

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM), PARA LA ENVASADORA DE LA LINEA DE
ENVASE 1 DE LA CERVECERIA BAVARIA DE BUCARAMANGA, USANDO
EL PROCESO DE RCM.**

**JIMENA DEL PILAR ARIAS RAMOS
18299003**

**Director de proyecto
ING. CARLOS PATIÑO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRONICA
LINEA DE CONTROL Y MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2007**

TABLA DE CONTENIDO

	Págs.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GENERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. ANTECEDENTES	13
3.1 PRIMERA GENERACION	13
3.2 SEGUNDA GENERACION	14
3.3 TERCERA GENERACION	14
3.3.1 Nuevas expectativas	14
3.3.2 Nuevas investigaciones	15
3.3.3 Nuevas técnicas	16
3.3.4 Desafíos que enfrentan el mantenimiento	17
4. ESTADO DEL ARTE	19
5. MARCO TEÓRICO	22
5.1 RCM: LAS SIETE PREGUNTAS	22
5.2 FUNCIONES	23
5.2.1 Describiendo funciones	23
5.2.2 Estándares de funcionamiento	24
5.2.3 El contexto operacional	25
5.2.4 Diferentes tipos de funciones	26
5.2.4.1 Funciones primarias	26
5.2.4.2 Funciones secundarias	26
5.3 FALLAS FUNCIONALES	27
5.3.1 Falla total y parcial	27
5.3.2 Límites superiores e inferiores	27
5.3.3 Medidores e indicadores	28
5.4 ANALISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)	28

5.4.1 Categorías de modos de falla	28
5.4.3 Efectos de falla	30
5.4.4 Fuentes de información acerca de modos y efectos	30
5.5 TECNICAMENTE FACTIBLE Y MERECE LA PENA	31
5.5.1 Funciones ocultas y evidentes	32
5.5.1.1 Categorías de fallas evidentes	33
5.5.1.2 La cuestión del riesgo	34
5.5.2 Consecuencias operacionales	38
5.5.2.1 Como las fallas afectan a las operaciones	38
5.5.2.2 Evitando consecuencias operacionales	38
5.5.3 Consecuencias no operacionales	40
5.5.4 Consecuencias de fallas ocultas	40
5.5.4.1 Fallas ocultas y dispositivos de seguridad	40
5.5.4.2 La disponibilidad que requieren las funciones ocultas	41
5.5.4.3 Mantenimiento de rutina y funciones ocultas	42
5.5.4.4 Prevenir la falla de la función protegida	42
5.5.4.5 Prevenir la falla oculta	42
5.6 MANTENIMIENTO PROACTIVO: TAREAS PREVENTIVAS	45
5.6.1 Edad y deterioro	45
5.6.2 Fallas relacionadas con la edad y mantenimiento preventivo	46
5.6.3 Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica	46
5.6.3.1 Reacondicionamiento cíclico	46
5.6.3.2 Sustitución cíclica	47
5.6.4 Fallas no asociadas con la edad	48
5.6.4.1 Esfuerzo variable	48
5.6.4.2 Complejidad	48
5.7 MANTENIMIENTO PROACTIVO: TAREAS PREDICTIVAS	49
5.7.1 Intervalo p – f	50
5.7.1.1 Intervalo p – f neto	50
5.7.2 Tareas a condición	51
5.7.2.1 Categorías de técnicas a condición	51
5.7.2.2 Cuando vale la pena realizar tareas a condición	52
5.8 ACCIONES “A FALTA DE”: TAREAS DE BUSQUEDA DE FALLAS	52

5.8.1 Búsqueda de falla	52
5.9 OTRAS ACCIONES “A FALTA DE”	53
5.9.1 Ningún mantenimiento programado	53
5.9.2 Rediseño	54
5.9.3 Recorridas de inspección	55
6. DISEÑO METODOLOGICO	56
6.1 HOJA DE INFORMACION DE RCM	56
6.1.1 Contexto operacional de la envasadora de la línea 1.	56
6.1.2 Como deben listarse las funciones	87
6.1.3 Como deben ser registradas las fallas funcionales	87
6.1.4 Como deben ser registradas los modos de falla	88
6.1.5 Como deben ser registradas los efectos de falla	89
6.2 DIAGRAMA DE DECISION DE RCM	90
6.3 CONSECUENCIAS DE LA FALLA	91
7. CONCLUSIONES	95
8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	99
9. PRESUPUESTO	100
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

ANEXOS

ANEXO 1. Cronograma.

ANEXO A. Planos de suministros de la envasadora 1 de la línea 1.

ANEXO B. Planos eléctricos de la envasadora 1 de la línea 1.

ANEXO C. Análisis de modos de falla y efecto (AMFE) y hoja de decisiones del sistema de llenado.

ANEXO D. Análisis de modos de falla y efecto (AMFE) y hoja de decisiones del sistema de tapado.

ANEXO E. Análisis de modos de falla y efecto (AMFE) y hoja de decisiones del sistema de transmisión y manejo de botellas.

ANEXO F. Análisis de modos de falla y efecto (AMFE) y hoja de decisiones del sistema de potencia y control.

ANEXO G. Análisis de modos de falla y efecto (AMFE) y hoja de decisiones del sistema de inyección de espuma (HDE).

ANEXO H. Protocolo del sistema interno de limpieza (CIP).

ANEXO I. Protocolo de arranque de las envasadoras.

TABLA DE GRÁFICOS

	PAG
Figura 1 Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos	16
Figura 2 Cambios en las técnicas de mantenimiento	17
Figura 3 Margen de deterioro	24
Figura 4 Modos de falla categoría 3	30
Figura 5 Hoja de información de RCM	31
Figura 6 Identificando y desarrollando una estrategia de mantenimiento para una falla que afecta la seguridad o el medio ambiente	37
Figura 7 Identificando y desarrollando una estrategia de mantenimiento para una falla que tiene consecuencias operacionales	39
Figura 8 Identificando y desarrollando una estrategia de mantenimiento para una función oculta	43
Figura 9 La evaluación de las consecuencias de falla	44
Figura 10 Fallas relacionadas con la edad	46
Figura 11 Fallas que no están relacionadas con la edad	49
Figura 12 El intervalo P – F	50
Figura 13 Hoja de decisión de RCM	90
Figura 14 Cómo se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión	91

GLOSARIO

Capacidad inicial

El nivel de funcionamiento al que un activo o sistema es capaz de trabajar en el momento en que entra en servicio.

Consecuencias de la falla

La forma o formas en la cual tiene importancia un modo de falla o una falla múltiple.

Consecuencias No operacionales

Un modo de falla tiene consecuencias no operacionales si no es oculto y no tiene consecuencias sobre la seguridad, sobre el medio ambiente ni consecuencias operacionales, pero necesita ser reparado.

Consecuencias operacionales

Un modo de falla o una falla múltiple tiene consecuencias operacionales si pueden afectar de manera adversa la capacidad operacional de un activo físico o sistema (producción, calidad de producto, servicio al cliente, capacidad militar, o costos operativos además de los costos de reparación).

Consecuencias sobre el medio ambiente

Un modo de falla o una falla múltiple tiene consecuencias sobre el medio ambiente si pudieran quebrantar cualquier estándar o regulación medioambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional que se aplique al activo físico o sistema en consideración.

Consecuencias sobre la seguridad

Un modo de falla o una falla múltiple tiene consecuencias sobre la seguridad si puede dañar o matar a un ser humano.

Contexto operacional

Conjunto de circunstancias en las que se espera que opere un activo físico o sistema.

Dispositivo con seguridad inherente

Es aquel cuya falla se vuelve evidente por si misma al personal de operación en circunstancias normales.

Dispositivo o sistema de protección

Un dispositivo o sistema diseñado para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias de la falla de otro sistema.

Efectivo

Merecer la pena; una tarea programada merece la pena si reduce (evita, elimina o minimiza) las consecuencias del modo de falla asociado a un punto que justifique los costos directos o indirectos de realizar la tarea.

Efecto de la falla

Que sucede cuando ocurre un modo de falla.

Falla evidente

Un modo de falla que será evidente por si mismo para los operarios en circunstancias normales.

Falla funcional

Estado en el cual el activo físico o sistema es incapaz de cumplir, a un nivel de funcionamiento que sea aceptable para su propietario o usuario, con una función específica.

Falla múltiple

Un evento que ocurre si falla una función protegida mientras su dispositivo o sistema de protección se encuentra en estado de falla.

Falla oculta

Un modo de falla que no será evidente por si mismo para los operarios en circunstancias normales.

Falla potencial

Una condición identificable que indica que una falla funcional esta en vías de ocurrir o en proceso de ocurrir.

Función evidente

Una función cuya falla será evidente por si misma para los operarios en circunstancias normales.

Función oculta

Una función cuya falla no será evidente por si misma para los operarios en circunstancias normales.

Función(es) primaria(s)

La función que constituye la razón principal por la que su propietario o usuario adquirió un activo físico o sistema.

Función(es) secundarias(s)

Funciones que debe cumplir un activo físico o sistema además de sus funciones primarias, como aquellas que se necesitan para cumplir con requerimientos regulatorios y aquellos que se relacionan con temas de protección, control, contención, confort, apariencia, integridad estructural y eficiencia energética.

Función

Lo que el propietario o usuario quiere que el activo físico o sistema haga.

Funcionamiento deseado

El nivel aceptable de funcionamiento para el propietario o usuario del activo físico o sistema.

Intervalo P – F

El intervalo que va desde el punto en que una falla potencial se vuelve detectable y el punto en que se degrada hasta ser una falla funcional (también conocido como “periodo de desarrollo de la falla” o “tiempo de falla”).

Mantenimiento “a rotura” (run-to-failure)

Política de manejo de fallas que permite que ocurra un modo de falla específico sin hacer ningún intento de anticiparlo o prevenirlo.

Modo de falla

Un evento singular que causa una falla funcional.

Política de manejo de fallas

Término genérico que abarca las tareas a condición, el reacondicionamiento programado, la sustitución cíclica, la búsqueda de fallas, el mantenimiento correctivo (run-to-failure) y el rediseño.

Probabilidad condicional de falla

La probabilidad de que ocurra una falla en un periodo determinado siempre que el elemento en cuestión haya sobrevivido hasta el comienzo de dicho periodo.

Programado

Realizado a intervalos fijos y predeterminados.

Reacondicionamiento programado

Una tarea que restaura la capacidad inicial de un elemento o componente a una edad determinada (o antes de la misma) sin importar el estado en el que se encuentre en ese momento.

Rediseño

Cualquier acción tomada para cambiar la configuración física de un activo o sistema (modificación), para cambiar el contexto operativo del activo o sistema, para cambiar el método usado por el operador o persona de mantenimiento para hacer una tarea, o para cambiar la capacidad de un operador o persona de mantenimiento (capacitación).

Rutinaria

El mismo concepto que “programada”.

Sustitución cíclica

Una tarea que implica descartar un elemento o componente a una edad determinada (o antes de la misma) sin importar el estado en el que se encuentre en ese momento.

Tarea de búsqueda de fallas

Una tarea programada que busca determinar si ha ocurrido una falla oculta específica (controla si el elemento ha fallado).

Tareas a condición

Una tarea programada usada para determinar si ha ocurrido una falla potencial (controla si el elemento esta fallando o en vías de fallar).

Técnicamente factible

Una tarea es técnicamente factible si es físicamente posible para la tarea reducir, o permitir tomar una acción que reduzca, las consecuencias del modo de falla asociado al punto que el propietario o usuario del activo pueda aceptar.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Al tener un enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos y además al responder a expectativas cambiantes como la seguridad o el ambiente, el mantenimiento es una de las disciplinas gerenciales que más ha cambiado en los últimos tiempos. El RCM se realiza para permitir que las funciones de mantenimiento satisfagan las nuevas expectativas de los usuarios, tales como: mayor seguridad e integridad ambiental, mayor disponibilidad y confiabilidad de planta, mayor eficiencia del mantenimiento (costo-efectividad), mayor vida útil de componentes costosos, una base de datos de mantenimiento, mayor motivación del personal y mejor trabajo en equipo.

Es una herramienta que desarrollan las empresas de clase mundial ya que optimiza el uso del mantenimiento preventivo y predictivo brindándole a los activos confiabilidad y productividad por medio del análisis de fallas y su prevención llegando a una integración multifuncional de estos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Implementar el proceso y la filosofía de RCM en la envasadora de la línea de envase 1 de la Cervecería Bavaria en la ciudad de Bucaramanga.

2.2 Objetivos Específicos

- Redactar un documento que refleje el estado del arte del mantenimiento centrado en la confiabilidad, mediante la recopilación bibliográfica del tema, con la intención de proporcionar una base de conocimiento para las personas interesadas.
- Identificar los elementos del contexto operacional de la envasadora, específicamente de la línea 1 de envase de la Cervecería Bavaria de Bucaramanga.
- Establecer y registrar apropiadamente las funciones de la envasadora de la línea de envase 1 de la Cervecería Bavaria de Bucaramanga.
- Redactar un documento que manifieste la estrategia de mantenimiento desarrollada para implementar el proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad.

3. ANTECEDENTES

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquiera otra disciplina gerencial. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes. El mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importar cuánto se hayan computarizado.

Desde la década del '30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones. El RCM está tornándose rápidamente en la piedra fundamental de la tercera generación, pero esta generación solo se puede ver en perspectiva, y a la luz de la primera y segunda generación.

3.1 PRIMERA GENERACION¹

La primera generación cubre el periodo que se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez la mayor parte de los equipos era simple, y la gran mayoría estaban sobredimensionados. Esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.

¹ RCM Reliability Centred Maintenance (Mantenimiento centrado en la confiabilidad), John Moubray.

3.2 SEGUNDA GENERACION¹

Durante la segunda guerra mundial todo cambio drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, el mismo tiempo que decaía abruptamente el número de trabajadores industriales. Esto llevo a un aumento en la mecanización. Ya en los años '50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de maquinas. La industria estaba empezando a depender de ellas. Al incrementarse esta dependencia, comenzó a concentrarse la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevo a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo. En la década del sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados.

El costo del mantenimiento comenzó a crecer rápidamente con relación a otros costos operacionales. Esto llevo al desarrollo de sistemas de planeamiento y control del mantenimiento.

Por ultimo, la suma de capital ligado a activos fijos junto con un elevado incremento en el costo de ese capital, llevo a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos / bienes.

3.3 TERCERA GENERACION¹

Desde mediados de la década del setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aun mas impulso. Los cambios han sido clasificados en: nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

3.3.1 Nuevas expectativas

El tiempo de parada de máquina afecta la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, y afectar al servicio al cliente. En las décadas del sesenta y setenta esto ya era una preocupación en los sectores mineros, manufactureros y de transporte. Los

¹ RCM Reliability Centred Maintenance (Mantenimiento centrado en la confiabilidad), John Moubray.

efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas “just-in-time”, donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta. Actualmente el crecimiento en la mecanización y la automatización han tornado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores clave en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones y la administración de edificios.

Una mayor automatización también significa que mas y mas fallas afectan nuestra capacidad de mantener parámetros de calidad satisfactorios. Esto se aplica tanto para parámetros de servicio como para la calidad del producto.

Más y más fallas acarrearán serias consecuencias para el medio ambiente o la seguridad, al tiempo que se elevan los requisitos en estas áreas. La dependencia a la integridad de nuestros activos físicos cobra ahora una nueva magnitud que va más allá del costo, y que se torna una cuestión de supervivencia de la organización.

Al mismo tiempo que crece nuestra dependencia a los activos físicos, crece también el costo de tenerlos y operarlos. Para asegurar el máximo retorno de la inversión que representa tenerlos, deben mantenerse trabajando eficientemente tanto tiempo como se requiera. Por último el costo de mantenimiento aun está aumentando, tanto en términos absolutos como en proporción del gasto total. En consecuencia, en solo treinta años ha pasado de ser un costo casi sin importancia a estar en la más alta prioridad en el control de costos.

3.3.2 Nuevas investigaciones

Las nuevas investigaciones muestran en particular, que parece haber cada vez menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que estos fallen.

La figura 1 muestra como en un principio la idea era simplemente que a medida que los elementos envejecían eran más propensos a fallar. Una creciente conciencia de la “mortalidad infantil” llevo a la segunda generación a creer en la curva de “bañera” o “bañadera”.

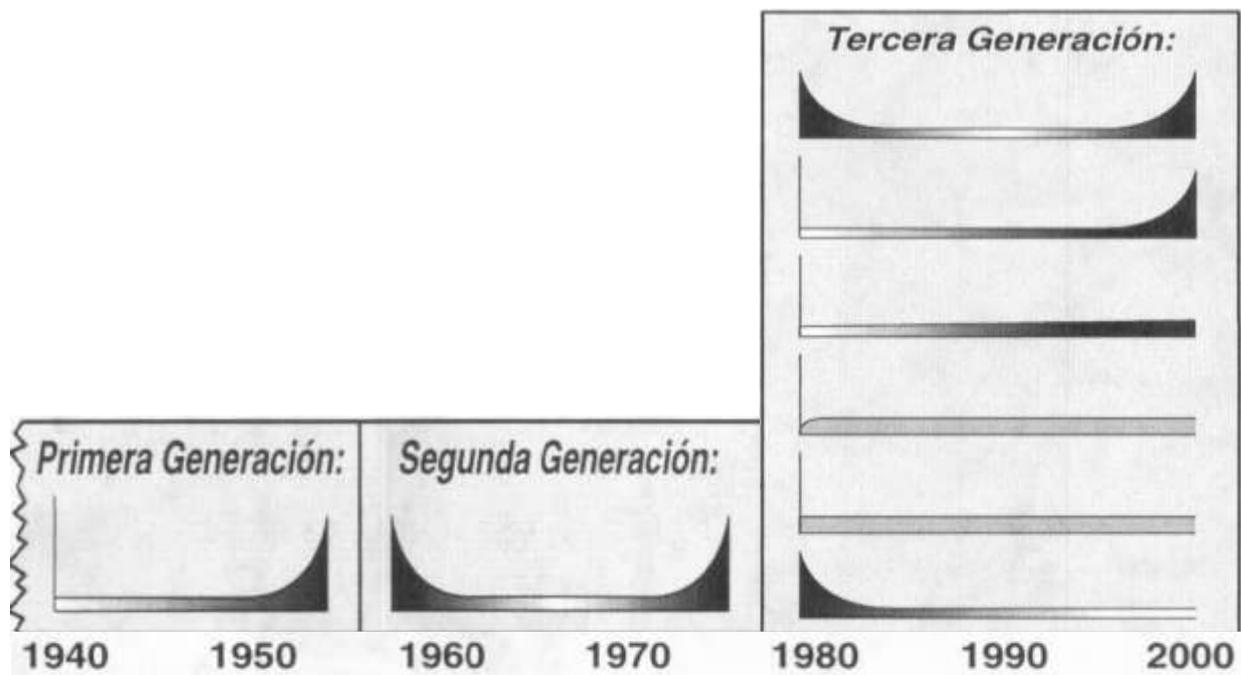


Figura 1. Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos (Tomada de RCM Reliability Centred Maintenance, John Moubray)

Sin embargo, investigaciones en la tercera generación no uno ni dos sino seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica. Un gran número de tareas que surgen de los conceptos tradicionales de mantenimiento, a pesar de que se realicen exactamente como se planeó, no logran ningún resultado, mientras que otras son contraproducentes y hasta peligrosas. Por otro lado, para operar con seguridad los sistemas industriales mas modernos y complejos se necesitan realizar un gran numero de tareas que no figuran en los programas de mantenimiento. En otras palabras, la industria en general es devota a prestar mucha atención para hacer las tareas de mantenimiento correctamente (hacer correctamente el trabajo), pero se necesita hacer mucho mas para asegurarse que los trabajos que se planean son los trabajos que deben hacerse (hacer el trabajo correcto).

3.3.3 Nuevas técnicas

Se ha tenido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos veinte años. La figura 2 muestra como ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control. Los nuevos desarrollos incluyen:

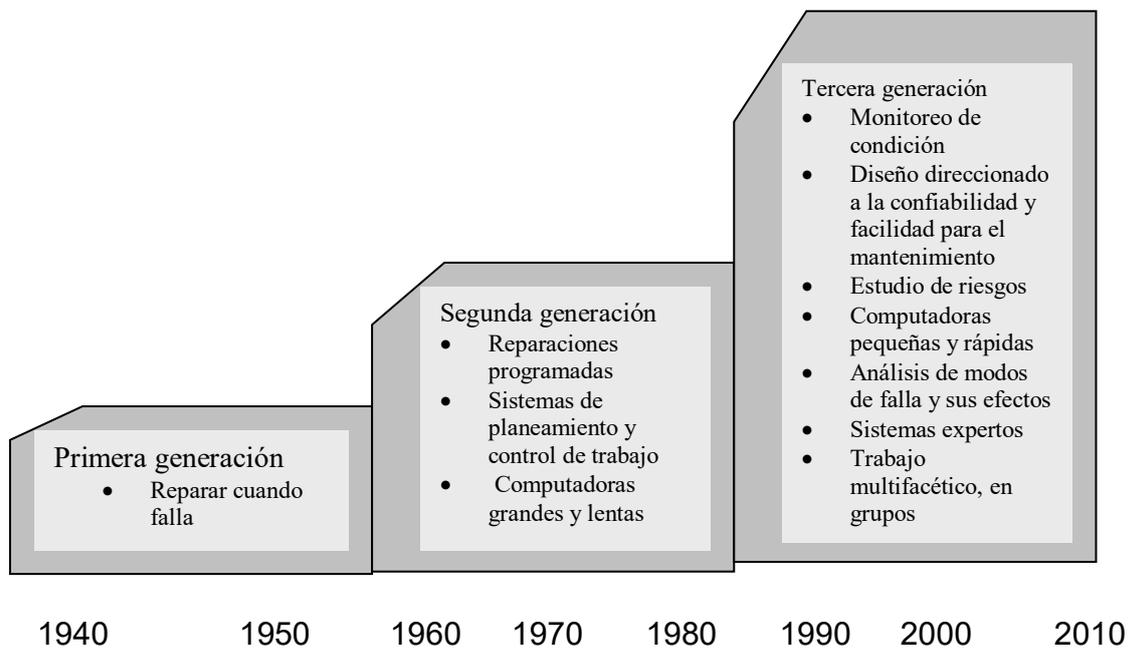


Figura 2. Cambios en las técnicas de mantenimiento

- Herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos, y sistemas expertos.
- Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición.
- Diseño de equipos, con un mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.
- Un drástico cambio en el modo de pensar la organización hacia la participación, trabajo en grupo y flexibilidad.

Si hacemos elecciones adecuadas es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo contener y hasta reducir el costo del mantenimiento. Si hacemos elecciones inadecuadas se crean nuevos problemas mientras empeoran los que ya existen.

