

DISEÑO PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA METODOLOGÍA RCM PARA
EMPACADORA TIROMAT GEA EN LINEA DE SALCHICHAS ALIMENTOS
CÁRNICOS S.A.S

HERMAN VARELA CÁRDENAS

OSCAR YESID SALAMANCA HERRERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANTER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

DISEÑO PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA METODOLOGÍA RCM PARA
EMPACADORA TIROMAT GEA EN LINEA DE SALCHICHAS ALIMENTOS
CÁRNICOS S.A.S

HERMAN VARELA CÁRDENAS

OSCAR YESID SALAMANCA HERRERA

Director:

RODRIGO HURTADO PALOMINO

INGENIERO MECATRÓNICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1 MARCO CONCEPTUAL.....	17
1.1 GRUPO NUTRESA.....	17
1.2 DIVISIÓN ALIMENTOS CARNICOS.....	18
1.3 PROCESO DE EMBUTIDOS.....	19
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
3 OBJETIVO GENERAL.....	22
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4 JUSTIFICACIÓN.....	23
5 MARCO TEÓRICO.....	25
5.1 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM.....	25
5.2 METODOLOGÍA RCM.....	26
5.2.1 Identificación y codificación de equipos en planta.....	27
5.2.2 Especificación y definición de Funciones.....	27
5.2.3 Determinación de las fallas funcionales.....	27
5.2.4 Establecer los modos de fallas.....	28
5.2.5 Estudio de las consecuencias de los fallos y análisis de criticidad.....	28
5.2.6 Determinación de las tareas de mantenimiento.....	29
5.3 INTEGRACIÓN DEL RCM A LA INDUSTRIA.....	30
5.4 EMPACADORA TIROMAT GEA.....	33
5.5 COMPONENTES EMPACADORA TIROMAT GEA POWER PACK.....	34
5.5.1 Alimentación película inferior.....	34
5.5.2 Movimiento en línea.....	36
5.5.3 Sección de termoformado.....	36
5.5.4 Área de llenado.....	37
5.5.5 Alimentación película superior.....	38
5.5.6 Estación de sellado.....	38
5.5.7 Sección de corte longitudinal.....	39
5.5.8 Sección de corte transversal.....	39

5.6	SECCIÓN DE SELLADO POR TERMOFORMADO	40
5.6.1	Etapa de elevación.....	40
5.6.2	Molde para sellado.....	40
5.7	ETAPA EXTRACCIÓN DE AIRE.....	41
5.8	ETAPA SELLADO POR CALOR.....	42
5.9	REFRIGERACIÓN DE SELLADO.....	43
5.10	ETAPA DE DESPRESURIZACIÓN.....	44
5.11	ETAPA DE APERTURA	44
6	DISEÑO RCM EMPACADORA TIROMAT GEA POWER PACK.....	45
6.1	TAXONOMÍA DE EQUIPOS EN PLANTA.....	45
6.2	DETERMINACIÓN CONTEXTO OPERATIVO	46
6.2.1	Características técnicas empacadora.....	46
6.2.2	Servomotor	46
6.2.3	Plancha de sellado	47
6.2.4	Molde de sellado.....	47
6.2.5	Mecanismo elevación.....	48
6.2.6	Actuadores de vacío y ventilación.....	48
6.2.7	Bloque de válvulas de vacío y ventilación inferior/superior.....	50
6.2.8	Refrigeración molde de sellado	50
6.3	DETERMINAR FRONTERAS	52
6.4	DEFINICIÓN DE FUNCIONES.....	54
6.4.1	Función servo motor.....	54
6.4.2	Plancha de sellado	54
6.4.3	Molde de sellado.....	55
6.4.4	Mecanismo de elevación	55
6.4.5	Actuadores de vacío y ventilación superior	55
6.4.6	Actuadores de vacío y ventilación inferior.....	55
6.4.7	Bloque de válvulas	55
6.4.8	Circuito de refrigeración.....	55
6.5	ANÁLISIS DE FALLAS FUNCIONALES	55

6.5.1	Servo motor	55
6.5.2	Plancha de sellado	55
6.5.3	Molde de sellado.....	56
6.5.4	Mecanismo de elevación	56
6.5.5	Actuadores de vacío y ventilación superior	56
6.5.6	Actuadores de vacío y ventilación inferior.....	56
6.5.7	Bloque de válvulas	56
6.5.8	Circuito de refrigeración.....	56
6.6	DEFINICIÓN MODO DE FALLA.....	56
6.6.1	Servomotor	56
6.6.2	Plancha de sellado	57
6.6.3	Molde de sellado.....	57
6.6.4	Mecanismo de elevación	57
6.6.5	Actuadores de vacío y ventilación superior	57
6.6.6	Actuadores de vacío y ventilación inferior.....	57
6.6.7	Bloque de válvulas	57
6.6.8	Circuito de refrigeración.....	58
6.7	DEFINICIÓN DE EFECTO DE FALLAS.....	58
6.7.1	Servomotor	58
6.7.2	Plancha de sellado	58
6.7.3	Molde de sellado.....	58
6.7.4	Mecanismo de elevación	58
6.7.5	Actuadores de vacío y ventilación superior	58
6.7.6	Actuadores de vacío y ventilación inferior.....	58
6.7.7	Bloque de válvulas	58
6.7.8	Circuito de refrigeración.....	58
6.8	ANÁLISIS DE RIESGO DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.....	59
6.9	SELECCIÓN TAREAS DE MANTENIMIENTO Y FRECUENCIA	59
6.9.1	Servomotor	59
6.9.2	Plancha de sellado	60

6.9.3	Molde de sellado	60
6.9.4	Mecanismo de elevación	60
6.9.5	Actuadores de vacío y ventilación superior	61
6.9.6	Actuadores de vacío y ventilación inferior.....	61
6.9.7	Bloque de válvulas	61
6.9.8	Circuito de refrigeración.....	62
7	CONCLUSIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Línea de producción de salchichas	20
Figura 2	MTTR Planta Alimentos Cárnicos S.A.S 2016	23
Figura 3	Averías planta Alimentos Cárnicos S.A.S 2016	24
Figura 4	Árbol de decisión para tareas de mantenimiento SAEJA1012	30
Figura 5	Etapas para gerencia un proyecto RCM	32
Figura 6	Empacador Tiromat GEA Power Pack.....	33
Figura 7	Componentes Empacadora Tiromat GEA Power Pack	34
Figura 8	Sección A alimentación película inferior	35
Figura 9	Cadena de transporte.	36
Figura 10	Sección B Termo formado	37
Figura 11	Sección C Llenado	37
Figura 12	Sección D Alimentación película superior	38
Figura 13	Sección E Estación de Sellado	39
Figura 14	Sección F Corte Longitudinal	39
Figura 15	Sección F Corte Transversal.....	40
Figura 16	Porta Herramienta.....	41
Figura 17	Bombas de Vacío.....	42
Figura 18	Plancha de calentamiento.....	43
Figura 19	Membrana neumática (diafragma) plancha	43
Figura 20	Taxonomía de equipos Alimentos Cárnicos S.A.S	45
Figura 21	Plancha de sellado.....	47
Figura 22	Molde	47
Figura 23	Mecanismo de elevación.....	48
Figura 24	Actuadores vacío y ventilación inferior.....	49
Figura 25	Actuadores vacío y ventilación superior.....	49
Figura 26	Bloque de Válvulas de vacío y Ventilación superior e inferior	50
Figura 27	Circuito de refrigeración	51
Figura 28	Frontera Empacadora (Sistema de sellado)	52
Figura 29	Entradas y Salidas Sistema de Sellado	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de Tareas de mantenimiento	29
Tabla 2 Características técnicas empacadora	46
Tabla 3 Tareas de Mantenimiento Servomotor	59
Tabla 4 Tareas de Mantenimiento Plancha de Sellado.....	60
Tabla 5 Tareas de Mantenimiento Molde de Sellado.....	60
Tabla 6 Tareas de Mantenimiento Mecanismo de Elevación.....	60
Tabla 7 Tareas de Mantenimiento actuadores de vacío y ventilación superior	61
Tabla 8 Tareas de Mantenimiento actuadores de vacío y ventilación inferior	61
Tabla 9 Tareas de Mantenimiento bloque de válvulas.....	61
Tabla 10 Tareas de Mantenimiento Circuito de Refrigeración	62

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Clasificación general de la Máquina.....	52
Cuadro 2 Clasificación general de sistema de sellado.....	53

LISTA ANEXOS

Anexo A Formato desarrollo RCM Sección sellado Empacadora Tiromat GEA.....	66
--	----

RESUMEN

TITULO: DISEÑO PLAN DE MANTENIMIENTO BAJO LA METODOLOGÍA RCM PARA EMPACADORA TIROMAT GEA EN LINEA DE SALCHICHAS ALIMENTOS CÁRNICOS S.A.S

AUTORES: HERMAN VARELA CÁRDENAS Y OSCAR YESID SALAMANCA HERRERA **

PALABRAS CLAVE: CONFIABILIDAD, EMPACADORA, MANTENIMIENTO, RCM

DESCRIPCIÓN:

Los planes de mantenimiento basados en la metodología RCM son una serie de fases consecutivas de orden lógico donde se priorizan las funciones del equipo, el RCM se diferencia del mantenimiento tradicional en la priorización de la función de un sistema o subsistema dentro de un contexto operacional.

La empresa alimentos cárnicos s.a.s es una compañía líder en la producción y distribución de productos cárnicos embutidos madurados larga vida y congelados. la planta de Bogotá se subdivide en cuatro líneas de producción línea de cerveceros hamburguesas practicarne y salchichas I y II. La línea de salchichas es la de mayor producción en la compañía. El proceso exige una alta confiabilidad y disponibilidad de sus equipos para mantener los estándares de cumplimiento y calidad que destacan a la compañía en el mercado. El documento se centra en realizar un análisis de los modos de falla de una empacadora de salchichas de la empresa Alimentos Cárnicos, aplicando la teoría del RCM, donde se muestra cada uno de los factores adversos y que en un principio no se tienen contemplados en el mantenimiento preventivo que tiene en la actualidad. Se recolectaron datos del año 2016 para realizar un acercamiento asertivo de la situación actual y prever su comportamiento en el futuro. Se realizó un diagnóstico para determinar cuál era el sistema de mayor criticidad, y dónde era repetitiva la ocurrencia de la falla. Así bien, se establecen tareas con frecuencias definidas y responsables que garanticen la confiabilidad y disponibilidad de la máquina.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Rodrigo Hurtado Palomino, Diseñador Industrial.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF MAINTENANCE PLAN UNDER THE METHODOLOGY RCM FOR PACKAGING TIROMAT GEA IN LINE OF SAUSAGES ALIMENTOS CÁRNICOS S.A.S

AUTHORS: HERMAN VARELA CÁRDENAS AND OSCAR YESID SALAMANCA HERRERA **

KEYWORDS: MAINTENANCE, PACKING MACHINE, RCM, RELIABILITY.

DESCRIPTION:

The maintenance plans based on the RCM methodology are a series of consecutive phases of logical order where the functions of the equipment are prioritized, the RCM differs from the traditional maintenance in the prioritization of the function of a system or subsystem within an operational context.

The company Alimentos cárnicos s.a.s is a leading company in the production and distribution of long-life and frozen meat products. The Bogota plant is subdivided into four lines of production line of practicing hamburger brewers and sausages I and II. The line of sausages is the highest production in the company. The process requires high reliability and availability of their equipment to maintain compliance and quality standards that highlight the company in the market. The document focuses on an analysis of the failure modes of a sausage packer of the company Alimentos Cárnicos, applying the theory of the RCM, which shows each of the adverse factors and that at the beginning are not contemplated in the preventive maintenance it has today. Data were collected from the year 2016 to carry out an assertive approach of the current situation and predict its behavior in the future. A diagnosis was made to determine which system was the most critical, and where the occurrence of the fault was repetitive. Thus, tasks with defined and responsible frequencies are established to guarantee the reliability and availability of the machine.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Rodrigo Hurtado Palomino, Diseñador Industrial.

INTRODUCCIÓN

La empresa Alimentos Cárnicos S.A.S es una compañía líder en la producción y distribución de productos cárnicos, embutidos, madurados, larga vida y congelados. La planta de Bogotá se subdivide en cuatro líneas de producción: línea de cerveceros, hamburguesas, practicarne y salchichas (I y II). La línea de Salchichas es la de mayor producción en la compañía.

