:

- Llenadora de latas de 125 válvulas de llenado.
- Habilitada para trabajar con latas de 50 y 33 cl capacidad de llenado operacional de 94500 latas/hora y una capacidad máxima de 96000 latas/hora.
- La potencia eléctrica instalada en la parte de la llenadora es de 24kW.
- Trabaja con 88 Nm<sup>3</sup>/h de aire de máquina (neumático), y con 30 Nm<sup>3</sup>/h de aire estéril (clase 5-5-5 ó 3-3-1 según DIN-ISO 85731-1) a temperaturas entre los 5 y los 50°C
- El consumo de CO<sub>2</sub> es de 650-700 g/hl
- La media de ganancia de oxígeno es de 15 g/l con un máximo de 20 g/l
- La media de pérdida de CO<sub>2</sub> es de 0.02% en peso
- La desviación en la altura de llenado es de 0.8 mm
- Las pérdidas de cerveza totales son del 0.4% en peso
- La temperatura de trabajo del producto varía entre -4 y 50 °C
- La máxima presión del tanque de producto es de 2'5 bar
- La presión de alimentación del conjunto de válvulas está entre 3 y 5 bar
- En cuanto al agua de trabajo el pH≥7, La dureza máxima es de 90ppm y la concentración de cloruro máxima de 80ppm
- Máximo de latas vacías/dañadas 0.002%
- En cuanto al CIP de limpieza la sosa debe tener una concentración máxima del 2% a 85°C

1. Desperdicios que se producen:

- a. Durante el servicio de llenado
  - Envases rotos / desperdicios de envases
  - Tapones (p.e. tapones corona, ...)
  - Restos del producto
  - Además



- Gases de servicio (p.e. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, aire - estándar, estéril,
- aire de servicio, ...)
- Agua de servicio (p.e. sistema de rociado)
- Vapor (equipo especial)
- Lubricante del transportador

b. Durante el servicio CIP-/SIP

- Aguas residuales
- Vapor (equipo especial)
- Detergentes y desinfectantes
- Durante trabajos de mantenimiento
- Piezas usadas (piezas de repuesto)
- Lubricantes y sus envases
- Detergentes y disolventes
- Baterías
- Plásticos
- etc.

	Presión mínima	Presión máxima
Producto	1,5 bares / 21,7 PSI	8 bares / 116 PSI
Gases usados en la producción: CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , aire	8 bares / 116 PSI	10 bares / 145 PSI
Líquidos para limpieza CIP	2,5 bares / 36,2 PSI	3 bares / 43,5 PSI
Aire de servicio	7 bares / 101,5 PSI	10 bares / 145 PSI
Agua fría	3 bares / 43,5 PSI	5 bares / 72,5 PSI
Agua caliente (95 °C)	2 bares / 29 PSI	3 bares / 43,5 PSI

Tabla 7 Acometidas de alimentación



## 6.2 Modo de funcionamiento de la máquina

### 6.2.1 Principio básico - Servicio de llenado

1. Entrada de envases
2. Bloqueador de envases
3. Tornillo sinfín
4. Estrella de entrada
5. Carrusel con estaciones de llenado
6. Estrella de salida
7. Salida de envases
8. Taponadora (equipo especial)

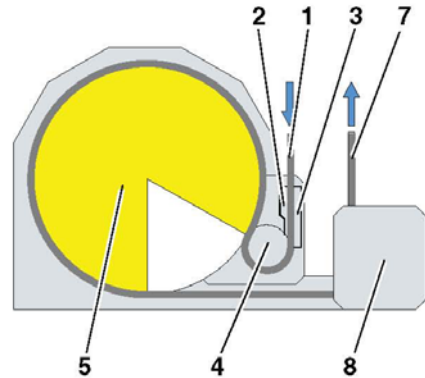


Figura 15 Fases de llenado

Si el bloqueador de envases está abierto, los envases son conducidos a través de la entrada de envases hasta el tornillo sinfín.

El tornillo sinfín aumenta la distancia entre los envases, hasta que corresponda exactamente al paso de la estrella de entrada y a la distancia entre las estaciones de llenado.

Las estaciones de llenado para el llenado de los envases se han instalado en el carrusel.

Durante el servicio, el carrusel gira con las estaciones de llenado. Por estación de llenado recoge un envase vacío de la estrella de entrada, lo llena y lo transfiere a la estrella de salida o al transportador de salida.

Según el equipo, los envases son conducidos a través de una estrella de transporte, un tornillo sinfín o un transportador hasta la taponadora donde se cierran.

A continuación se transfiere el envase a la salida de envases.

El llenado de los envases se realiza en varias etapas, las llamadas fases de llenado.

El tipo y la duración de las fases de llenado están adaptados a los requerimientos respectivos.

Las fases de llenado se controlan en función del tiempo, en caso de máquinas con válvulas de llenado de accionamiento neumático, en función del ángulo, en caso de máquinas con válvulas de llenado de accionamiento mecánico.

### 6.2.1.1 Unidad de centrado

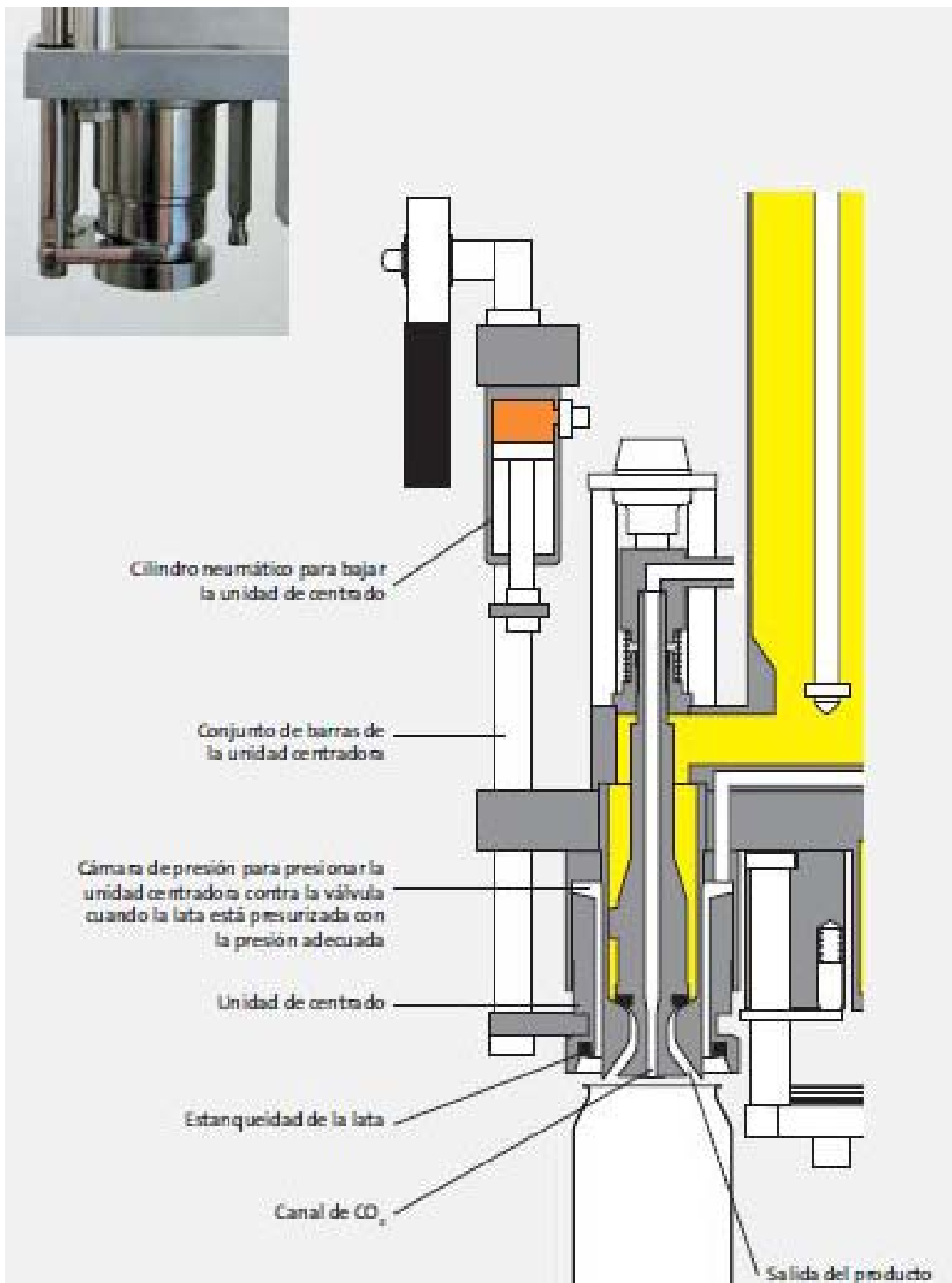
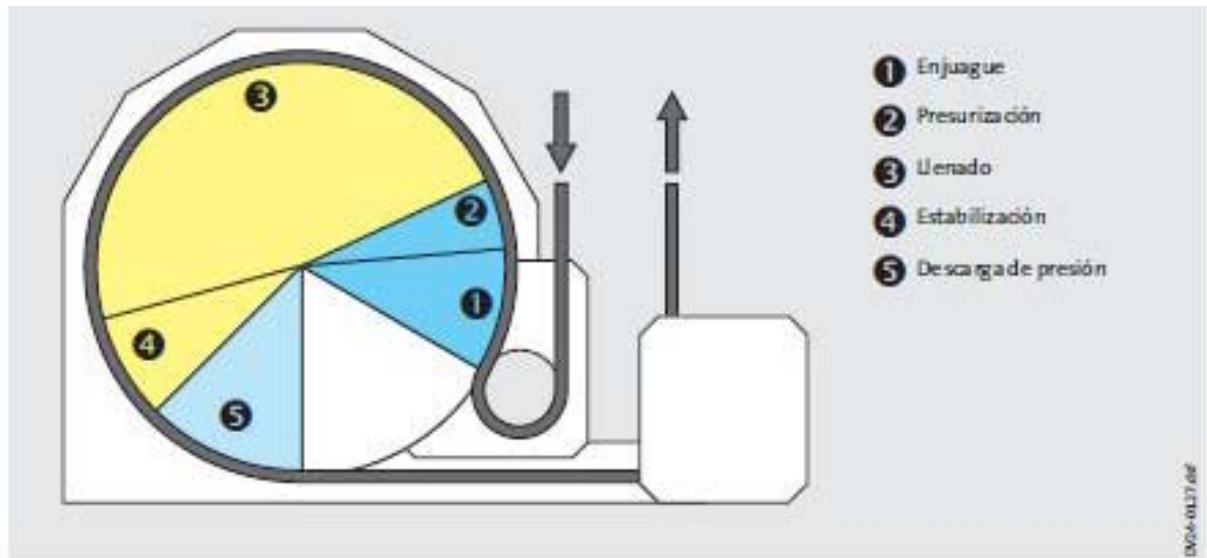


Figura 16 Unidad de centrado

### 6.2.1.2 Mando de las válvulas



### Mando de las válvulas de llenado



#### Caja de mando con ordenador del mando de la válvula de llenado (LCT3)

- 1 Mando de la válvula de llenado (ordenador maestro). Comprende el programa de llenado para mandar las válvulas de llenado.