3.3.4 Desafíos que enfrenta el mantenimiento

La primera industria que enfrentó estos desafíos sistemáticamente fue la industria de la aviación comercial. El elemento crucial que provocó esta reacción, fue el darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en asegurarse que se estén realizando las tareas correctamente como en

asegurarse que se están haciendo las tareas correctas. El darse cuenta de esto dio lugar al desarrollo de procesos de tomas de decisión comprensivos que se conocieron en la industria aeronáutica con el nombre de MSGN3 y fuera de esta como mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM.

No existe ninguna otra técnica comparable para determinar la cantidad mínima segura de tareas que deben ser hechas para preservar las funciones de los activos físicos, especialmente en situaciones críticas o peligrosas. El creciente reconocimiento mundial del papel fundamental que juega el RCM en la formulación de las estrategias de administración de activos físicos – y la importancia de aplicar RCM correctamente – condujo a la American Society of Automotive Engineers¹⁹⁹⁹ a publicar la norma SAEJA1011: “Criterio de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)”.

Con base en los antecedentes mencionados el proyecto **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM), PARA LA ENVASADORA DE LA LINEA DE ENVASE 1 DE LA CERVECERIA BAVARIA DE BUCARAMANGA, USANDO EL PROCESO DE RCM** se materializará mediante la implementación de un análisis de fallas del activo, enfocadas en sus funciones y el correspondiente análisis realizado por un equipo interdisciplinario: personal operativo, personal de mantenimiento y especialistas.

4. ESTADO DEL ARTE

El enfoque tradicional de los planes de mantenimiento programado se basa en el concepto de que cada ítem que forma parte de un equipo tiene una “edad cierta” a la cual es necesario un reemplazo completo para asegurar. Sin embargo, a través de los años, se descubrió que muchos tipos de fallas no podían ser prevenidas o reducidas en forma efectiva por tales actividades de mantenimiento, sin importar cuan intensamente fueran realizadas. En respuesta a este problema, los diseñadores de aviones comenzaron a desarrollar características de diseño que redujeran las consecuencias de fallas, es decir, aprendieron como diseñar aviones que fueran “tolerantes a las fallas”. En 1960 se formó un grupo de trabajo que incluía representantes de la Agencia Federal de Aviación (AFA) y de las aerolíneas, para investigar las capacidades del mantenimiento preventivo. El grupo de trabajo desarrolló un programa de confiabilidad para un sistema de propulsión y entonces, cada aerolínea integrante del grupo fue autorizada a desarrollar e implementar programas de confiabilidad en el área de mantenimiento que se mostrara más interesada.

El paso siguiente fue un intento de organizar lo que se aprendió de los diversos programas de confiabilidad para desarrollar un enfoque lógico y de aplicación general para el diseño de programas de mantenimiento preventivo. Refinamientos posteriores de la técnica fueron englobados en un manual de desarrollo y evaluación de programas de mantenimiento, delineados por un grupo guía de mantenimiento formado para dirigir el desarrollo del programa inicial del nuevo avión Boeing 747. Este documento, conocido como MSG-1, fue usado por equipos especiales de personal de la industria y de la AFA para desarrollar el primer plan de mantenimiento programado basado en los principios del RCM. El programa de mantenimiento del Boeing 747 fue un éxito. El uso de la técnica del diagrama de decisión llevó a mejoramientos posteriores que fueron incorporados 2 años más tarde en un segundo documento, MSG-2:

Documento de los fabricantes de aviones para el planeamiento de un programa de mantenimiento.

El MSG-2 fue usado para desarrollar el mantenimiento programado de los aviones Lockheed 1011 y Douglas DC 10. Un documento similar preparado en Europa fue la base para los programas iniciales de los aviones Airbus A-300 y Concorde.

El objetivo de las técnicas delineadas en MSG-1 y MSG-2 fue desarrollar un programa de mantenimiento cíclico que asegurara la máxima seguridad y confiabilidad de la que fuera capaz el equipo y con el menor costo. Tales reducciones son obtenidas sin disminución de la confiabilidad. Por el contrario, una mejor comprensión del proceso de falla en equipos complejos ha mejorado sensiblemente la confiabilidad al hacer posible direccional las tareas preventivas hacia evidencias específicas de fallas potenciales. Aunque los documentos MSG-1 y MSG-2 revolucionaron los procedimientos seguidos para desarrollar programas de mantenimiento para el transporte aéreo; estos tuvieron ciertas imperfecciones, por ejemplo, la lógica de la decisión comenzaba con una evaluación de las tareas propuestas, en lugar de una evaluación de las consecuencias de la falla, el problema de determinar los intervalos de tareas no fue establecido, el rol de las fallas de las funciones ocultas no estaba claro, y el tratamiento del mantenimiento estructural era inadecuado. Tampoco había una guía de cómo usar la información operativa luego de que el equipo entrara en servicio.

Todas estas imperfecciones, tanto como la necesidad de clarificar muchos de los principios subyacentes condujeron a procedimientos analíticos de visión más amplia y su cristalización en la disciplina lógica conocida como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Actualmente ya se ha evolucionado y la ATA (asociación del transporte aéreo de América) produjo el MSG-3, documento para el desarrollo de un programa de mantenimiento para fabricantes / aerolíneas; el MSG-3 es el documento que hoy guía el desarrollo de los programas iniciales de mantenimiento programado para los nuevos aviones comerciales. RCM ha sido aplicado en más de 1000 plantas en 41 países alrededor del mundo. El rango de los proyectos va desde el entrenamiento en planta para la concientización de gerentes señor de operaciones y mantenimiento hasta la aplicación sin restricciones a todos los

equipos de una planta. Las empresas en las que se ha llevado a cabo incluyen minería, manufacturas, petroquímicas, servicios (electricidad, gas y agua), transporte masivo (en especial ferrocarriles), edificios y sus servicios y empresas militares (ejércitos, marinas y fuerzas aéreas). [Ver anexo estado del arte]

5. MARCO TEORICO

Desde el punto de vista de la ingeniería hay dos elementos que hacen al manejo de cualquier activo físico. Debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también necesite ser modificado.

Mantenimiento: Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de donde y como se utilizó el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición de mantenimiento centrado en confiabilidad:

Mantenimiento centrado en confiabilidad: un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

5.1 RCM: LAS SIETE PREGUNTAS

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuales son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De que manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cual es la causa de cada falla funcional?
- ¿Que sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿Que puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Que debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

5.2 FUNCIONES

A medida que logramos entender más profundamente el rol de los activos dentro del mundo de los negocios, comenzamos a apreciar el significado de que todo activo físico se pone en servicio porque alguien quiere que haga algo determinado. Ese estado – el que los usuarios quieren - es muy diferente a la capacidad nominal del activo.

Este énfasis en lo que el activo hace más que en lo que el activo es, descubre una forma completamente nueva para definir los objetivos de mantenimiento para cualquier activo. Esa es la característica mas importante del proceso RCM y es por lo cual mucha gente considera que el proceso RCM como el “TQM (administración de calidad total) aplicado a los activos físicos”.

Para definir los objetivos del mantenimiento según los requerimientos de los usuarios debemos obtener un claro entendimiento de las funciones de cada activo físico junto con los parámetros de funcionamiento asociados. Es por esta razón que el proceso RCM comienza preguntando:

- ¿Cuales son las funciones y los parámetros de funcionamiento del activo físico en su contexto operacional actual?

5.2.1 Describiendo funciones

Un principio bien establecido por la ingeniería es que las definiciones deben consistir en un verbo y de un objeto. También ayuda mucho iniciar las definiciones con un verbo en infinitivo (“Bombear agua”, “Transportar gente”, etc.). Sin embargo, y como se explica a continuación, los usuarios no esperan solo que el activo cumpla con una función. También esperan que lo haga con un nivel de funcionamiento aceptable. Entonces la definición de una función – y por ende la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico – no esta completa a menos que se especifique el nivel de funcionamiento deseado por el usuario.

La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

5.2.2 Estándares de funcionamiento

La magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo haga puede definirse a través de un estándar mínimo de funcionamiento. Las leyes de la física nos dicen que cualquier sistema organizado que es expuesto al mundo real se deteriora. El resultado final de este deterioro es la desorganización total (también conocido como 'caos' o 'entropía'), al menos que se tomen acciones para frenar el proceso que este causando el deterioro del sistema.

Entonces si el deterioro es inevitable debe ser tolerable. Lo que el activo físico es capaz de rendir es conocido como capacidad inicial (confiabilidad inherente). La figura 3 ilustra la realización correcta entre esta capacidad y el funcionamiento deseado.

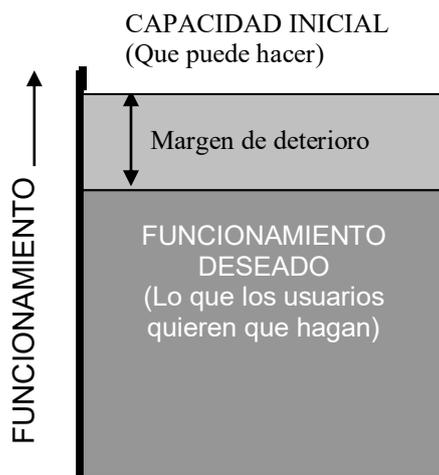


Figura 3. Margen de deterioro

Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos maneras:

- Funcionamiento deseado (lo que el usuario quiere que haga): desempeño
- Capacidad propia (lo que puede hacer).

Cuando se está considerando la cuestión de la restauración se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La capacidad inicial de cualquier activo físico esta establecida por su diseño y por como esta hecho.
- El mantenimiento solo puede restaurar al activo físico a su nivel de capacidad inicial – no puede ir mas allá -.

Si el funcionamiento deseado excede la capacidad inicial, ningún tipo de mantenimiento puede hacer que el activo cumpla esta función. En otras palabras, dichos activos físicos no son mantenibles.

Podemos concluir que:

- Para que un activo físico sea mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del margen de su capacidad inicial.
- Para determinar esto no solo debemos conocer la capacidad inicial del activo físico, sino también cual es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario esta dispuesto a aceptar dentro del contexto en el que va a hacer utilizado.

Esto remarca la importancia de identificar precisamente que es lo que los usuarios quieren cuando comienza a desarrollarse un programa de mantenimiento.

Debe tenerse especial cuidado en evitar enunciar parámetros cualitativos como “producir tantas piezas como requiera producción”, o “el ir tan rápido como sea posible”. Este tipo de enunciados de funciones no tienen sentido, ya que hacen imposible definir exactamente cuando fallo el ítem.

Una descripción de una función que no da estándares de funcionamiento por lo general indica que se trata de un absoluto. Por ejemplo, contener un liquido X; la ausencia de estándares de funcionamiento sugiere que el sistema debe contener todo el liquido, y que cualquier perdida da cuenta de una falla.

5.2.3 El contexto operacional

El contexto operacional se inserta por completo en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones y también influencia profundamente los requerimientos para las funciones secundarias. El contexto no solo afecta drásticamente las funciones y las expectativas de funcionamiento, sino que también afecta la naturaleza de los

modos de falla que pueden ocurrir, sus efectos y consecuencias, la periodicidad con lo que pueden ocurrir y que debe hacerse para manejarlas.

Es esencial asegurarse que toda persona involucrada en el desarrollo de un programa de mantenimiento de cualquier activo físico comprenda totalmente el contexto operacional del mismo. La mejor manera de hacer esto es documentando el contexto operacional como parte del proceso RCM.

5.2.4 Diferentes tipos de funciones

Todo activo físico tiene mas de una función, por lo general tiene varias. Si el objetivo de mantenimiento es asegurarse que continúe realizando estas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y funciones secundarias.

5.2.4.1 Funciones primarias

Las organizaciones adquieren activos físicos por una, probablemente por dos y muy pocas veces por tres o más razones. Estas razones son descritas por definiciones de funcionamiento y se conocen como funciones primarias por ser la razón principal por la que se es adquirido el activo físico. Son las razones por las cuales existe el activo físico, por lo que debemos definir las tan precisamente como sea posible.

5.2.4.2 Funciones secundarias

Es de suponer que la mayoría de los activos físicos cumplan una o mas funciones adicionales además de la primaria. Estas se conocen como funciones secundarias. Para asegurarnos que ninguna de estas funciones sea pasada por alto, se dividen en siete categorías de la siguiente manera:

- Ecología – integridad ambiental.
- Seguridad / integridad estructural.

- Control / contención / confort
- Apariencia
- Protección
- Eficiencia / economía
- Funciones superfluas

5.3 FALLAS FUNCIONALES

La capacidad inicial de un activo debe ser mayor que el estándar de funcionamiento deseado, de manera de poder cumplir con lo que los usuarios desean y admitir el desgaste. Por esto, mientras la capacidad del activo continúe superando el estándar de funcionamiento deseado, el usuario va a estar satisfecho. Sin embargo, si por alguna razón es incapaz de hacer lo que el usuario desea, este considerará que ha fallado. La falla funcional es el estado de la falla y no se debe confundir con los eventos que causan este estado de falla (modos de falla).

5.3.1 Falla total y parcial

La falla funcional cubre la pérdida total de la función, también abarca situaciones en las que aun funciona, pero fuera de los límites admisibles.

Una pérdida parcial de función casi siempre proviene de modos de fallo diferentes de los que provocan una pérdida total, y las consecuencias casi siempre son diferentes. Por esta razón deben registrarse todas las fallas funcionales asociadas a cada función. La falla parcial no debe confundirse con la situación en la que el activo, habiéndose deteriorado significativamente, aun esta sobre el nivel de funcionamiento requerido por el usuario.

5.3.2 Límites superiores e inferiores

Estos límites se refieren a que el activo físico ha fallado si produce productos que están por arriba del límite superior, o por debajo del inferior. En estos casos la brecha del límite superior por lo general necesita identificarse por

separado de la brecha del límite inferior. Esto se debe a que los modos de falla asociados por exceder el límite superior suelen ser diferentes de las asociadas por no alcanzar el límite superior.

5.3.3 Medidores e indicadores

Los límites superior e inferior también se aplican a los estándares de funcionamiento de medidores, indicadores, sistemas de control y de protección. Dependiendo del modo de falla y sus consecuencias, también podría ser necesario tratar sus límites, por separado, en el momento en que se listan las fallas funcionales.

5.4 ANALISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

Un modo de fallo podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso). La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional. La descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo; la descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada, pero no tanto como para perder mucho tiempo en el propio proceso de análisis.

En la mayoría de los casos, los modos de falla son discutidos, registrados y manejados luego de haber ocurrido. Tratar fallas después de que hayan ocurrido es por supuesto la esencia del mantenimiento reactivo. Por otro lado, el mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes de que ocurran, o al menos decidir como deberían ser manejados si llegaran a ocurrir. Para ello debemos saber por adelantado que eventos pueden ocurrir. Una vez que cada modo de falla ha sido identificado es posible considerar que sucede cuando ocurre, evaluar las consecuencias y decidir si debiera hacerse algo para anticipar, prever, detectar, corregir o hasta rediseñar.

5.4.1 Categorías de modos de falla

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado.
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial.
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

Capacidad decreciente La primera categoría cubre las situaciones en las que en un primer momento la capacidad esta por arriba del funcionamiento deseado, pero que luego decae cuando el activo físico es puesto en servicio, quedando por debajo del funcionamiento deseado. Las cinco causas principales de pérdida de capacidad son: deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme, errores humanos que reducen la capacidad.

Aumento del funcionamiento deseado (o aumento del esfuerzo aplicado)

La segunda categoría ocurre cuando el funcionamiento deseado esta dentro de la capacidad del activo físico cuando es puesto en servicio, pero luego aumenta hasta quedar fuera de su capacidad. Esto hace que el activo falle de una de estas dos formas:

- El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo físico no puede responder a el, o
- El aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo físico se torna tan poco confiable que deja de ser útil.

Todo esto ocurre debido a cuatro razones que son: sobrecarga deliberada constante, una sobrecarga no intencional constante, una sobrecarga no intencional repentina y un procesamiento o material de empaque incorrecto.

Capacidad inicial El funcionamiento deseado debe estar dentro del rango de su capacidad inicial; no obstante, surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado esta fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo, como lo muestra la figura 4.



Figura 4. Modos de falla categoría 3

Este problema de incapacidad rara vez afecta el activo físico en su totalidad. Usualmente afecta solo una o dos funciones o uno o dos componentes, pero estos puntos débiles perjudican la operación de toda la cadena.

5.4.3 Efectos de falla

El cuarto paso en el proceso de revisión RCM consiste en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla, esto se denomina efecto de falla; el efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?.

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla.
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

5.4.4 Fuentes de información acerca de modos y efectos

Para obtener la información necesaria para realizar una AMFE (Análisis de Modos y Efectos de las Fallas), se debe recordar ser proactivos.

Las fallas de suministros (electricidad, agua, vapor, aire comprimido, gas, vacío, etc.) se tratan como un modo de falla simple desde el punto de vista del activo que los recibe, ya que en un análisis detallado de estas fallas esta fuera del activo en cuestión. Este tipo de fallas y sus consecuencias se documentan con fines informativos (“falla el suministro eléctrico”) para luego ser analizados en detalle cuando se trate el servicio como un todo.

En la hoja de información se registran la función principal, las funciones secundarias; en la segunda columna se registran los fallos funcionales; en la tercera columna se registran los modos de fallo de cada falla funcional y en la última columna se registran los efectos de falla, junto al modo de falla correspondiente, como se muestra en la figura 5.

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION (AMFE)	ELEMENTO	N°	Realizada por	Fecha	Hoja
	LLENADORA DE BOTELLAS HK / LINE 1 BUCARAMANGA				
	COMPONENTE	Ref	Realizada por	Fecha	de
	SISTEMA DE LLENADO				
FUNCION	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (CAUSA FALLA)		EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)	
1	A	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
		8			
		9			

Figura 5. Hoja de información de RCM.

5.5 TECNICAMENTE FACTIBLE Y MERECE LA PENA

Cada vez que ocurre una falla en activo físico, de alguna manera afecta a la organización que lo utiliza. Si cualquiera de estas fallas no es prevenida, el tiempo y el esfuerzo que se necesitan para repararlas también afecta a la organización, porque la reparación de fallas consume recursos que podrían ser mejor aprovechados en otras tareas más rentables. La naturaleza y la gravedad de estos efectos definen las consecuencias de la falla. En otras palabras, definen la manera en la que los dueños y en la que los usuarios de los activos creerán que cada falla es importante. Si las consecuencias son serias, entonces se harán esfuerzos considerables para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias. Por otro lado, si la falla solo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva, y que la falla simplemente sea reparada una vez que ocurra. Este enfoque sobre las consecuencias hace que RCM comience el proceso de selección de tareas asignando los efectos a cada modo de falla y clasificándolos dentro de una de las cuatro categorías definidas por el RCM. El próximo paso es encontrar una tarea proactiva que sea físicamente posible de realizar y que reduzca, o que permita realizar una tarea que reduzca, las consecuencias de la falla al punto que sea tolerable para el dueño o el usuario del activo. Si podemos encontrar dicha tarea, se dice que es técnicamente factible.

Si una tarea es técnicamente factible, podemos entonces pasar al tercer paso en el cual nos preguntaremos si realmente la tarea reduce las consecuencias de la falla a un punto que justifique los costos directos e indirectos de hacerla; si la respuesta es sí, diremos que la tarea merece la pena.

Si no es posible encontrar una tarea proactiva adecuada, la naturaleza de las consecuencias de falla también indican qué acción “a falta de” debería ser tomada.

5.5.1 Funciones ocultas y evidentes

Hemos visto que todo activo tiene más de una, y a veces docenas de funciones. Cuando la mayoría de estas funciones fallan, se hace

inevitablemente evidente que ha ocurrido una falla. Las fallas de este tipo se califican de evidentes porque tarde o temprano alguien se dará cuenta cuando se producen por si solas esto lleva a la siguiente definición de una función evidente: una función evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales.

No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca alguna otra falla. Esto lleva a la siguiente definición de una función oculta: una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operadores bajo circunstancias normales, si se produce por si sola.

El primer paso en el proceso de RCM es separar las funciones ocultas de las evidentes porque las ocultas necesitan de un manejo especial; estas funciones están asociadas a dispositivos de seguridad sin seguridad inherente.

5.5.1.1 Categorías de fallas evidentes

Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente:

- 1. Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien. Tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional.

Existen dos razones para esto: la primera es que día a día crece la convicción entre empleados, empleadores, consumidores y entre toda la sociedad en general de que es simplemente intolerable que durante el curso de los negocios se lesione o mate a alguien, y por lo tanto debe hacerse todo lo posible para minimizar la posibilidad de que ocurra cualquier tipo de incidente que pueda afectar a la seguridad o al medio ambiente; la segunda es que la comprensión pragmática que la probabilidad que se tolera para incidentes relacionados con la seguridad es de varios ordenes de magnitud menor a aquellas que se toleran en

fallas que tienen consecuencias operacionales. Como consecuencia de esto, en la mayoría de los casos en los que desde el punto de vista de la seguridad vale la pena realizar una tarea proactiva, dicha tarea también tiende a ser mas que adecuada desde el punto de vista operacional.

2. Consecuencias operacionales. Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción o a las operaciones (volumen de producción, calidad de producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo de la reparación).

3. Consecuencias no operacionales. Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, de modo que solo involucran el costo directo de la reparación.

Todo esto significa que se evalúan en un mismo análisis las consecuencias sobre la seguridad el medio ambiente y las económicas, lo cual es mucho más eficaz que considerarlas por separado.

En cierto sentido, la seguridad se refiere a la seguridad de los individuos en su lugar de trabajo. Hoy en día las fallas que afectan a la sociedad tienden a calificarse como problemas “ambientales”. Así que, fuera de las consideraciones que pueda tener cada uno al respecto, el cumplimiento de las expectativas medioambientales se esta volviendo un requisito para la supervivencia de las empresas.

5.5.1.2 La cuestión del riesgo

Aunque la mayoría de las personas quisieran vivir en un medio que no exista posibilidad alguna de muerte o de daño físico, por lo general se acepta que hay un elemento de riesgo en todo lo que hacemos. En otras palabras, el cero absoluto es inalcanzable, aunque sea un objetivo por el que vale la pena seguir luchando.

La valoración del riesgo consta de tres elementos. El primero se pregunta qué pudiera pasar si ocurriera el evento en cuestión. El segundo se pregunta cuan

probable es que ocurra el evento. El tercero, se pregunta si el riesgo es tolerable.

¿Que podría pasar si ocurriese la falla?

Debe tenerse en cuenta dos cosas al considerar lo que pudiera pasar si ocurriese una falla. Estas son, qué sucede realmente, y si como consecuencia es probable que alguien resulte lastimado o muerto.