El proceso exige una alta confiabilidad y disponibilidad de sus equipos para mantener los estándares de cumplimiento y calidad que destacan a la compañía en el mercado. El proyecto se centrara en la línea de Salchichas II, focalizándose en la Empacadora (equipo encargado de hacer el empaque final para ser comercializado). En la línea de salchichas II trabajan dos empacadoras para cumplir con la meta de producción simultáneamente en dos turnos cada uno de 8 horas y una producción de 20 a 25 tandas diarias. (1 tanda \approx 2 toneladas)

La empacadora tiene actualmente los indicadores de tiempos perdidos más altos de toda la línea de salchichas II y un total de 70 averías en los últimos 48 meses generando un impacto en la productividad y afectando el flujo de producción. El proyecto se concentrara en estudiar los sub sistemas de la empacadora para poder identificar la sección que más incidencia tiene en el indicador de tiempos perdidos usando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.

1 MARCO CONCEPTUAL

1.1 GRUPO NUTRESA

El Grupo Nutresa tiene sus orígenes en Medellín en la segunda década del siglo XX con la fundación de Chocolates Cruz Roja luego cambiaría su nombre a compañía Nacional de Chocolates. En el año de 1933 se hace accionista de la fábrica de galletas Noel en ese mismo año la compañía nacional de chocolates diversifica su mercado y crea la marca Sello Rojo con el objeto de comercializar café tostado y molido, a finales de la década de 50 crea la marca de café soluble Colcafe, fruto de la fusión de las filiales chocolate Sanson, chocolate Chaves, Santa fe y Tequendama.

La fábrica de galletas Noel consolidada a principios de 1960 adquiere productos Zenu Ltda. En el año de 1978 la compañía nacional de chocolates e industria de alimentos Noel fundan el movimiento en defensa de la sociedad anónima y del patrimonio industrial de Antioquia, este movimiento se le conoce como sindicato antioqueño.

A mediados de la década de los noventa expande sus operaciones fuera del territorio colombiano con la adquisición de industrias HERMO en el sector cárnico de Venezuela, también se funda la compañía Dulces de Colombia S.A e ingresa a los vegetales enlatados con la empresa Proveg Ltda. A finales de esta década compra Productos alimenticios Doria líder en el mercado colombiano de pastas alimenticias y vende el 30% de galletas Noel a Danone para convertirlo en socio estratégico.

En el año 2000 se crea la empresa Novaventa como estrategia para incursionar en las ventas por catálogo, luego se consolida en el sector de cárnicos con la compra de Rica Rondo Industria Nacional de Alimentos S.A y expande sus operaciones a México y complementa la red de Ecuador y Venezuela. En el año 2004 adquiere las plantas de galletas y chocolates Nestle en Costa Rica fundando la compañía nacional de chocolates DCR y compañía de galletas Noel CR. En el año 2005 se compra el 30% que estaban en manos de Danone de galletas Noel.

Inversión Nacional de chocolates S.A pasa a llamarse Grupo Nacional de Chocolates y adquiere la compañía líder en helados Meals y la empresa Mil delicias dedicadas a la fabricación de platos listos congelados y convirtiéndolo en

la línea de Zenu sofia express. En el año 2008 en asociación con Alpina fundan la empresa La Receta dedicada a la atención del segmento de alimentación institucional un año después se adquiere Nustresa S.A de Mexico empresa que participa en el mercado local de galletas con marcas de alto reconocimiento y luego adquiriendo la empresa Fehr Holdings LLC en Estados Unidos dedicada a la producción y comercialización de galletas dulces con dos plataformas ubicadas en Texas y Oklahoma. En el 2011 el Grupo Nacional de Chocolates S.A cambia su denominación a Grupo Nustresa S.A representando todas las categorías de alimentos y empresas del grupo.

1.2 DIVISIÓN ALIMENTOS CARNICOS

El Grupo Nutresa tiene en sus empresas Zenu y Alimentos Cárnicos a cargo la producción de cárnicos, dentro de los cuales se destacan por la calidad de sus productos el excelente servicio al cliente y la innovación de sus productos alimenticios. Estas compañías tienen a su cargo la producción de las siguientes marcas comerciales

- Zenú
- Pietran
- Rica
- Ranchera
- Hermon
- Blue Ribbon

El objetivo de este estudio se centra en la empresa Alimentos Carnicos S.A y la importancia del proceso de producción de salchichas, la compañía motiva una búsqueda de mejoramiento continuo y busca garantizar un proceso de producción eficiente, confiable y disponible.

Alimentos cárnicos S.A.S es producto de la fusión de 7 empresas Rica Rondo, Suizo, Frigorífico Continental, Frigorífico del sur, Tecniagro, Proveg y productos mil delicias en el año 2008 concentrando sus operaciones en la planta de Bogotá D.C

1.3 PROCESO DE EMBUTIDOS

El proceso de embutidos se divide en las líneas de producción de salchichas y cerveceros. Para el objeto de este estudio se enfocara en la línea de salchichas de las cuales a continuación se describen los sub procesos que la componen.

- Molienda.
Proceso en el cual los bloques congelados de carnes congeladas son molidos.
- Mezclado.
Paso donde se mezcla la carne de la molienda con los condimentos de la receta según la referencia que está programada para producción.
- Emulsificado.
Llevar la mezcla al punto de pasta consistente y homogénea con características dependiendo de la referencia en producción.
- Embutido.
Proceso en el que se ejerce una presión para comprimir la pasta de carne dentro de una funda no comestible en forma de tubo
- Formado.
Proceso en el cual la pasta dentro del tubo se le dan las características de contenido y longitud.
- Cocción.
Proceso en el cual las salchichas pasan a través de un túnel de cocción continuo.
- Separado.
Proceso en el cual se individualizan las salchichas y se alistan para el proceso de empaque
- Empaque
Proceso en el cual se forma los paquetes del producto de la referencia comercial es empacado para ser comercializado

Figura 1. Línea de producción de salchichas



2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Alimentos Cárnicos S.A.S es una compañía líder en la producción y distribución de productos cárnicos, embutidos, madurados, larga vida y congelados. La planta de Bogotá se subdivide en cuatro líneas de producción: línea de cerveceros, hamburguesas, practicarne y salchichas (I y II). La línea de Salchichas es la de mayor producción en la compañía.

El proceso exige una alta confiabilidad y disponibilidad de sus equipos para mantener los estándares de cumplimiento y calidad que destacan a la compañía en el mercado. El proyecto se centrara en la línea de Salchichas II, focalizándose en la Empacadora (equipo encargado de hacer el empaque final para ser comercializado). En la línea de salchichas II trabajan dos empacadoras para cumplir con la meta de producción simultáneamente en dos turnos cada uno de 8 horas y una producción de 20 a 25 tandas diarias. (1 tanda \approx 2 toneladas)

La empacadora tiene actualmente los indicadores de tiempos perdidos más altos de toda la línea de salchichas II y un total de 70 averías en los últimos 48 meses generando un impacto en la productividad y afectando el flujo de producción. El proyecto se concentrara en estudiar los sub sistemas de la empacadora para poder identificar la sección que más incidencia tiene en el indicador de tiempos perdidos usando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.

3 OBJETIVO GENERAL

Incrementar la confiabilidad, disponibilidad y reducir los paros no programados de la empacadora TIROMAT GEA

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar subsistemas de la empacadora.
- Identificar fallas frecuentes.
- Clasificar fallas según los sub-sistemas.
- Identificar el sub-sistema con mayor impacto en el indicador tiempos perdidos.
- Desarrollar la metodología RCM para el sub-sistema de mayor criticidad.

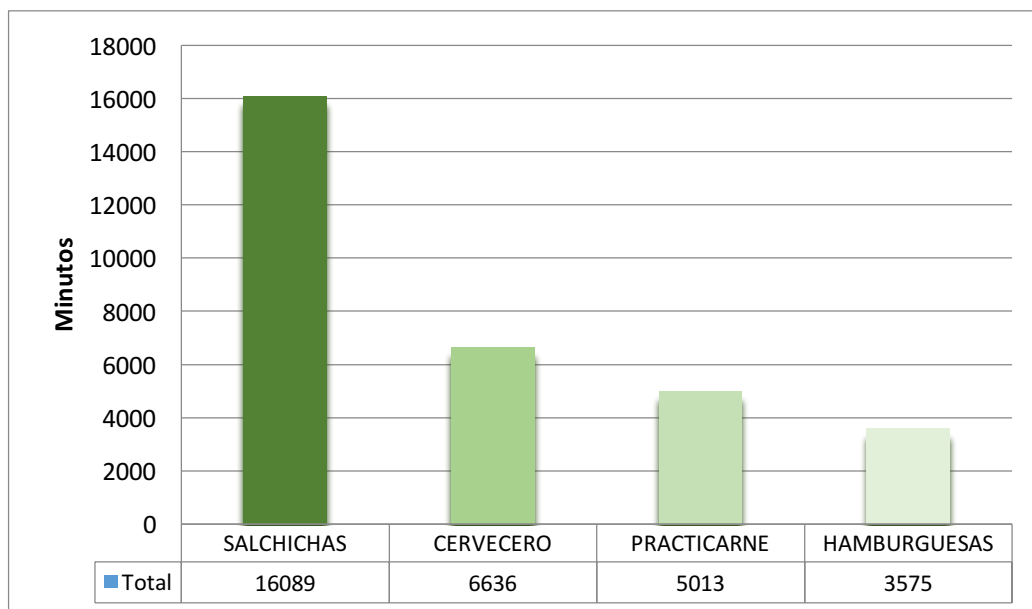
4 JUSTIFICACIÓN

Alimentos Cárnicos S.A.S en la línea de embutidos maneja 4 referencias comerciales de salchichas con una participación muy importante en el mercado regional. Este proyecto se enfocara en mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la línea más productiva, con una capacidad de 71,57 toneladas diarias de salchicha, para seguir garantizando la buena imagen, calidad y cumplimiento de la compañía

Enfocar la metodología RCM en la empacadora TIROMAT GEA permitirá a la línea de salchichas mejorar su confiabilidad, disminuyendo las paradas no programadas en el equipo y evitando afectar proceso anterior de molienda, formado, cocción y separado.

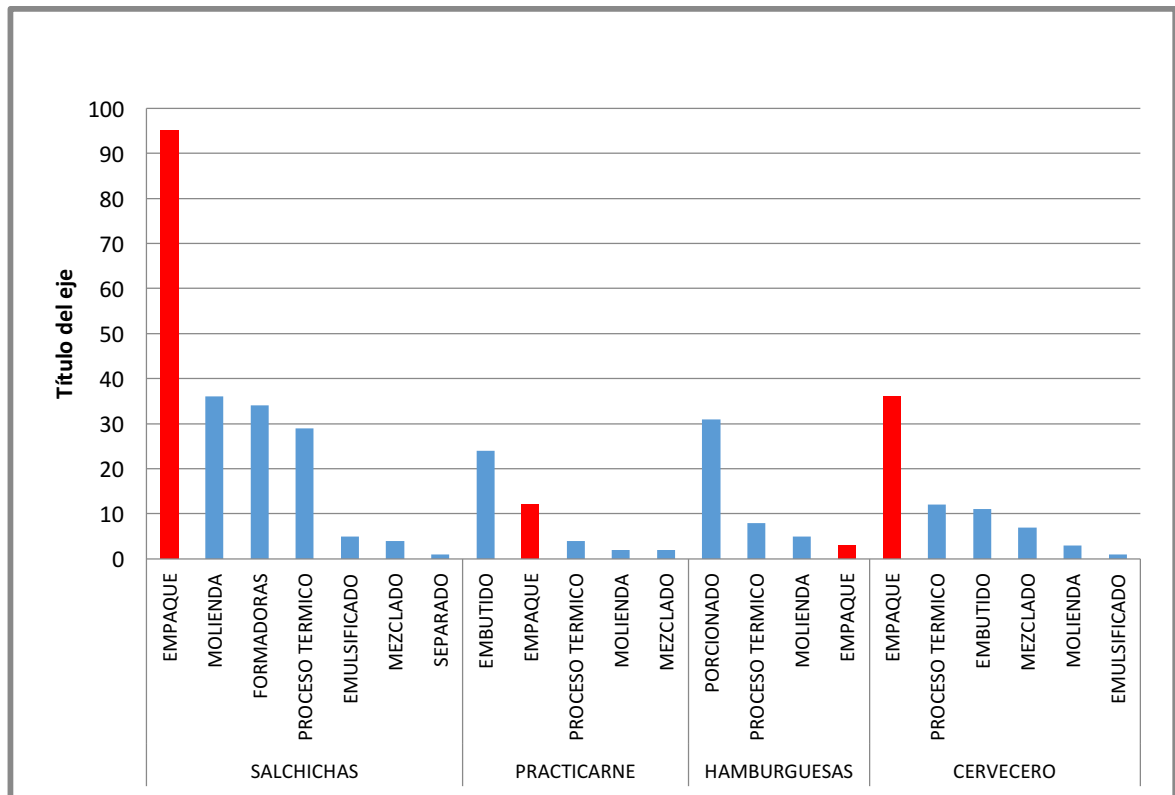
Los indicadores de tiempos perdidos muestran que la empacadora es un equipo que impacta la eficiencia de la línea de producción cuando entra en falla por ser una producción en línea y estar al final de ésta, éste impacto motiva el desarrollo del estudio de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para el equipo de empacado.