#### Torre electrónica (1) en el carrusel

Contiene entre otros:

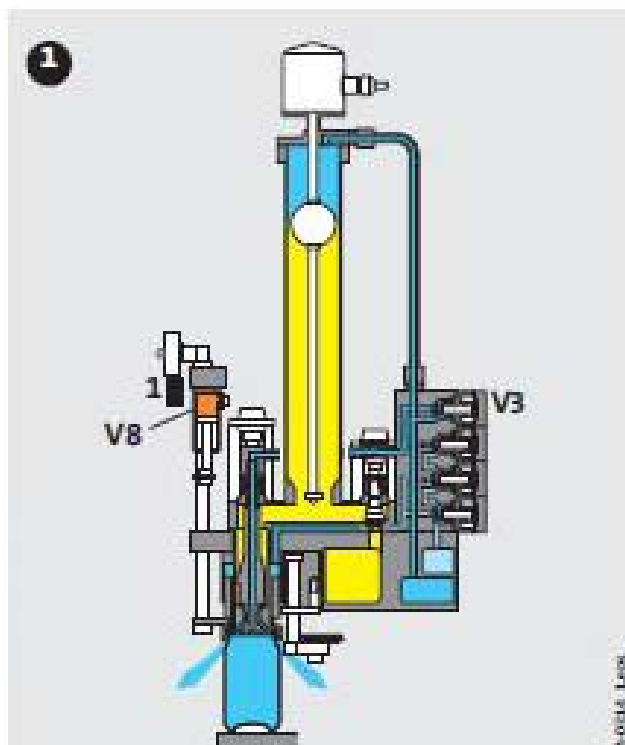
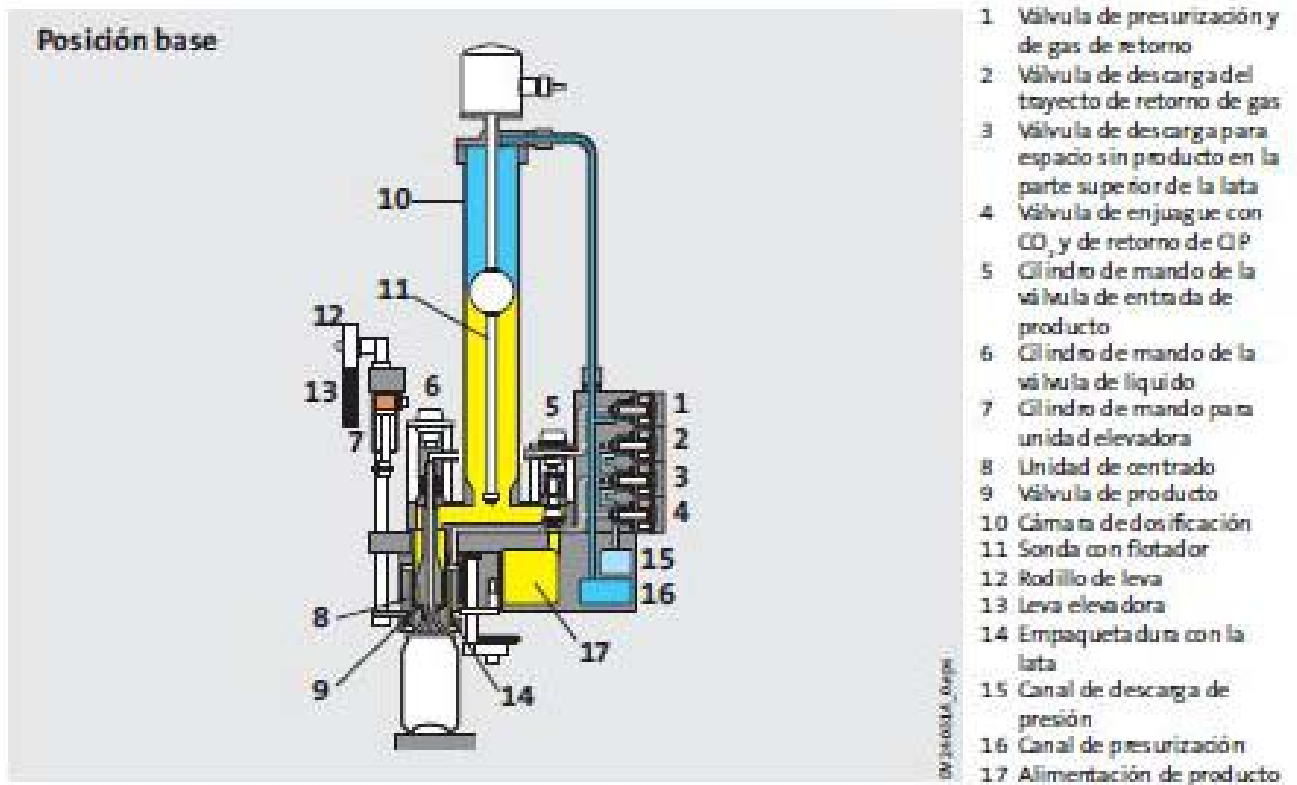
- Ordenador esclavo del mando de la llenadora.
- Válvulas magnéticas para mandar las válvulas de llenado con aire comprimido.

#### Transmisor de anillos colectores (2)

#### Distribuidor de aire (3)

Figura 17 Mando de las válvulas de llenado

### 6.2.1.3 Fases de llenado



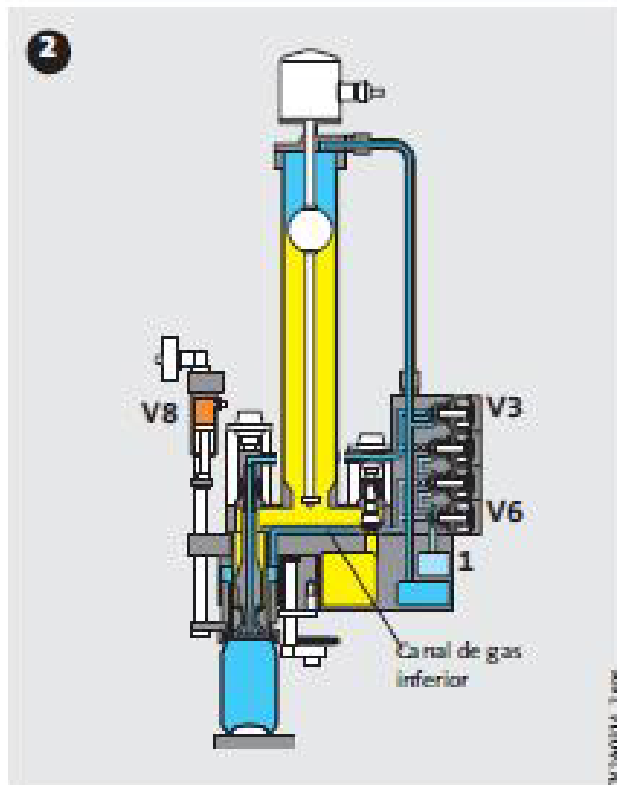
#### 1 Enjuague con CO<sub>2</sub>, lata no presionada contra la válvula

El cilindro de mando (V8) baja a la unidad centradora sobre la lata. Sin embargo la leva elevadora en la estrella de entrada (1) impide que la unidad elevadora descienda completamente.

Se abre la válvula de gas de presurización (V3) y el gas (por ej. CO<sub>2</sub>) entra en la lata. El gas sale al exterior por la apertura de la lata.

De este modo el gas desplaza una parte de la leche del interior de la lata.

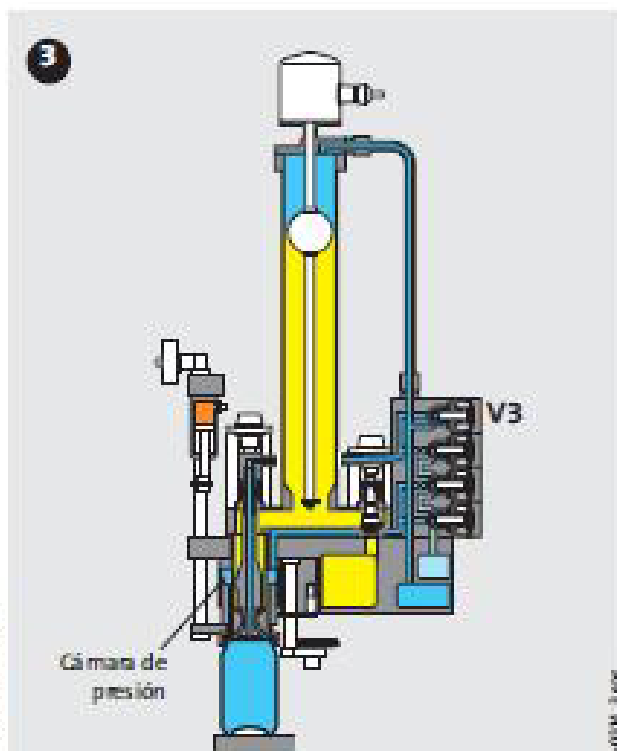
Figura 18 Fases de llenado



## 2 Enjuague con CO<sub>2</sub>, lata presionada contra la válvula

La leva elevadora en la estrella de entrada termina aquí de forma que la unidad centradora puede descender ahora por completo sobre la lata y ser presionada contra la válvula.

La válvula de gas de presurización (V3) y la válvula de enjuague (V6) están abiertas. El gas entra dentro de la lata y sale por el canal inferior de gas y por la válvula de enjuague hacia el canal de descarga (1). De este modo el gas desplaza más aire del interior de la lata.