El hecho de que estos efectos podrían matar o herir a alguien no significa necesariamente que lo harán cada vez que ocurran. Algunos hasta podrían ocurrir con frecuencia y sin embargo no matar a nadie. Sin embargo, el tema no es si dichas consecuencias son inevitables, sino si son posibles.

Surge una situación mas compleja cuando tratamos con riesgos para la seguridad ya que están cubiertos por una clase de protección inherente. Uno de los objetivos principales de RCM es el de establecer la manera mas efectiva de manejar cada falla en el contexto de sus consecuencias. Esto solamente puede hacerse si antes se evalúan las consecuencias como si no se hiciera nada para manejar la falla.

¿Que probabilidad hay que ocurra la falla?

Si la hoja de trabajo de información AMFE ha sido preparada sobre una base realista, el solo hecho de que el modo de falla haya sido registrado sugiere que hay alguna posibilidad de que pudiera ocurrir, y por lo tanto que debería ser sometido hasta un análisis posterior.

¿Es tolerable el riesgo?

Uno de los aspectos mas difíciles de la administración de seguridad es la medida en que varían las expectativas de qué es tolerable, de individuo a individuo y de grupo a grupo. Las personas casi siempre toleran un mayor nivel de riesgo cuando creen que tienen control personal sobre la situación que cuando creen que la situación esta fuera de su control.

Siempre teniendo en cuenta que estamos tratando con aproximaciones, el próximo paso es traducir la probabilidad que mis compañeros de trabajo y yo estamos preparados a aceptar, que cualquiera de nosotros podría morir a

causa de cualquier evento en el trabajo, a una probabilidad tolerable para cada evento (modo de falla o falla múltiple) que podría matar a alguien.

Otros factores nos ayudan a decidir lo que es tolerable como:

Valores individuales: para esto se puede usar un ejemplo y así contrastar los puntos de vista de riesgo tolerable que acepta una persona alpinista con el de aquellas que sufren de vértigo.

Valores de industria: si bien hoy en día toda industria reconoce la necesidad de operar con la máxima seguridad posible, no podemos eludir la realidad de que algunas son intrínsecamente más peligrosas que otras. Cada individuo debe evaluar si vale la pena correr el riesgo implícito; en otras palabras, si el beneficio justifica el riesgo.

El efecto sobre las “generaciones futuras”: la seguridad de los niños – especialmente de los que aún no han nacido – tiene un efecto especialmente poderoso en las opiniones de la gente acerca de lo que es tolerable.

Conocimiento: las percepciones de riesgo son muy influenciadas por el conocimiento del activo físico que tienen las personas, el proceso del que forma parte, y los mecanismos de falla asociados con cada modo de falla. Cuanto mas conocen, mejor es su juicio.

¿Quién debería evaluar los riesgos?

La diversidad de los factores nos muestra que es simplemente imposible para cualquier persona – o hasta para una organización – asignar riesgos de manera tal que sean universalmente tolerables. Si quien evalúa el riesgo es demasiado conservador puede que la gente lo ignore o ridiculice la evaluación. Si es demasiado relajado, puede terminar acusado de jugar con la vida de las personas (o de realmente matarlas). Esto sugiere que una evaluación de riesgo satisfactoria solo puede ser realizada por un grupo. En la medida de lo posible, el grupo debe representar a las personas que probablemente tengan un claro entendimiento del mecanismo de falla, los efectos de falla, la probabilidad de las falla ocurran, y de las posibles medidas que pueden ser tomadas para anticiparla o prevenirla. El grupo también debe incluir a las personas que tengan un punto de vista legítimo sobre la tolerabilidad de los riesgos. Esto significa representantes de las probables víctimas (generalmente operarios o personal de mantenimiento en el caso de riesgos directos para la

seguridad) y la gerencia (que son responsables cuando alguien resulta herido o se infringe una normativa ambiental). Los grupos de esta naturaleza generalmente pueden llegar a un consenso rápido cuando tratan con riesgos directos para la seguridad, porque ellos mismos están incluidos entre las personas en riesgo. Los riesgos ambientales no son tan simples, porque la sociedad en general es la “posible víctima” y muchos de los temas incluidos son pocos conocidos. Entonces cualquier grupo del que se espera que considere si una falla podría infringir una normativa o regulación ambiental, debe primero averiguar cuales de esas normativas y regulaciones cubren el proceso que se esta revisando.

Entonces conociendo esto el proceso RCM sugiere que para los modos de falla que tienen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, solo merece la pena realizar una tarea proactiva si reduce la probabilidad de la falla a un nivel tolerablemente bajo. Si no pudiese hallarse una tarea proactiva que logre este objetivo satisfaciendo al grupo que esta haciendo el análisis, estaríamos viendo una situación de rediseño, esto podría ser, el activo físico mismo, un proceso, o un procedimiento operativo.

El análisis del proceso puede ser resumido así:

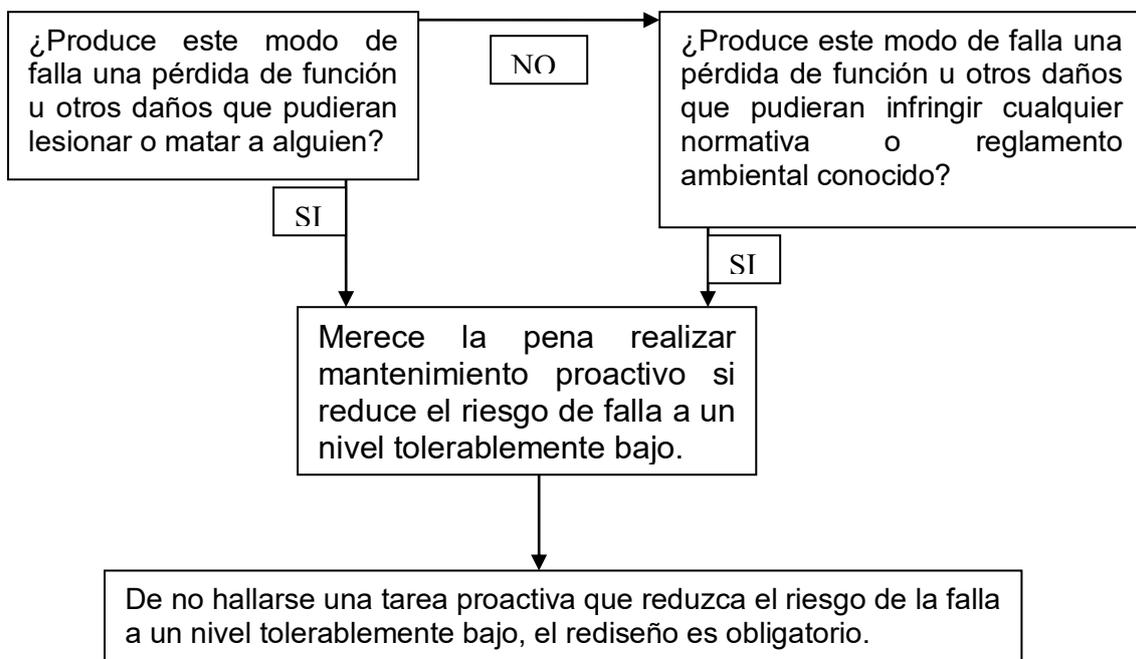


Figura 6. Identificando y desarrollando una estrategia de mantenimiento para una falla que afecta la seguridad o el medio ambiente.

5.5.2 Consecuencias operacionales

5.5.2.1 Como las fallas afectan a las operaciones

La función primaria de la mayoría de los equipos en la industria esta vinculada de algún modo con la necesidad de producir ingresos o de apoyar alguna actividad económica. La magnitud de estos efectos depende de la carga de máquina y de la disponibilidad de alternativas.

En general las fallas afectan las operaciones de cuatro maneras:

- Afectan el volumen de producción total: ocurre esto cuando el equipo deja de trabajar o cuando trabaja demasiado lento.
- Afectan la calidad del producto: si una máquina no puede mantener las tolerancias de un producto o si una falla hace que el material se deteriore, dará como resultado scrap o retrabados costosos.
- Afectan el servicio al cliente: las fallas afectan a los clientes de muchas maneras, comenzando por las demoras en la entrega de los pedidos hasta los retrasos en los vuelos comerciales. Los problemas de servicio crónicos tarde o temprano hacen que los clientes pierdan confianza y busquen otros proveedores.
- Incremento del costo operacional sumado al costo directo de la reparación: por ejemplo, la falla puede hacer que aumente el consumo de energía o que deba usarse un proceso más costoso para realizar la producción.

En conclusión una falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional.

5.5.2.2 Evitando consecuencias operacionales

El efecto económico global de cualquier modo de falla que tiene consecuencias operacionales depende de dos factores:

- Cuanto cuesta la falla cada vez que ocurre, en términos de su efecto sobre la capacidad operacional, más el costo de la reparación.

- Con que frecuencia ocurre.

Para los modos de falla con consecuencias operacionales, merece la pena realizar una tarea proactiva si a lo largo de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar la falla que pretende evitar. Si no se puede encontrar una tarea proactiva que sea costo-eficaz, entonces no merece la pena realizar ningún mantenimiento proactivo para tratar de anticipar o prevenir el modo de falla en cuestión.

Sin embargo, si no puede hallarse una tarea proactiva y las consecuencias de falla todavía son intolerables, puede querer cambiarse el diseño del activo físico (o cambiar el proceso) para reducir los costos totales por:

- Reducción de la frecuencia (y por ende el costo total) de la falla.
- Reducción o eliminación de las consecuencias de la falla.
- Transformando una tarea proactiva en costo-eficaz.

En el caso de las consecuencias operacionales el objetivo es reducir la probabilidad (o la frecuencia) a un nivel económicamente tolerable.

Proceso de decisión de fallas con consecuencias operacionales se resume así:

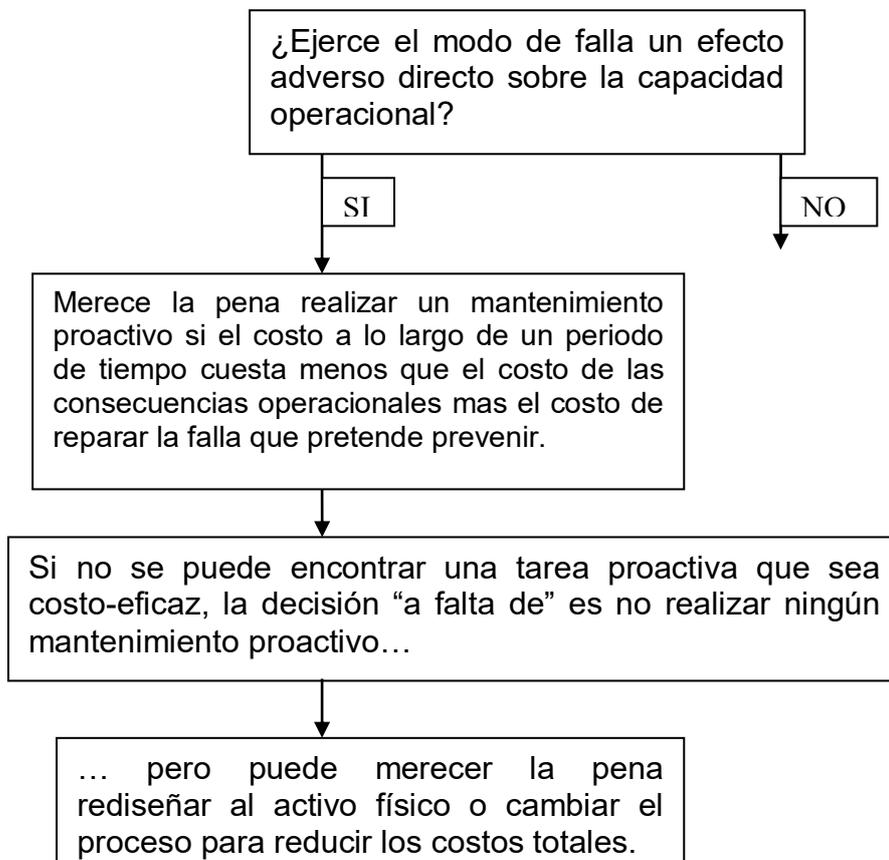


Figura 7. Identificando y desarrollando una estrategia de mantenimiento para una falla que tiene consecuencias operacionales.

Tenemos que tener en cuenta que se realiza este análisis para cada modo de falla individual y no para el activo como un todo.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que las consecuencias operacionales de cualquier falla están fuertemente influidas por el contexto en el que opera el activo.

5.5.3 Consecuencias no operacionales

Las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación, con lo que estas consecuencias también son económicas. Para los modos de falla con consecuencias no operacionales, merece la pena realizar tareas proactivas si, en un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar las fallas que pretende prevenir. Si no merece la pena realizar una tarea proactiva, entonces en algunos casos poco comunes podría justificarse una modificación por razones similares que las que se aplican a fallas con consecuencias operacionales.

Al analizar las fallas con consecuencias no operacionales se debe considerar los daños secundarios, que son los que ciertos modos de falla pueden causar si no se los evita o previene, un daño secundario considerable, lo que se suma a sus costos de reparación; no obstante, este tipo de tareas solo se justifican si el costo de realizarlas es menor que el costo de reparar la falla y del daño secundario, también se debe considerar las funciones protegidas, que son aquellas en las que un elemento dispone de un dispositivo de reserva, al cual debería ser aplicado un programa de mantenimiento apropiado.

5.5.4 Consecuencias de fallas ocultas

5.5.4.1 Fallas ocultas y dispositivos de seguridad

Los dispositivos de protección cada vez son mas utilizados para intentar eliminar (o por lo menos reducir) dichas consecuencias, y funcionan en una de cinco maneras:

- Alertan a los operadores ante condiciones anormales.
- Detienen el equipo en caso de falla.
- Eliminan o alivian las condiciones anormales que siguen a una falla y que de otra manera podrían causar daños más serios.
- Asumen el control de una función que ha fallado.
- Previenen que surjan situaciones peligrosas.

La función esencial de estos dispositivos es la de garantizar que las consecuencias de la falla de la función protegida sean mucho menos graves de lo que serían si no hubiera protección.

La existencia de tales sistemas crea dos tipos de posibilidades de falla, dependiendo de si el dispositivo de seguridad tiene seguridad inherente o no, si el sistema incluye un dispositivo de seguridad con seguridad inherente, hay tres posibilidades de que falle.

Después de esto podemos proponer que las funciones ocultas pueden ser identificadas al preguntarse ¿será evidente para los operadores la pérdida de función originada por este modo de falla por sí solo bajo circunstancias normales? Si la respuesta es no, entonces se trata de un modo de falla oculto.

Todo esto nos lleva a la definición de falla múltiple, la cual ocurre si una función protegida falla mientras que el dispositivo de protección se encuentra en estado de falla y cuando desarrollamos programas de mantenimiento para funciones ocultas, nuestro objetivo es el de prevenir la falla múltiple asociada, o la menos reducir las probabilidades de que ocurra.

5.5.4.2 La disponibilidad que requieren las funciones ocultas

La probabilidad de una falla múltiple en cualquier periodo debe estar dada por la probabilidad de que la función protegida falle cuando el dispositivo de seguridad se encuentra fallado durante el mismo periodo.

Probabilidad de una falla múltiple = probabilidad de una falla de la función protegida * promedio de no-disponibilidad del dispositivo de protección

La probabilidad tolerable de la falla múltiple es determinada por los usuarios del sistema, pero en la práctica, la probabilidad que se considera tolerable para cualquier falla depende de sus consecuencias y la probabilidad de una falla de la función protegida es generalmente un dato conocido, así que con estos dos datos podemos hallar el promedio de no-disponibilidad del dispositivo de protección.

5.5.4.3 Mantenimiento de rutina y funciones ocultas

En un sistema que incorpora un dispositivo de seguridad sin seguridad inherente, la probabilidad de una falla múltiple puede ser reducida de la siguiente manera:

- Reduciendo la frecuencia de falla de la función protegida, y esto se logra haciendo algún tipo de mantenimiento proactivo, cambiando la manera en que se opera la función protegida y cambiando el diseño de la función protegida.
- Incrementando la disponibilidad del dispositivo de protección, y esto se logra haciendo algún tipo de mantenimiento proactivo, verificando periódicamente si el dispositivo de protección ha fallado y modificando el dispositivo de protección.

5.5.4.4 Prevenir la falla de la función protegida

La probabilidad de una falla múltiple está en parte basada en la frecuencia de falla de la función protegida. Esta podría, casi con certeza, ser reducida mejorando el mantenimiento o la operación del dispositivo protegido o, como último recurso, cambiando el diseño.

Si no se toma ninguna medida para evitar la falla del dispositivo de protección, será inevitable que tarde o temprano falle y deje de brindar protección. Si pasa esto, la probabilidad de falla múltiple es igual a la probabilidad que tiene de fallar la función protegida por sí misma.

5.5.4.5 Prevenir la falla oculta

Debemos tratar de asegurar que la función oculta no se encuentre en estado de falla cuando falla la función protegida. En la práctica, es poco probable que cualquier tarea proactiva pudiera lograr que cualquier función alcanzara una disponibilidad de 100% indefinidamente. Lo que se debe hacer, es dar la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable. Con lo que si no podemos encontrar una manera de prevenir una falla oculta, debemos encontrar alguna otra forma de mejorar la disponibilidad de la función oculta.

Si no podemos encontrar una manera adecuada de prevenir una falla oculta, todavía es posible reducir el riesgo de una falla múltiple revisando la función oculta periódicamente para saber si sigue funcionando. Si esta revisión (llamada tarea de “búsqueda de falla”) es llevada a cabo a intervalos adecuados y si la función es restaurada en cuanto se descubre que esta defectuosa, todavía es posible asegurar altos niveles de disponibilidad.

Si una falla múltiple pudiera afectar la seguridad o el medio ambiente, el rediseño es obligatorio. El desarrollo de una estrategia de mantenimiento para funciones ocultas se realiza así:

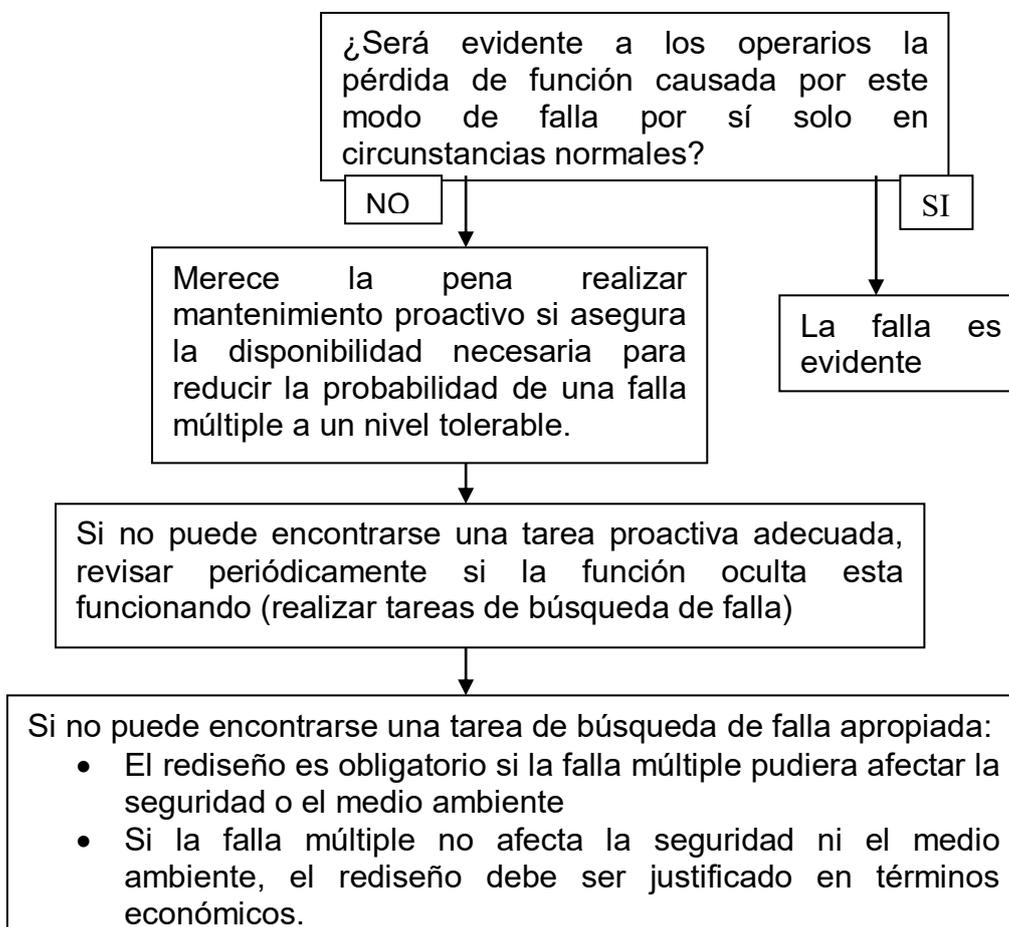


Figura 8. Identificando y desarrollando una estrategia de mantenimiento para una función oculta.