Figura 2. MTTR Planta Alimentos Cárnicos S.A.S 2016



En la Figura 2, se observa el indicador MTTR (Tiempo medio para la reparación) para las cuatro líneas de producción de la Planta en el año 2016. Nótese los minutos de indisponibilidad que maneja la Línea de Salchichas, 16089 minutos en un periodo de 23 días.

Figura 3. Averías planta Alimentos Cárnicos S.A.S 2016



La Figura 3 muestra averías en la planta durante el año 2016 por proceso productivo y por equipos que intervienen en cada proceso, las emparadoras tienen el indicador más alto con respecto a los demás equipos de la compañía 95 averías que detuvieron completamente la línea, indicador que refleja el impacto que tiene sobre la producción de la línea de salchichas y el comportamiento de equipo crítico dentro de la cadena productiva.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM

Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM es una metodología gestada en la en el sector aeronáutico norteamericano y surgió como una de necesidad de incrementar la confiabilidad de las aeronaves, en los años cincuenta la tasa de accidentalidad era tan alta que hacía que el sector de aviación civil fuera un medio de transporte inviable. La fuerza aérea norteamericana en los años setenta se interesa por conocer el estado del mantenimiento de las aeronaves.

Stanley Nowland y Howard Heap publican un documento al final de los años setenta en el cual entregan los lineamientos para la planificación del mantenimiento en aerolíneas. Este documento en la actualidad es un referente para gestión de activos. A principios de los ochentas la armada y la fuerza aérea toman como base el documento creado por Stanley y Howard para implementarlo a todo sus planes de mantenimiento.¹

En mitad de los años noventa la SAE publica la norma JA1011 la cual especifica los criterios del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM y empresas de diferentes sectores productivos ven en esta metodología una oportunidad de mejorar la disponibilidad de sus equipos y controlar los costos de mantenimiento. Disney es un ejemplo de la masificación del RCM a sector diferentes en el cual fue concebido, en el año 1997 revisa todo el plan de mantenimiento de los parques y decide implementar el RCM reduciendo costos de mantenimiento y aumentando disponibilidad, confiabilidad de las atracción de los parques.

El RCM es una filosofía de gestión de mantenimiento en el cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología lógica y sistemática para diseñar o mejorar un plan de mantenimiento óptimo a bajo costo

¹ **MOUBRAY, John.** *Reliability Centered Maintenance.* New York : Industrial Press Inc. , 1997

priorizado en las causas de la falla y el impacto que tengan sobre la operación, el medio ambiente y la seguridad de las personas que intervienen. Las bases para Gestar un mantenimiento centrado en confiabilidad RCM se encuentran en siete preguntas, las preguntas son las siguientes:

1. ¿Definir las funciones y estándares asociadas con el activo?
2. ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función en el contexto operacional?
3. ¿Qué causa la falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando falla?
5. ¿Qué ocurre si falla?
6. ¿Qué puedes hacerse para evitar la falla?
7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

5.2 METODOLOGÍA RCM

La metodología RCM es una serie de fases consecutivas de orden lógico donde se priorizan las funciones del equipo, antes de definir la metodología es importante entrar a tratar unos cambios de conceptos entre la metodología RCM y el mantenimiento tradicional.

En la metodología de mantenimiento tradicional se habla de cuidar el equipo y en RCM este concepto es cambiado por el de preservar su función. Función entendida como la capacidad que tienen el equipo de hacer lo que el usuario espera que haga dentro de un contexto operacional, este contexto operacional se define por la combinación de que espera el usuario que haga el equipo y asegurar que el equipo sea capaz de hacerlo. El primer paso será determinar una función primaria como la velocidad, producción, capacidad de carga entre otras, luego se establecerán por cada activo la función esperada para cumplir con la función primaria del equipo, dentro de la conformación del grupo de análisis RCM se debe tener en cuenta a los operadores de la maquina quienes son los más indicados para aportar desde su punto de vista a la definición de todas las funciones de la máquina².

² CAMPOS, Monica., FUMAGALLI, L., FERNÁNDEZ, J., MÁRQUEZ, A., & MACCHI, M. (2010). UML model for integration between RCM and CBM in an e-Maintenance architecture. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*.

Otro concepto importante que el RCM presenta es la extensión de ciclo de vida de la maquina dentro de su operación, todas las estrategias enfocadas a prolongar en el tiempo la etapa de descarte y tener como objetivo del mantenimiento una visión a largo plazo algo que no sucedida en las metodologías de mantenimiento tradicionales donde la prioridad era mantener el equipo en marcha

La teoría indica que en todo análisis RCM se debe tener la estructura de las siete preguntas, creando un flujo para llegar a las tareas que permitan la confiabilidad en el equipo.

5.2.1 Identificación y codificación de equipos en planta. Se debe empezar con un listado organizado de los equipos en planta con una estructura jerárquica que permita ver la dependencia y correlación entre equipos y componentes, saber la afectación entre componentes y sistemas es importante para poder tener un panorama general sobre equipos críticos. Después de tener identificado todos los activos de la planta se referencia el equipo al que se le practicara el análisis RCM, formando un listado detallado de componentes y sistemas con un código de identificación.

5.2.2 Especificación y definición de Funciones. Comenzar por las especificaciones generales del equipo es necesario para tener claro que se esperamos que nos entregue todo el sistema, luego debemos definir por componente o sub sistema la función que ayudará a cumplir con las especificaciones generales del equipo, se debe tener claro cada componente y su importancia sobre la afectación de las especificaciones.

5.2.3 Determinación de las fallas funcionales. Un fallo funcional es la operación por fuera de los límites esperados o pérdida total de la función, se debe realizar un análisis para cada parte y listar en cada uno de esos componentes la falla funcional. Es importante tener pleno conocimiento de la función de cada elemento o sub sistema y esto facilitara determinar su posible falla y poder anticiparla.

5.2.4 Establecer los modos de fallas. Tener claro que el análisis RCM es un método lógico y con un flujo estructurado y se debe tener una atención sobre el desarrollo de cada una de sus etapas, cada paso ayudará a desarrollar la siguiente. En esta etapa se deberá usar las fallas funcionales para poder establecer de qué manera pueden llegar a fallar y es importante definir de manera clara cada una de las funciones para poder establecer la manera en cómo esa función puede fallar es inevitable tener claro hasta donde se debe profundizar y tener siempre presente el Pareto, que un 20% es responsable de un 80% de los problemas

5.2.5 Estudio de las consecuencias de los fallos y análisis de criticidad.

En esta etapa del RCM se debe empezar por contestar ¿Qué pasa si la falla ocurre?, ésta debe ser contestada con base a la afectación a la seguridad, medio ambiente y producción. Podemos clasificarlas en cada uno de estas como crítica, importante o tolerable. Para el tema de seguridad y medio ambiente podemos definirla como crítica si la probabilidad de que ocurra es alta y su impacto repercute en la violación de una norma ambiental o accidente grave, se puede denominar importante si la probabilidad de que pase es baja pero sus consecuencias son de alto impacto sobre la salud de las personas o el ambiente para poder catalogarla como tolerable el impacto puede seguir siendo alto pero la probabilidad es insignificante.

Para el área de producción se clasificará como crítica si los procesos se detiene totalmente o afecta la calidad del producto final siempre y cuando exista una probabilidad de ocurrencia, para que la afectación pueda llamarse importante el impacto en la producción puede ser una parada corta, la calidad se ve afectada o una disminución de su desempeño nominal con una baja probabilidad que pueda llegar a ocurrir. Cuando el proceso no se ve afectado o es despreciable se puede tomar como tolerable.³

Para el área de mantenimiento se puede definir un impacto crítico, importante y tolerable si la ocurrencia de la falla afecta al equipo de tal manera que la reparación supere límites propuestos para su reparación.

³ **SMITH, Anthony.** *Reliability Centered Maintenance.* New York : McGraw Hill Inc, 1992.

5.2.6 Determinación de las tareas de mantenimiento Este es el paso esencial del RCM que determinará las tareas guiadas a evitar el fallo o disminuir su impacto, el resultado de ésta etapa genera actividades de mantenimiento, rediseños, formación de personal e intervenciones de mantenimiento. Las tareas de mantenimiento se pueden evaluar de bajo costo y alto costo, la selección de las tareas de alto costo deben ir enfocadas a evitar las fallas de alto impacto y probabilidades de ocurrencia, para esto es importante un correcto análisis de criticidad en la etapa anterior.

Tabla 1. Tipos de Tareas de mantenimiento⁴

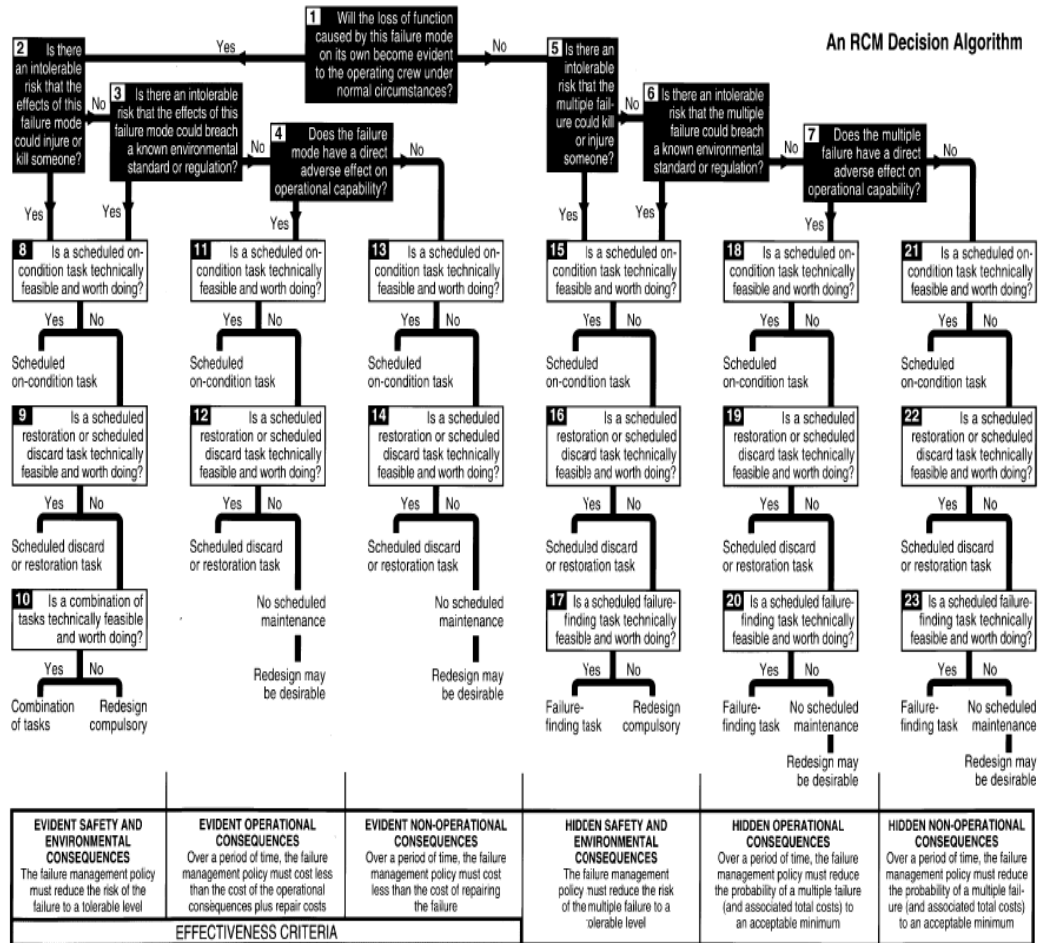
TIPOS TAREAS DE MANTENIMIENTO	
1 Monitoreo en línea	Continiouson condition task
2 Análisis de condición	Scheduled restoration task
3 Recuperar condición	Scheduled restoration task
4 Cambio de partes	Scheduled replacemen to discard task
5 Búsqueda de Fallas	Scheduled funcion test
6 Operar hasta que falla	Run to failure
7 Cambio de diseño	Redesign

La norma SAE JA1012 es una guía para la implementación de un estudio RCM con el objetivo de mostrar un camino a seguir para la implementación del análisis, tiene también el objetivo de dar claridad a los criterios del método y profundizar en cada uno de ellos. La norma no pretende ser un manual a la hora de la implementación es una caja de herramientas propuesta para poder de manera

⁴ **PLATA, Daniel Ortiz.** Seminario en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. RCM. Bogotá, 2017

organizada implementar el método, el árbol de decisión de las tareas es una de esas herramientas que la norma nos presenta para hacer un estudio de RCM.