## 3 Presurización

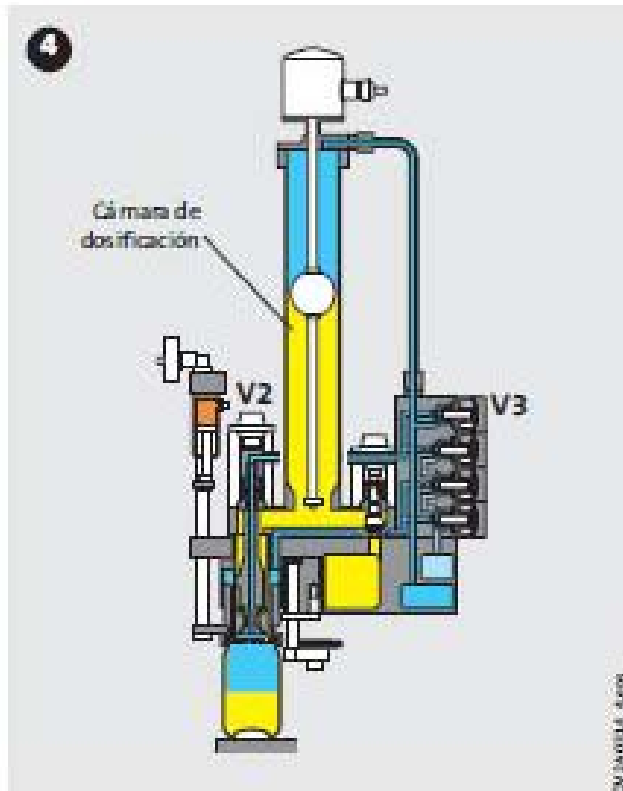
Se abre la válvula de gas de presurización (V3) y el gas presuriza la lata hasta que se establece la presión de llenado.

Ahora dentro de la lata existe la misma presión como en el canal de gas y en el depósito de alimentación.

Dentro de la cámara de presión encima de la unidad centradora existe la misma presión como en la lata. Esta presión presiona a la unidad centradora hacia abajo hasta quedarse en la lata.

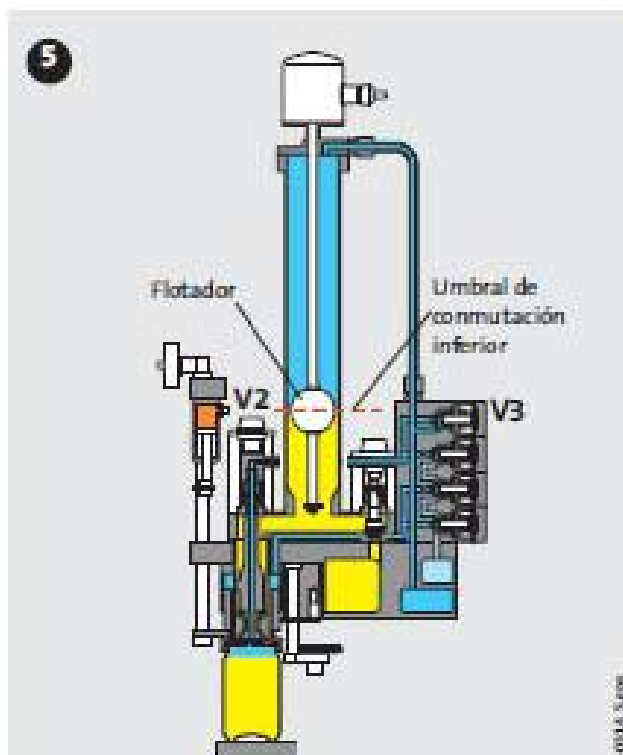
Cuanto más sube la presión dentro de la lata tanto mayor es esta presión de apriete.

Figura 19 Fases de llenado



#### 4 Llenado de la lata

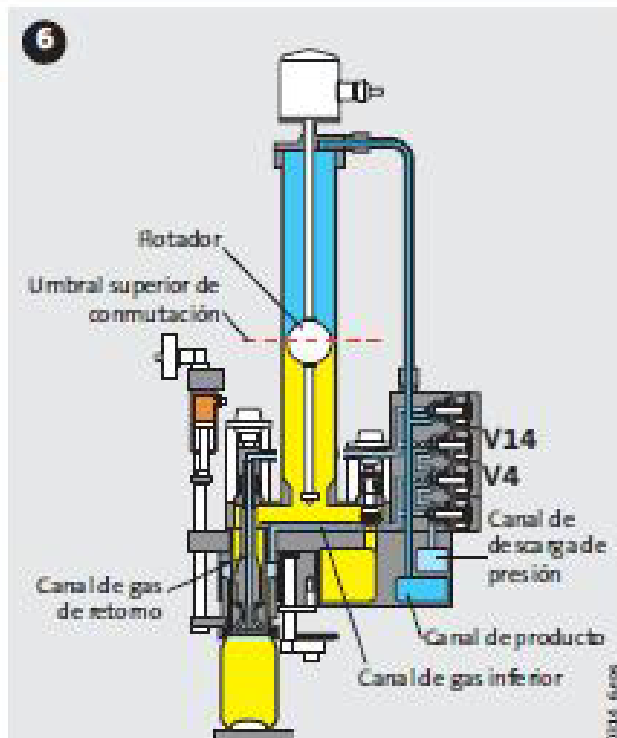
Se abren la válvula de producto (V2) y la de gas de presurización (V3). El producto entra desde la cámara dosificadora hacia la lata. El gas contenido dentro de la lata vuela al canal de gas a través de la válvula de gas de presurización.



#### 5 Final de llenado

Cuando el flotador llega al umbral conmutador definido en el programa de llenado, la lata está llena. Se cierran la válvula de producto (V2) y la de gas de presurización (V3).

Figura 20 Fases de llenado



## 6 Descarga de presión y llenado de la cámara dosificadora

Se abren las válvulas de descarga (V14, V4). La sobrepresión existente dentro de la lata se escapa mediante el canal de retorno de gas y mediante el canal de gas inferior hacia el canal de descarga.

Independientemente de la descarga se llena de nuevo la cámara dosificadora. La segunda válvula de producto se abre y el producto entra desde el canal de producto hacia la cámara dosificadora hasta que el flotador haya llegado al umbral conmutador superior determinado en el programa de llenado.

Figura 21 Fases de llenado

### 6.2.2 Principio básico - Servicio CIP-/SIP

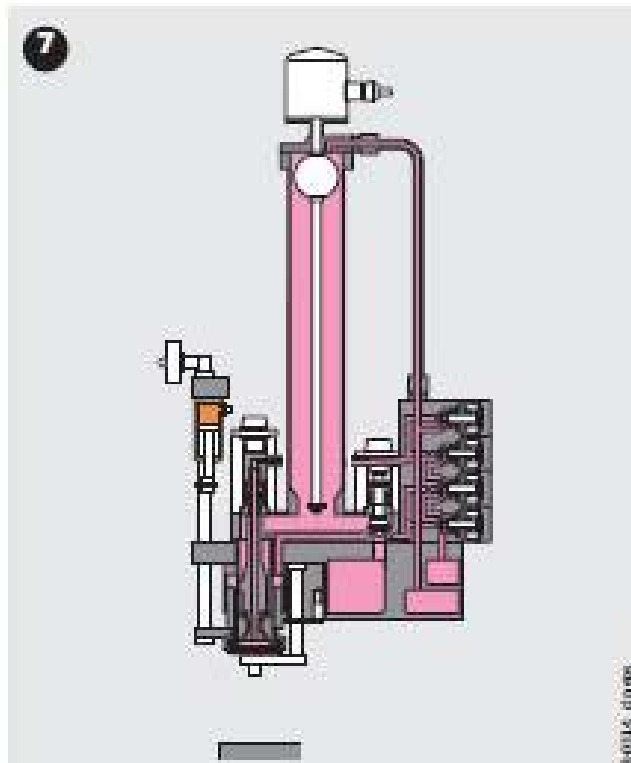
CIP = Cleaning In Place (Limpieza en el lugar)

SIP = Steaming In Place (Vaporizar en el lugar) Significado de CIP/SIP:

Limpieza/desinfección interna de la máquina, sin desmontarla o efectuar modificaciones importantes con respecto al estado de funcionamiento. Para ello se deja pasar por la máquina un detergente/desinfectante.

Los programas de servicio y limpieza de la máquina están adaptados a las respectivas necesidades (véase "Descripción de los programas de servicio y limpieza", facilitado por el departamento técnico de la empresa

La ilustración muestra un ejemplo de un esquema del sistema de canalización. El esquema del sistema de canalización de su máquina está representado en la pantalla táctil y en los documentos de las piezas de repuesto.



## 7 Fase CIP

Las válvulas llenadoras son cerradas mediante tu llipos de enjuague, formando un circuito cerrado del sistema de llenado.

Los medios de limpieza pueden fluir desde el canal de producto pasando por la válvula de producto y por la cámara dosificadora hacia el canal de gas y el canal de descarga y a continuación pueden volver a la instalación CIP mediante el conducto de retorno de CIP.

Figura 22 Fase del CIP

### Principio básico - Servicio CIP-/SIP

1. Máquina
2. Tuberías
3. Depósitos (p.e. instalación CIP, equipo especial)

La máquina y las tuberías se pueden enjuagar/limpiar con líquidos detergentes/-desinfectantes (= servicio CIP) o se pueden esterilizar con vapor = (servicio SIP, equipo especial).

Los líquidos detergentes/-desinfectantes provienen de depósitos de instalación CIP) y se retornan en un circuito. Según el tipo/modelo de la máquina o el programa de limpieza/-desinfección, se pueden perder ciertas cantidades de los líquidos detergentes/-desinfectantes. Hay que ajustar/cambiar la máquina/el sistema de canalización a los diferentes programas de limpieza/-desinfección.



## **Limpieza/desinfección del interior de la máquina**

Todo el interior de la máquina (p.e. sistema de canalización, depósito/tanque del producto, canal de vacío/- de retorno CIP, etc.), se enjuaga y se limpia/desinfecta durante el servicio CIP con líquidos detergentes/desinfectantes, llena y se esteriliza durante el servicio SIP con vapor.

Las botellas postizas CIP instaladas (1) cierran la salida de la válvula de llenado y encierran todas las piezas exteriores de las estaciones de llenado que están en contacto con el producto (p.e. tubos de retorno de aire, sondas, etc.).