Para poder contestar adecuadamente la primera pregunta del desarrollo de una estrategia de mantenimiento para funciones ocultas hay que tener en cuenta que cada modo de falla establecido es para identificar si es oculto o evidente, si la pérdida de función tarde o temprano se vuelve aparente para los operadores por sí misma como resultado directo e inevitable de la falla, la falla es evidente, sin importar el tiempo que pase entre la falla en cuestión y el momento en que se la descubre, el termino operarios se refiere a cualquier persona que tenga la oportunidad de observar el equipo o lo que esta haciendo en algún momento durante el curso de sus actividades normales diarias, y que pueda confiarse en que reportará la falla. En resumen la evaluación de las consecuencias de falla queda convenida así:

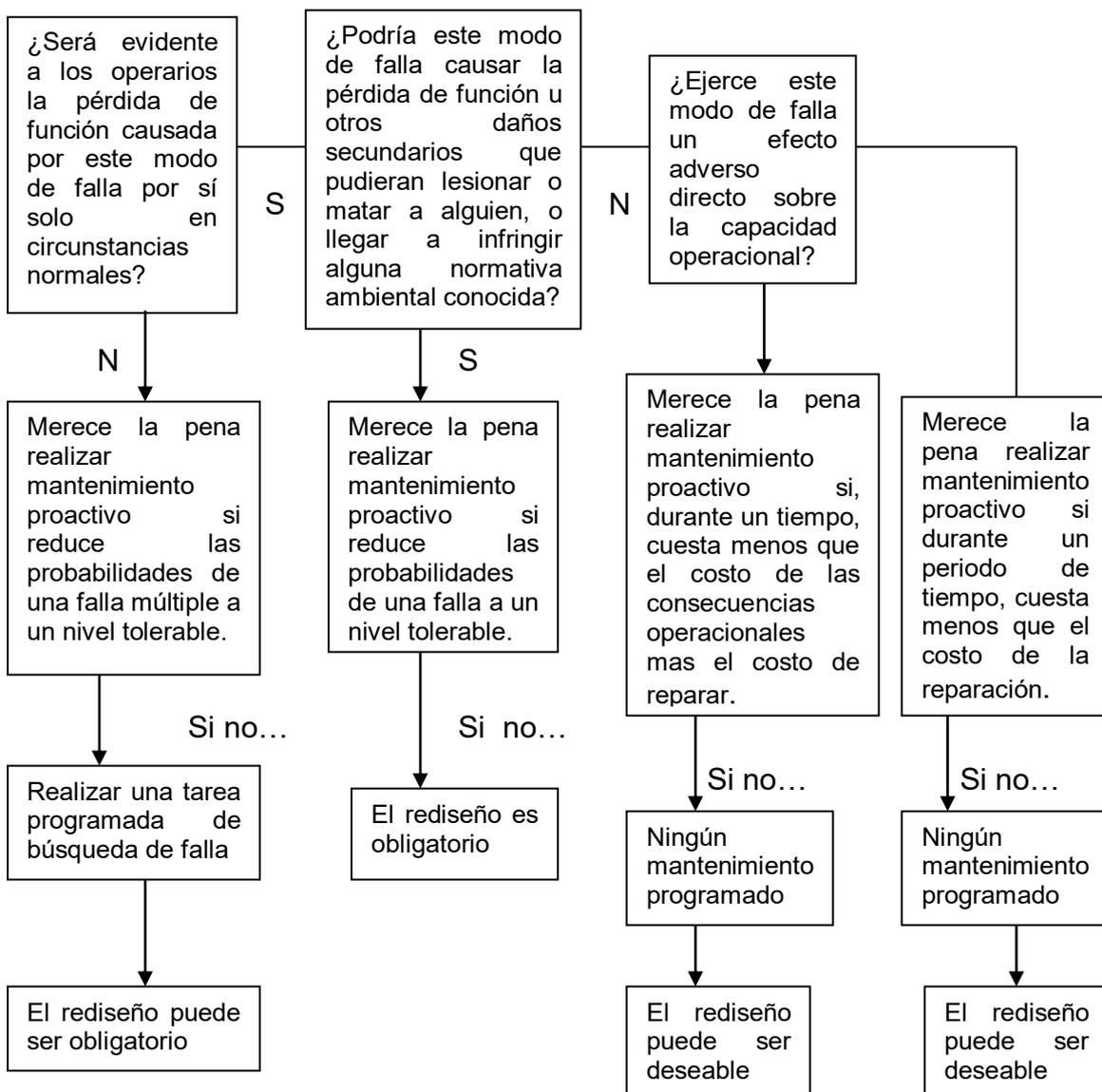


Figura 9. La evaluación de las consecuencias de falla.

5.6 MANTENIMIENTO PROACTIVO: TAREAS PREVENTIVAS

Para comenzar debemos saber que es una tarea proactiva y son aquellas que se llevan a cabo antes que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Merece realizar una tarea proactiva si esta logra reducir las consecuencias de la falla lo suficiente como para justificar los costos directos e indirectos de hacer la tarea.

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos para la selección de tareas proactivas: Primero se debe considerar la relación entre la edad del componente y la probabilidad de que falle; y luego, que sucede una vez que ha comenzado a ocurrir la falla.

5.6.1 Edad y deterioro

Cuando el activo físico es sometido a un esfuerzo esto ocasiona un deterioro en la maquina o pieza y esto produce que halla una menor resistencia al esfuerzo lo cual eventualmente producirá una falla y teniendo en cuenta la edad del componente sabremos que puede haber una exposición total al esfuerzo.

Esto nos lleva que aun componentes que parecen idénticos varían su resistencia inicial a la falla sutilmente. La tasa a la cual esta resistencia declina con la edad también varía. Además, no hay dos componentes sujetos a idénticos esfuerzos a lo largo de sus vidas. Aun cuando estas variaciones sean muy pequeñas, pueden tener un efecto desproporcionado sobre la edad en la que falla el componente.

En la figura 10, se ven las tres formas en que la probabilidad de falla puede aumentar a medida que un componente envejece.

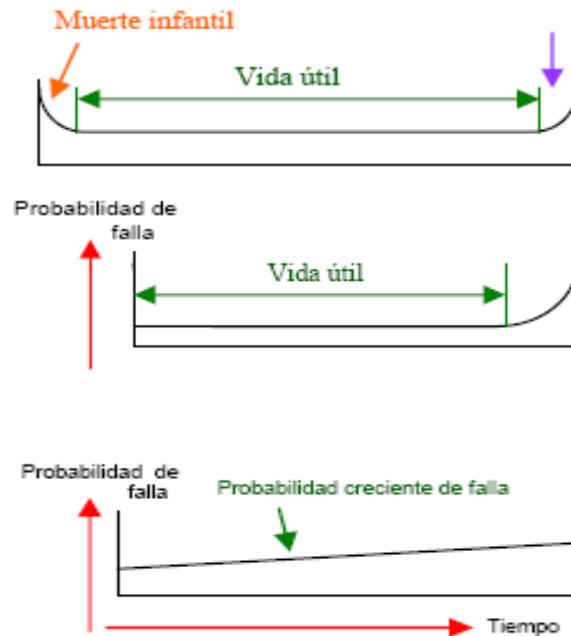


Figura 10. Fallas relacionadas con la edad (Tomada de RCM Reliability Centred Maintenance, John Moubray).

5.6.2 Fallas relacionadas con la edad y mantenimiento preventivo

La mayoría de las personas todavía tienden a asumir que los componentes similares que realizan tareas similares, funcionaran confiablemente durante un periodo, quizás con una pequeña cantidad de fallas tempranas al azar, y que luego la mayoría de los componentes se “desgastarán” aproximadamente al mismo tiempo.

Las características del desgaste ocurren mayormente cuando los equipos entran en contacto directo con el producto y además hay otros factores en consideración como la fatiga, oxidación, corrosión y evaporación.

Dos opciones preventivas para reducir la incidencia de este tipo de modos de falla pueden ser: tareas de reacondicionamiento cíclico y las tareas de sustitución cíclica.

5.6.3 Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica

5.6.3.1 Reacondicionamiento cíclico

Esto se refiere a reacondicionar la capacidad del elemento antes o en el límite de edad, independiente de su condición en ese momento. La frecuencia para realizar este reacondicionamiento cíclico está determinado por la vida útil del elemento. Estas tareas incluyen revisiones o cambios completos hechos a intervalos preestablecidos para prevenir modos de falla específicos relacionados con la edad.

El reacondicionamiento cíclico debe restaurar la resistencia original o por lo menos asegurar que el elemento continúe siendo capaz de cumplir la función deseada por un tiempo razonable y para esto el equipo debe tener una edad identificable en la que el elemento muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla y además la mayoría de los elementos deben sobrevivir a esta edad. Para que una tarea de reacondicionamiento cíclico sea técnicamente factible hay que tener en cuenta dos criterios que han de satisfacerse, el primero, es que debe haber un punto en el que haya un incremento de la probabilidad condicional de falla (vida útil) y segundo, que debemos estar razonablemente seguros acerca de la duración de esta vida.

Si las consecuencias son económicas, necesitamos estar seguros de que a lo largo de un periodo de tiempo, el costo de realizar la tarea de es menor al costo de permitir ocurrir la falla. Hay que tener en cuenta que la reducción en el número de fallas no es suficiente si la falla tiene consecuencias para el medio ambiente o la seguridad.

5.6.3.2 Sustitución cíclica

Descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independiente de su condición en ese momento. Unos de los fines de estas tareas es tener un límite de vida segura que hace referencia a las tareas que tienden a evitar fallas con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente y también el límite de vida económica que son las tareas que tienden a prevenir fallas que no tienen consecuencias para la seguridad. Si las consecuencias son económicas, necesitamos estar seguros de que a lo largo de un periodo de tiempo, el costo de realizar la tarea de es menor al costo de permitir ocurrir la falla. Hay que tener en cuenta que la reducción en el número

de fallas no es suficiente si la falla tiene consecuencias para el medio ambiente o la seguridad.

5.6.4 Fallas no asociadas con la edad

5.6.4.1 Esfuerzo variable

El deterioro no es siempre proporcional al esfuerzo aplicado, y el esfuerzo no siempre es aplicado consistentemente. Muchas fallas son causadas por incremento en el esfuerzo aplicado, que a su vez son causados por operación incorrecta, montaje incorrecto o daños externos. Idealmente, “prevenir” fallas de este tipo es un cuestión de prevenir cualquier causa de incremento en los niveles de esfuerzo, mas que una cuestión de hacer algo en el activo físico.

5.6.4.2 Complejidad

Cuando son elementos complejos la situación se torna menos predecible; los elementos se hacen complejos para mejorar el funcionamiento o para hacerlos mas seguros y así se logra un mejor desempeño y una mayor seguridad al costo de una mayor complejidad. En otras palabras, se logra un mejor desempeño y una mayor seguridad al costo de una mayor complejidad.

Una mayor complejidad significa equilibrar lo liviano y lo compacto, necesario para un alto rendimiento, con el tamaño y masa necesarios para tener durabilidad; pero esta combinación incrementa el numero de componentes que pueden fallar, y también incrementa el numero de interfases o conexiones entre los componentes y esto a su vez incrementa el numero y la variedad de fallas que puedan ocurrir.



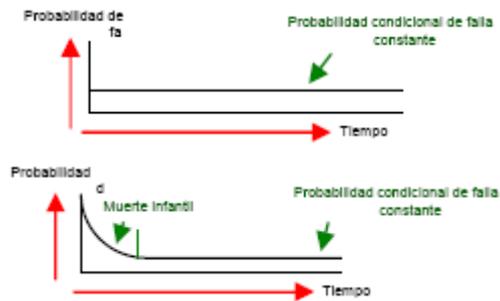


Figura 11. Fallas que no están relacionadas con la edad (Tomada de RCM Reliability Centred Maintenance, John Moubray.)

El rasgo más importante de estos patrones es que luego del periodo inicial hay muy poca relación, entre la confiabilidad y la edad operacional; en estos casos, los límites de edad contribuyen poco, o nada, a reducir la probabilidad de falla. De hecho las grandes reparaciones programadas pueden inclusive aumentar las tasas de mortalidad infantil en sistemas que de otra manera serían estables. Desde el punto de vista de la gerencia de mantenimiento, la conclusión sobre estos patrones de falla es que la idea de “vida útil” simplemente no se aplica a las fallas de azar, con lo que el “reemplazo a intervalos fijos” o el “reacondicionamiento antes de tal edad” no pueden aplicarse.

La necesidad permanente de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas clásicas para hacerlo, impulsan el avance de nuevos métodos de prevención de fallas.

5.7 MANTENIMIENTO PROACTIVO: TAREAS PREDICTIVAS

Si puede encontrarse evidencia de que algo va a fallar, podría ser posible actuar para prevenir que un elemento falle completamente y/o evitar las consecuencias.

Las tareas designadas para detectar fallas potenciales se conocen como tareas a condición y son aquellas que consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional. Los elementos que se inspeccionan se dejan en servicio a condición de que continúen cumpliendo con los parámetros de funcionamiento a esto se le llama mantenimiento predictivo, además de la

falla potencial de cada elemento se debe considerar la cantidad de tiempo (# de ciclos de esfuerzo) entre el punto de la falla potencial y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional.

5.7.1 Intervalo p – f

Este intervalo es el intervalo entre el momento en que ocurre una falla potencial y su decaimiento hasta convertirse en una falla funcional, es un periodo de advertencia.

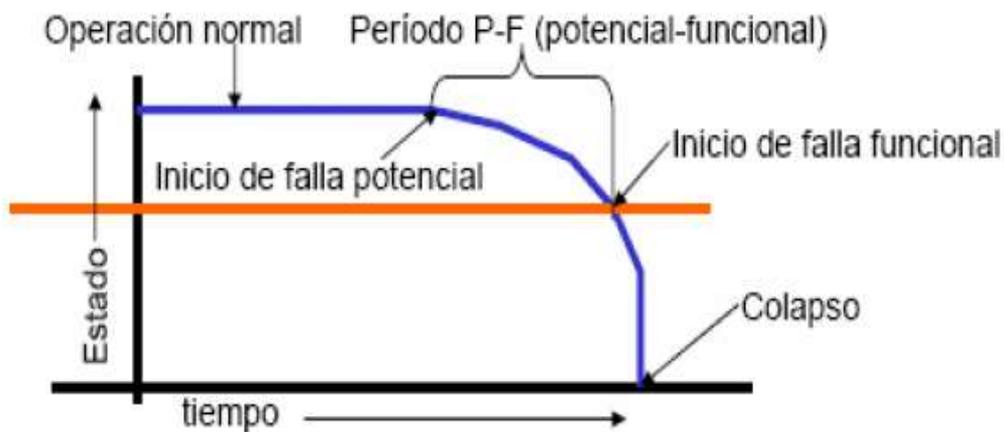


Figura 12. El intervalo P – F

El intervalo P-F nos dice con que frecuencia deben realizarse las tareas a condición; si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo P-F. Puede ser medido en cualquier unidad que provea una indicación de la exposición al esfuerzo (tiempo de funcionamiento, unidades de producción, ciclos parada-arranque, etc.).

5.7.1.1 Intervalo p – f neto

Es el intervalo mínimo que es probable que transcurra entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional y determina la cantidad de tiempo disponible para tomar cualquier acción para reducir o eliminar las consecuencias de la falla. Si el intervalo P-F neto asociado con

este intervalo mínimo es lo suficientemente largo como para tomar una acción adecuada para manejar las consecuencias de la falla, entonces la tarea a condición es técnicamente factible.

5.7.2 Tareas a condición

Son técnicamente factibles teniendo en cuenta que el intervalo P-F neto sea mayor que el tiempo requerido para la acción y así evitar consecuencias, si es posible definir una condición clara de falla potencial, si el intervalo P-F es razonablemente consistente, si es práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F, si el intervalo P-F es suficientemente largo para que sea útil.

5.7.2.1 Categorías de técnicas a condición

a) técnicas de monitoreo a condición, que implican el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos. En estas se encuentran las siguientes técnicas (diseñadas para detectar los efectos de las fallas), efectos dinámicos, efectos de partícula, efectos químicos, efectos físicos, efectos de temperatura y efectos eléctricos.

b) técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto, la aparición de un defecto en un artículo producido por una máquina está directamente relacionada con un modo de falla en la propia máquina.

c) técnicas de monitoreo de los efectos primarios, que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipos de monitoreo de procesos (velocidad, caudal, presión, temperatura, potencia, corriente, etc.).

d) técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos; como mirar, oír, tocar y oler.

El deterioro lineal entre "P" y "F" solo podría encontrarse donde los mecanismos que fallan estén relacionados de alguna manera con la edad del elemento. El objetivo de esto es obtener un intervalo de tarea a condición que sea más corto que el intervalo P-F, pero no tanto como para estar derrochando recursos. En la mayoría de las fallas el deterioro se acelera en las etapas finales.

Hay varias formas para determinar el intervalo P-F, estas son observación continua, comenzar con un intervalo corto y extenderlo gradualmente, intervalos arbitrarios, investigación (se simula la falla), y por medio de un enfoque racional (criterio, experiencia y análisis detallado).

5.7.2.2 Cuando vale la pena realizar tareas a condición

Si una falla es oculta y no tiene consecuencias directas; la tarea a condición para prevenir, debe reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel tolerablemente bajo.

Si hay consecuencias para el medio ambiente, solo se realiza si se puede confiar en que da suficiente advertencia de la falla para poder actuar a tiempo para evitar consecuencias.

Si no afecta la seguridad, la tarea debe ser costo-eficaz, esto quiere decir que en un periodo de tiempo el costo de la tarea a condición debe ser menor que el costo de no hacerla. El único costo de una falla funcional que tiene consecuencias no operacionales es el de reparación.

5.8 ACCIONES “A FALTA DE”: TAREAS DE BUSQUEDA DE FALLAS

Si no se encuentra tarea proactiva que reduzca el riesgo de la falla múltiple asociada con la función oculta a un nivel tolerablemente bajo, entonces se realiza periódicamente una tarea de búsqueda de falla.

Si no se encuentra tarea proactiva que reduzca el riesgo de falla que podría afectar el medio ambiente a un nivel tolerablemente bajo, obligatoriamente se debe rediseñar el componente o cambiar el proceso.

Si no se encuentra una tarea proactiva con un menor costo en una falla con consecuencias operacionales, la decisión “a falta de” inicial es no realizar mantenimiento programado.

Si no se encuentra una tarea proactiva con un menor costo en la falla sin consecuencias operacionales, la decisión “a falta de” inicial, es no realizar mantenimiento programado.

5.8.1 Búsqueda de falla

Hay tres tipos de mantenimiento: predictivo (chequear si algo esta fallando), preventivo (reacondicionar o reemplazar elementos a intervalos fijos), correctivo (reparar cuando están fallando o cuando fallaron).

Las tareas de búsqueda se llaman detectivas y se usan para revelar si algo ha fallado; aplica a fallas ocultas y estas solo afectan a los dispositivos de protección, también hay tareas cíclicas de búsqueda de falla que consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado.

El objetivo de esto es dar tranquilidad de que un dispositivo de seguridad dará la protección requerida. Al chequearlo no se deben perturbar los dispositivos y cuando no se puede chequear porque no hay acceso al dispositivo es casi siempre por un mal diseño. Al examinarse no se debe aumentar el riesgo de una falla múltiple. La búsqueda de fallas es técnicamente factible si es posible realizar la tarea, si la tarea no incrementa el riesgo de una falla múltiple y si es practico realizar la tarea al intervalo requerido y merece la pena si reduce la probabilidad de la falla múltiple asociada a un nivel tolerable.

Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de fallas apropiada y la falla múltiple podría afectar la seguridad o el medio ambiente, el rediseño es obligatorio. Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de fallas y la falla múltiple no afecta el medio ambiente ni la seguridad, entonces es aceptable no tomar ninguna acción, pero puede justificarse el rediseño si la falla múltiple tiene consecuencias muy costosas.

5.9 OTRAS ACCIONES “A FALTA DE”

5.9.1 Ningún mantenimiento programado

Solo es valido si no hay tarea cíclica apropiada para una función oculta y la falla múltiple no tiene consecuencias operacionales y no operacionales. Hay que tener en cuenta que el mantenimiento no es siempre la respuesta para problemas de confiabilidad crónicos y que debemos establecer lo que queremos que cada parte del equipo haga en su contexto operacional (pronto y

preciso), para poder hablar de lo adecuado de su diseño o sus requerimientos de mantenimiento.

5.9.2 Rediseño

Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una maquina entera, o cambiar una maquina de lugar, también el cambio en un proceso que afecte la operación de la planta y la capacitación o entrenamiento.

El sistema RCM considera primero al mantenimiento y luego al rediseño.

Consecuencias ambientales o para la seguridad: los objetivos del rediseño en este caso son: a) reducir la probabilidad de que ocurra el modo de falla a un nivel tolerable; b) cambiar el componente o el proceso de tal manera que la falla deje de tener consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.

Esto se logra comúnmente al instalar uno o más dispositivos de seguridad, como los siguientes: 1) Para alertar al operario en caso de condiciones de funcionamiento anormales; 2) Eliminar o minimizar las condiciones anormales que siguen a la falla del equipo y que de otra manera causarían un daño mas serio; 3) Para reemplazar a la función que ha fallado; 4) Para prevenir la aparición de situaciones peligrosas.

Al agregar dispositivos, los nuevos requerimientos de su mantenimiento también deben ser analizados. Si hay consecuencias ambientales o de seguridad el RCM no considera el factor económico.

Fallas ocultas: el riesgo de una falla múltiple puede ser reducido modificando el equipo así: a) hacer que la función oculta se haga evidente agregando otro dispositivo, b) sustituir la función oculta por una función evidente, c) sustituir la función oculta existente por un dispositivo mas confiable (aunque también oculto), d) duplicar la función oculta y así se logra un nivel de protección mucho mayor sin cambiar el intervalo de la tarea.

Consecuencias operacionales y no operacionales: para dar solución a esto se podría modificar la planta así: a) reducir el numero de veces que ocurre una falla, o posiblemente eliminarla, haciendo mas resistente o confiable al componente, b) reducir o eliminar las consecuencias de la falla, c) hacer que la

tarea preventiva sea costo-eficaz. Cualquier modificación que se le haga a un diseño debe estar justificado económicamente, solo con la excepción de que el cambio evite o reduzca la posibilidad de daños en el medio ambiente o la seguridad.

Hay que recordar que todo activo físico de una planta eventualmente va a ser superado por las nuevas tecnologías.

5.9.3 Recorridas de inspección

Se utilizan para detectar daños accidentales y para detectar las excepciones imprevistas en el comportamiento de las fallas. Ayuda a detectar los problemas debidos a negligencia o ignorancia y es una oportunidad para asegurar que los parámetros generales de mantenimiento sean satisfactorios y así poder controlar las rutinas de mantenimiento.

Estos chequeos pueden incluir por razones de conveniencia, ciertas tareas a condición específicas, pero en general los daños pueden ocurrir en cualquier momento y no se relacionan con ningún nivel definible de resistencia a la falla. Los chequeos no están basados en las características de la falla de ningún componente en particular, sino que su propósito es detectar excepciones imprevistas en el comportamiento de las fallas.

6. DISEÑO METODOLOGICO

La investigación realizada no pretende manifestar ninguna teoría en particular, sino la determinación de cuáles son las mejores técnicas en cuanto a la creación de programas de mantenimiento, con el fin de plantear el proceso de RCM. Por esto, el estudio es de tipo descriptivo, documental, explorativo, de caso y aplicado.

Para la puesta en marcha del proyecto es necesario tener fuertes bases teóricas, además de un plan de trabajo, esto quiere decir tener en un orden de ideas, de tiempo y de recursos. Anteriormente visto en el marco teórico se aprecia las bases teóricas, en este punto entra en juego el papel de orden de ideas, mejor expresado como diseño metodológico, que contempla uso de recursos, seguimiento de avances y entregas formales.

6.1 HOJA DE INFORMACION DE RCM

6.1.1 Contexto operacional de la envasadora de la línea 1.

La definición del contexto es simplemente una definición amplia de funciones. A continuación se muestra el contexto operacional realizado para la envasadora 1 de la línea 1 de embotellado en la Cervecería Bavaria de Bucaramanga.

CONTEXTO OPERACIONAL ENVASADORA DE BOTELLAS

La línea 1 opera con 2 envasadoras en paralelo de 36000 Bot/H para una capacidad total de 72000 Bot/H.