Figura 4. Árbol de decisión para tareas de mantenimiento SAEJA1012⁵



5.3 INTEGRACIÓN DEL RCM A LA INDUSTRIA

El RCM es ampliamente probado en empresas de distintas naturalezas desde el sector aeronáutico, plantas nucleares y fuerzas militares, demostrando su aporte a dar valor a sus activos fijos. Las empresas de primer nivel son ejemplos de éxito

⁵ NORMA SAE JA1012, A Guide to the Reliability-Centred Maintenance (RCM) Standard

teniendo factores con el liderazgo y el compromiso de sus empleados, el éxito de la implementación de RCM es crear una cultura de confiabilidad y aprender de casos de éxito documentados y publicados.

Whirlpool, Ohio realizó 27 análisis de RCM donde fueron identificados más de tres mil modos de falla, donde se lograron identificar un total 2225 tareas distribuyéndose en un 2% de hallazgo de fallas, 7% son de PM, 11% rediseños, 27% mantenimientos predictivos y un 53% en poder de ejecución de los operarios. El resultado fue una reducción en costos de mantenimiento de 22,7%. Otro caso es el de la empresa Dunlop Sports, dedicada a la fabricación de pelotas de golf en Carolina del Sur, esta compañía ejecutó 18 análisis RCM centrándose en sus activos críticos con resultados en dos años de un incremento de la productividad en un 26%, en este análisis identificaron 1937 tareas de las cuales el 3% fueron hallazgo de fallas, 10% de PM, 17% Rediseños, 21% mantenimiento predictivo y un 49% a cargo de los operarios. Aparte de los resultados en el aumento de la productividad el departamento de mantenimiento obtuvo una reducción de 200% de emergencias y demandas de mantenimiento y el costo de mantenimiento por decena de pelotas de golf cayó de 77 centavos a un promedio de 24 centavos.

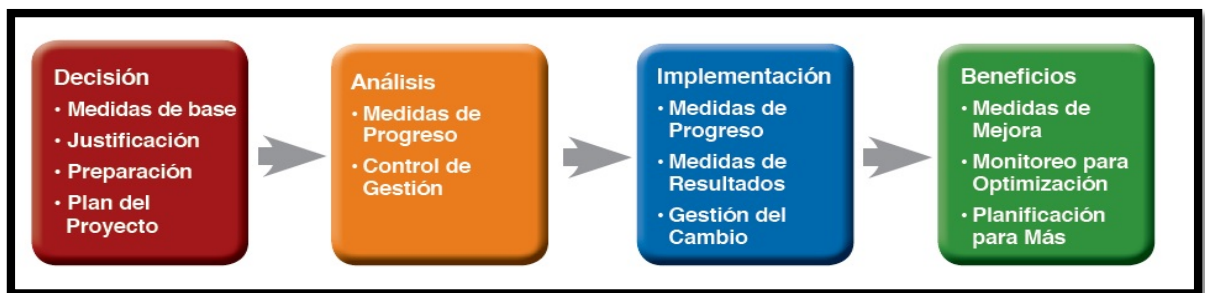
Pero sin importar que la estrategia está bien planteada desde un principio, si el liderazgo para crear esta cultura de confiabilidad no está presente, el camino hacia el fracaso del RCM estará marcado para la organización.

El Mantenimiento centrado en confiabilidad ha cobrado fuerza en el sector industrial en los últimos años gracias a las normas ISO 55000 unas normas enfocadas en los activos fijos. La importancia de los activos comienza en el año 1993 en el Reino Unido con la creación del Institute of Asset Management (IAM) en un principio es la agrupación de empresas dedicadas a compartir su experiencia en el manejo de sus activos fijos con el objetivo de mejorar su rentabilidad y productividad, en el año 2003 se crea el British Standard Asset Management y en el 2004 se publica el Standard PAS 55 donde se presentan 28 requerimientos que estandarizan la gestión de activos para que sean aplicables a cualquier tipo de industria donde sus activos sean críticos para el cumplimiento de los objetivos del negocio. Debido al éxito del estándar PAS 55 en el año 2008 la organización internacional de estandarización se da cuenta que tiene una norma dedicada a la calidad y resultado hacia los clientes ISO 9001, una norma para la seguridad de las personas ISO 18000 y otra para la conservación del medio ambiente ISO 14000 pero le hace falta una con el objetivo a la rentabilidad y productividad de las empresas y es donde decide crear las normas ISO 55000. En esta norma cobra una importancia y relevancia el área de mantenimiento dentro de las organizaciones, la norma le da unos objetivos claros a la gestión de mantenimiento como el funcionamiento de los activos, el manejo de riesgos, costos, enfoque de ciclo de vida total y desempeño mediante características de

confiabilidad y análisis de criticidad. Las industrias de clase mundial y grandes compañías ya venían aplicando los conceptos de RCM y criticidad mucho antes que las normas ISO 55000 fueran lanzadas, el nivel de implementación de estrategias de mantenimiento como RCM en industrias medianas y pequeñas es muy baja en Colombia por ejemplo el sector petrolero lidera la gestión de activos fijos lo siguen el sector cementero, las siderúrgicas y la generadoras de energía. El sector industrial aun no aparece con fuerza en el mapa de la gestión de activos algo que a futuro gracias a las normas ISO 55000 será el eje central para la competitividad y enfrentar la competitividad de la globalización.

En el mercado existen varias organizaciones y empresas dedicadas a acompañar la implementación de RCM a todo tipo de industrias, las capacitaciones en el tema de confiabilidad han empezado a ser parte de la agenda de muchos profesionales que saben que la gestión de activos y confiabilidad son el eje central de la competitividad en el futuro. Para en gerenciar un proyecto RCM es importante tener claro cuatro etapas.

Figura 5. Etapas para gerencia un proyecto RCM⁶



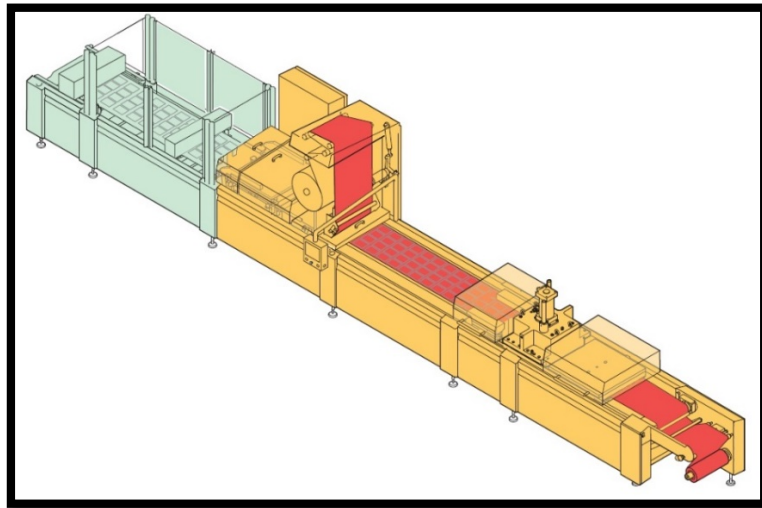
En general para todos los sectores donde sea aplicable el RCM debe tener una visión de éxito pero en las medianas y pequeñas industrias es importante gerenciar un proyecto de RCM que no fracase dado que la destinación de recursos en estas empresas es limitado y llega a ser un capital importante dentro de la compañía, el método de RCM no es el que fracasa lo que llega a fracasar es la gerencia del proyecto por no cultivar la debida cultura de confiabilidad, por no definir sus pasos. El liderazgo como se mencionaba al principio es fundamental acompañarse de profesionales capacitados en RCM y gestión de activos es de gran ayuda.

⁶ **RELIABILITY WEB.** Reliability Web, a Culture of Reliability. [En línea] [Citado el: 27 de julio de 2017.] <https://reliabilityweb.com/articles/entry/the-reliability-impact-within-the-p-f-curve>

5.4 EMPACADORA TIROMAT GEA

La empacadora GEA Power Pack es un equipo de termo formado enfocada en el sector de alimentos procesados. El equipo por medio de vacío, calor y moldes genera contenedores que se llenan con producto procesado y luego son sellados al vacío para crear un espacio inocuo y evitar el desarrollo de bacterias y daño en el producto o afectación a la salud del consumidor. La fabricación de estas máquinas es realizada por el grupo GEA en Alemania, este grupo se dedica al suministro de equipos para el sector alimenticio.

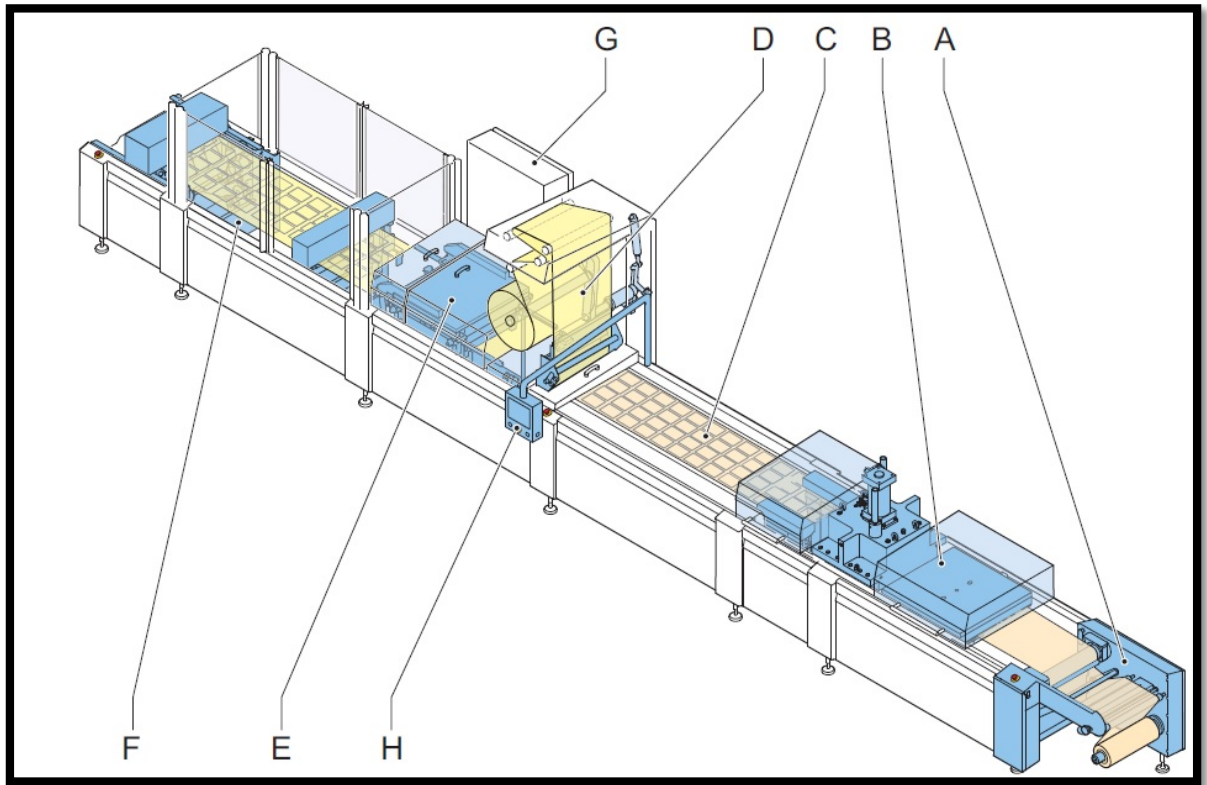
Figura 6. Empacador Tiromat GEA Power Pack



Estos equipos deben garantizar que el empaque al vacío cumpla con estándares altamente higiénicos desde sus materiales de contacto que son de acero inoxidable y sus películas de formación de empaque servir como una barrera a los gases y oxígeno. Es necesario que el equipo garantice una generación de vacío equivalente a 10 milibares al momento del empaque y sellado.