El medio detergente/-desinfectante afluye del depósito/tanque del producto a través de las válvulas de llenado a las botellas postizas CIP. Retorna de las botellas postizas CIP a través del canal de vacío/- de retorno CIP al sistema de canalización. Así se limpian/desinfectan también:

- Las válvulas de llenado.
- Las piezas exteriores de las estaciones de llenado que están en contacto con el producto.
- Los canales internos.

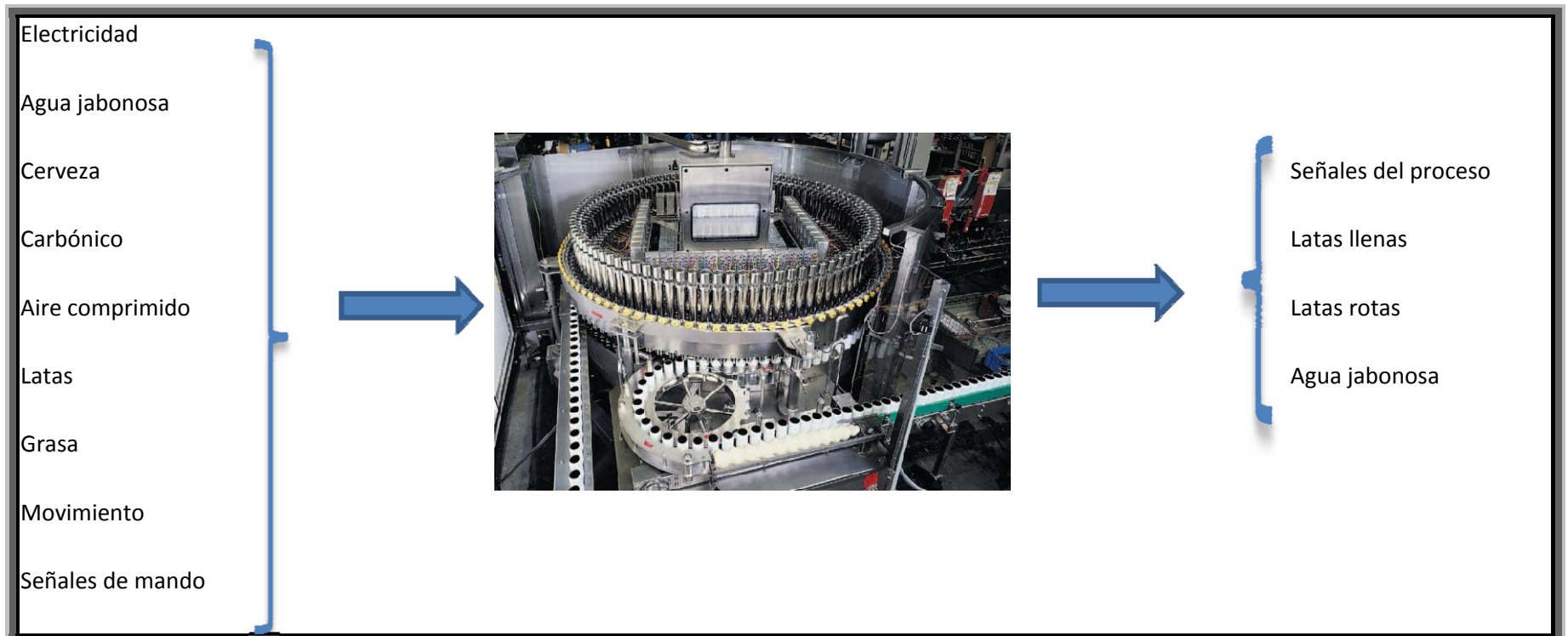


Figura 23 Diagrama EPS



#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
2	Que no tenga pérdidas	1	Existen pérdidas de fluido	1	Junta de tuberías en mal estado	1121430300	Vertido de cerveza
				2	Tuberías articuladas deterioradas en los codos (anillos 'o' y de segmentos)	8231437003	Vertido de cerveza
3	Que no aporte ni olores ni sabores	1	Aporta olores	1	Junta de válvulas en mal estado	900235052	Contaminación del producto. Pérdida de calidad
				2	Junta de las mirillas	901127907	Contaminación del producto. Pérdida de calidad
		2	Aporta sabores	1	Existencia de restos por mala limpieza previa		Contaminación del producto. Pérdida de calidad
				2	Existencia de restos por mala limpieza previa		Contaminación del producto. Pérdida de calidad
B	SUB. DE CONTROL DE MÁQUINA (VELOCIDAD DE OPERACIÓN)						
1	Sincronizar la velocidad de giro con la entrada y la salida	1	No sincroniza	1	Los transportes no entienden la señal de la llenadora. Avería en las tarjetas de salida.		Se producen vacíos en los grifos de la llenadora, o acumulación a la entrada

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				2	Sensor de vueltas averiado	900681298	Existencia de latas con un llenado deficiente
				3	El cardan de la ferrum se rompe. Falta de lubricación por goteo de agua	9103443428	Paralización de la máquina
				4	Pulsos erróneos debido a acumulación de suciedad en contador de vueltas	900681298	Existencia de latas con un llenado deficiente
				5	El codificador ha recibido un golpe y no transmite	2733177000	Existencia de latas con un llenado deficiente
					La correa se ha roto del uso	8232199003	Paralización de la máquina
		2	Existe un desajuste	1	Fallo chavetero	461052831	Aumento del nivel de sonoridad y vibración
				2	Holgura en chavetero	461052831	Aumento del nivel de sonoridad y vibración
				3	Salto piñón	265000010	Aumento del nivel de sonoridad y vibración
				4	Holgura en junta cardan (trócola)	9103443428	Aumento del nivel de sonoridad y vibración
				5	Problemas de exceso de ruido/vibración por exceso de juego en mecanismos	264300023	Aumento del nivel de sonoridad y vibración

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				6	No se detectan acumulaciones en la entrada detector y actuador		Se satura la entrada con posibilidad de daño a las latas
				7	No se detectan acumulaciones la salida		Se satura la salida con daño a las latas y paralización de máquina
				8	La correa patina debido a holgura	59900340	Aumento del nivel de sonoridad y vibración
				9	La correa patina debido a suciedad y humedad		
				10	Coronas de gran paso de dientes. Desgaste por mala lubricación		Saltos en la transmisión, con desajustes en velocidad de entrada/salida
				11	Lubricación defectuosa de la columna principal de accionamiento de la estrella	8229047013	Aumento del nivel de sonoridad y vibración
				12	Rodamientos del arrastre de la estrella principal en mal estado	8229047013	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				13	Rodamientos de la columna de la estrella prin CIPal en mal estado	8229047013	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje
				14	Holgura y desgaste de los dientes de la corona	8229047013	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
				15	Desgaste en rueda dentada	8232047003	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
				16	Desgaste en acoplamiento del transporte de entrada (piñones cónicos relación 1:1)	900942515	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
				17	Desgaste en rueda de arrastre de cadena de entrada	900942515	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
				18	Holgura en rodamiento y en piñones de la transmisión de movimiento	900942515	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				19	Desajuste en chavetas o chavetero	900942515	Aumento del nivel de sonoridad y vibración
				20	Rodamiento de bolas de la rueda de entrada en mal estado	900679409	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje
				21	La correa tiene holgura del uso	8232199003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
				22	Rodamientos de bola en mal estado por uso	8229219003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje
				23	Rodamientos de bola en mal estado por suciedad	8229219003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje
				24	Engranje cónico mal engrasado	8229219003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de engranaje. Paro de la máquina.
				25	Retenes deteriorados	8229219003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje



#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				26	Rodamiento del eje de acople al sin fin en mal estado	8229219003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje
				27	Problema de sincronismo por piñón que resbala	8229219003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
				28	Holguras en el eje por descentrado	8229219003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
2	Que no estropee las latas	1	Estropea las latas	1	Mala regulación del tacón	9103443436	Aumento del rechazo en el inspector de latas
				2	El tornillo sin fin de entrada mete latas a destiempo (problemas de embrague)	8229217002	Las talatas se deforman y son rechazadas
				3	La estrella pincha las latas a la salida (cadena de arrastre mal sincronizada)	95320904	Las talatas se deforman y son rechazadas

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				4	Las guías están en mal estado	8229217002	Las talatas se deforman y son rechazadas
				5	Mala regulación de altura del carrusel	8950026420	Las talatas se deforman y son rechazadas. Puede llegar a parar la máquina.
				6	El tornillo sin fin de entrada tiene los rodamientos en mal estado debido a suciedad introducida	8232199003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje
				7	La correa resbala debido a suciedad acumulada	8232199003	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.
				8	Guías deterioradas por el uso (rozamiento)	2073252380	Las talatas se deforman y son rechazadas
				9	Desgaste de las ruedas del can de levas por uso continuado	2229569020	Las talatas se deforman y son rechazadas. Puede llegar a parar la máquina.
				10	Válvula de lubricación del can de levas en mal estado	2222679000	Aumento del nivel de sonoridad y vibración.
				11	Desgaste del pistón por uso	22295000	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibilidad de rotura.