Se envasa en dos formatos, Costeñita 175ml (90%) y Pony malta 185ml (10%). Se opera de lunes a sábado en tres turnos diarios, con 8 horas de aseo 8 horas de mantenimiento semanales.

Se inicia producción los lunes a las cero horas, con formato Pony malta y se finaliza con formato Costeñita, durante el cambio de formato se hace un enjuague de agua caliente y agua fría (cambio Pony a Costeñita). Para lo cual se establecen las siguientes condiciones para el arranque, operación y aseo de la Envasadora de botellas HK.

Suministro de vapor a 45Psi, 2m³/H de agua potable con un límite operacional de presión 60Psi, 15Kg/H de CO₂ a una presión mínima de 60Psi, presión mínima de aire de 80Psi y cerveza a una temperatura máxima de cerveza 3°C, contenido de oxígeno total de 20PPB y contenido de CO₂ entre 2.5 y 2.7%.

De esta manera la lavadora provee de envase lavado a inspectores de botella y envasadoras, para el proceso de envasado de producto según la referencia. Operando tres turnos de 8 horas

Dado que la función principal de la Envasadora es la de llenar y tapar las botellas, se puede diferenciar los siguientes sistemas que operan en ella, así:

SUBSISTEMAS DE LA ENVASADORA H&K

- Sistema de llenado.
- Sistema de tapado.
- Sistema de manejo de botellas y transmisión.
- Sistema de potencia y control.
- Sistema incrementador de espuma (HDE).
- Sistema de limpieza (CIP).

TABLEROS DE OPERACIÓN DE LA ENVASADORA H&K

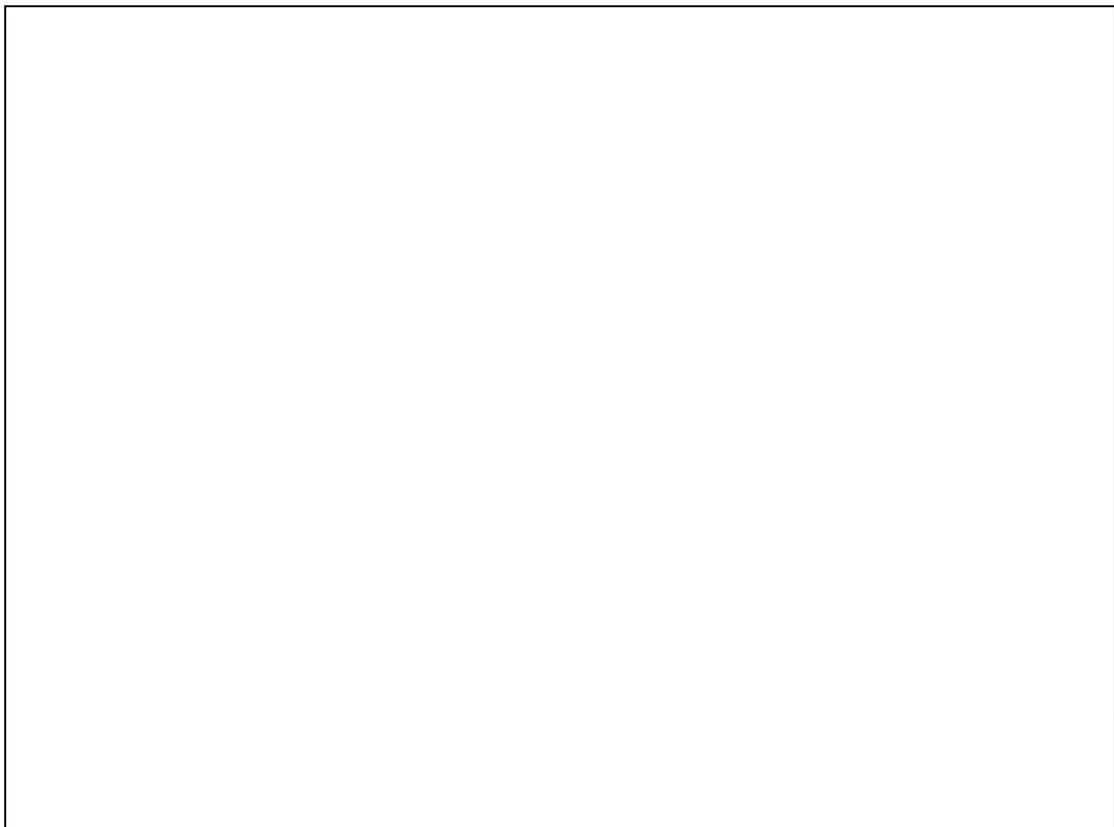
- Tablero principal (eléctrico y control).
- Tablero de operación (Touch Screen).
- Tablero de instrucción de servicios.

- Tablero de presión de la corchadora o tapadora.

COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA

- Motor bomba de vació.
- Bomba de alta presión HDE.
- Distribuidor principal.
- Anillo de vació.
- Calderín.
- Carrusel.
- Conjunto válvula de llenado.
- Mesa giratoria.
- Conjunto de pistones de elevación.
- Leva cuernavaca.
- Cajas de transmisión de movimiento.
- Motor eléctrico principal.
- Corchadora.
- Conjunto de recibo y distribución de tapa.
- Sistema de control de llenado.
- Conjunto de manejo de botellas.

DIAGRAMA DE BLOQUES DE GRUPO EMPRESARIAL BAVARIA S.A.



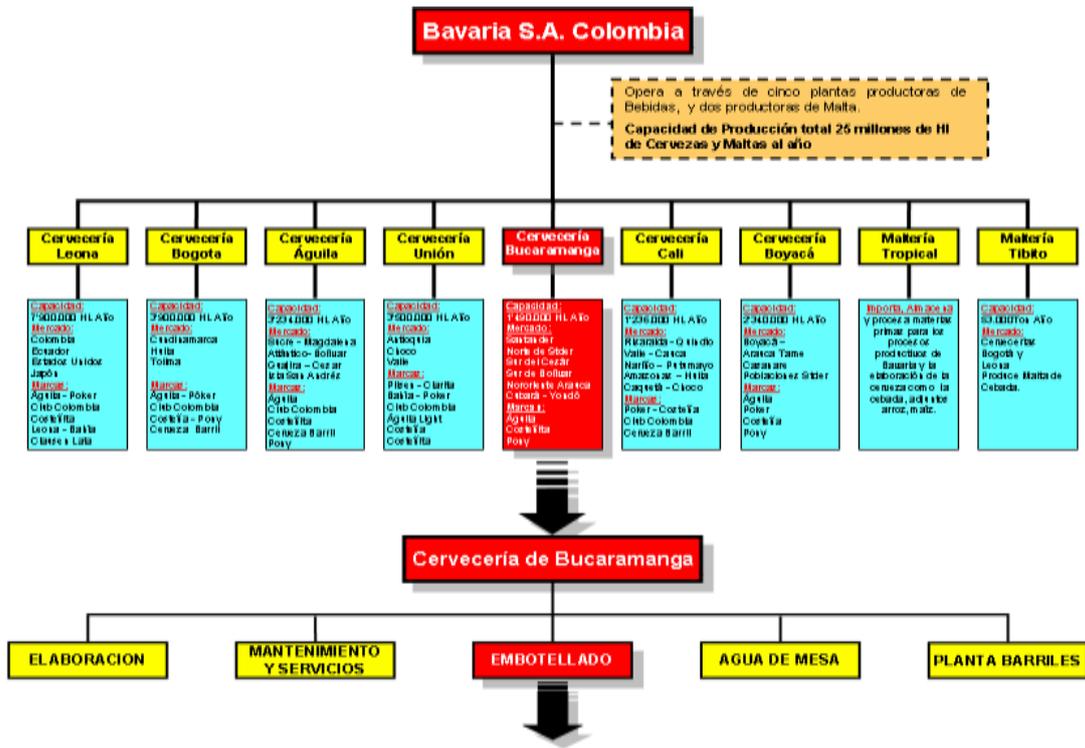
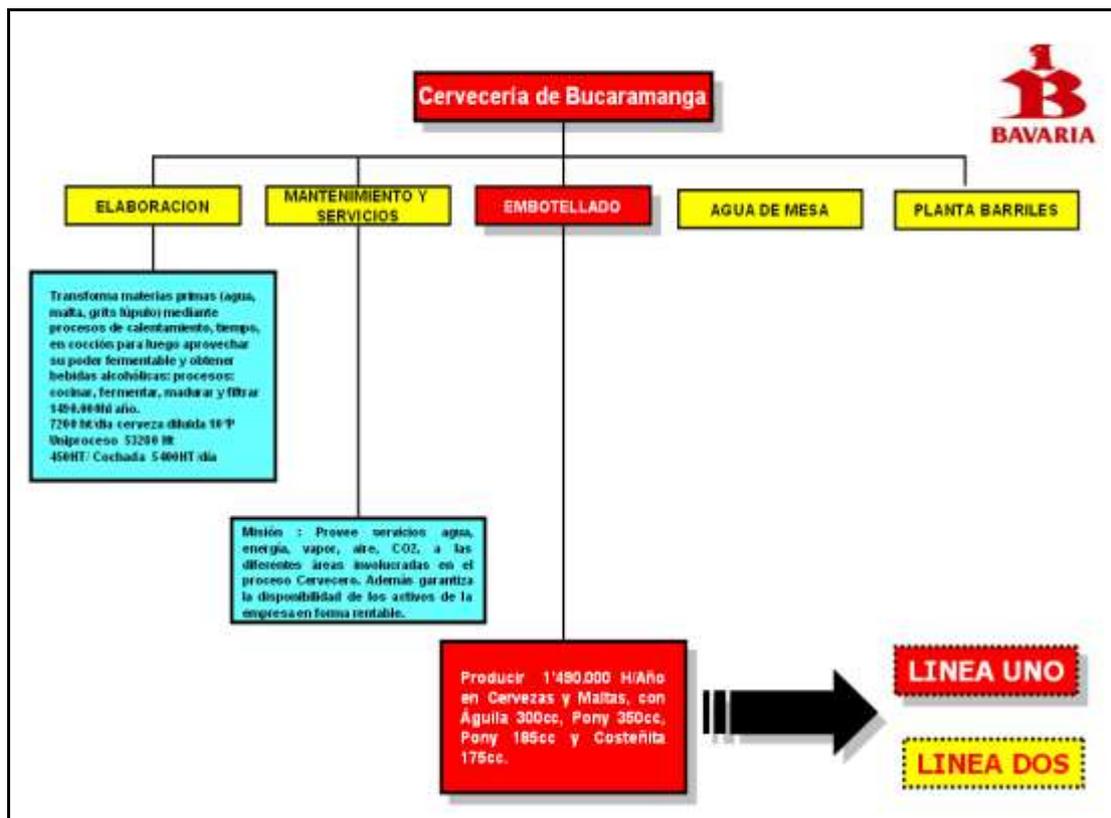
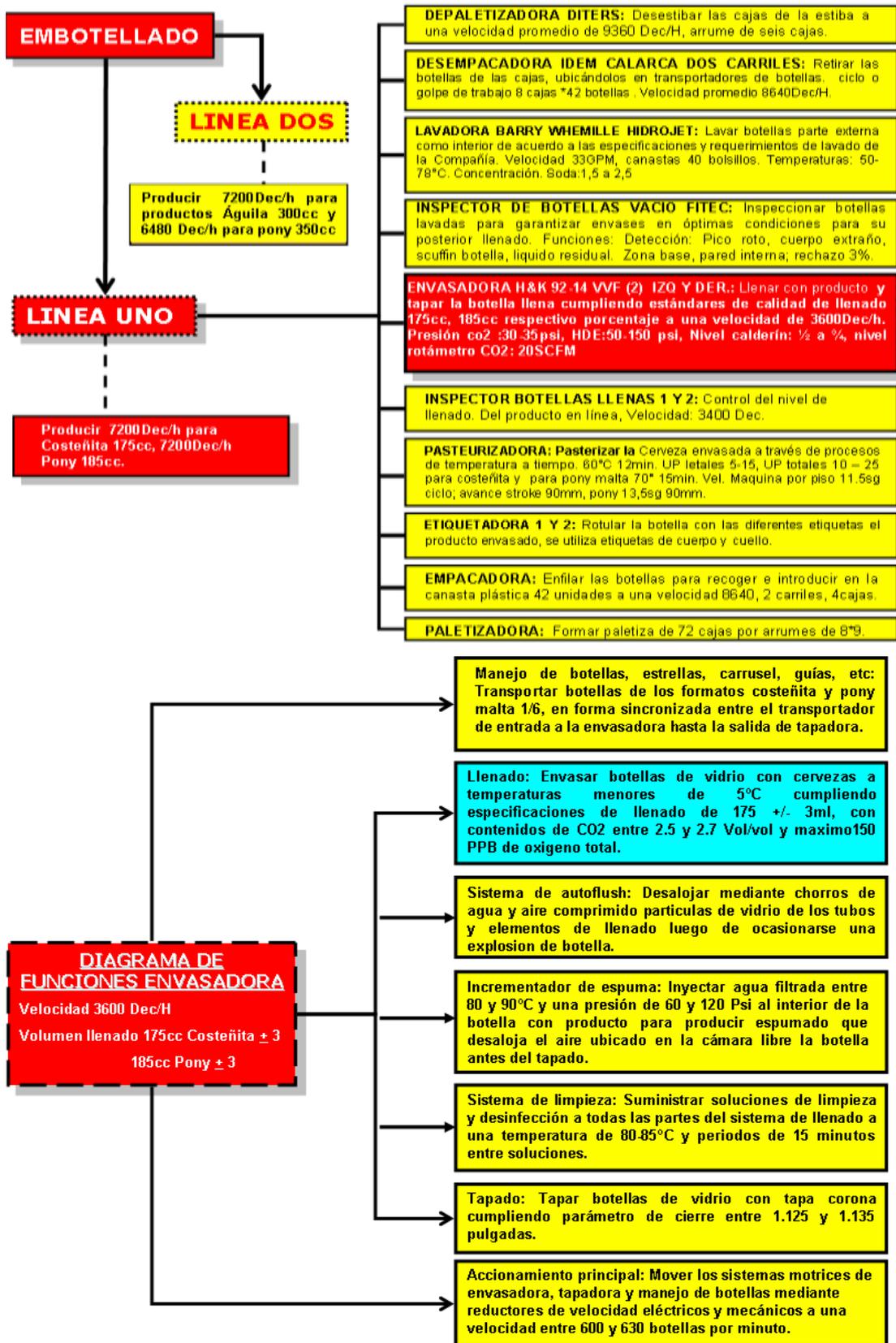


DIAGRAMA DE BLOQUES DE CERVECERIA BAVARIA – BUCARAMANGA



DIAGRAMAS FUNCIONALES



DIAGRAMAS DE ENTRADAS Y SALIDAS

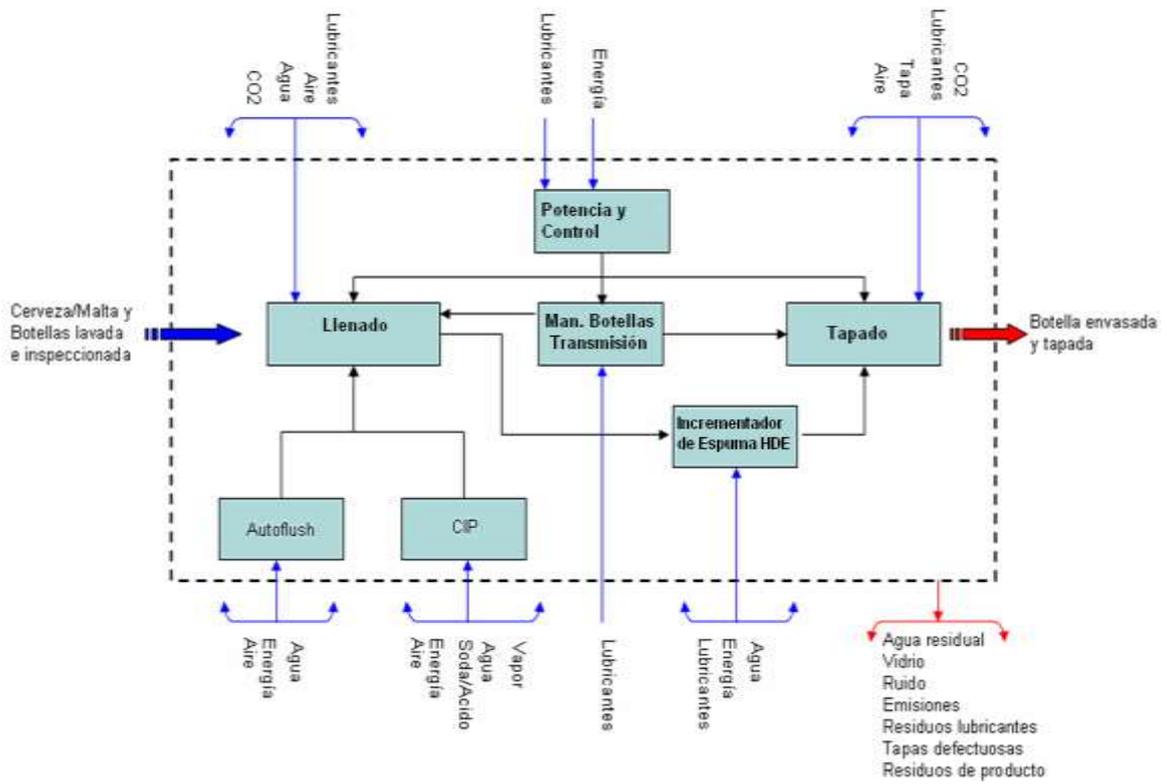


DIAGRAMA DE LA TAPADORA

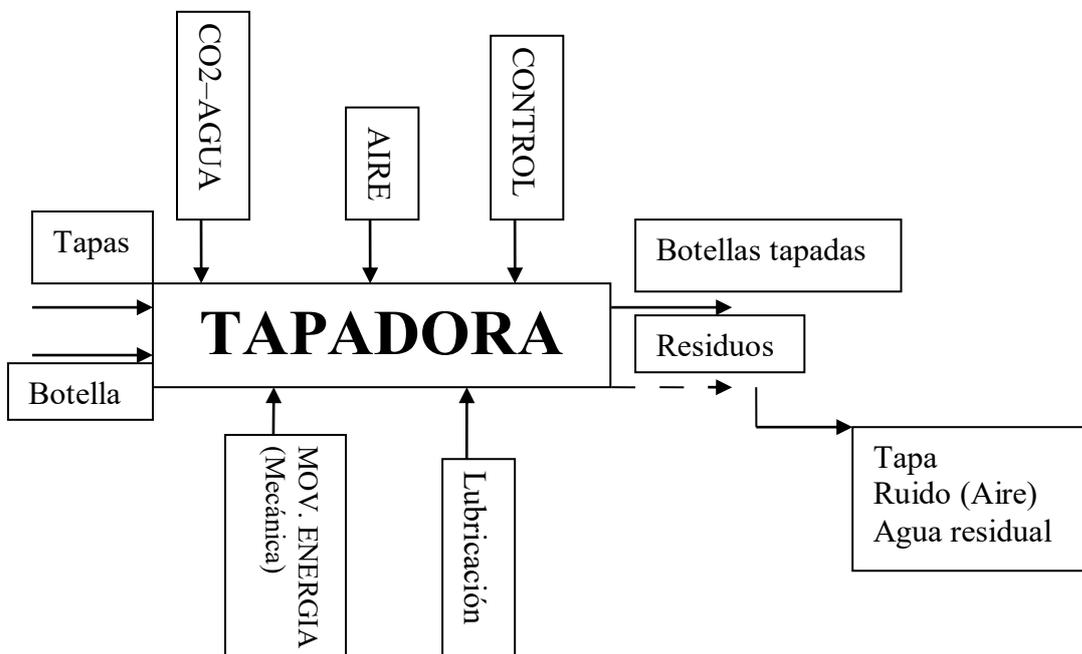
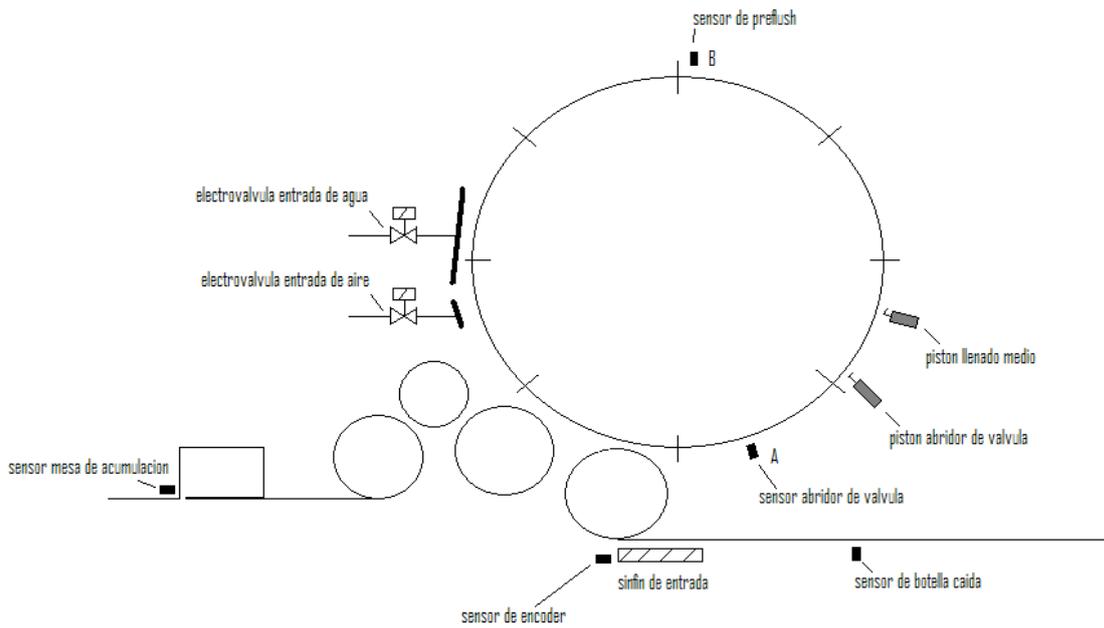
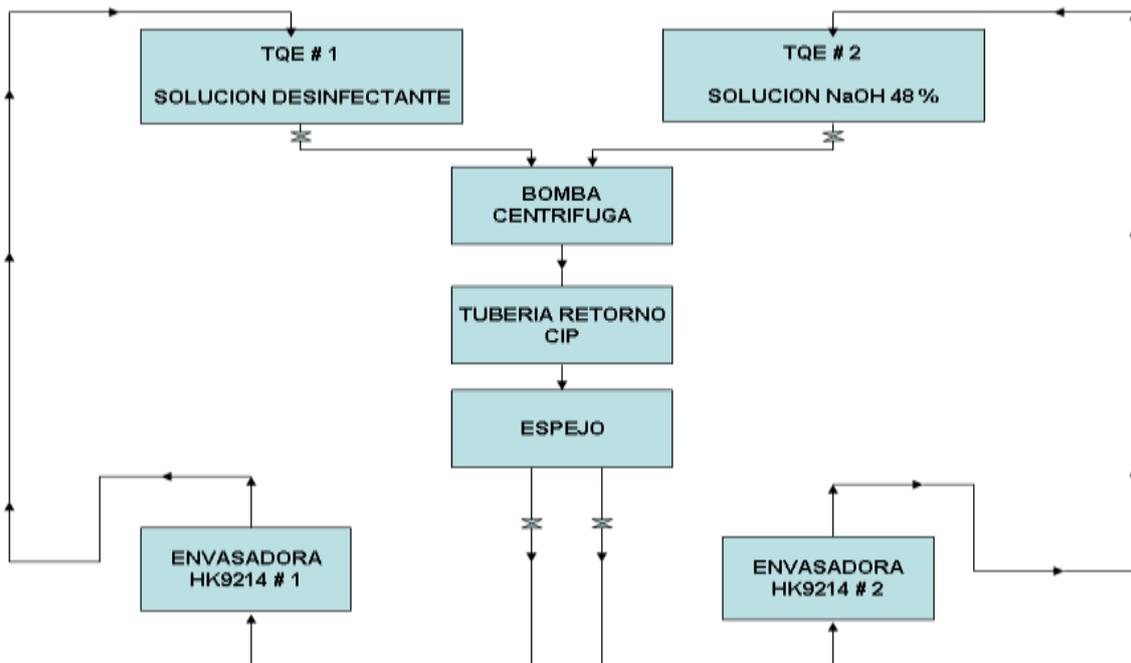


DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL

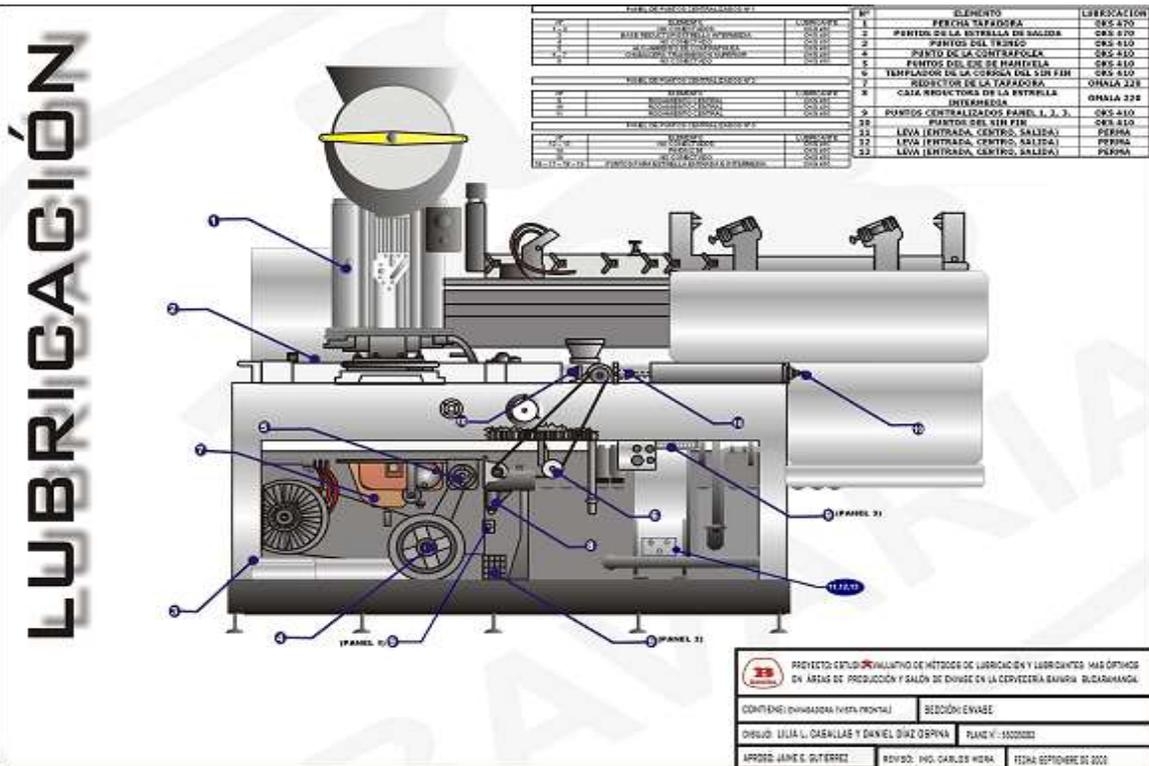
El siguiente es un esquema de la ubicación de los sensores y actuadores de la envasadora:



FLUJOGRAMA DEL CIP INTERNO



PLANOS DE LUBRICACION ENVASADORA VISTA FRONTAL



Nº	ELEMENTO	LUBRIFICACION
1	PERCHA TAPADORA	OKS 470
2	PUNTOS DE LA ESTRELLA DE SALIDA	OKS 470
3	PUNTOS DEL TRINEO	OKS 410
4	PUNTO DE LA CONTRAPOLEA	OKS 410
5	PUNTOS DEL EJE DE MANIVELA	OKS 410
6	TEMPLADOR DE LA CORREA DEL SIN FIN	OKS 410
7	REDUCTOR DE LA TAPADORA	OMALA 220
8	CAJA REDUCTORA DE LA ESTRELLA INTERMEDIA	OMALA 220
9	PUNTOS CENTRALIZADOS PANEL 1, 2, 3	OKS 410
10	PUNTOS DEL SIN FIN	OKS 410
11	LEVA (ENTRADA, CENTRO, SALIDA)	PERMA
12	LEVA (ENTRADA, CENTRO, SALIDA)	PERMA
13	LEVA (ENTRADA, CENTRO, SALIDA)	PERMA

PANEL DE PUNTOS CENTRALIZADOS Nº 1		
Nº	ELEMENTO	LUBRIFICACION
1 – 2	NO CONECTADOS	OKS 410
3	BASE REDUCTOR ESTRELLA INTERMEDIA	OKS 410
4	NO CONECTADO	OKS 410
5	ALOJAMIENTO DE CONTRAPOLEA	OKS 410

6 – 7	CHUMACERA TRANSMISION SUPERIOR	OKS 410
8	NO CONECTADO	OKS 410

PANEL DE PUNTOS CENTRALIZADOS Nº 2

Nº	ELEMENTO	LUBRICACION
9	RODAMIENTO CENTRAL	OKS 410
10	RODAMIENTO CENTRAL	OKS 410
11	RODAMIENTO CENTRAL	OKS 410

PANEL DE PUNTOS CENTRALIZADOS Nº 3

Nº	ELEMENTO	LUBRICACION
12 – 13	NO CONECTADOS	OKS 410
14	PIÑON Z 86	OKS 410
15	NO CONECTADO	OKS 410
16 – 17 18 – 19	PUNTOS PARA ESTRELLA ENTRADA E INTERMEDIA	OKS 410

VISTA LATERAL

LUBRICACIÓN

Nº	ELEMENTO	LUBRICACION
1	ENGRAGUE DEL MOLINO	OKS 470
2	PUNTOS DE LA TAPADORA	OKS 410
3	COLUMNA CENTRAL DE LA TAPADORA	OKS 470
4	CORREA DE LA PERCHA	OKS 470
5	PUNTOS DEL ARBOL CENTRAL	OKS 470
6	CRIPALIERA	OKS 511
7	CASA REDUCTORA PRINCIPAL	OMALA 229
9	CRIVALLERA DEL MOLINO	TELLUS 46
10	PISTONES ELIVADORES	TELLUS 46
11	REGULADOR DE LA LEVA DEL PISTON DE LA TAPADORA	OKS 470
12	REDUCTOR PRINCIPAL PARTE SUPERIOR	PERNA

Nota: Cuando los pistones de la tapadora estén elevados se observan 2 puntos de lubricación entre los pistones lubricados.

PROYECTO: ESTUDIO EVALUATIVO DE METODOS DE LUBRICACION Y LUBRICANTES MAS OPTIMOS EN AREAS DE PRODUCCION Y SALON DE ENVASE EN LA CERVECERIA BANARIA BUZARAMANGA.

CONTIENE: ENVASADORA (VISTA LATERAL) SECCION: ENVASE

DISEÑO: LILIA L. CASALLAS Y DANIEL DIAZ DESPINA PLANO Nº: 19025383

APROBÓ: JAIME C. GUTIÉRREZ REVISÓ: INDI, CARLOS HIDRA FECHA: SEPTIEMBRE DE 2003

Nº	ELEMENTO	LUBRICACION
1	EMBRAGUE DEL MOLINO	OKS 470
2	PUNTOS DE LA TAPADORA	OKS 470
3	COLUMNA CENTRAL DE LA TAPADORA	OKS 470
4	CORREA DE LA PERCHA	OKS 470
5	PUNTOS DEL ARBOL CENTRAL	OKS 470
6	CREMALLERA	OKS 511
7	CAJA REDUCTORA PRINCIPAL	OMALA 220
9	CREMALLERA DEL MOLINO	TELLUS 46
10	PISTONES ELEVADORES	TELLUS 46
11	SEGUIDOR DE LA LEVA DEL PISTON DE LA TAPADORA	OKS 470
12	REDUCTOR PRINCIPAL PARTE SUPERIOR	PERMA

CONTEXTO OPERACIONAL GRUPO EMPRESARIAL BAVARIA-SABMiller

Bavaria es el nombre de la operación industrial de SABMiller en Colombia, y el más importante conglomerado industrial de bebidas del país. Está conformado por 5 plantas cerveceras y una maltería de Bavaria, Cervecería Unión en Itagüí, Cervecería Leona en Tocancipá, Productora de Jugos en Tulúa, Maltería Tropical en Cartagena e Impresora del Sur en Cali.

SABMiller es la segunda cervecería mundial en volumen, con operaciones en cuatro continentes y una producción que supera los 170 millones de hectolitros de cerveza anuales en más de 170 marcas.

Suramérica constituye, desde la fusión de Bavaria con SABMiller, la segunda región más importante en términos de ganancias para la Compañía, luego de la operación en Sudáfrica, su país de origen, representando el 21% de las utilidades.

BAVARIA COLOMBIA

Bavaria S.A., empresa fundada el 4 de abril de 1889, opera en Colombia a través de siete plantas productoras de bebidas, Cervecería Águila, Cervecería Bogotá, Cervecería Bucaramanga, Cervecería Boyacá, Cervecería Cali,

Cervecería Unión y Cervecería Leona; además de dos plantas productora de malta, Maltería Tropical y Maltería de Tibitó.



Las fábricas de Bavaria tienen una capacidad total de producción de 25 millones de hectolitros de cervezas y maltas al año.

En aguas de mesa, nuestras plantas embotellan 1,4 millones de hectolitros anuales, el 40% del total del Grupo en el país, mientras que en refrescos se producen 350.000 hectolitros al año, el 57% de la operación en Colombia.

Hemos obtenido las certificaciones en NTC ISO 9000, Buenas Prácticas de Manufactura, NTC ISO 14000 y NTC OHSAS 18000. Siguiendo el quinto eje estratégico del GEB, se desarrollan proyectos de Responsabilidad Social, encaminada a la ayuda y asistencia para la solución de los problemas que aquejan a parte de la comunidad.

Lo anterior demuestra nuestro permanente compromiso con los consumidores, la comunidad, el medio ambiente y nuestros colaboradores.

Cada planta cuenta con un almacén de repuestos e insumos con disponibilidad de acuerdo a las necesidades, siguiendo las políticas de uso racional de los recursos.

CONTEXTO OPERACIONAL CERVECERIA DE BUCARAMANGA

Capacidad de producción de 1.490.000 de hectolitros de cerveza al año, con los cuales atiende a los departamentos de Santander (provincias de Mares y Soto), Norte de Santander, sur del Cesar (municipios de San Alberto, San Martín, Aguachica, Pelaya. Gamarra y Pailitas), sur de Bolívar (La Gloria, Simaña, Rioviejo, San Pablo, Santa Rosa y Simití), nororiente de Arauca (Arauca, Arauquita, Saravena, Fortul y La Esmeralda), así como los municipios de Cubará (Boyacá) y Yondó (Antioquia)

La Cervecería de Bucaramanga comenzó a construirse en 1944 y fue inaugurada el primero de diciembre de 1948. Esta ubicada a 4.5 kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, la capital del departamento de Santander. El 27 de julio de 2005 estrenó sus nuevas instalaciones después de un proceso de modernización y potenciación de su planta física, instalaciones y equipos.

CAPACIDAD INSTALADA		
Cervezas	Producción	1.490.000 millones de Hl/año
	Cocimiento	450 Hl/cocimiento
	Líneas de envase	Línea 1: 72.000 botellas/hora (envase 175 cc) Línea 2: 72.000 botellas/hora (botella 350 cc)
	Cerveza del Barril	-
Agua Brisa	360 Hl/año	
Depósito	-	

En esta planta se realizan procesos de elaboración y embotellado de cervezas de diferentes marcas y presentaciones: Águila y Costeñita. Además de bebidas como Pony Malta, Agua Brisa y Cerveza al Barril. Nuestra capacidad total de producción para cervezas y maltas es de 1.490.000 hectolitros normales por año y 50 galones por minuto en la planta de Agua Brisa. Para esto contamos con líneas de producción que trabajan bajo las normas mundiales de excelencia.

Hemos obtenido las certificaciones en NTC ISO 9000, Buenas Prácticas de Manufactura, NTC ISO 14000 y NTC OHSAS 18000. Siguiendo el quinto eje estratégico del GEB, la Cervecería de Bucaramanga desarrolla proyectos de Responsabilidad Social, encaminada a la ayuda y asistencia para la solución de los problemas que aquejan a parte de la comunidad.

Lo anterior demuestra nuestro permanente compromiso con los consumidores, la comunidad, el medio ambiente y nuestros colaboradores.

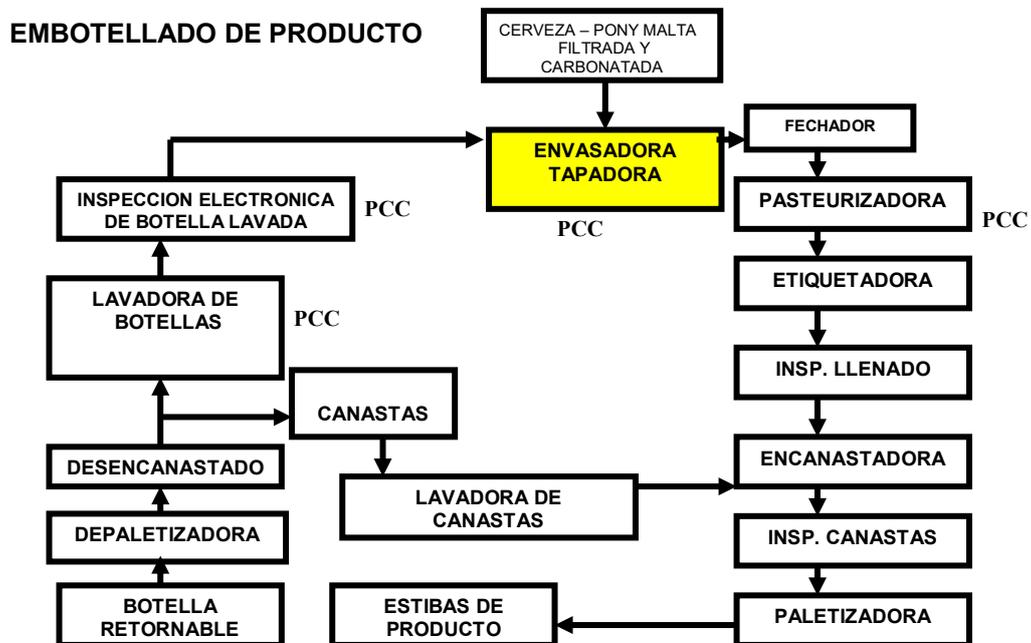
CONTEXTO OPERACIONAL SALON DE EMBOTELLADO

La Cervecería de Bucaramanga tiene instaladas dos líneas de envase con capacidad de 7200 dec/hora, cada una. La línea 1 de análisis cuenta con los siguientes equipos:

	MARCA	MODELO	AÑO	CAPACIDAD TEORICA	CICLO/ TIEMPO
Depaletizadora	DITER'S	DAL 3300-3	1995	3300 CAJAS/Hr	85 Seg
Desencajonadora	IDEM	CALARCA	1994	8464 DECENAS/Hr	8 Seg
Lavadora de cajas	MAPER	2 CARRILES	1997	3000 CAJAS/Hr	
Lavadora de botellas	BARRY WEHMILLER	HYDRO JET A-640-1112	1969	76800 BOT/Hr	33 Golpes/min
Inspector de botellas vacías	FILTEC	OMNIVISION 900	1993	45000 BOT/Hr	
Inspector de botellas vacías	FILTEC	OMNIVISION 900	1993	45000 BOT/Hr	
Llenadora	HK	VVF 92/14	1978	36000 BOT/Hr	8,76 seg
Llenadora	HK	VVF 92/14	1978	36000 BOT/Hr	8,60 seg
Pasteurizadora	BARRY WEHMILLER	1475 RR-DD-M2-VORTEX	1969	80000 BOT/Hr	8.5 seg
Etiquetadora	KRONES	TOPMATIC 45-8-9/130-1800	1995	42000 BOT/Hr	
Etiquetadora	KRONES	STARMATIC 32-8-	1988	40000 BOT/Hr	

		6/130-960			
Codificador de botellas	VIDEOJET TECHNOLOGIES INC	EXCEL 178i	1996	45000 BOT/Hr	
Codificador de botellas	VIDEOJET TECHNOLOGIES INC	EXCEL 178i	1996	45000 BOT/Hr	
Encajonadora	IDEM	CALARCA	1994	8464 DECENAS/Hr	7 Seg
Inspector de faltantes de botellas en cajas	FILTEC		2002	XXXX CAJAS/Hr	
Paletizadora	DITER'S	HAL 3300-3	1995	3000 CAJAS/Hr	85 Seg
Transp. de botellas	Cervecería		2000		
Transportadores de cajas	Cervecería		2005		

Con los activos instalados se tiene como objetivo alcanzar una eficiencia mecánica del 87%, eficiencia fábrica del 74%, en la producción de las marcas Águila, Costeñita y Pony Malta.



**CONTEXTO OPERACIONAL
SISTEMA DE LLENADO LINEA 1**

PARAMETROS DE LA ENVASADORA H&K

El funcionamiento correcto de una envasadora depende en gran parte de los valores de presiones de trabajo empleados. A continuación presentaremos algunos valores recomendados por el fabricante de la máquina (H & K).

- Presión de cerveza (a la llegada de la maquina)
DE 2.00 (29.00 LB) A 4.00 (58.00 LB) BAR
- Presión de aire al pistón elevador
DE 2.50 (36.25 LB) A 3.00 (43.50 LB) BAR
- Vacío obtenido a nivel del mar por la bomba
 - a) SIN BOTELLA
DE 0.70 (10.15 LB) A 0.80 (11.60 LB) BAR
 - b) CON BOTELLA
DE 0.90 (13.05 LB) A 0.94 (13.63 LB) BAR
- Diferencia de presión entre la adición de co2 y la presión de cerveza en el calderín
DE 0.20 (2.90 LB) A 0.30 (4.35 LB) BAR
- Presión del sistema incrementador de espuma, HDE
MAX 50.00 (725.00 LB)
- Presión de ajuste en la bomba de agua (HDE)
DE 30.00 (435.00 LB) A 40.00 (580.00 LB) BAR
- Caudal de la bomba de agua (HDE)
320 LITROS/HORA
- Consumo de agua en la tobera de inyección
10 LITROS/HORA
- Temperatura del agua de inyección
MAX. 90,00 °C
- Consumo de agua de una bomba de vacío *

	KB33	KB120	KB200	KB400
AGUA DE SERVICIO (M ³ /H)	3.00	2.40	2.00	1.30
AGUA FRESCA (M ³ /H)	1.85	1.60	1.45	1.05

* Estos consumos dependen de las r.p.m y de las diferencias de la temperatura.

- Presión de aire en el canal de tapas
DE 1.50 (21.75 LB) A 2.00 (29.00 LB) BAR
- Presión de aire porta-tapones (transporte tapas)
DE 2.00 (29.00 LB) A 3.00 (43.50 LB) BAR

CONDICIONES DE ENTRADA PARA LA ENVASDORA H&K

- CO2: 100 – 150 PSI
- AIRE: 80 – 90 PSI
- AGUA: 30 – 50 PSI
- LUBRICANTES: Aceite tellus 46 (anillo de aire)
Grasa OXS 470
Aceites SAE 60
- TAPA CORONA: DIAMETRO para costeñita
- TAPA CORONA: DIAMETRO para pony malta 1/6
- VAPOR: máximo 45 psi

CONDICIONES DE SALIDA PARA LA ENVASDORA H&K

- % AGUA RESIDUAL (AUTOFLUSH) = $(\# \text{ boquillas} * \# \text{ explosiones} * \text{duración de ciclo} * \# \text{ vueltas}) / 100$
- % AGUA LUBRICACION MANDOS = $(\# \text{ mandos} * \# \text{ boquillas}) / 100$.
- RESIDUO DE VIDRIO MAXIMO PERMITIDO = 0.04 %
- RUIDO MAX PERMITIDO = 90 DCB
- EMISIONES (Verificar protocolo)
- 0 % RECICLADO.
- RECHAZO DE TAPA MAXIMO = 2 %
- MERMA MAXIMA = 1.6 %
- ESPECIFICACIONES DE BOTELLA = Especificación de llenado para pony malta 1/6 (185 cm³ – 177 cm³), color (marrón); Especificación de llenado para costeñita (175 cm³ – 167 cm³), color (verde).