5.5 COMPONENTES EMPACADORA TIROMAT GEA POWER PACK

Figura 7 Componentes Empacadora Tiromat GEA Power Pack⁷



5.5.1 Alimentación película inferior. Existen diferentes tipos de materiales para el empaque dentro de los que se encuentran:

- 1 Hojalata
- 2 Vidrio
- 3 Polímeros
- 4 Cartón y papel

⁷ NEUSTADL. GEA PowerPak NT 55200119. *Manual del Operador*. Wallau : GEA Food Solutions Germany GmbH, 2013. Vol. 1

Los dos primeros materiales de empaque tienen como ventaja para el producto que no necesita ser refrigerado hasta su apertura y son una alta barrera contra contaminación por gases como desventaja están sus altos costo. El cartón y el papel son baratos pero muy permisibles a dejar contaminar el producto frente a gases. La materia más usada son los polímeros, el cloruro de polivinilideno o PVDC es destacado por su excelente barrera al oxígeno su resistencia, flexibilidad, transparencia y costo.

El polímero es entregado en bobinas y fijado a los ejes del alimentador con un enhebrado que permite tener tensión constante para poder hacer el proceso de formado.

Figura 8. Sección A alimentación película inferior



5.5.2 Movimiento en línea Este movimiento es realizado por un tren de cadenas que se mueven en sentido de avance accionado por un servomotor para controlar la posición exacta en cada sección del equipo la cadena tiene una longitud de 29 metros.

Figura 9 Cadena de transporte.



5.5.3 Sección de termoformado La sección de termo formado genera los bolsillos donde se alojará el producto de empaque final. Inicia con una plancha que calienta la película inferior y la prepara para ser ingresado al molde, con ayuda de una presión negativa la película caliente toma la forma en el molde.

Figura 10. Sección B Termo formado



5.5.4 Área de llenado En esta área los bolsillos ya se encuentran formados y listos para recibir el producto que va ser contenido por el empaque.

Figura 11 Sección C Llenado



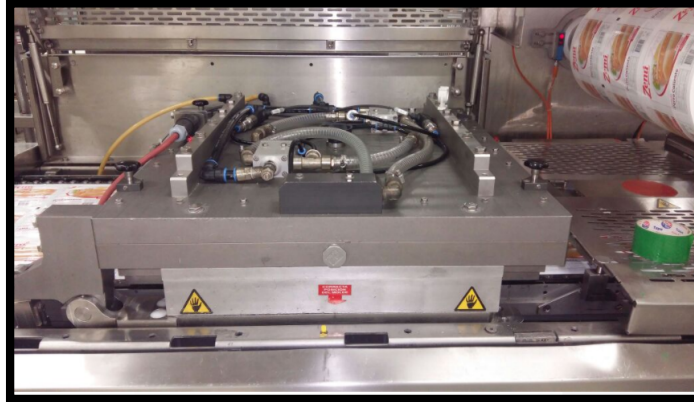
5.5.5 Alimentación película superior Esta sección contiene la bobina con la película superior pre impresa (para la mayoría de las referencias) con el tipo de producto que va ser empacado, por medio de un enhebrado y un control de freno esta sección genera una tensión constante para que la sección de sellado pueda tener una buena calidad.

Figura 12. Sección D Alimentación película superior



5.5.6 Estación de sellado. La estación de sellado se encarga de extraer el aire del empaque, en algunos productos se hace necesario inyectarle un gas que ayuda a la conservación de los alimentos. Esta técnica se le denomina MAP o envasado con atmosfera protectora se usan gases como Nitrógeno, Argón y Dióxido de carbono. Para el caso de alimentos cárnicos es suficiente la generación de vacío para conservar los productos, luego de hacer el vacío con ayuda de moldes el aire del empaque es succionado y luego el molde se cierra para unir las dos películas y dejar listo el empaque.

Figura 13. Sección E Estación de Sellado



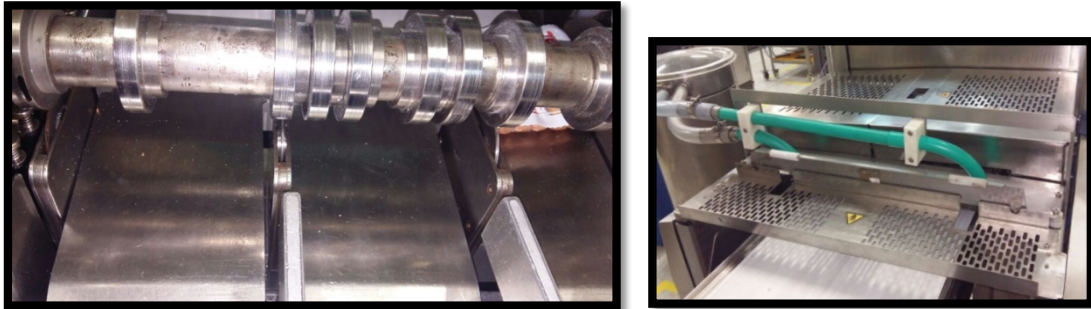
5.5.7 Sección de corte longitudinal. Los empaques sellados vienen en forma continua en un matriz cuadrada de celdas que deben ser separadas para tener la presentación que será comercializada al consumidor. Esta sección corta en sentido dirección de la maquina dejando columnas de empaques.

Figura 14. Sección F Corte Longitudinal



5.5.8 Sección de corte transversal. Luego de separar por tiras paralelas las cuchillas transversales cortan las columnas continuas de la sección longitudinal y las corta a lo ancho de la máquina para dejar los empaques individuales.

Figura 15. Sección F Corte Transversal

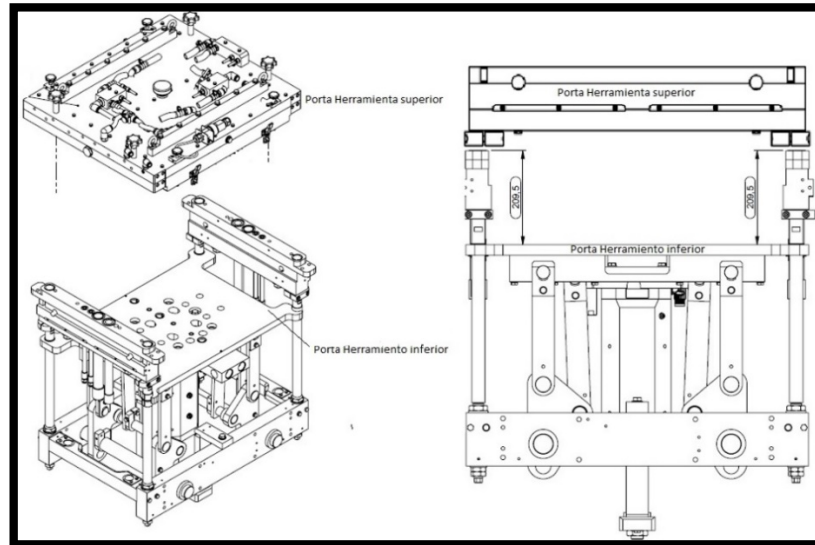


5.6 SECCIÓN DE SELLADO POR TERMOFORMADO

5.6.1 Etapa de elevación. La película inferior que para esta sección ya tiene la forma de los bolsillos y contiene el producto se encuentra con la película superior y se unirán para formar el empaque hermético. La primera etapa del ciclo es la elevación del molde posicionando la sección de molde inferior contra la parte superior fija.

5.6.2 Molde para sellado. El molde de sellado se compone de dos cámaras. La parte inferior con la forma del bolsillo y movimiento de elevación para cerrar contra la cámara superior, las dos cámaras tiene conductos que permite la extracción del aire por medio de bombas de vacío externas. La parte superior se encuentra fija conteniendo la plancha caliente y una membrana neumática (diafragma) que ejecuta un desplazamiento de 10mm. El molde inferior está instalado en un porta herramienta con desplazamiento lineal controlado por un servo motor.

Figura 16. Porta Herramienta



5.7 ETAPA EXTRACCIÓN DE AIRE

La extracción de aire se hace con ayuda de un circuito de vacío conectado a las dos cámaras del molde con una presión negativa generada por unas bombas de vacío marca BUSCH tipo paletas. Un bloque de válvulas neumáticas controlan un actuador que se encarga de abrir el circuito de vacío y permitir que se genere un vacío de 10mbar al interior del molde en la posición de elevación.

Figura 17. Bombas de vacío



5.8 ETAPA SELLADO POR CALOR

Luego de hacer la extracción de aire la placa superior infla una membrana neumática (diafragma) que desplaza la plancha caliente. La plancha eleva la temperatura para fusionar las dos películas por medio de resistencias eléctricas, la temperatura necesaria para hacer el sellado de las dos películas se encuentra en el rango de 135°C y 150°C dependiendo del calibre las películas, a través de la experiencia, se ha venido estandarizando a 140°C.

Figura 18. Plancha de calentamiento



Figura 19. Membrana neumática (diafragma) plancha



5.9 REFRIGERACIÓN DE SELLADO

El molde de sellado tiene que estar a temperatura ambiente y mantenerse siempre fresco, al igual que el servomotor, una pieza importante para realizar el desplazamiento de cierre y apertura. La cámara superior donde se encuentra la plancha caliente es la única que se le permite tener la temperatura de sellado acorde al calibre de las películas.

La refrigeración del molde se hace por medio de la transferencia de calor con un circuito de agua que pasa por canales especiales ubicados dentro del molde y un intercambiador de calor interno del servomotor. El flujo de agua es constante y la temperatura de los componentes por donde circula no debe superar la temperatura ambiente.

5.10 ETAPA DE DESPRESURIZACIÓN.

En esta etapa el actuador que se encontraba en posición de permitir el vacío en el molde cambia de estado cerrando el vacío y dando apertura a presión atmosférica para poder hacer despresurización.