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				12	Desgaste del pistón por suciedad introducida	2229500	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibilidad de rotura.
				13	Levas desgastadas por utilización continuada	22295011	Las talatas se deforman y son rechazadas
3	Ajustar manualmente la velocidad constante de giro	1	No se ajusta la velocidad	1	Error de configuración del programa de llenado		Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones
				2	Fallos de pantalla táctil		Imposible comando de la máquina
4	Transportar las latas necesarias durante el proceso	1	La transición no es suave	1	Desgaste en placa de transferencia	8226129007	Las talatas se deforman y son rechazadas
		2	Pasa un número inadecuado de latas	1	El bloqueador de latas (tacón) está atorado debido a acumulación de suciedad	8226147016	Acumulación de latas a la entra de la estrella. Las talatas se deforman y son rechazadas

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				2	Mala regulación de velocidad final de recorrido del cilindro (tacón)	8226147016	Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones
				3	Suciedad en el bástago del cilindro (tacón)	8226147016	Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones
				4	Rascador y/o retén ensuciado (tacón)	8226147016	Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones
				5	Desgaste en los segmentos del tacón, produciendo pérdida de aire y mal accionamiento	8226147016	Acumulación de latas a la entra de la estrella. Las talatas se deforman y son rechazadas
				6	Rotura del postizo final del tacón	8226147016	Acumulación de latas a la entra de la estrella. Las talatas se deforman y son rechazadas
C	SUB. DE CONTROL DE LLENADO						
1	Llenar latas de 33cl con una desviación de altura de llenado de $\pm 0.8\text{mm}$	1	No llena latas	1	Fallo sensor de presencia		La lata no se llena y es rechazada en el inspector
				2	No hay lata		Pérdida de capacidad de producción.
				3	No hay cerveza		La máquina se para.
				4	La tulipa centradora no cierra herméticamente y no presuriza. (junta mala, pistón no baje)	1229521261	La lata no se llena y es rechazada en el inspector
				5	La junta de cerveza no cierra, y si llena algo la lata entonces no del todo	9103443419	La lata no se llena y es rechazada en el inspector

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				6	Fallo de electroválvula (una de las 7)	901139276	No llega cerveza a la máquina, o se provoca un vertido de cerveza.
				7	Problema con las presiones		La lata no se llena correctamente y es rechazada en el inspector
				8	Fuga de aire en colector. Presiones de operación demasiado bajas	901121387	Las válvulas de la grifería no actúan con lo que el llenado es irregular. Las laatas mal llenadas son rechazadas en el inspector
				9	Las escobillas del colector no hacen contacto		La máquina se para.
				10	Derivación en el colector debido a humedad en él.		La máquina se para.
				11	Presencia de polvo de grafito en escobillas, imposibilitando contacto		La máquina se para.
				12	Cables del colector sueltos por vibraciones	90094248	La máquina se para.
				13	Cilindro de simple efecto con desgaste	2322507130	Aumento de sonoridad y vibraciones. Posibilidad de mal llenado de latas y posterior rechazo.

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				14	Rondana rota por el uso en el can de levas	2229529180	Paro de máquina en caso extremo. Usualmente las talatas se deforman y son rechazadas.
				15	Cilindro de simple efecto desgastado, con problemas de retenes o escape de fluido	2229529180	Aumento de sonoridad y vibraciones. Mal llenado de latas y posterior rechazo.
				16	Bloqueo de horquilla inutilizado por suciedad	2229529180	La lata no se llena y es rechazada en el inspector
		2	Se desvía más de lo debido	1	Presencia de líquido en la lata (goteo) por lo que la contrapresión no es la adecuada y llena mal la lata		La lata no se llena y es rechazada en el inspector
				2	Fallo de tarjeta del control electrónico de llenado		La máquina se para o la lata no se llena y es rechazada en el inspector
				3	Fallo de la CPU del bloque		La máquina se para.
				4	Fallo de sonda magnética		La lata no se llena y es rechazada en el inspector
				5	Presión no constante en calderín. Formación de espumas		La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.
				6	Flujo no constante en calderín. Formación de espumas.		La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.
				7	Incapacidad de igualar presiones de CO2 y cerveza		La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	tag eCAT	Efecto de Fallo
				8	Problemas con la válvula modulante de cerveza (analógica)	900894124	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.
				9	Junta desgastada provocando mala presurización	2229527091	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.

### 6.4 Hoja de decisión del RCM

RCM: Hoja de decisión de las actividades de mantenimiento																
Sistema: Llenadora de latas			Facilitador: Joaquín Rodríguez Blesa													
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
<b>A</b>																
1	1	1	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Reemplazo del rodamiento	Anual	Operario de mantenimiento
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		3	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		4	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Cambio de partes desgastadas y limpieza general	Anual	Operario de mantenimiento
		5	S	S			N	S					Reacondicionamiento cíclico	Cambio de partes desgastadas y limpieza general	Anual	Operario de mantenimiento
2	1	1	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		2	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Cambio anual de las partes en movimiento deterioradas	Anual	Operario de mantenimiento



Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

3	1	1	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación anual del estado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		2	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación anual del estado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
	2	1	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Cada cambio de cerveza efectuar un CIP completo	Diaria	Operador de la máquina
		2	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Cada cambio de cerveza efectuar un CIP completo	Diaria	Operador de la máquina
B																
1	1	1	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		3	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento	Mes	Operario de mantenimiento
		4	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limipieza del elemento	Semanal	Operador de la máquina
		5	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		Operario de mantenimiento
		6	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	
	2	1	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

		2	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		3	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		4	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		5	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste de los elementos	Anual	Operario de mantenimiento
		6	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		7	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		8	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Tensado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		9	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		10	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
		11	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
		12	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	5 años	Operario de mantenimiento
		13	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	5 años	Operario de mantenimiento
		14	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		15	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
		16	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

		17	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
		18	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del conjunto	Anual	Operario de mantenimiento
		19	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		20	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
		21	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Tensado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		22	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
		23	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		24	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Engrasado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		25	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Puesta a punto de los elementos	Anual	Operario de mantenimiento
		26	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		27	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		28	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Alineado del eje	Anual	Operario de mantenimiento
2	1	1	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Regulado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		2	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

		3	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		4	S	N	N	S	S						Mantenimiento basado en condición	Comprobación de paso suave	Diario	Operador de la máquina
		5	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de altura y ajuste	6 meses	Operador de la máquina
		6	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		7	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza y tensado del elemento	6 meses	Operario de mantenimiento
		8	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Comprobación de paso suave	Anual	Operario de mantenimiento
		9	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		10	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento y comprobación del tipo del lubricante	6 meses	Operario de mantenimiento
		11	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		12	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
		13	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento	Diaria	Operador de la máquina
3	1	1	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
													Ninguna actuación	Ninguna tarea		

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

		2	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
4	1	1	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de la transición y adecuada lubricación	Diaria	Operador de la máquina
		2	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Mensual	Operador de la máquina
		2	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Regulación del elemento	6 meses	Operario de mantenimiento
		3	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		4	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		5	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución de los elementos	Anual	Operario de mantenimiento
		6	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	5 años	Operario de mantenimiento
C																
1	1	1	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		3	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

		4	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del hermetismo	Anual	Operario de mantenimiento
		5	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		6	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de comunicación con CM y sustitución de elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
		7	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado de los calderines	Anual	Operario de mantenimiento
		8	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Sellado de fugas	Anual	Operario de mantenimiento
		9	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución de escobillas	Anual	Operario de mantenimiento
		10	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de aislamiento	Anual	Operario de mantenimiento
		11	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del conjunto y sustitución de las escobillas	Anual	Operario de mantenimiento
		12	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Apriete de racores	Anual	Operario de mantenimiento
		13	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del vástago y lubricación	Anual	Operario de mantenimiento
		14	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		15	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado de retenes y sustitución de elementos defectuosos	Anual	Operario de mantenimiento
		16	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Mensual	Operador de la máquina
	2	1	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Ajuste de los elementos de cierre	6 meses	Operario de mantenimiento

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

		2	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		3	S	N	N	S	N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		4	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Calibrado de la sonda	Anual	Operario de mantenimiento
		5	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Regulación del funcionamiento de la bomba	Anual	Operario de mantenimiento
		6	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Regulación del funcionamiento de la bomba	Anual	Operario de mantenimiento
		7	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Calibrado de la sonda	Anual	Operario de mantenimiento
		8	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Desmote y limpieza de la válvula	Anual	Operario de mantenimiento
		9	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
2	1	1	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
		2	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
		3	S	N	N	S	N	N	S				Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
		4	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Inspección y reparación segmentos. Posible necesidad de evaluar calidad del aire suministrado	Anual	Operario de mantenimiento
		5	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Inspección y limpieza, así como substitución de lelementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento





Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frec.	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							

	2	1	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico	Reajuste de los elementos y sustitución de elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
D																
1	1	1	S	S			N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de cuadros eléctricos, evaluación de temperaturas y estado de los aislamientos	Anual	Operario de mantenimiento
		2	N				N	N	N	S			Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento
		3	S	S			N	N	N	S			Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento
		4	S	S			N	N	N				Ninguna actuación	Ninguna tarea		
2	1	1	S	S			N	S					Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso	Anual	Operario de mantenimiento
		2	S	S			N	S					Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso	Anual	Operario de mantenimiento
				S												
3	1	1	S	S			N	S					Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del correcto funcionamiento, del estado de limpieza y aislamiento	Anual	Operario de mantenimiento
		2	S	S			N	S					Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso	Anual	Operario de mantenimiento





## 6.5 Hoja de registro del RCM

PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL DE LA LLENADORA DE LATAS

Hoja de registro del RCM de la llenadora de latas			SUBSISTEMAS : <i>Depósito</i> <i>Control de máquina superior</i> <i>Control de máquina inferior</i> <i>Control de llenado</i> <i>Seguridad</i>			Integrantes: <i>Miguel González Márquez, Diego Rodríguez Montero, Francisco J. López</i> <i>Roberto Aguilar Martins, Miguel A. Ruiz Aguilar, Rafael Vázquez Hurtado</i> Facilitador: <i>Joaquín Rodríguez Blesa</i> Fecha de inicio: <i>10-dic-08</i> Fecha de culminación: <i>04-feb-09</i> # reuniones efectivas: <i>8</i>				
#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
<b>A</b>	<b>SUB. DEPÓSITO</b>									
1	Mantener la presión de cerveza en la llenadora	1	No mantiene la presión de cerveza en la llenadora	1	Rodamientos del motor de la bomba de cerveza en mal estado	No circula la cerveza hacia las válvulas de llenado	Substitución cíclica	Reemplazo del rodamiento	Anual	Operario de mantenimiento
				2	Cierre mecánico de la bomba de cerveza en mal estado	No circula la cerveza hacia las válvulas de llenado	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				3	El convertidor de presión o el transmisor de la bomba de cerveza están averiados	No circula la cerveza hacia las válvulas de llenado	Ninguna actuación	Ninguna tarea		

