



**DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS
MAESTRIA EN GESTION DE MANTENIMIENTO**

Propuesta de planificación del mantenimiento
centrado en la confiabilidad para una línea de
envasado de coladas en polvo

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Magíster en Gestión de Mantenimiento

Autor: Ing. Diego Prado

Director: M.Sc. Luis Felipe Sexto

Cuenca – Ecuador

2021

Dedicatoria:

A Dios por brindarme la oportunidad de cumplir un nuevo objetivo en mi formación profesional.

A mis padres Delio y Luisa y a mi esposa Jessica por el apoyo y motivación constante para alcanzar cada meta que me propongo.

Agradecimientos:

A mi Universidad, docentes y compañeros por brindarme un gran ambiente de estudio y compartir sus conocimientos y experiencia, en especial al M.Sc. Luis Felipe Sexto por su ayuda y direccionamiento durante las clases y el presente trabajo.

A la empresa Erboindustrias Cía. Ltda. por haberme brindado la oportunidad de aplicar los conocimientos obtenidos mediante el presente trabajo.

RESUMEN

El presente artículo propone un Plan de mantenimiento basado en la aplicación del proceso RCM y aplicado a una línea de equipos críticos de envasado de coladas en polvo que pertenece a una empresa de alimentos del sector. Inicialmente se realizó el levantamiento de información sobre especificaciones técnicas, inventario de subsistemas y las distintas funciones que cumplen el activo en su entorno operacional. Posteriormente se aplicó el proceso RCM basado en la norma SAE JA 1011 identificando las fallas y modos en cada subsistema, con el fin de conocer los efectos y consecuencias sobre aspectos de seguridad, ambiente, operacionales y no operacionales. Finalmente se establecieron las distintas actividades viables de mantenimiento que forman parte del Plan de Mantenimiento de estos activos que se estructuró en base a los requisitos requeridos por el software de mantenimiento usado por la empresa. Dicho Plan contribuirá a reducir la aparición de posibles fallos funcionales y sobretodo sus consecuencias, garantizando que estos activos cumplan las funciones esperadas por sus usuarios y la empresa.

Index Terms—Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Análisis de Modos de Falla (AMEF), Activo crítico.

ABSTRACT

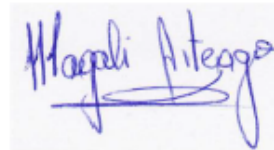
This article proposed a Maintenance Plan based on the application of the RCM process applied to a critical line of equipment for packaging of strained drink mix powder that belongs to a food company in the sector. Initially, the information on technical specifications, subsystem inventory and the different functions that the asset fulfilled in its operational environment were collected. Subsequently, the RCM process based on the SAE JA 1011 standard was applied, identifying the failures and modes in each subsystem, in order to know the effects and consequences on safety, environmental, operational and non-operational aspects. Finally, the different viable maintenance activities that are part of the Maintenance Plan for these assets were established, which was structured based on the requirements by the maintenance software used by the company. This Plan contributes to reduce the appearance of possible functional failures and, their consequences, guaranteeing that these assets fulfill the functions expected by their users and the company.

Keywords: Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode Effects Analysis (FMEA), Critical Asset.

Translated by:



Diego Prado F.



Propuesta de planificación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para una línea de envasado de coladas en polvo

Prado-Farfán Diego

Cuenca, Ecuador

Email: dpradomgm@es.uazuay.edu.ec

Resumen— El presente artículo propone un Plan de mantenimiento basado en la aplicación del proceso RCM y aplicado a una línea de equipos críticos de envasado de coladas en polvo que pertenece a una empresa de alimentos del sector. Inicialmente se realizó el levantamiento de información sobre especificaciones técnicas, inventario de subsistemas y las distintas funciones que cumplen el activo en su entorno operacional. Posteriormente se aplicó el proceso RCM basado en la norma SAE JA 1011 identificando las fallas y modos en cada subsistema, con el fin de conocer los efectos y consecuencias sobre aspectos de seguridad, ambiente, operacionales y no operacionales. Finalmente se establecieron las distintas actividades viables de mantenimiento que forman parte del Plan de Mantenimiento de estos activos que se estructuró en base a los requisitos requeridos por el software de mantenimiento usado por la empresa. Dicho Plan contribuirá a reducir la aparición de posibles fallos funcionales y sobretodo sus consecuencias, garantizando que estos activos cumplan las funciones esperadas por sus usuarios y la empresa.