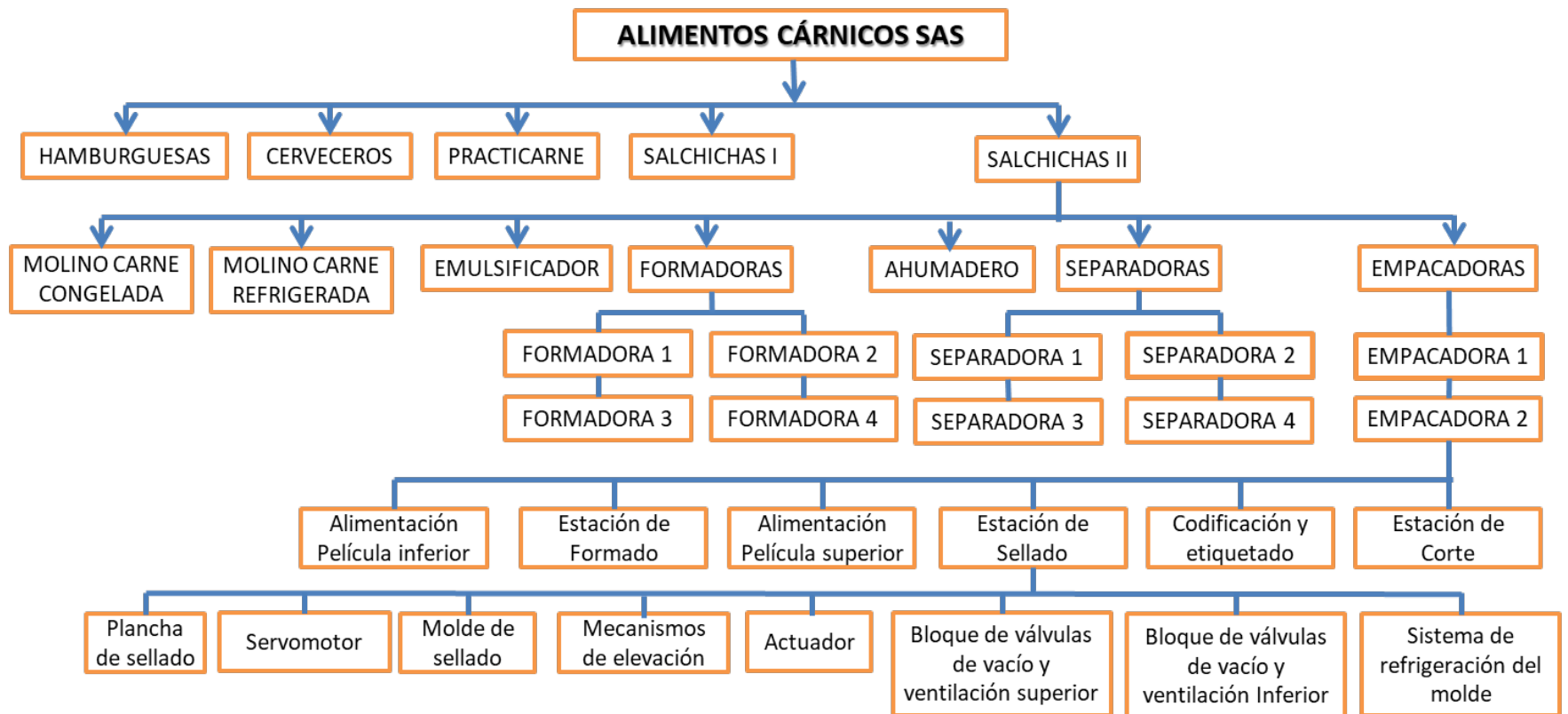
5.11 ETAPA DE APERTURA

El servomotor que se encuentra en la parte inferior recibe la señal para dar apertura del molde desplazándolo hacia abajo, cuando está en la posición adecuada, el molde libera los bolsillos y permite que la cadena principal continúe con el movimiento en el sentido de producción.

6 DISEÑO RCM EMPACADORA TIROMAT GEA POWER PACK

6.1 TAXONOMÍA DE EQUIPOS EN PLANTA

Figura 20 Taxonomía de equipos Alimentos Cárnicos S.A.S



6.2 DETERMINACIÓN CONTEXTO OPERATIVO

6.2.1 Características técnicas empacadora. La empacadora se encuentra ubicada en el final de la línea de salchichas II con fácil acceso a sus componentes, lejos de fuentes de calor y tiene un ambiente controlado a una temperatura de 10°C. Sistema de purificación de aire y humedad relativa de 60%.

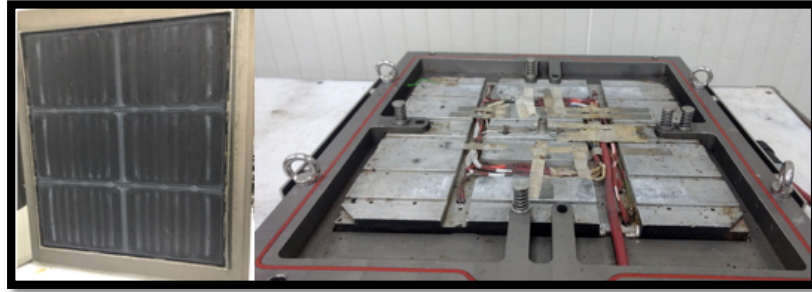
Tabla 2. Características técnicas empacadora

Descripción	Medida
Longitud general	15560mm
Ancho general	1360mm
Altura general	2380mm
Peso	4000-7000kg
Longitud de cadena	29,262m
Longitud mín/máx. de ciclo	450 / 580mm
Ancho de la película	520mm
Nivel de ruido	70,3dB
Elevación de estación moldeadora / selladora máx.	150mm
Suministro eléctrico trifásico	460VAC/60Hz
Temperatura	5 °C < T < 35C
Humedad relativa	< 90%
Presión neumática	8 Bar
Presión de vacío	20mbar
Presión de agua	4Bar

6.2.2 Servomotor. El movimiento de apertura y cierre del molde se controla desde el panel del operador dependiendo del tipo de formato que se encuentre en producción. Para ejecutar este movimiento que debe ser exacto para no golpear el molde con la plancha, el equipo cuenta con un servomotor que posiciona la sección inferior con avances milimétricos.

6.2.3 Plancha de sellado. A través del panel de operador se determina la temperatura a ser usada para el sellado de las películas dependiendo del calibre el rango de trabajo es de 135°C - 150°C. Las resistencias eléctricas se insertan en la plancha y la lectura de la temperatura se hace por medio de un sensor tipo PT100.

Figura 21. Plancha de sellado



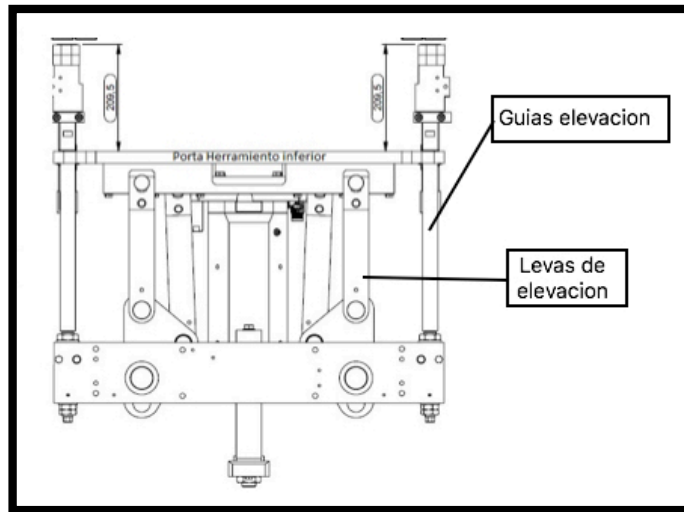
6.2.4 Molde de sellado. El molde de sellado se compone de dos partes, una sección de aluminio con la forma de los bolsillos y otra sección llamada antejo que está compuesta de un perfil en silicona y es la que se encarga de recibir la plancha caliente para hacer el sellado, el antejo tienen la forma superior del paquete. Dependiendo del formato que se esté produciendo el molde es cambiado por el operario.

Figura 22. Molde



6.2.5 Mecanismo elevación. El mecanismo de elevación está en la parte inferior de la sección de sellado, tiene barras guías que restringe el movimiento solo en dirección vertical ascendente y descendente, las barras se conectan al porta molde por bujes llamados igus fabricados en un materia plástico auto lubricado permitiendo un suave desplazamiento del porta herramienta. Las levas facilitan al servomotor hacer el movimiento de cierre y apertura.

Figura 23 Mecanismo de elevación



6.2.6 Actuadores de vacío y ventilación. Los actuadores son válvulas de paso accionadas neumáticamente que permite habilitar la función de vacío y despresurización según la etapa del ciclo en el que se encuentre el equipo.

Figura 24. Actuadores vacío y ventilación inferior

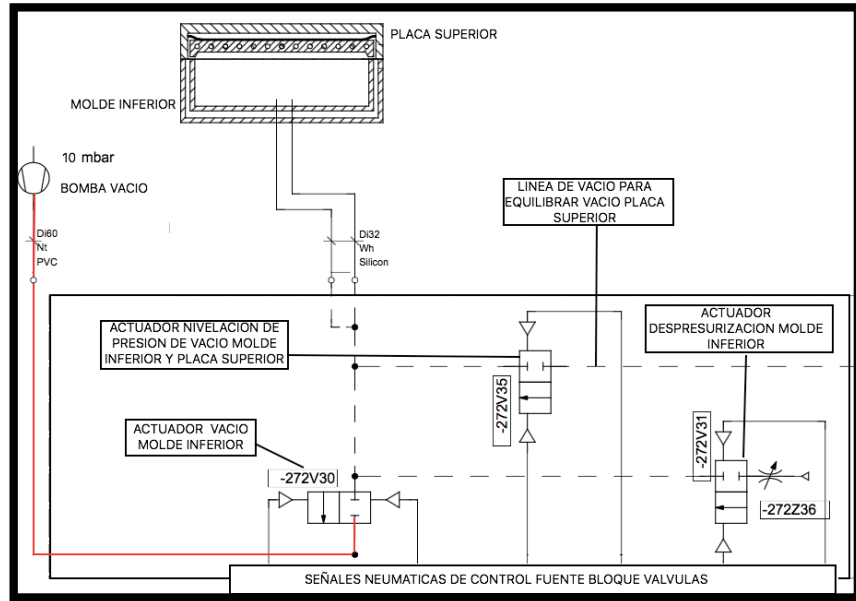
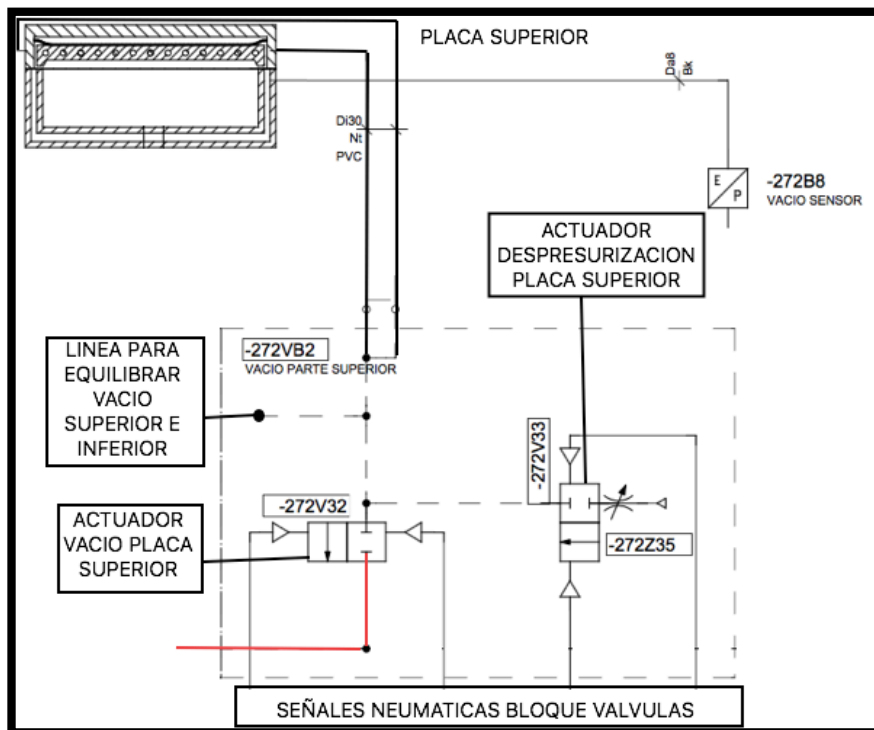