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				4	Válvula reguladora del CO2 defectuosa	Presión del CO2 no adecuada. Paro de máquina.	Reacondicionamiento cíclico	Cambio de partes desgastadas y limpieza general	Anual	Operario de mantenimiento
				5	Válvula de escape de CO2 defectuosa	Posible rotura de elementos	Reacondicionamiento cíclico	Cambio de partes desgastadas y limpieza general	Anual	Operario de mantenimiento
2	Que no tenga pérdidas	1	Existen pérdidas de fluido	1	Junta de tuberías en mal estado	Vertido de cerveza	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				2	Tuberías articuladas deterioradas en los codos (anillos 'o' y de segmentos)	Vertido de cerveza	Substitución cíclica	Cambio anual de las partes en movimiento deterioradas	Anual	Operario de mantenimiento
3	Que no aporte ni olores ni sabores	1	Aporta olores	1	Junta de válvulas en mal estado	Contaminación del producto. Pérdida de calidad	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación anual del estado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				2	Junta de las mirillas	Contaminación del producto. Pérdida de calidad	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación anual del estado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
		2	Aporta sabores	1	Existencia de restos por mala limpieza previa	Contaminación del producto. Pérdida de calidad	Reacondicionamiento cíclico	Cada cambio de cerveza efectuar un CIP completo	Diaria	Operador de la máquina
				2	Existencia de restos por mala limpieza previa	Contaminación del producto. Pérdida de calidad	Reacondicionamiento cíclico	Cada cambio de cerveza efectuar un CIP completo	Diaria	Operador de la máquina
<b>B</b>	<b>SUB. DE CONTROL DE MÁQUINA (VELOCIDAD DE OPERACIÓN)</b>									
1	Sincronizar la velocidad de giro con la entrada y la salida	1	No sincroniza	1	Los transportes no entienden la señal de la llenadora. Avería en las tarjetas de salida.	Se producen vacíos en los grifos de la llenadora, o acumulación a la entrada	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				2	Sensor de vueltas averiado	Existencia de latas con un llenado deficiente	Ninguna actuación	Ninguna tarea		

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				3	El cardan de la ferrum se rompe. Falta de lubricación por goteo de agua	Paralización de la máquina	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento	Mes	Operario de mantenimiento
				4	Pulsos erróneos debido a acumulación de suciedad en contador de vueltas	Existencia de latas con un llenado deficiente	Reacondicionamiento cíclico	Limpiieza del elemento	Semanal	Operador de la máquina
				5	El codificador ha recibido un golpe y no transmite	Existencia de latas con un llenado deficiente	Ninguna actuación	Ninguna tarea		Operario de mantenimiento
					La correa se ha roto del uso	Paralización de la máquina	Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	
		2	Existe un desajuste	1	Fallo chavetero	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				2	Holgura en chavetero	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				3	Salto piñón	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				4	Holgura en junta cardan (trócola)	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				5	Problemas de exceso de ruido/vibración por exceso de juego en mecanismos	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste de los elementos	Anual	Operario de mantenimiento
				6	No se detectan acumulaciones en la entrada detector y actuador	Se satura la entrada con posibilidad de daño a las latas	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				7	No se detectan acumulaciones la salida	Se satura la salida con daño a las latas y paralización de máquina	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				8	La correa patina debido a holgura	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Reacondicionamiento cíclico	Tensado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				9	La correa patina debido a suciedad y humedad		Reacondicionamiento cíclico	Limpiieza del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				10	Coronas de gran paso de dientes. Desgaste por mala lubricación	Salto en la transmisión , con desajustes en velocidad de entrada/salida	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				11	Lubricación defectuosa de la columna principal de accionamiento de la estrella	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
				12	Rodamientos del arrastre de la estrella principal en mal estado	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Substitución cíclica	Substitución del elemento	5 años	Operario de mantenimiento
				13	Rodamientos de la columna de la estrella prin CIPal en mal estado	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Substitución cíclica	Substitución del elemento	5 años	Operario de mantenimiento
				14	Holgura y desgaste de los dientes de la corona	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				15	Desgaste en rueda dentada	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
				16	Desgaste en acoplamiento del transporte de entrada (piñones cónicos relación 1:1)	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
				17	Desgaste en rueda de arrastre de cadena de entrada	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada	Anual	Operario de mantenimiento
				18	Holgura en rodamiento y en piñones de la transmisión de movimiento	Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del conjunto	Anual	Operario de mantenimiento
				19	Desajuste en chavetas o chavetero	Aumento del nivel de sonoridad y vibración	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				20	Rodamiento de bolas de la rueda de entrada en mal estado	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				21	La correa tiene holgura del uso	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Reacondicionamiento cíclico	Tensado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				22	Rodamientos de bola en mal estado por uso	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
				23	Rodamientos de bola en mal estado por suciedad	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Reacondicionamiento cíclico	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				24	Engranje cónico mal engrasado	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de engranaje. Paro de la máquina.	Reacondicionamiento cíclico	Engrasado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				25	Retenes deteriorados	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Reacondicionamiento cíclico	Puesta a punto de los elementos	Anual	Operario de mantenimiento
				26	Rodamiento del eje de acople al sin fin en mal estado	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				27	Problema de sincronismo por piñón que resbala	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				28	Holguras en el eje por descentrado	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Reacondicionamiento cíclico	Alineado del eje	Anual	Operario de mantenimiento
2	Que no estropee las latas	1	Estropea las latas	1	Mala regulación del tacón	Aumento del rechazo en el inspector de latas	Reacondicionamiento cíclico	Regulado del elemento	Anual	Operario de mantenimiento



#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				2	El tornillo sin fin de entrada mete latas a destiempo (problemas de embrague)	Las talatas se deforman y son rechazadas	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				3	La estrella pincha las latas a la salida (cadena de arrastre mal sincronizada)	Las talatas se deforman y son rechazadas	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				4	Las guías están en mal estado	Las talatas se deforman y son rechazadas	Mantenimiento basado en condición	Comprobación de paso suave	Diario	Operador de la máquina
				5	Mala regulación de altura del carrusel	Las talatas se deforman y son rechazadas. Puede llegar a parar la máquina.	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de altura y ajuste	6 meses	Operador de la máquina
				6	El tornillo sin fin de entrada tiene los rodamientos en mal estado debido a suciedad introducida	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Rotura de rodamientos y daños al eje	Reacondicionamiento cíclico	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				7	La correa resbala debido a suciedad acumulada	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibles saltos en la transmisión del movimiento y desincronización de velocidades.	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza y tensado del elemento	6 meses	Operario de mantenimiento
				8	Guías deterioradas por el uso (rozamiento)	Las talatas se deforman y son rechazadas	Substitución cíclica	Comprobación de paso suave	Anual	Operario de mantenimiento
				9	Desgaste de las ruedas del can de levas por uso continuado	Las talatas se deforman y son rechazadas. Puede llegar a parar la máquina.	Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				10	Válvula de lubricación del can de levas en mal estado	Aumento del nivel de sonoridad y vibración.	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento y comprobación del tipo del lubricante	6 meses	Operario de mantenimiento
				11	Desgaste de l pistón por uso	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibilidad de rotura.	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				12	Desgaste del pistón por suciedad introducida	Aumento del nivel de sonoridad y vibración. Posibilidad de rotura.	Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
				13	Levas desgastadas por utilización continuada	Las talatas se deforman y son rechazadas	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento	Diaria	Operador de la máquina

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
3	Ajustar manualmente la velocidad constante de giro	1	No se ajusta la velocidad	1	Error de configuración del programa de llenado	Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				2	Fallos de pantalla táctil	Imposible comando de la máquina	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
4	Transportar las latas necesarias durante el proceso	1	La transición no es suave	1	Desgaste en placa de transferencia	Las talatas se deforman y son rechazadas	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de la transición y adecuada lubricación	Diaria	Operador de la máquina
		2	Pasa un número inadecuado de latas	1	El bloqueador de latas (tacón) está atorado debido a acumulación de suciedad	Acumulación de latas a la entra de la estrella. Las talatas se deforman y son rechazadas	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Mensual	Operador de la máquina
				2	Mala regulación de velocidad final de recorrido del cilindro (tacón)	Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones	Reacondicionamiento cíclico	Regulación del elemento	6 meses	Operario de mantenimiento
				3	Suciedad en el bástago del cilindro (tacón)	Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				4	Rascador y/o retén ensuciado (tacón)	Existen latas vacías y posibilidad de acumulaciones	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				5	Desgaste en los segmentos del tacón, produciendo pérdida de aire y mal accionamiento	Acumulación de latas a la entra de la estrella. Las talatas se deforman y son rechazadas	Substitución cíclica	Substitución de los elementos	Anual	Operario de mantenimiento
				6	Rotura del postizo final del tacón	Acumulación de latas a la entra de la estrella. Las talatas se deforman y son rechazadas	Substitución cíclica	Substitución del elemento	5 años	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
---	-----------------------	---	-----------------	---	---------------	-----------------	---	------------------------------------	-------	----------