ETAPAS DE LLENADO

- **CIERRE:** La válvula sin botella esta totalmente cerrada, no hay comunicación con la parte interna del recipiente, la mariposa esta abajo. Esta operación es necesaria para permitir la entrega de la botella.
- **VALVULA DE VACIO:** Una pista acciona la válvula de vacío con el propósito de comunicar el interior de la botella con la bomba de vacío a través del anillo de vacío y el distribuidor principal de la maquina. Esta etapa busca eliminar la mayor cantidad de aire contenido en la botella para garantizar la calidad del producto. La válvula se cierra cuando deja de estar en contacto con la pista.
- **VALVULA DE CONTRAPRESION:** Al continuar el giro la envasadora, la válvula de contrapresión entra en contacto con un abridor neumático este acciona la válvula permitiendo así el paso del CO₂ por el tubo de aire a la botella. El propósito de contrapresionar la botella es asegurar la entrada suave y rápida de la cerveza y evitar incorporación de aire. El abridor eléctrico o neumático no opera mientras no existan botellas debajo de la válvula.
- **VALVULA DE LLENADO:** Cuando se iguala la presión de la botella y la del calderín, queda liberado el resorte grande que expulsa el molinillo junto con el tubo, y la válvula permite la entrada del líquido.
El liquido sale por el cono, pasa externamente por el tubo de aire hasta el reten de pantalla donde se desvía hacia las paredes de la botella. La velocidad de llenado es proporcional a la velocidad de salida de CO₂ de la botella.
El líquido sube hasta taponar el tubo de aire. La mezcla CO₂ – Aire contenida en la botella llega al calderín y allí el aire por ser mas liviano es evacuado por el flotador de alivio ubicado en la parte superior del calderín.
Para el sistema de llenado en el calderín se presentan dos etapas:
ALIVIO DE PRESION: Permite la salida hacia la atmósfera del CO₂ que esta contrapresionando el tanque facilitando así el ingreso de la cerveza al mismo, disminuyendo la concentración de aire en el calderín.
CONTRAPRESION: Permite la entrada de CO₂ para aumentar la contrapresión dentro del tanque y así, al presionar la cerveza, impedir

que ella entre en forma excesiva, deteniéndola suavemente, pero en forma efectiva.

- **VALVULA DE ALIVIO:** Esta es la última etapa del proceso y busca eliminar la alta presión de la botella igualándola a la presión ambiente con la finalidad de evitar el rebote del producto. Esta válvula esta ubicada junto a la válvula de vacío y es accionada por una pista de teflón ubicada al final del recorrido de la botella.

LISTADO DE FUNCIONES DEL SISTEMA DE LLENADO

FUNCION PRINCIPAL

1. Envasar botellas de vidrio a una velocidad de 3600 decena por hora para formatos de 175 y 185ml con una desviación de 3ml.

FUNCIONES SECUNDARIAS

2. Contener el producto a envasar.
3. Permitir regular la velocidad de la maquina hasta un máximo de 650 bpm.
4. Mantener el nivel el calderín entre 50 y 75% de su capacidad.
5. Evitar la mezcla de fluidos en el distribuidor.
6. Permitir que el calderín sea drenado.
7. Ventear CO₂ cada vez que ingresa producto al calderín por un tiempo máximo de 0.8 segundos.
8. Aliviar la presión del producto en el calderín cuando exceda de 60Psi.
9. Prevenir que las personas sean cortadas cuando se explota una botella.
10. Contener el aire comprimido para accionamiento de cilindros elevadores.
11. Asegurar que la válvula de llenado sea cerrada cuando se produce una explosión de botella.
12. Eliminar residuos de vidrio cuando se produce una explosión de botella.
13. Permitir detener la maquina en caso de emergencia desde el tablero de mando.
14. Desalojar el aire contenido dentro de la botella con una condición mínima de -9 Psi.

15. Emitir menos de 90dB medidos a una distancia de 5 metros a la salida del venteo de aire.
16. Indicar la presión de CO₂ del producto en el calderín con un margen de error máx. del 10% de la presión real.
17. Indicar la temperatura del producto con un margen de error máx. del 20% de la temperatura real.
18. Emitir una señal sonora cuando esta próximo el cambio de tanque de contrapresión.
19. Indicar la presión de aire de los cilindros elevadores con un margen de error máx. del 5% de la presión real.
20. Parar la maquina si hay caída de tubo de aire dentro de botella.
21. Tener aspecto aceptable.

CONTEXTO OPERACIONAL SISTEMA DE TAPADO LINEA 1

Un funcionamiento sin perturbaciones lo garantizan solamente tapones de corona que, en su diámetro exterior y su altura tengan la medida justa.

	“d”	“h”	Espesor
Tapones corona según DIN 6099 (tapones normales)	32,1 +/- 0,3	6,75 +/- 0,15	0,26
Tapones de corona Schall-o-Schell (tapones bajos)	32,1 +/- 0,3	6 +/- 0,15	0,26

Para el barnizado y la impresión tiene que utilizarse, a ser posible, laca resistente a la abrasión con el fin de mantener el desarrollo de polvo dentro de límites reducidos.

El par de giro se transmite de una rueda de cadena en el árbol principal mediante cadena Triplex a través de un embrague a la rueda en el árbol helicoidal del engranaje helicoidal de la maquina de tapones corona y, desde aquí las piezas rotatorias de la maquina de tapones de corona (mesa portadora

de botellas). El embrague en el árbol principal sirve para parar la maquina de tapones corona. El engranaje helicoidal funciona en baño de aceite. Para el control de nivel de aceite tiene que quitarse la plancha protectora en el lado frontal de la envasadora. Una corona de rueda dentada recta que se halla en la mesa portadora de botellas acciona, a través de una contra-rueda, la estrella de empuje de botellas.

La altura de la maquina tapadora tiene que ajustarse de forma que la botella introduzca la parte inferior del elemento tapador aproximadamente 3mm en la parte superior (compensación de botellas), cuando la botella este en el punto mas bajo de la curva de cierre.

Los tapones llegan del depósito de almacenamiento a un tambor que, junto con el disco del molino, gira lentamente. El deposito receptor de tapones esta dispuesto de forma separada del tambor de tapones. El tambor de tapones con disco de molino se acciona, a través de un par de ruedas dentadas rectas y ruedas cónicas, por medio del soporte del cabezal de cierre rotatorio. El embrague del disco de fricción en el árbol intermedio desconecta el disco del molino en caso de grandes resistencias en el molino de tapones corona.

Desde el tambor llegan los tapones a través de un desvío a dos canales separados entre si para volver a unirse, después de un giro de 180° del canal posterior, con los tapones de corona del canal delantero.

Desde la unión de los tapones, los mismos son conducidos a los cabezales de cierre, a través de un canal vertical recto y una curva de 90°. En la parte recta esta instalado un control de tapones. Cuando faltan tapones, el control lo anuncia por una señal visual.

Con el fin de poder eliminar con rapidez perturbaciones en el canal de tapones producidas por tapones defectuosos, se han dispuesto, primeramente, en la entrada junto al canal de tapones una compuerta desmontable, en segundo lugar en la curva de cambio de dirección una tapa desmontable y en tercer lugar una tapa giratoria en la parte inferior del canal. Dos líneas separadas de aire llegan desde el armario de distribución al canal de tapones. Una línea va a

varios puntos del canal de tapones para acelerar la afluencia de los tapones; la otra línea sopla los tapones del extremo del canal en los elementos de cierre. Los elementos de cierre dispuestos en el soporte del cabezal de cierre rotatorio se conducen obligatoriamente hacia arriba y hacia abajo por medio de una vía de leva fijada en la parte superior fija. Dos resortes de compresión de distintas dimensiones producen la presión necesaria para el apriete del tapón corona.

Al pasar, el elemento de cierre ha tomado un tapón corona del canal de tapones y baja guiado por la vía de la leva, a la botella que esta por debajo. El tapón se mantiene en su posición por medio de dos imanes. La tulipa de centrado del porta-tapones conduce la cabeza de la botella exactamente al centro y con ello en el tapón corona. La botella sube el puntal de expulsión que esta bajo presión de resorte. En el posterior transcurso del movimiento descendiente del elemento de cierre, la botella entrara en el anillo de cierre en una medida antes determinada, colocándose el borde exterior del tapón corona. Al haberse alcanzado la profundidad ajustada, el puntal de expulsión golpea contra un tope. Con el último recorrido del puntal de expulsión queda el bloqueo de bolas libre que apoya la parte inferior del elemento contra la parte superior. Ahora puede entrar la parte inferior, que se encuentra solamente bajo la presión relativamente baja del puntal de expulsión, en la parte superior para compensar tolerancias de altura de botellas. En el de elevación del elemento la botella es empujada del cono mediante el puntal de expulsión, el cual esta bajo presión de muelle.

LISTADO DE FUNCIONES DEL SISTEMA DE TAPADO

FUNCION PRINCIPAL

1. Tapar botellas de vidrio con tapa corona cumpliendo parámetro de cierre entre 1.125 y 1.135 pulgadas.

FUNCIONES SECUNDARIAS

2. Indicar la presión de aire en los pistones de la tapadora con un margen de error max. Del 10% de la presión real.
3. Prevenir que las personas sean cortadas cuando se explota una botella a la salida de la tapadora.

4. Evitar la salida de botellas sin tapa.
5. Permitir regular la presión de aire en el canal de tapas entre 0 y 50 psi.
6. Emitir una señal visual cuando el nivel de tapas en la tolva sea el mínimo permitido.

CONTEXTO OPERACIONAL

SISTEMA DE MANEJO DE BOTELLAS LINEA 1.

Las botellas entran primero a la sección de llenado de la envasadora.

Un sinfín las recibe del transportador de cadenas y las separa una determinada distancia unas de otras, dependiendo de la separación de los alojamientos de las estrellas de transferencia.

Luego son entregadas a las estrellas de transferencia. Ella sincroniza la colocación de las botellas sobre las plataformas de elevación. Hay una plataforma de elevación para cada botella. Las plataformas van en la parte exterior de la mesa giratoria.

En un giro de la mesa, las plataformas se elevan y presionan las botellas contra las válvulas de llenado, a través de las cuales se llenan.

Al terminar el llenado, las plataformas de elevación descienden y entregan las botellas a una segunda estrella de transferencia, que las pasa a la sección de tapado.

Mientras las botellas giran con esta estrella, pasan bajo la boquilla del sistema incrementador de espuma por donde sale un fino chorro de agua que aumentará la espuma en el cuello de la botella.

Al salir de esta estrella las botellas son recibidas por las plataformas portabotellas de la tapadora.

Simultáneamente con las plataformas, va girando el tambor, el cual soporta los pistones tapadores. La leva los obliga a descender hasta que el cabezal tapador de cada pistón llegue a la altura adecuada para efectuar el tapado sobre la boca de la botella.

En cada cabezal tapador se encuentra una pequeña plataforma, sobre la cual reposa la tapa y un cono de cierre con su émbolo y el resorte. Estos últimos sellan la tapa sobre la boca de la botella cuando desciende el pistón.

Efectuada esta operación los pistones tapadores son obligados por la leva a descender nuevamente y así comenzar otro ciclo de trabajo.

Las botellas ya tapadas salen de las plataformas portabotellas y son recibidas por una tercera estrella de transferencia o estrella de salida que las entrega, finalmente, a la cadena del transportador, la cual las traslada hacia la pasteurizadora, la siguiente máquina en el tren de envase.

CONTEXTO OPERACIONAL

SISTEMA DE TRANSMISION Y FUERZA LINEA 1

Los mecanismos del sistema de llenado y tapado son accionados por un motor eléctrico de 20 HP, ubicado en la parte inferior frontal de la tapadora.

El cambio de velocidad lo realiza por intermedio de un variador de velocidad.

Los movimientos de la sección de tapado y llenado se realizan por intermedio de cadenas y correas a las cajas reductoras que transmiten movimiento a las estrellas de transferencias y al mismo sinfín de entrada.

LISTADO DE FUNCIONES DEL SISTEMA DE MANEJO DE BOTELLAS

FUNCION PRINCIPAL

1. Transportar botellas de los formatos costeñita y pony malta 1/6, en forma sincronizada entre el transportador de entrada a la envasadora hasta la salida de tapadora.

FUNCIONES SECUNDARIAS

2. Permitir bloquear entrada de botellas.
3. Permitir la sincronización de la máquina.
4. Lubricar de manera eficiente para garantizar el buen funcionamiento de las partes mecánicas de la máquina.

CONTEXTO OPERACIONAL

SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL ENVASADORAS LINEA 1

El control de la envasadora lo realiza un PLC marca Telemecanique, que ejecuta todas las rutinas y lazos de control para su funcionamiento y visualiza los diferentes parámetros, estados, alarmas y elementos de maniobra de la maquina en una pantalla HMI touch-screen.

Partes del control general:

- Condiciones de encendido
- Condiciones de parada.
- Condiciones de corte de estrella
- Control de velocidad del motor principal.
- Control de llenado del calderín.
- Control de llenado de botellas
- Desfogue de CO2 en el calderín.
- Detección de explosión de botella y descontaminación.
- Condiciones de tapado.

Condiciones de arranque

Las siguientes son condiciones iniciales de arranque de la maquina:

Bomba de vacío encendida.

Condiciones de parada

Las siguientes son condiciones de parada inmediata de la maquina en normal funcionamiento automático:

Atrancamiento de botella a la salida.

Falta de tapas en el carril alimentador.

No paso de tapas por el carril alimentador.

Parada de emergencia

Disparo térmico del motor principal.

Paso de automático a manual.

El motor principal cuenta con un variador de velocidad principal que maneja las rampas de aceleración y desaceleración.

Condiciones de corte de estrella

El bloqueo de estrella (no entrada de botellas a la envasadora) se activa con las siguientes condiciones:

Presión del calderín por debajo de 20 psi.

Botella caída o falta de botella en el transportador de entrada

Control de velocidad del motor principal.

La velocidad del motor principal tiene dos consignas establecidas por el operario desde la pantalla HMI, la velocidad alta y la baja. La velocidad alta se mantiene mientras la maquina esta en normal funcionamiento y pasa a baja velocidad en los siguientes casos:

Falta de botella en el carrusel.

Rampas de arranque y parada:

Al iniciar la fase de llenado del carrusel, la velocidad es baja, y a medida que entra botella, la velocidad incrementa hasta llegar a velocidad alta.

Al ocurrir explosión de botella, la velocidad disminuye gradualmente hasta dejar la posición de explosión frente al operario.

Control de llenado del calderín.

El llenado de la envasadora es controlado por un sensor de nivel digital instalado en el calderín y una válvula reguladora en la tubería de entrada de producto a la envasadora. La señal de control hacia la válvula es de tipo ON/OFF, pero la apertura y cierre se hace lentamente para evitar grandes oscilaciones en el nivel de producto en el calderín.

Antes de la válvula reguladora hay una válvula de corte automática, que abre cuando la el motor principal es encendido. Cuando se detiene el motor principal, se cierra lentamente la válvula proporcional y luego la válvula de corte.

Control de llenado de botellas

Las botellas que entran son detectadas por el *Sensor presencia de botellas*, estas se memorizan por el programa en un registro de corrimiento C, y cada bit

en 1 representa una botella que entro al carrusel, este registro se consulta 9 posiciones después para abrir o cerrar el *Pistón de llenado* si hay o no botella respectivamente.

Desfogue de CO2 en el calderín.

El desfogue de CO2 del calderín se realiza cada 600 botellas durante 2 segundos

Detección de explosión de botella y descontaminación.

El *Sensor de preflush* detecta presencia o no presencia de botellas y esta ubicado a 40 posiciones después del *Sensor abridor de válvula*, el *Sensor de preflush* compara su estado con el registro de corrimiento C en el que previamente se ha memorizado la entrada de botella.

Si el estado del *Sensor de preflush* es no presencia de botella y el registro de corrimiento C tiene bit en 0 en la posición 40, quiere decir que en esta posición no entro botella, el llenado continúa normalmente.

Si el estado del *Sensor de preflush* es no presencia de botella y el registro de corrimiento C tiene un bit en 1 en la posición 40, quiere decir que en esta posición entro botella pero esta se estallo ente la posición A y la B. En este caso se activa la rutina de descontaminación por explosión de botella.

La rutina de descontaminación consiste en las siguientes acciones:

Llenado parcial de botellas en la zona de explosión a cargo del *Pistón de llenado medio*.

En la vuelta seguida de la explosión el se activa *Pistón de llenado medio* desde una botella antes, hasta una botella después de la posición de explosión, es decir en total 3 botellas con llenado medio. En la siguiente vuelta se activa en el mismo rango de botellas y en la vuelta siguiente solo se activa en el la posición de explosión, dejando solo una botella media. La secuencia de llenado medio es 3, 3 y 1 botellas.

Activación de chorros de agua en una zona que comprende entre 20 posiciones antes y 20 posiciones después de la posición de explosión, durante 5 vueltas consecutivas después de la explosión.

Activación de chorros de aire en una zona que comprende entre 20 posiciones antes y 20 posiciones después de la posición de explosión, durante 5 vueltas consecutivas después de la explosión.

Condiciones de tapado

Existen dos seguridades en el carril de tapas que permiten identificar la ausencia de tapa (sensor perchera I 1.11) y el no paso de tapas por el carril (sensor tapa atascada I 1.29), en el momento de detectar alguna de estas dos fallas la maquina se detiene dando una señal de alarma al operario.

LISTADO DE FUNCIONES DEL SISTEMA DE POTENCIA Y CONTROL

FUNCION PRINCIPAL

1. Alimentar los sistemas motrices de la envasadora a un voltaje 440Vac - 60 Hz.

FUNCIONES SECUNDARIAS

2. Alimentar los sistemas de control de la envasadora a un voltaje 110Vac - 60 Hz - 24Vdc.
3. Controlar el sistema de llenado de botellas a una velocidad de 600 a 630 bpm.
4. Visualizar los parámetros de funcionamiento de la envasadora.
5. Permitir corte de estrella por acumulación o falta de botellas.
6. Controlar las paradas de la maquina de manera automática.
7. Permitir el control de arranque - parada - paso a paso - corte de estrella de la máquina.
8. Relevar y proteger las salidas del PLC por medio de interfases.
9. Controlar la temperatura del agua de la bomba de vacío con un máximo de 33°C.
10. Permitir el corte de estrella cuando la presión del calderín este por debajo de 20 psi.

CONTEXTO OPERACIONAL

SISTEMA DE INYECCION DE ESPUMA HDE LINEA 1

El aparato de inyección a alta presión HDE sirve para generar un hilo fino de cerveza o agua a presión reforzada. Este hilo líquido se inyecta en las botellas llenas, conducidas desde la llenadora a la taponadora, y produce una espuma de poros finos en el cuello de la botella, con el fin de conseguir así valores mínimos de aire. La presión de inyección es regulable en función de la temperatura y del contenido de CO₂ de la cerveza.

CARACTERISTICAS TECNICAS

BOMBA

Número de revoluciones de la bomba	695 r.p.m.
Potencia del motor	0.55 kW
Sobrepresión	máx. 50 bar.
Caudal	máx. 320 l/h
Presión de inyección regulable	5 – 30 bar.
Presión de aire de trabajo regulable	0.5 – 3 bar.
Consumo de aire	6 – 8 Nm ³ /h
Presión previa del medio inyectado	0.7 bar.

FUNCIONAMIENTO

El regulador de presión se compone de dos cilindros de presión acoplados entre si de modo rígido. El agua se lleva al cilindro de bombeo del regulador de presión a través de un filtro, una válvula de cierre y dos válvulas de retención. Desde aquí se bombea el agua con presión de inyección a través de la tobera por las válvulas de retención y el depósito compensador de presión. El circuito de aire para el accionamiento del cilindro de trabajo en el regulador de presión va desde la válvula de cierre a través de la válvula reductora con manómetro acoplado al cilindro de trabajo. El accionamiento de la válvula de mando se efectúa eléctricamente mediante interruptores finales de carrera.

La circulación de aire y agua pueden abrirse mediante las válvulas de cierre. Se ajusta la presión para el cilindro de trabajo con la válvula reductora. Esta presión puede regularse desde 0.5 – 3 bar., lo cual corresponde a una presión de inyección de 5 – 30 bar.

El cilindro de trabajo impulsado con aire comprimido pone en movimiento el cilindro de bombeo a través del vástago del embolo común. Al alcanzar un punto de inversión se acciona un interruptor final de carrera a través del vástago del embolo, cuyo impulso conmutador conmuta un relé de bloqueo. Con ello se conecta la válvula de mando.

Ahora se pone en movimiento el cilindro de trabajo en dirección opuesta accionando el otro interruptor final de carrera. La ventilación del lado del vástago embolo no impulsado también se efectúa mediante una válvula de mando. Estas conmutaciones se hacen muy rápidamente, de modo que no se aprecian notables oscilaciones en la presión de inyección.

De acuerdo con la dirección del movimiento del cilindro de trabajo, se mueve el cilindro de bombeo. Mientras que en un lado del embolo de la bomba se aspira líquido a través de las válvulas de retención, en el otro lado se bombea el líquido con presión de inyección a través de las válvulas de retención y el depósito compensador de presión a través de la tobera.

LISTADO DE FUNCIONES DEL SISTEMA DE INYECCION DE ESPUMA (HDE)

FUNCION PRINCIPAL

1. Inyectar agua filtrada entre 80 y 90°C y una presión de 50 y 150 Psi al interior de la botella con producto para producir espumado que desaloja el aire ubicado en la cámara libre la botella antes del tapado.

CONTEXTO OPERACIONAL

SISTEMA DEL ASEO INTERNO DE LAS ENVASADORAS (CIP) LINEA 1

La línea 1 tiene un sistema interno de aseo en operación manual, que consta de 2 tanques, una bomba neumática de succión que trabaja con una presión de 90 psi, una bomba centrífuga. Este sistema tiene suministro de agua de la

línea principal, suministro de vapor de la línea principal, suministro de hidróxido de sodio mediante línea interna del salón de envasado; además cuenta con un sistema de lavado interno de tanques mediante una válvula de by pass en la tubería del CIP interno. Esta válvula es utilizada para evitar que al hacer la limpieza del sistema CIP, estos químicos se dirijan hacia la envasadora. Este sistema se utiliza al terminar producción, en aseo general y en los cambios de formato de pony Malta a costeñita.

Los parámetros para los químicos utilizados en el CIP son los siguientes:

PESO DE QUIMICOS PARA EL CIP EN KILOGRAMOS
PESO DE SODA AL 48% 54 KG
PESO DE ADITIVO LARK CLEAN MB 5.4 KG
PESO DE DESINFECTANTE LARK SANITIZER 13 KG

Para la preparación de las soluciones del CIP interno se deben seguir los siguientes pasos:

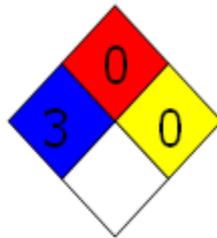
1. Suministrar agua hasta $\frac{1}{4}$ de la capacidad de cada tanque (altura en el nivel aproximadamente 40 cm).
2. Adicionar la soda cáustica al 48 %, abrir válvula de suministro de aire a bomba neumática, abrir válvula hacia el tanque de soda cáustica, succionar de un balde con agua potable (12 lts) con el fin de lavar la manguera y la tubería.
3. Adicionar el aditivo Lark Clean MB.
4. Completar con agua potable hasta la mitad del tanque (1500 lts).
5. Abrir completamente la válvula de vapor y de salida de condensados, calentar hasta 70°C.
6. Adicionar el desinfectante, referencia Lark Sanitizer así:
 Abrir válvula suministro de aire a bomba neumática.
 Abrir válvula hacia el tanque de ácido (desinfectante) y verificar que la válvula hacia el tanque de soda este cerrado.
 Succionar de un balde de agua potable (12 lts) con el fin de lavar la manguera de la bomba neumática y tuberías.