Figura 25. Actuadores vacío y ventilación superior



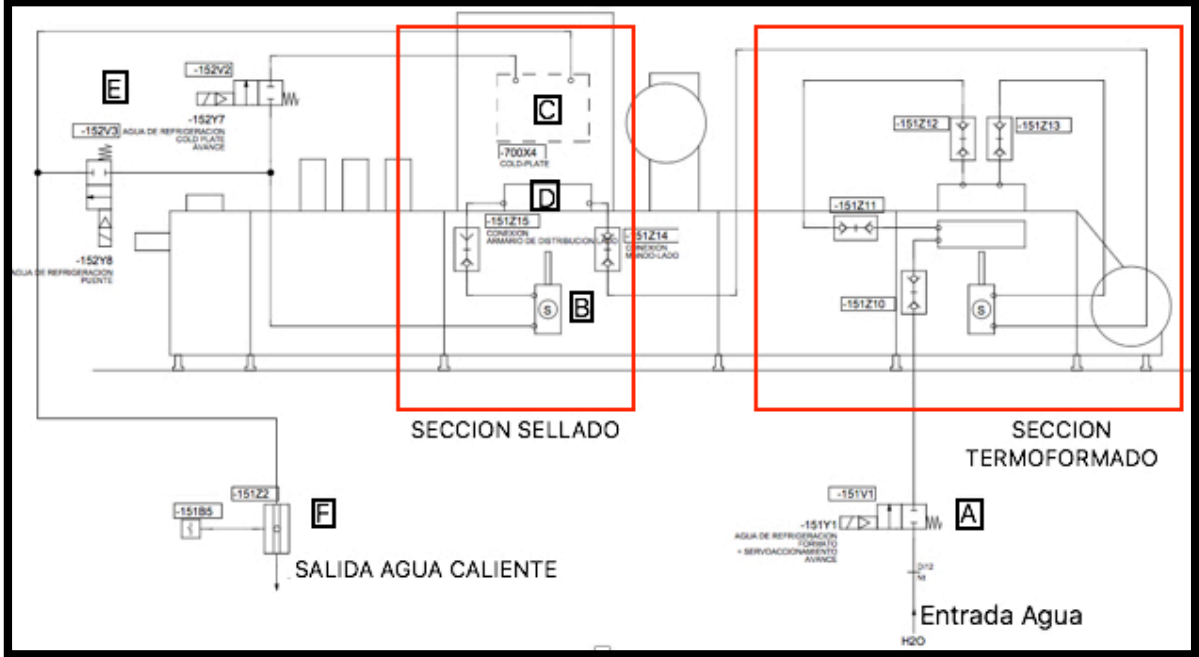
6.2.7 Bloque de válvulas de vacío y ventilación inferior/superior. El bloque de válvulas es un manifold de válvulas neumáticas biestables 5-2 de accionamiento eléctrico y controlan el estado de vacío en el molde para la extracción de aire o la despresurización para poder hacer la apertura. El bloque de válvula se encuentra ubicado en la sección inferior de la estación de sellado y es alimentado por la red neumática principal.

Figura 26. Bloque de Válvulas de vacío y Ventilación superior e inferior



6.2.8 Refrigeración molde de sellado. La refrigeración consiste en hacer circular agua por un circuito y su objetivo es bajar la temperatura de los componentes. La entrada de agua es controlada por la válvula A y pasa en primer lugar por la sección de termoformado de la empacadora, después de pasar por esta sección ingresa por el porta herramienta a través del puente D. El circuito continúa por el servomotor B y llega a las válvulas E que conectan y controlan el paso por el porta plancha C. La salida de agua caliente es regulada por F y llevada a un tanque de recuperación donde la temperatura es controlada.

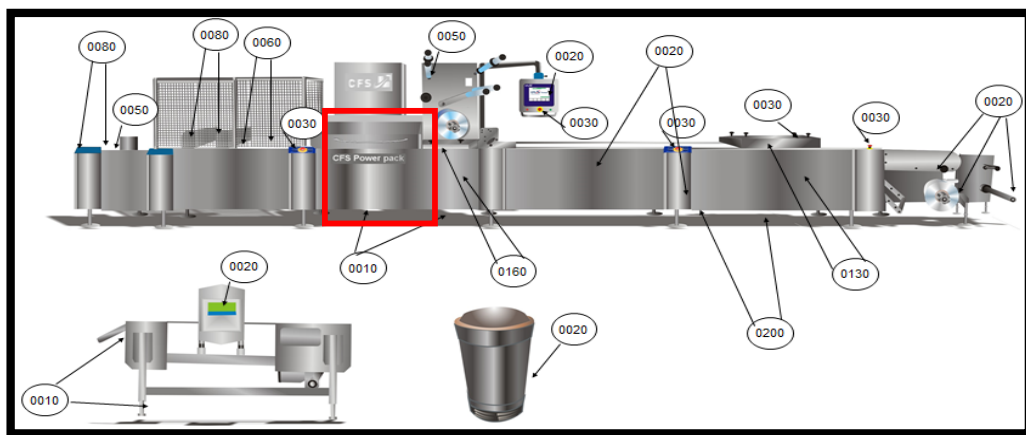
Figura 27 Circuito de refrigeración



6.3 DETERMINAR FRONTERAS

En la figura anexa, se evidencian los sistemas y subsistemas de la empacadora, se debe realizar una limitación o análisis de frontera e interfaces, que contemple los componentes que más han repercutido en la falla de la máquina. Para el caso de estudio se tendrá en cuenta la sección de sellado, y quedara por fuera del análisis la generación de vacío, el suministro eléctrico, neumático e hidráulico.

Figura 28 Frontera Empacadora (Sistema de sellado)



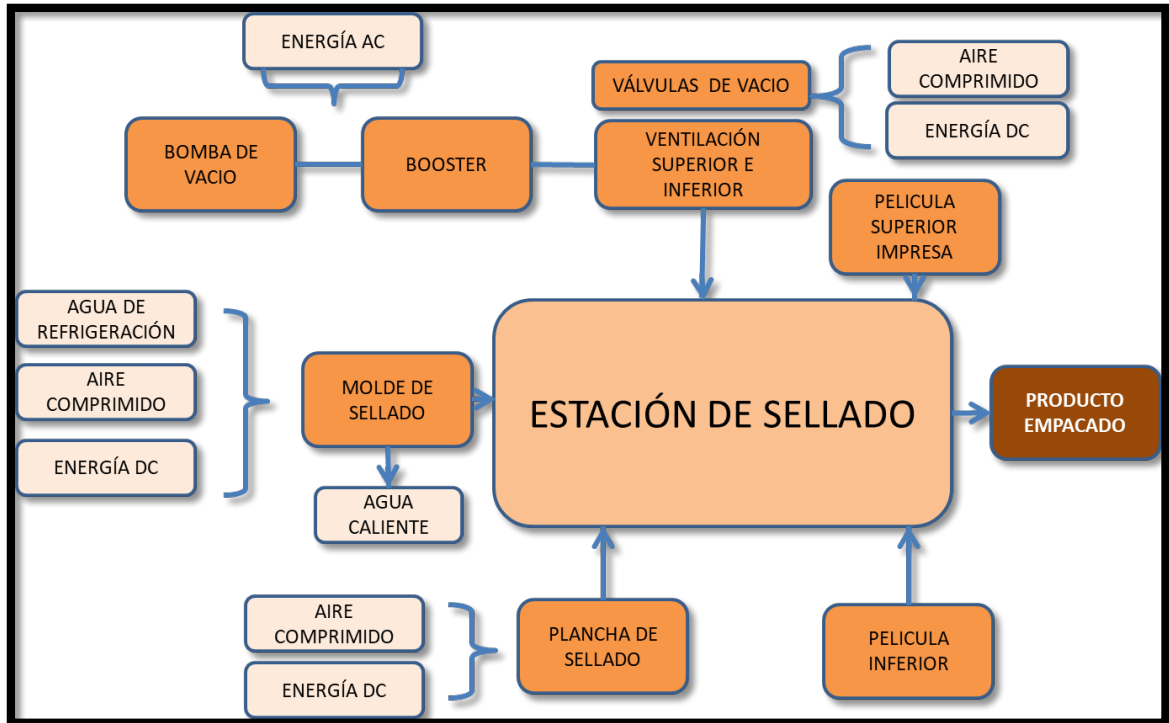
Cuadro 1. Clasificación general de la Máquina

Clase de Sistema	Código de sistema	Nombre del sistema
GENERAL	0010	ESTRUCTURA
GENERAL	0020	MANDO GENERAL
GENERAL	0030	SEGURIDAD
GENERAL	0050	TRANSPORTE
ESPECIFICO	0020	ALIMENTACIÓN
ESPECIFICO	0030	ASPIRADO
ESPECIFICO	0060	CODIFICADO
ESPECIFICO	0080	CORTE
ESPECIFICO	0130	FORMADO
ESPECIFICO	0160	SELLADO
ESPECIFICO	0200	VACÍO

Cuadro 2. Clasificación general de sistema de sellado

Clase de Sistema	Código Sistema	Código componente	Descripción del Componente
ESPECIFICO	0160	001	GUÍA DE POSICIONAMIENTO DEL MOLDE
ESPECIFICO	0160	002	BASE DE MOLDE
ESPECIFICO	0160	003	SERVOMOTOR DE ELEVACIÓN DEL MOLDE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	004	LEVAS DE ELEVACIÓN
ESPECIFICO	0160	005	EJES DE ELEVACIÓN
ESPECIFICO	0160	006	IGUS DE ELEVACIÓN
ESPECIFICO	0160	007	SENSOR DE VACIO INFERIOR
ESPECIFICO	0160	008	BLOQUE DE VACIO
ESPECIFICO	0160	009	BLOQUE DE VÁLVULAS
ESPECIFICO	0160	010	PLACA SOPORTE MOLDE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	011	RESISTENCIAS PLANCHA DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	012	CLAVIJA DE CONEXIÓN PLANCHA DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	013	SENSOR DE TEMPERATURA PLANCHA DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	014	PUENTE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	015	MOLDE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	016	PERFIL SILICONA ANTEOJO DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	017	MARCO ANTEOJO MOLDE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	018	VÁLVULAS DE VACIO PUENTE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	019	SENSOR DE VACIO SUPERIOR
ESPECIFICO	0160	020	MANGUERAS DE VACIO
ESPECIFICO	0160	021	MANGUERAS NEUMÁTICAS
ESPECIFICO	0160	022	LEVAS DE ELEVACIÓN SELLADO
ESPECIFICO	0160	023	IGUS DE SISTEMA DE ELEVACION SELLADO
ESPECIFICO	0160	024	VÁLVULAS DE AIREACIÓN
ESPECIFICO	0160	025	ACTUADOR DE VACIO MOLDE
ESPECIFICO	0160	026	ACTUADOR DE AIREACIÓN MOLDE
ESPECIFICO	0160	027	ACTUADOR DE VACIO PUENTE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	028	ACTUADOR DE AIREACIÓN PUENTE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	029	PERNOS DE SUJECIÓN PUENTE DE SELLADO
ESPECIFICO	0160	030	RACORES DE CONEXIÓN

Figura 29. Entradas y Salidas Sistema de Sellado



6.4 DEFINICIÓN DE FUNCIONES

6.4.1 Función servo motor

- Realizar movimiento vertical del molde de sellado, ascendente o descendente
- Controlar la elevación del molde según referencia de producto

6.4.2 Plancha de sellado

- Incrementar temperatura para sellar la película superior con la inferior
- Conductor de electricidad
- Sensar el nivel de vacío según set point
- Permitir el vacío para la extracción de aire
- Ejercer presión sobre la plancha para hacer el sellado
- Permitir el desplazamiento de la plancha caliente

6.4.3 Molde de sellado

- Dimensionar el sellado
- Soportar la presión mecánica para el sellado
- Permitir el vacío para la extracción de aire

6.4.4 Mecanismo de elevación

- Dar soporte estructural al molde de sellado
- Disminuir la fricción de los componentes metálicos
- Limitar el movimiento de la posiciones arriba y abajo

6.4.5 Actuadores de vacío y ventilación superior

- Conmutar señales para realizar vacío o despresurización en el molde superior

6.4.6 Actuadores de vacío y ventilación inferior

- Conmutar señales para realizar vacío o despresurización en el molde inferior

6.4.7 Bloque de válvulas

- Distribuir energía neumática a los diferentes actuadores
- Direccionar las señales eléctricas

6.4.8 Circuito de refrigeración

- Disminuir el delta de temperatura generado por la plancha

6.5 ANÁLISIS DE FALLAS FUNCIONALES

6.5.1 Servo motor

- La plancha no alcanza la temperatura deseada
- Desajuste de cableado en la bornera
- Ausencia de señal de presión de vacío en la pantalla del operador
- Nivel de vacío no alcanzado
- No se desplaza la plancha para hacer el sellado

6.5.2 Plancha de sellado

- La plancha no alcanza la temperatura deseada
- Desajuste de cableado en la bornera

- Ausencia de señal de presión de vacío en la pantalla del operador
- Nivel de vacío no alcanzado
- No se desplaza la plancha para hacer el sellado

6.5.3 Molde de sellado

- Sellado no uniforme
- Deformación de bolsillo
- Extracción de aire insuficiente

6.5.4 Mecanismo de elevación

- Ruptura parcial o total de la estructura
- Pérdida parcial o total del movimiento
- No hay sellado con la sección superior