C	SUB. DE CONTROL DE LLENADO									
1	Llenar latas de 33cl con una desviación de altura de llenado de $\pm 0.8\text{mm}$	1	No llena latas	1	Fallo sensor de presencia	La lata no se llena y es rechazada en el inspector	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				2	No hay lata	Pérdida de capacidad de producción.	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				3	No hay cerveza	La máquina se para.	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				4	La tulipa centradora no cierra herméticamente y no presuriza. (junta mala, pistón no baja)	La lata no se llena y es rechazada en el inspector	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del hermetismo	Anual	Operario de mantenimiento
				5	La junta de cerveza no cierra, y si llena algo la lata entonces no la llena del todo	La lata no se llena y es rechazada en el inspector	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				6	Fallo de electroválvula (una de las 7)	No llega cerveza a la máquina, o se provoca un vertido de cerveza.	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de comunicación con CM y sustitución de elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
				7	Problema con las presiones	La lata no se llena correctamente y es rechazada en el inspector	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado de los calderines	Anual	Operario de mantenimiento
				8	Fuga de aire en colector. Presiones de operación demasiado bajas	Las válvulas de la grifería no actúan con lo que el llenado es irregular. Las latas mal llenadas son rechazadas en el inspector	Reacondicionamiento cíclico	Sellado de fugas	Anual	Operario de mantenimiento
				9	Las escobillas del colector no hacen contacto	La máquina se para.	Substitución cíclica	Substitución de escobillas	Anual	Operario de mantenimiento
				10	Derivación en el colector debido a humedad en él.	La máquina se para.	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de aislamiento	Anual	Operario de mantenimiento
				11	Presencia de polvo de grafito en escobillas, imposibilitando contacto	La máquina se para.	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del conjunto y sustitución de las escobillas	Anual	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				12	Cables del colector sueltos por vibraciones	La máquina se para.	Reacondicionamiento cíclico	Apriete de racores	Anual	Operario de mantenimiento
				13	Cilindro de simple efecto con desgaste	Aumento de sonoridad y vibraciones. Posibilidad de mal llenado de latas y posterior rechazo.	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del vástago y lubricación	Anual	Operario de mantenimiento
				14	Rondana rota por el uso en el can de levas	Paro de máquina en caso extremo. Usualmente las talatas se deforman y son rechazadas.	Substitución cíclica	Substitución del elemento	Anual	Operario de mantenimiento
				15	Cilindro de simple efecto desgastado, con problemas de retenes o escape de fluido	Aumento de sonoridad y vibraciones. Posibilidad de mal llenado de latas y posterior rechazo.	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado de retenes y sustitución de elementos defectuosos	Anual	Operario de mantenimiento
				16	Bloqueo de horquilla inutilizado por suciedad	La lata no se llena y es rechazada en el inspector	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento	Mensual	Operador de la máquina
		2	Se desvía más de lo debido	1	Presencia de líquido en la lata (goteo) por lo que la contrapresión no es la adecuada y llena mal la lata	La lata no se llena y es rechazada en el inspector	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste de los elementos de cierre	6 meses	Operario de mantenimiento
				2	Fallo de tarjeta del control electrónico de llenado	La máquina se para o la lata no se llena y es rechazada en el inspector	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				3	Fallo de la CPU del bloque	La máquina se para.	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
				4	Fallo de sonda magnética	La lata no se llena y es rechazada en el inspector	Reacondicionamiento cíclico	Calibrado de la sonda	Anual	Operario de mantenimiento
				5	Presión no constante en calderín. Formación de espumas	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Reacondicionamiento cíclico	Regulación del funcionamiento de la bomba	Anual	Operario de mantenimiento
				6	Flujo no constante en calderín. Formación de espumas.	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Reacondicionamiento cíclico	Regulación del funcionamiento de la bomba	Anual	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				7	Incapacidad de igualar presiones de CO2 y cerveza	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Reacondicionamiento cíclico	Calibrado de la sonda	Anual	Operario de mantenimiento
				8	Problemas con la válvula modulante de cerveza (analógica)	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Reacondicionamiento cíclico	Desmonte y limpieza de la válvula	Anual	Operario de mantenimiento
				9	Junta desgastada provocando mala presurización	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
2	Que no haya fugas	1	Hay fugas	1	Fugas en tulipas	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
				2	juntas de cierre de cerveza en válvula de llenado	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
				3	juntas de cierre de CO2 en válvula de llenado	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Substitución cíclica	Substitución del elemento	2 años	Operario de mantenimiento
				4	Picadura en codo tubería de aire	Malfuncionamiento de las válvulas de llenado. Paro de la máquina.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y reparación segmentos. Posible necesidad de evaluar calidad del aire suministrado	Anual	Operario de mantenimiento
				5	Colector de entrada de aire comunicado	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y limpieza, así como sustitución de elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
				6	Juntas en mal estado del cuerpo central (distribuidor)	Pérdidas de cerveza.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
				7	Junta de cierre de salida de cerveza en el llenado del cilindro	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
				8	Fugas en colector de CO2. Gomas en mal estado.	Escape de CO2. Aumenta el consumo de éste.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
				9	Fugas en colector de cerveza. Gomas en mal estado	Pérdidas de cerveza.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				10	Retenes defectuosos. Lubricación con base de silicona sobre EPDM	La lata no se llena correctamente. El inspector la rechaza.	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado y lubricación con base de silicona sobre EPDM	Anual	Operario de mantenimiento
				11	Conductos de cerveza picados	Pérdidas de cerveza.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
				12	Conductos de CO2 picados	Escape de CO2. Aumenta el consumo de éste.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
3	Que no aporte oxígeno	1	Introduce oxígeno	1	Rompedor de burbujas mal ajustado	Pérdida de calidad.	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y ajuste	Mensual	Operario de la máquina
4	Que no contamine ni con olores ni con sabores	1	Contamina con olores	1	CIP mal realizado	Pérdida de calidad.	Reacondicionamiento cíclico	Realización de CIP completo ( y no sólo enjuague)	Diario	Operario de la máquina
5	Que no se produzca espuma	1	Contamina con sabores	1	CIP mal realizado	Pérdida de calidad.	Reacondicionamiento cíclico	Realización de CIP completo ( y no sólo enjuague)	Diario	Operario de la máquina
		2	Produce espuma en exceso	1	No despresuriza adecuadamente	Pérdida de calidad. Posibilidad de mal llenado y rechazo en inspector	Reacondicionamiento cíclico	Reajuste de los elementos y sustitución de elementos desgastados	Anual	Operario de mantenimiento
<b>D</b>	<b>SUB. DE SEGURIDAD</b>									
1	Asegurar la correcta operación evitando daños tanto en personas como en equipos.	1	No actúan los sistemas de seguridad	1	Falta de fluido eléctrico	La máquina se para.	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de cuadros eléctricos, evaluación de temperaturas y estado de los aislamientos	Anual	Operario de mantenimiento
				2	Seta de emergencia defectuosa	Peligro para el usuario	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				3	Final de carrera afectado por la humedad	Peligro para el usuario	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento
				4	Cristal de protección roto por golpe brusco	Peligro para el usuario	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
2	Que no actúe sin necesidad	1	Actúa cuando no debe	1	Contacto en final de carrera	La máquina se para	Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso	Anual	Operario de mantenimiento
				2	Cables expuestos a humedad en sus uniones	La máquina se para	Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso	Anual	Operario de mantenimiento
3	Mantener cerradas las puertas durante la operación	1	No las mantiene cerrada	1	La cerradura de seguridad falla (bobina falla o la llave)	La máquina se para	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del correcto funcionamiento, del estado de limpieza y aislamiento	Anual	Operario de mantenimiento
				2	El final de carrera está averiado por exceso de humedad no apreciando el contacto efectivo	La máquina se para	Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso	Anual	Operario de mantenimiento
4	Detener máquina en caso de accionamiento de setas de emergencia	1	No la detiene	1	Setas defectuosas	Peligro para el usuario	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento
				2	Conexiones en mal estado por vibraciones o inclusión de humedad	Peligro para el usuario	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento
				3	Sistema de final de carrera de puertas en mal estado	Peligro para el usuario	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento

#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
5	Impedir puesta en marcha hasta actuación del final de carrera de puertas y rearme	1	No impide la puesta en marcha.	1	Final de carrera puentado	Peligro para el usuario	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo ( disparo del sistema de seguridad)	Anual	Operario de mantenimiento
<b>E</b>	<b>SUB. CIP</b>									
1	Limpia el sistema con sosa al 2% a 85°C como máximo	1	No realiza la limpieza	1	No prepara para el CIP los tanques (miniciclo)	El CIP no se realiza. Ciclo detenido.	Mantenimiento basado en condición	Comprobación del proceso en pantalla y reinicio del mismo	Diaria	Operador de la máquina
		2	No ajusta la sosa	1	Sonda de sosa en mal estado	Posibilidad de afección de las conducciones. Enjuague insuficiente y rechazo de latas	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
		3	No se registra la correcta limpieza y esterilización	1	Problema de codificación en el panel del CIP	Aviso de necesidad de realizado de CIP	Mantenimiento basado en condición	Comprobación del proceso en pantalla y reinicio del mismo	Diaria	Operador de la máquina
2	Realizar una correcta esterilización con agua caliente a 80°C	1	No calienta el agua	1	Sonda de temperatura en mal estado	El ciclo de CIP no comienza	Ninguna actuación	Ninguna tarea		
3	Que no tenga fugas	1	Tiene fugas	1	Codos en mal estado	Vertido de sosa	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de segmentos en mal estado	Anual	Operario de mantenimiento
				2	Juntas deterioradas	Vertido de sosa	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de segmentos en mal estado	Anual	Operario de mantenimiento
				3	Válvulas de seguridad abiertas	Vertido de sosa	Mantenimiento basado en condición	Inspección en panel y ocular in situ	Diaria	Operador de la máquina



#	Estándar de ejecución	#	Fallo Funcional	#	Modo de fallo	Efecto de Fallo	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frec.	Personal
				4	Tulipas enjuagadoras deterioradas	Vertido de sosa	Substitución cíclica	Substitución de lementos deteriorados	Anual	Operario de mantenimiento
				5	Válvula de escape del CIP defectuosa	Posible rotura de elementos	Substitución cíclica	Substitución de lementos deteriorados	Anual	Operario de mantenimiento
				6	Desgaste en junta tórica de tapa para el CIP	Vertido de sosa.	Substitución cíclica	Substitución de lementos deteriorados	Anual	Operario de mantenimiento

## 7 Conclusiones

### 7.1 *EL plan de mantenimiento*

El histórico de fallos en el que este plan de mantenimiento se basa tiene tan sólo un año de registros, al ser la máquina de nueva adquisición, por lo que ha sido necesario apoyarse en la documentación de la máquina suministrada por el fabricante, y en la experiencia del equipo del RCM con máquinas parecidas.

Como todo plan de mantenimiento proveniente de un estudio RCM, se trata de un documento “vivo”, en el sentido de que debe ser enriquecido continuamente con nuevas observaciones y aportaciones que del uso del sistema se deriven, de tal manera que se ajuste cada vez más a las necesidades reales de mantenimiento del sistema en su entorno operacional

Conviene recordar que este plan se apoya en otros documentos que se encuentran en las instalaciones, como son las órdenes de trabajo lanzadas, los planes de limpieza e inspección, los históricos de fallos, planes de lubricación y documentación de actuación en forma de OPLs (One Point Lessons, o lecciones de un punto), etc. Gracias a ellos se llega a un compromiso entre el rigor deseable en un RCM y la extensión manejable y útil en un documento que pretende ser de utilidad directa en el departamento de mantenimiento.

Se trata de una experiencia pionera con sistemas de este tamaño y complejidad en la nueva planta, pues las anteriores tenían un ámbito mucho más reducido (transportadores de cadenas de charnelas, por ejemplo). La metodología, si bien no desconocida, planteó todo un reto, pues supone la asistencia a reuniones de duración considerable de personal en horario laboral. Tengamos en cuenta que se trata de una fábrica que produce las 24 horas de lunes a sábados, por lo que el esfuerzo de los integrantes por hacer huecos en su agenda para asistir a las reuniones ha sido loable.

El trabajo de análisis, la puesta en común, la adecuación en el nivel de detalle en cada caso y la coordinación en los departamentos han supuesto un ejercicio para todos cuyos frutos

no se limitan a este plan de mantenimiento, sino que es extrapolable a nuevos estudios y actuaciones.

De esta experiencia se han obtenido algunas conclusiones y observaciones que paso a indicar:

Es necesaria una mayor claridad en el sistema de lanzamiento y recogida de órdenes de trabajo, de tal forma que los históricos de fallos reflejen fielmente las actuaciones de mantenimiento. Para ello se debe formar a los operarios de mantenimiento sobre como registrar las tareas realizadas, así como darles el tiempo necesario para realizar este registro.