7. Completar con agua potable hasta la mitad del tanque (1500Lts)

ROMBOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL



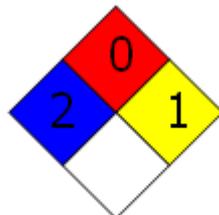
SODA CAUSTICA



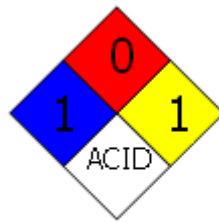
ACIDO CLORHIDRICO



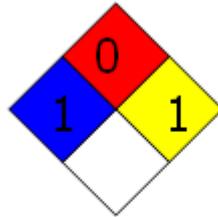
LARK FOAM CL



LARK FOAM HD/IM



LARK CLEAN MB



LARK SANITIZER

6.1.2 Como deben listarse las funciones

Una definición funcional escrita adecuadamente (especialmente si esta totalmente cuantificada) define con precisión los objetivos de desempeño. Esto asegura que todos los involucrados conocen exactamente que se quiere, lo que a su vez asegura que las actividades de mantenimiento permanezcan enfocadas hacia las necesidades reales de los usuarios. Las funciones se listan en la columna izquierda de la hoja de información de RCM así:

- Envasar botellas de vidrio a una velocidad de 3600 decena por hora para formatos de 175 y 185ml con una desviación de 3ml.

Ejemplo:

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION RCM	ELEMENTO	Nº	Realizado por	
	LLENADORA DE BOTELLAS HK 1 LINE 1 BUCARAMANGA	1		Grupo de Analistas RC
	COMPONENTE		Revisado por	Ing. Carlos Mora.
	SISTEMA DE LLENADO			
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (CAUSA DE LA FALLA)	EFECTOS DE LAS FALLAS	
1 Envasar botellas de vidrio a una velocidad de 3600 decena por hora para formatos de 175 y 185ml con una desviación de 3ml	A	1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
		8		

6.1.3 Como deben ser registradas las fallas funcionales

Las fallas funcionales se escriben en la segunda columna de la hoja de trabajo de información de RCM, a continuación se muestra el ejemplo de los tres fallos funcionales encontrados para nuestra primera función del sistema llenado:

- No envasa botellas de vidrio.
- Envasar botellas a nivel inferior a un promedio de 175 para cerveza y 185 para pony malta.
- Envasar botellas a nivel superior a un promedio de 175 para cerveza y 185 para pony malta.

Ejemplo:

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION RCM	ELEMENTO	Nº	Realizado por	
	LLENADORA DE BOTELLAS HK 1 LINE 1 BUCARAMANGA	1		Grupo de Analistas RC
	COMPONENTE		Revisado por	Ing. Carlos Mora.
	SISTEMA DE LLENADO			
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (CAUSA DE LA FALLA)	EFECTOS DE LAS FALLAS	
1 Envasar botellas de vidrio a una velocidad de 3600 decena por hora para formatos de 175 y 185ml con una desviación de 3ml	A	No envasa botellas de vidrio		
	B	Envasar botellas a nivel inferior a un promedio de 175 para cerveza y 185 para pony malta		
	C	Envasar botellas a nivel superior a un promedio de 175 para cerveza y 185 para pony malta		

6.1.4 Como deben ser registradas los modos de falla

Los modos de falla deben ser definidos de manera que sea posible identificar una política apropiada para el manejo de la falla y solo deben ser listados los modos de falla que tienen posibilidades razonables de ocurrir en un contexto determinado. Si las consecuencias pueden ser realmente severas, entonces fallas que aun son menos probables deben registrarse y ser sometidas a análisis. Es muy importante tener en cuenta que cuando se listan fallas debe tenerse cuidado de no confundir causas (modos de falla) con efectos. Los modos de falla se registran en la penúltima columna de la hoja de información, junto al fallo funcional correspondiente.

- Tubo de aire de menor longitud.
- Goma de la tulipa defectuosa.
- Válvulas de vacío están deterioradas.
- Válvulas de alivio están deterioradas.
- El cerrador de válvulas esta mal posicionado.

Ejemplo:

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION RCM		ELEMENTO	Nº	Realizado por	Grupo de Analistas RC	
		LLENADORA DE BOTELLAS HK 1 LINE 1 BUCARAMANGA	1			
		COMPONENTE		Revisado por	Ing. Carlos Mora.	
		SISTEMA DE LLENADO				
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (CAUSA DE LA FALLA)	EFECTOS DE LAS FALLAS			
1 Envasar botellas de vidrio a una velocidad de 3600 decena por hora para formatos de 175 y 185ml con una desviación de 3ml	A					
	B					
	C Envasar botellas a nivel superior a un promedio de 175 para cerveza y 185 para pony malta	1	Tubo de aire de menor longitud			
		2	Goma de la tulipa defectuosa			
		3	Válvulas de vacío estan deterioradas			
4	Válvulas de alivio están deterioradas					
5	El cerrador de válvulas esta mal posicionado					

6.1.5 Como deben ser registradas los efectos de falla

Los efectos de falla deben describirse de tal forma que permita a los analistas RCM decidir si, en circunstancias normales, será evidente para los operarios la pérdida de función causada por ese modo de falla actuando por sí solo.

Los efectos de falla se registran en la última columna de la hoja de información, junto al modo de falla correspondiente.

Ejemplo:

ORA DE BOTELLAS HK 1 LINE 1 BUCARAMANGA		Nº	Realizado por	Grupo de Analistas RCM	Fecha	Hoja
		1			01-nov-06	
SISTEMA DE LLENADO			Revisado por	Ing. Carlos Mora.	Fecha	de
					05-dic-06	
FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (CAUSA DE LA FALLA)	EFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)				
C Envasar botellas a nivel superior a un promedio de 175 para cerveza y 185 para pony malta.	1 Tubo de aire de menor longitud	Cuando se llena la botella con un tubo de menor longitud el nivel de llenado es alto por que se alcanza una igualación de presión a una altura superior al nivel de llenado nominal. El cambio del tubo toma 15 minutos. Se presenta este evento en los cambios de marca.				
	2 Goma de la tulipa defectuosa	Cuando la goma de la tulipa esta deteriorada por explosiones de botella una vez se inician las etapas de llenado se observa que se pierde contrapresión de CO2 ocasionando alto nivel de llenado que a su vez al pasar por la pista de venteo se rebota. El cambio toma cinco minutos en identificar y cambiarla. Se debe tener repuesto en la maquina. Esto sucede cada mes.				
	3 Válvulas de vacío están deterioradas	Esto ocasiona que el llenado de la botella continúe aun después de haber alcanzado la altura del tubo de venteo ya que sigue haciendo vacío y esto hace que se pierda la contrapresión permitiendo continuamente el paso de líquido. El cambio toma quince minutos en identificar y cambiarla. Se debe tener repuesto en la maquina. Esto sucede cada seis meses.				
	4 Válvulas de alivio están deterioradas	Esto ocasiona que el llenado de la botella continúe aun después de haber alcanzado la altura del tubo de venteo ya que sigue haciendo venteo y esto hace que se pierda la contrapresión permitiendo continuamente el paso de líquido. El cambio toma quince minutos en identificar y cambiarla. Se debe tener repuesto en la máquina. Esto sucede cada seis meses.				
	5 El cerrador de válvulas esta mal posicionado	Cuando esto ocurre la válvula de llenado queda parcialmente abierta en el momento de esta pasar por el accionador de venteo, este descontrapresiona la cámara libre de la botella pero a su vez la válvula sigue llenando adicionalmente presenta rebote. El ajuste toma diez minutos. Esto sucede después de una reparación general.				

6.2 DIAGRAMA DE DECISION DE RCM

La hoja de decision se observa en la figura 13.

casos en los que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

6.3 CONSECUENCIAS DE LA FALLA

Estas preguntas a continuación son hechas para cada modo de falla, y las respuestas son registradas en la hoja de decisión basándose en lo que a continuación se muestra:

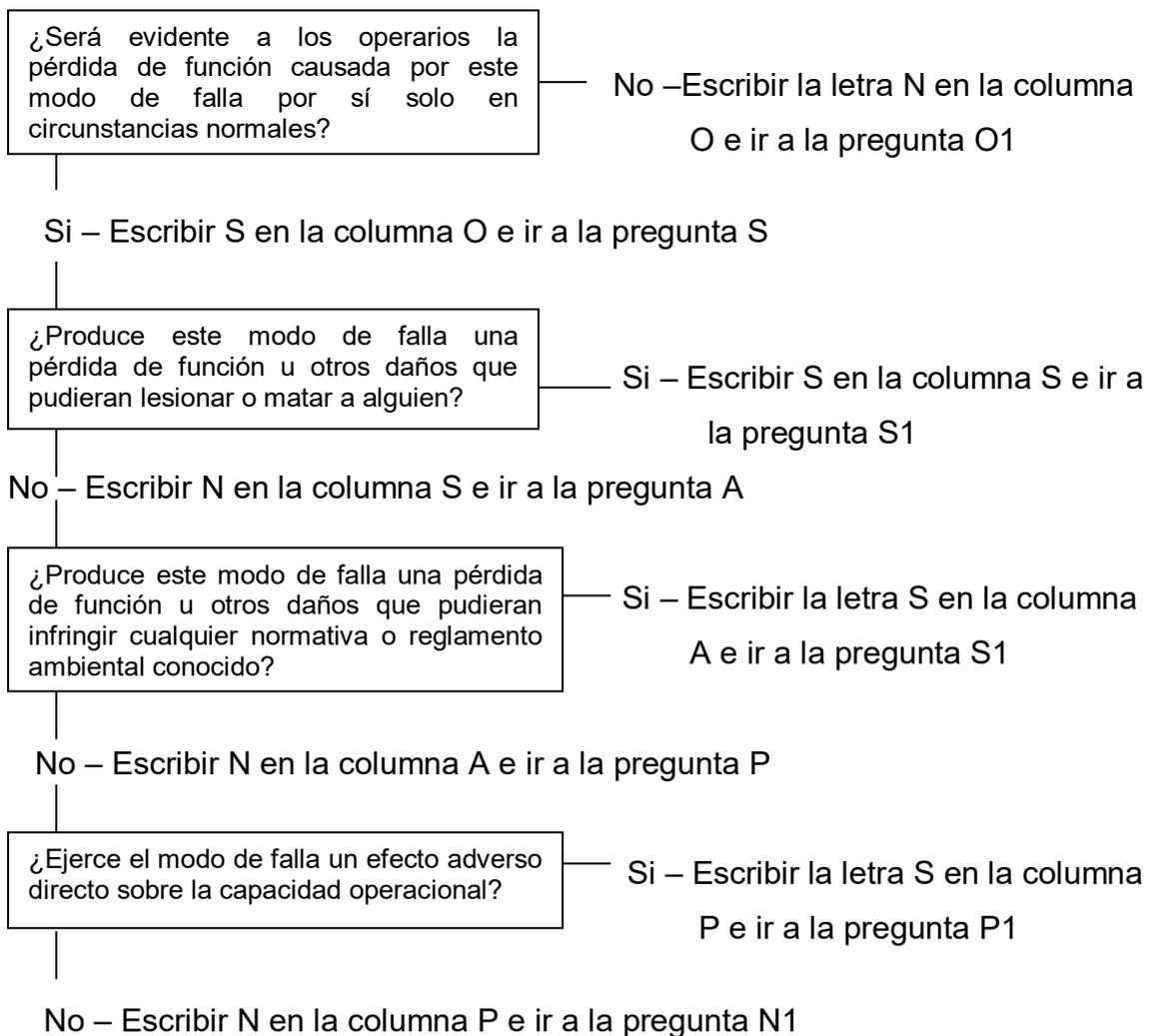


Figura 14. Cómo se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión.

Cada modo de falla es ubicado en solo una categoría de consecuencias; una vez que las consecuencias del modo de falla han sido clasificadas, el próximo paso es buscar una tarea proactiva adecuada. En cada caso, una tarea solo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible.

Si se selecciona una tarea, se registra una descripción de la tarea y la frecuencia con la que debe ser realizada, y así sucesivamente los analistas avanzan al próximo modo de falla. Sin embargo, debemos tener en cuenta que si parece que una tarea de orden mas bajo pudiera ser mas costo-eficaz que una tarea de orden mas alto, entonces la tarea de orden mas bajo también debe ser considerada, y elegirse la mas efectiva de las dos.

Si durante el proceso de toma de decisiones se ha seleccionado una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de falla, debe registrarse la descripción de la tarea en la columna titulada “Tarea propuesta” de la hoja de decisiones.

Finalmente, si debe tomarse una decisión de permitir que ocurra una falla, en la mayoría de los casos debe registrarse en la columna de “Tarea propuesta” la frase “ningún mantenimiento programado”.

Los intervalos de tareas son registrados en la hoja de decisión en la columna de “Intervalo inicial”, y pueden ser basados en lo siguiente:

- Los intervalos de las tareas a condición están determinados por el intervalo P-F.
- Los intervalos de las tareas de reacondicionamiento programado y de sustitución cíclica dependen de la vida útil del elemento que consideramos.
- Los intervalos de las tareas de búsqueda de fallas están determinados por las consecuencias de la falla múltiple, que determina la disponibilidad necesaria, y el tiempo medio entre ocurrencias de la falla oculta.

Los intervalos de tareas pueden basarse en cualquier medida apropiada de exposición al esfuerzo; esto incluye tiempo calendario, tiempo de funcionamiento, distancia recorrida, ciclos de puesta en marcha-detención, producción o flujo de producción, o cualquier otra variable de medida que tenga una relación directa con el mecanismo de la falla. Sin embargo, el tiempo calendario es el más usado ya que es más simple y es el más económico de administrar.

La última columna de la hoja de decisión se utiliza para anotar quien debe hacer cada tarea. En este proceso de RCM este tema se considera para un

modo de falla a la vez, en otras palabras, no aborda el tema con ninguna idea preconcebida acerca de quien debe o no debe hacer el trabajo de mantenimiento. Simplemente pregunta quien es competente y confiable como para realizar correctamente esta tarea. Las tareas pueden ser adjudicadas a mantenimiento, operadores, inspectores de seguros, personal de calidad, técnicos especializados, proveedores, inspectores de estructuras o técnicos de laboratorio.

La opción de dejar en las tareas de alta frecuencia en manos de los operadores es bastante atractiva porque por lo general es más económico y es más fácil organizar el uso de las personas que están la mayoría del tiempo cerca de los equipos. De cualquier manera, se deben cumplir tres cosas antes que se les puedan delegar con confianza estas tareas a los operadores:

- Deben estar entrenados adecuadamente para poder reconocer apropiadamente las condiciones de falla potencial en el caso de tareas a condición, y tienen que estar entrenados adecuadamente para realizar de manera segura las tareas de búsqueda de fallas de alta frecuencia.
- Deben tener acceso a procedimientos simples y confiables para reportar cualquier defecto que encuentren.
- Deben tener la seguridad que se tomara una acción sobre la base de sus reportes, o que recibirán una contestación constructiva en caso de errores en el diagnostico.

En conclusión, la hoja de decisión de RCM muestra no solo que acción se ha seleccionado para tratar cada modo de falla, sino que también muestra por que se ha seleccionado. Las hojas de decisión detallan una cantidad determinada de tareas rutinarias que requieren ser hechas a intervalos regulares para asegurar que el activo continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga, junto con las acciones “a falta de” que deben adoptarse si no puede encontrarse una tarea rutinaria adecuada.

La posibilidad de rastrear cada tarea correlacionándola con la función y parámetros deseados del activo, también facilita la tarea de mantener actualizado el programa de mantenimiento.

Para obtener los máximos beneficios a largo plazo de RCM, deben seguirse ciertos pasos sobre una base formal para implementar las recomendaciones que surjan del análisis. Estos pasos deberán asegurar que:

- Todas las recomendaciones sean aprobadas formalmente por aquellos gerentes que sean los responsables finales del activo (Auditar la hoja de decisión).
- Todas las tareas de rutinas estén descritas de forma clara y consistente (Actualizar la descripción de las tareas de rutina, detallar instrucciones).
- Todas las acciones de cambio a realizar por única vez (a los diseños, a la manera en que el activo es operado o a la capacidad de operadores y gente de mantenimiento) sean identificadas e implementadas correctamente (Identificar los cambios a realizar por única vez).
- Los cambios en las tareas de rutina y en procedimientos operativos sean incorporados en el grupo de tareas apropiado (Incorporar descripción de tareas de rutina en grupos de tareas).
- Los grupos de tareas y las acciones de cambio a realizar por única vez sean implementadas (Implementar sistemas que aseguren que el trabajo se haga). Específicamente, esto implica:
 - La incorporación de los grupos de tareas en sistemas que aseguren que éstas serán hechas correctamente, por la gente adecuada y en el momento correcto.
 - El asegurar que toda falla que se detecte será tratada de manera desenvuelta.

7. CONCLUSIONES

- El desarrollo del proyecto antes de todo estuvo basado en un buen análisis y cronograma de actividades, sobre este proyecto cabe resaltar que el seguimiento riguroso del cronograma permitió realizar las tareas a tiempo y en ocasiones permitiendo también el avance anticipado de otras.
- Se realizó un análisis completo en la envasadora de la línea de envase 1 de la Cervecería Bavaria en la ciudad de Bucaramanga enfocado en la filosofía de RCM para llegar a la implementación de este sistema; y así se mejoro la confiabilidad de este equipo.

- Se redactó un documento que manifiesta el estado del mantenimiento centrado en la confiabilidad en el mundo actual para así poder proporcionar una base de conocimiento para las personas interesadas en este tema.
- Se identificó con exactitud los elementos del contexto operacional de la envasadora 1 de la línea 1 para así poder ubicar las funciones respectivas de la maquina de acuerdo a cada sistema de la envasadora.
- El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una herramienta técnico-administrativo para brindar mayor confiabilidad a los equipos de las diferentes áreas.
- Se implementó esta herramienta porque es una meta y norma establecida por Sab-Miller para crear plantas de clase mundial que ofrezcan mayor seguridad e integridad ambiental, mejor calidad del producto, mayor costo-efectividad, mejor trabajo en equipo y una base de datos de mantenimiento.
- Un beneficio adicional que se deriva de que el personal trabaje en equipo, para poder realizar el análisis es el intercambio de conocimientos y comprensión de las cuestiones de cada uno y valiéndose de esta información de cada persona se enfocan en los objetivos comunes de cada análisis.
- Se llego también a la conclusión de que la inexperticia y falta de instrucción del operador son contribuyentes significativos a las pérdidas de producción, como se pudo ver en los resultados la mayoría de tareas propuestas dejan llegar el activo a la falla ya que la mayoría de estos son casos de incumplimiento de protocolo.
- Se observó que para hacer más efectivo el trabajo en equipo todos los problemas se deben considerar como oportunidades de mejora en lugar de oportunidades para culpar a alguien.

- Se analizó que por medio de la combinación de dos procedimientos de mantenimientos llamados TPM/RCM, podemos cambiar el nuevo modelo del mantenimiento hacia “*arreglado para siempre*” frente a la idea de “*arreglándolo siempre*”, debido a esto, hemos visto que si se combinan las dos metodologías, se perfecciona el procedimiento y se mejoran el trabajo en equipo y la cooperación a nivel de producción, siendo el resultado un rendimiento y una producción mas elevados y costos mas bajos.
- A través del análisis RCM se tuvo ciertas dificultades para establecer los tiempos de frecuencia de cada tarea propuesta, por la falta de registros de mantenimiento; así que para tomar estas decisiones solo se contó con la experiencia de cada integrante del equipo de trabajo.
- Se pudo ver gracias a todo esto, para que este análisis consiga el éxito es crítico empezar a desarrollar historias de los equipos, planificar y programar el mantenimiento y ser mucho mas proactivos en la eliminación de defectos de funcionamiento.
- Esperamos poder aplicar y hacer extensivo este análisis a los demás equipos críticos de las líneas de embotellado tales como:
 - Envasadoras línea 2.
 - Inspectores de botellas líneas 1 y 2.
 - Lavadora 2.
 - Equipos de filtración en conjunto con nuevas capacitación para analistas y facilitadores.
- Se considera que es necesario contar con personas que estén capacitadas para realizar una correcta auditoria al final de cada análisis, para poder darle veracidad y confianza a la información recopilada por cada equipo de trabajo.

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma se diseño en Microsoft Excel y podrá verse en su totalidad en el Anexo 1.

9. PRESUPUESTO

DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR SEMANAL	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL	TOTAL
Impresión ficha propuesta	600				600
Impresión ficha inscripción	600				600
Gasolina transporte / 1600cc	7350	88200	352800	4233600	4233600
Consumo luz residencia / estrato 6	75	5250	21000	252000	252000
Compra de 10 CDS	500	5000	5000	5000	5000
Resma de papel	25000			100000	100000
Cartucho tinta impresora / Lex z32	45000			90000	90000
Alimentación externa	3500	24500	98000	1176000	1176000
Consumo teléfono residencia /estrato 6	66	6990	27960	335520	335520
Gasto llamadas a celular	300	7500	30000	360000	360000
Pago servicio de Internet cable-MODEM			60500	726000	726000
	82991	137440	595260	7278120	
	VALOR PROYECTO A 6 MESES			3639660	
	VALOR PROYECTO A 12 MESES			7279320	7279320

**GRAN
TOTAL**

RECURSOS HUMANOS	HORAS	VALOR * H	TOTAL ANUAL	DISTRIBUCION
ING. CARLOS PATIÑO	440	25000	11000000	10 H/SEM
JIMENA ARIAS RAMOS	440	10000	4400000	10 H/SEM

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] MOUBRAY, John, RCM Reliability Centred Maintenance (Mantenimiento centrado en la confiabilidad), Aladon, Segunda edición en español, 2004.

[2] HOLSTEIN & KAPPERT, Manual de la envasadora HK 92/14, Hilge, 1981.

[3] HOLSTEIN & KAPPERT, Listado de piezas de recambio, Hilge, 1981.

[4] HOLSTEIN & KAPPERT, Instrucciones de servicio y mantenimiento del llenado y tapado, Hilge, 1981.

[5] HOLSTEIN & KAPPERT, Equipo adicional para maquinas. instrucciones de servicio y mantenimiento para aparato de inyeccion de espuma HDE, Hilge, 1981.

[6] HOLSTEIN & KAPPERT, Instrucciones de servicio y mantenimiento del sistema de guías y transportes de botellas, Hilge, 1981.