6.5.5 Actuadores de vacío y ventilación superior

- No hay vacío en el molde superior
- No hay despresurización en el molde superior

6.5.6 Actuadores de vacío y ventilación inferior

- No hay vacío en el molde inferior
- No hay despresurización en el molde inferior

6.5.7 Bloque de válvulas

- No hay señal eléctrica en las bobinas de accionamiento
- No hay energía neumática en la posición de trabajo de la válvula

6.5.8 Circuito de refrigeración

- Ausencia de agua en el circuito
- Incremento de temperatura en los componentes

6.6 DEFINICIÓN MODO DE FALLA

6.6.1 Servomotor

- Daño de rosca sujeción del émbolo
- Daño interno de servomotor
- Daño en Pin de conector (encoder o potencia)
- Sulfatación conector eléctrico (encoder o potencia)
- Ruptura de cable (encoder o potencia)

- Daño encoder interno
- Circuito de refrigeración obstruido
- Falla de termistor por recalentamiento

6.6.2 Plancha de sellado

- Circuito eléctrico resistencias abierto
- Cables sin ponchar, o con ausencia de soldadura
- Tarjeta de control dañada
- Membrana neumática rota
- Manguera obstruida, rota o fisurada
- Resorte fracturado

6.6.3 Molde de sellado

- Mala elección de molde
- Golpe en el contorno de silicona
- Contorno de perfil desgastado
- Daño en la entrada de vacío

6.6.4 Mecanismo de elevación

- Plancha desnivelada
- Daño en los igus de desplazamiento
- Desgaste de las guías laterales de desplazamiento
- Daño en igus de las levas

6.6.5 Actuadores de vacío y ventilación superior

- Fugas en la entrada
- Fugas en la salida
- Mangueras obstruidas
- No hay accionamiento neumático

6.6.6 Actuadores de vacío y ventilación inferior

- Fugas en la entrada
- Fugas en la salida
- Mangueras obstruidas
- No hay accionamiento neumático

6.6.7 Bloque de válvulas

- Bobina dañada
- Material particulado presente al interior de las válvulas
- Ruptura en el contorno, racor defectuoso

- Válvula bloqueada
- Manguera alimentación con fuga

6.6.8 Circuito de refrigeración

- Manguera fisurada, Escape de agua
- Bomba de refrigerante defectuosa
- Circuito obstruido por incrustación

6.7 DEFINICIÓN DE EFECTO DE FALLAS

6.7.1 Servomotor

- El émbolo no realiza la carrera completa. No llega la señal al mando de control, el paquete se evidencia con presencia de aire.

6.7.2 Plancha de sellado

- Se evidencia el paquete del producto abierto, no realiza parejo el calentamiento de la película

6.7.3 Molde de sellado

- No realiza el vacío a todos los paquetes de producto, se evidencian paquetes con aire.

6.7.4 Mecanismo de elevación

- No realiza el vacío a todos los paquetes de producto, se evidencian paquetes con aire.

6.7.5 Actuadores de vacío y ventilación superior

- El paquete no queda bien sellado en todo su perímetro, se encuentra aire en el paquete

6.7.6 Actuadores de vacío y ventilación inferior

- El paquete no queda bien sellado en todo su perímetro, se encuentra aire en el paquete

6.7.7 Bloque de válvulas

- No hay movimiento del molde de sellado

6.7.8 Circuito de refrigeración

- Recalentamiento del sistema, genera paros alternos en el ciclo

6.8 ANÁLISIS DE RIESGO DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

Por medio del cuadro de información del RCM desarrollado para la sección de sellado de la empacadora, se relacionan cada uno de los componentes de estudio para determinar y lograr dar respuesta al diagrama de decisión del RCM. Ver anexo 1.

6.9 SELECCIÓN TAREAS DE MANTENIMIENTO Y FRECUENCIA

Como resultado de implementar la metodología RCM, se obtienen unas tareas clave, y rediseños en algunos subsistemas para minimizar sus efectos de falla. Estas tareas serán incluidas en el plan y llevadas a través de SAP, para generar la planeación, ejecución y control. Las frecuencias tendrán las siguientes convenciones:

- W : Semanal
- Q : Quincenal
- M: Mensual
- SM: Semestral
- A: Anual

6.9.1 Servomotor

Tabla 3. Tareas de Mantenimiento Servomotor

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Revisar ajuste de la rosca	W	Técnico Empaque
Cambio servomotor completo	5A	Técnico Empaque
Reemplazar conector encoder o potencia cuando ocurra la falla	Según condición	Técnico Empaque
Reemplazar conector encoder o potencia cuando ocurra la falla	Según condición	Técnico Empaque
Reemplazar cable encoder o potencia cuando ocurra la falla	Según condición	Técnico Empaque
Cambio servomotor completo	5A	Técnico Empaque
Realizar comparación flujo (entrada vs salida)	M	Técnico Empaque
Cambio servomotor completo	5A	Técnico Empaque

6.9.2 Plancha de sellado

Tabla 4. Tareas de Mantenimiento Plancha de Sellado

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Realizar medición de conductividad	Q	Técnico Empaque
Verificar puntos de conexión	M	Técnico Empaque
Cambio de tarjeta de control	Según condición	Técnico Empaque
Cambio de Membrana	Según condición	Técnico Empaque
Cambio de Manguera	Según condición	Técnico Empaque
Cambio de Resorte	Según condición	Técnico Empaque

6.9.3 Molde de sellado

Tabla 5. Tareas de Mantenimiento Molde de Sellado

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Comprobar elección con PokaYoke (Pines de molde)	Antes de inicio de producción	Mantenimiento
Comprobar elección con PokaYoke (Galga de perfil)	Antes de inicio de producción	Técnico Empaque
Enviar el Molde al taller para reparación	Según condición	Técnico Empaque
Verificar en mando de control 10 mBa	Antes de inicio de producción	Técnico Empaque

6.9.4 Mecanismo de elevación

Tabla 6. Tareas de Mantenimiento Mecanismo de Elevación

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Comprobar con Regleta de nivel (telemetro digital)	Antes de inicio de producción	Mantenimiento
Cambio de Igus	SM	Mantenimiento
Medición con micrómetro del diámetro de las guías	SM	Mantenimiento
Cambio de Igus	SM	Mantenimiento

6.9.5 Actuadores de vacío y ventilación superior

Tabla 7. Tareas de Mantenimiento actuadores de vacío y ventilación superior

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Cambio de racor	Según condición	Técnico Empaque
Cambio de racor	Según condición	Técnico Empaque
Cambio de Manguera	Según condición	Técnico Empaque
Verificar presión con manómetro accionando válvula de control manual	M	Técnico Empaque

6.9.6 Actuadores de vacío y ventilación inferior

Tabla 8. Tareas de Mantenimiento actuadores de vacío y ventilación inferior

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Cambio de racor	Según condición	Técnico Empaque
Cambio de racor	Según condición	Técnico Empaque
Cambio de Manguera	Según condición	Técnico Empaque
Verificar presión con manómetro accionando válvula de control manual	M	Técnico Empaque

6.9.7 Bloque de válvulas

Tabla 9. Tareas de Mantenimiento bloque de válvulas

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Cambio de Bobina	2A	Técnico Empaque
Revisar filtro de unidad de Mantenimiento	SM	Operario
Limpieza de conector eléctrico	SM	Técnico Empaque
Cambio de válvula	A	Técnico Empaque
Cambio de Manguera	A	Técnico Empaque

6.9.8 Circuito de refrigeración

Tabla 10. Tareas de Mantenimiento Circuito de Refrigeración

Tarea	Frecuencia (W,Q, M, SM, A)	Responsable
Independizar circuito	Inmediato	Mantenimiento
Independizar circuito	Inmediato	Mantenimiento
Independizar circuito	Inmediato	Mantenimiento

7 CONCLUSIONES

El desarrollo del análisis RCM para la empacadora Tiromat ha permitido evaluar aspectos relevantes del equipo que inciden directamente sobre la calidad y desempeño en la producción, el estudio se centró sobre la estación de sellado por ser considerado un sistema crítico de la máquina.

Durante el planteamiento de la metodología se ha podido determinar que ninguna de las fallas impacta el medio ambiente por lo que la línea de análisis se enfoca en las tres áreas de consecuencias restantes que propone el RCM. Según el diagrama de decisión se logró identificar que solo un modo de falla compromete la seguridad del personal operativo. Este modo de falla es para el sistema de refrigeración, a causa de alguna filtración o escape de agua del circuito y la no advertencia ocasionando piso húmedo y es altamente probable un accidente para los operadores que se encuentran en el área o personal que transite cerca al equipo, se hace necesario para este modo de falla decidir una tarea que minimice su ocurrencia y disminuir la probabilidad provocar un incidente a la seguridad del personal operativo.

El análisis entrega los siguientes datos, para 38 modos de fallas evaluados desde el punto de vista de sus consecuencias se obtiene que el 73,68% son fallas ocultas y el 100% tiene consecuencias operacionales. Se observa que para la sección de sellado las fallas ocultas tienen un porcentaje representativo que motiva a proponer tareas que logren identificar a tiempo, síntomas que permitan incrementar la confiabilidad de la sección en estudio.

Para lo que se han propuesto tareas a ser incluidas en el plan de mantenimiento del equipo, 16 tareas a condición que no afectan directamente la disponibilidad del equipo y su downtime es lo suficientemente corto para ser aceptable. Para los restantes modos de fallas las actividades identificadas son 10 de reacondicionamiento cíclico y 6 de recambio cíclico que se deben llevar a cabo tendiente a no dejar entrar en falla el equipo y no comprometer su confiabilidad operacional. En las tareas de rediseño se tendrán 6 tareas distribuidas en tres subsistemas.

El subsistema de molde de sellado las propuestas de rediseño, es usar la metodología PokaYoke con el objetivo evitar mala elección de molde a la hora del montaje y un diagnóstico rápido con galga del perfil de silicona para determinar su integridad antes de hacer el montaje del molde para la producción. En el sistema de mecanismo de elevación se plantea la implementación de controles visuales para establecer con una observación rápida la correcta nivelación del molde unos telémetros digitales ubicado es una posible solución.

En el sistema de refrigeración se propone independizar el circuito de la estación de sellado. En este momento el circuito de refrigeración es compartido con la sección de formado con el agravante que el agua que llega a la sección de sellado ingresa con la temperatura de trabajo de la estación de formando disminuyendo la capacidad de extracción de calor en la sección de estudio.

Se propone implementar en el circuito presostatos en la salida y entrada para identificar posibles fugas y una alarma activada por termocupla, dispuesta a la salida del servomotor para evitar recalentamientos accidentales. Queda como observación la importancia de tener un chiller con tratamiento para evitar solidos disueltos y concentración de hierro en el agua a fin de evitar incrustaciones y mejorar la transferencia de calor de los elementos.

BIBLIOGRAFÍA

CAMPOS, Monica., FUMAGALLI, L., FERNÁNDEZ, J., MÁRQUEZ, A., & MACCHI, M. (2010). UML model for integration between RCM and CBM in an e-Maintenance architecture. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*.

GUILLÉN, A., CRESPO, A., GÓMEZ, J., SANZ, M. (2016). A framework for effective management of condition based maintenance programs in the context of industrial development of E-Maintenance strategies. *Computers in Industry*.

LÓPEZ , Monica, CRESPO, FERNANDEZ, J. (2013). Modelling using UML and BPMN the integration of open reliability, maintenance and condition monitoring management systems: An application in an electric transformer system. *Computers in Industry*

MOUBRAY, John. *Reliability Centered Maintenance*. New York : Industrial Press Inc. , 1997.

NEUSTADL. GEA PowerPak NT 55200119. *Manual del Operador*. Wallau : GEA Food Solutions Germany GmbH, 2013. Vol. 1

NORMA SAE JA1012, A Guide to the Reliability-Centred Maintenance (RCM) Standard

ORTIZ PLATA, Daniel. Seminario en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. *RCM*. Bogotá, 2017

RELIABILITY WEB. Reliability Web, a Culture of Reliability. [En línea] [Citado el: 27 de julio de 2017.] <https://reliabilityweb.com/articles/entry/the-reliability-impact-within-the-p-f-curve>.

SMITH, Anthony. *Reliability Centered Maintenance*. New York : McGraw Hill Inc, 1992