Sería deseable una mayor compenetración entre los datos suministrados por el fabricante en lo tocante a repuestos (Krones eCat) y la información existente en el SAP. Tanto en la forma en que se clasifican las máquinas como en los códigos usados en las piezas.

Los datos sobre los componentes en almacén y sus precios deberían ser accesibles también al departamento de mantenimiento. De aquí se obtendrían al menos dos ventajas significativas:

Primera, una más adecuada gestión de las piezas necesarias en almacén junto a un mayor control de los tiempos desde que se produce la avería hasta que la máquina vuelve a estar en servicio, al quedar reflejados los retrasos imputables a adquisición de componentes que no estén en stock.

Segunda, sería posible una evaluación económica de las operaciones realizadas. Estas evaluaciones están escritas en un “lenguaje universal” entre departamentos y con los estratos directivos, con lo que se juzgarían de una forma más acertada los recursos destinados al departamento de mantenimiento.

Por último reseñar la conveniencia de implementar en futuras ampliaciones de este estudio los documentos que implican actuaciones sobre la máquina, como los estándares de inspección y limpieza y los de lubricación.

7.2 Distribución temporal de las actividades

Distribución temporal de las actividades

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación					
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años
<b>A</b>	<b>SUB. DEPÓSITO</b>									
3	2	1	Reacondicionamiento cíclico	Cada cambio de cerveza efectuar un CIP completo						
3	2	2	Reacondicionamiento cíclico	Cada cambio de cerveza efectuar un CIP completo						
1	1	1	Substitución cíclica	Reemplazo del rodamiento						

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
1	1	4	Reacondicionamiento cíclico	Cambio de partes desgastadas y limpieza general							
1	1	5	Reacondicionamiento cíclico	Cambio de partes desgastadas y limpieza general							
2	1	2	Substitución cíclica	Cambio anual de las partes en movimiento deterioradas							
3	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación anual del estado del elemento							
3	1	2	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación anual del estado del elemento							
<b>B</b>	<b>SUB. DE CONTROL DE MÁQUINA (VELOCIDAD DE OPERACIÓN)</b>										
4	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de la transición y adecuada lubricación							

					Frecuencia de actuación						
Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
2	1	13	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento							
2	1	4	Mantenimiento basado en condición	Comprobación de paso suave							
1	1	4	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento							
1	1	3	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento							
4	2	1	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento							
2	1	5	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de altura y ajuste							
2	1	7	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza y tensado del elemento							
2	1	10	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento y comprobación del tipo del lubricante							
4	2	2	Reacondicionamiento cíclico	Regulación del elemento							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
1	2	4	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento							
1	2	5	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste de los elementos							
1	2	8	Reacondicionamiento cíclico	Tensado del elemento							
1	2	9	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento							
1	2	10	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada							
1	2	11	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada							
1	2	15	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada							
1	2	16	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada							
1	2	17	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación adecuada							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
1	2	18	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del conjunto							
1	2	19	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento							
1	2	21	Reacondicionamiento cíclico	Tensado del elemento							
1	2	23	Reacondicionamiento cíclico	Substitución del elemento							
1	2	24	Reacondicionamiento cíclico	Engrasado del elemento							
1	2	25	Reacondicionamiento cíclico	Puesta a punto de los elementos							
1	2	26	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
1	2	28	Reacondicionamiento cíclico	Alineado del eje							
2	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Regulado del elemento							



Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
2	1	2	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento							
2	1	3	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento							
2	1	6	Reacondicionamiento cíclico	Substitución del elemento							
4	2	3	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento							
4	2	4	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento							
4	2	5	Substitución cíclica	Substitución de los elementos							
2	1	8	Substitución cíclica	Comprobación de paso suave							
2	1	9	Substitución cíclica	Substitución del elemento							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
2	1	11	Reacondicionamiento cíclico	Lubricación del elemento							
2	1	12	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
1	2	20	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
1	2	22	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
1	2	12	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
1	2	13	Substitución cíclica	Substitución del elemento							

					Frecuencia de actuación						
Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
4	2	6	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
<b>C</b>	<b>SUB. DE CONTROL DE LLENADO</b>										
5	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Realización de CIP completo ( y no sólo enjuague)							
1	1	16	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del elemento							
3	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y ajuste							
1	2	1	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste de los elementos de cierre							
1	1	4	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del hermetismo							
1	1	5	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste del elemento							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
1	1	6	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de comunicación con CM y sustitución de elementos desgastados							
1	1	7	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado de los calderines							
1	1	8	Reacondicionamiento cíclico	Sellado de fugas							
1	1	9	Substitución cíclica	Substitución de escobillas							
1	1	10	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de aislamiento							
1	1	11	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del conjunto y sustitución de las escobillas							
1	1	12	Reacondicionamiento cíclico	Apriete de racores							
1	1	13	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza del vástago y lubricación							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
1	1	14	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
1	1	15	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado de retenes y sustitución de elementos defectuosos							
1	2	4	Reacondicionamiento cíclico	Calibrado de la sonda							
1	2	5	Reacondicionamiento cíclico	Regulación del funcionamiento de la bomba							
1	2	6	Reacondicionamiento cíclico	Regulación del funcionamiento de la bomba							
1	2	7	Reacondicionamiento cíclico	Calibrado de la sonda							
1	2	8	Reacondicionamiento cíclico	Desmote y limpieza de la válvula							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
2	1	4	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y reparación segmentos. Posible necesidad de evaluar calidad del aire suministrado							
2	1	5	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y limpieza, así como sustitución de elementos desgastados							
2	1	6	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados							
2	1	7	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados							
2	1	8	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados							
2	1	9	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
2	1	10	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del estado y lubricación con base de silicona sobre EPDM							
2	1	11	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados							
2	1	12	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de los elementos desgastados							
5	2	1	Reacondicionamiento cíclico	Reajuste de los elementos y sustitución de elementos desgastados							
1	2	9	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
2	1	1	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
2	1	2	Substitución cíclica	Substitución del elemento							

					Frecuencia de actuación						
Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
2	1	3	Substitución cíclica	Substitución del elemento							
<b>D</b>	<b>SUB. DE SEGURIDAD</b>										
1	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación de cuadros eléctricos, evaluación de temperaturas y estado de los aislamientos							
1	1	2	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo (disparo del sistema de seguridad)							
1	1	3	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo (disparo del sistema de seguridad)							



Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
2	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso							
2	1	2	Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso							
3	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Comprobación del correcto funcionamiento, del estado de limpieza y aislamiento							
3	1	2	Reacondicionamiento cíclico	Inspección de elementos y sustitución de elementos con aislante defectuoso							

Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
					Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
4	1	1	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo (disparo del sistema de seguridad)							
4	1	2	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo (disparo del sistema de seguridad)							
4	1	3	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo (disparo del sistema de seguridad)							
5	1	1	Tarea de búsqueda de fallos	Comprobación de la función al completo (disparo del sistema de seguridad)							

Codificación FMEA	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de actuación						
			Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años

E	SUB. CIP										
1	1	1	Mantenimiento basado en condición	Comprobación del proceso en pantalla y reinicio del mismo							
1	3	1	Mantenimiento basado en condición	Comprobación del proceso en pantalla y reinicio del mismo							
3	1	3	Mantenimiento basado en condición	Inspección en panel y ocular in situ							
3	1	1	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de segmentos en mal estado							
3	1	2	Reacondicionamiento cíclico	Inspección y sustitución de segmentos en mal estado							
3	1	4	Substitución cíclica	Substitución de elementos deteriorados							

			Frecuencia de actuación								
Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Diario	Semanal	Mensual	6 meses	Anual	2 años	5 años
3	1	5	Substitución cíclica	Substitución de lementos deteriorados							
3	1	6	Substitución cíclica	Substitución de lementos deteriorados							

## 8 Agradecimientos

Este proyecto final de carrera es fruto del interés de muchos participantes:

**Francisco Reyes Chaparro**

**Miguel Ángel Ruiz Aguilar**

**Rafael Vázquez Hurtado**

**Francisco Javier López Márquez**

**Alberto Gavira Vázquez**

**David Fernández Gutiérrez**

Estoy **especialmente** agradecido a:

**Roberto Aguilar Martins**, por su ayuda en el desarrollo de este proyecto.

**Miguel González Márquez**, por su implicación desde el principio, que hizo posible que se organizaran los distintos departamentos para poder hacer realidad las reuniones, y me facilitó el acceso a todo el material que necesité.

**Diego Rodríguez Montero**, que con su profesionalidad y saber hacer me ayudó en todo momento, y de cuyas capacidades docentes disfrutamos tanto Roberto como yo a lo largo de muchas horas entre catálogos, manuales y herramientas.

**Adolfo Crespo Márquez**, que me planteó tanto la realización de las prácticas en la empresa como la realización del proyecto y que me dio a conocer este sector tan importante y a menudo olvidado, incluso en los planes de estudio, que es el mantenimiento a través de los cursos impartidos en Ingeman en Formación Superior en Ingeniería y Gestión del Mantenimiento.

*No puedo finalizar sin mencionar a mi familia, cuya paciencia y cariño no tienen límites.*

## 9 Bibliografía

1. Reliability-centred Maintenance (second Edition). John Moubray. Butterworth Heinemann.
2. RCM-Gateway to World Class Maintenance. A. M. Smith, Glenn R. Hinchcliffe. Butterworth Heinemann.
3. RCM Guidebook. Jim August. Penwell.
4. Fiabilidad y Seguridad. Antonio Creus Sole. Ed. Marcombo.
5. The Maintenance Management Framework. Adolfo Crespo Márquez. Springer.
6. Organización y Gestión Integral del Mantenimiento. Santiago García Garrido. Ed Díaz de Santos.
7. Programa de Formación Superior en Ingeniería y Gestión del Mantenimiento. M-6 Mantenimiento centrado en Fiabilidad. Ingeman
8. Terminología del mantenimiento. UNE-EN 13306
9. Mantenimiento. Documentos para el mantenimiento. UNE-EN 13460
10. Guía de mantenibilidad de equipos. UNE 20-654-92
11. Surface Vehicle/Aerospace Recommended Practice. SAE-JA 1011
12. Surface Vehicle/Aerospace Recommended Practice. SAE-JA 1012
13. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. MIL-STD-1629A