Index Terms—Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Análisis de Modos de Falla (AMEF), Activo crítico.

Abstract— This article proposed a Maintenance Plan based on the application of the RCM process applied to a critical line of equipment for packaging of strained drink mix powder that belongs to a food company in the sector. Initially, the information on technical specifications, subsystem inventory and the different functions that the asset fulfilled in its operational environment were collected. Subsequently, the RCM process based on the SAE JA 1011 standard was applied, identifying the failures and modes in each subsystem, in order to know the effects and consequences on safety, environmental, operational and non-operational aspects. Finally, the different viable maintenance activities that are part of the Maintenance Plan for these assets were established, which was structured based on the requirements by the maintenance software used by the company. This Plan contributes to reduce the appearance of possible functional failures and, their consequences, guaranteeing that these assets fulfill the functions expected by their users and the company

Keywords: Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode Effects Analysis (FMEA), Critical Asset.

I. INTRODUCCIÓN

Comúnmente en las plantas procesadoras de alimentos en crecimiento la planificación del mantenimiento se limita a un simple cronograma de actividades a realizar por parte del técnico o personal asignado para ese fin, actividades que normalmente son establecidas en base a las recomendaciones del fabricante del equipo o a lo mucho basado en la experiencia de los mantenedores u operadores y en casos peores se maneja una estrategia de mantenimiento reactiva que consiste en tratar fallas después de que hayan ocurrido [1]. Sin embargo, dicha planificación se realiza pensando en el equipo como un todo, mas no como un conjunto de componentes o subsistemas interrelacionados, con sus características propias, sus funciones y sus modos de fallo propios, que pueden llegar a ocasionar afectaciones sobre los procesos, producto, ambiente, seguridad entre otros. Sin embargo, hoy en día el mantenimiento en las empresas y sus distintas actividades han cambiado de forma significativa, enfocándose con mayor frecuencia en sus activos y los resultados esperados que estos tiene que brindar a la organización. Por tal motivo, un número creciente de empresas ya reconoce la importancia crucial que el mantenimiento y la confiabilidad desempeñan en sus organizaciones [2].

Conforme crecen las empresas la complejidad de determinadas áreas de producción, requieren cada vez más del uso de técnicas efectivas de evaluación de riesgos, que permitan realizar un análisis más detallado de sus equipos y que no se limiten en la identificación simple de sus fallos o desviaciones [3]. Se utilizan distintas metodologías para la identificación de estos riesgos que conjuntamente con técnicas de evaluación de los mismos, permiten gestionarlos mediante iniciativas proactivas de planificación del mantenimiento, que de acuerdo a Tavares, (1999), está compuesta por una serie de actividades, siendo las principales etapas del proceso: enfocar el esfuerzo, desarrollar los planes e implantarlos. Un proceso ampliamente usado corresponde al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad MCC (RCM en sus siglas en inglés), que es un proceso usado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operativo [1]. Este proceso fue publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. El mismo describió los procesos innovadores y actuales, para ese entonces, usados para desarrollar programas de mantenimiento para aviones comerciales. A partir de ese momento el proceso MCC ha sido ampliamente usado en la industria, desarrollándose y mejorado constantemente. Además existe una serie de documentos guía que brindan una orientación adecuada para su desarrollo sobre los activos en cuales se aplicará este proceso. El resultado de este tipo de análisis incorpora la selección de técnicas capaces de perseguir una mayor confiabilidad, seguridad y calidad del producto, con las personas adecuadas y al costo mínimo [4]

En el presente trabajo, mediante la aplicación del proceso RCM, se pudo conocer las necesidades de mantenimiento proactivo y alternativo al igual que la información necesaria para su ejecución, que se integran en un Plan diseñado para una línea de equipos críticos, que se encargan de envasar un producto alimenticio en polvo en distintas presentaciones de acuerdo al formato de dosificación de cada equipo. El producto a envasar tiene características propias que requieren de un equipo especializado que tenga la capacidad de formar y codificar el

empaquete para posteriormente dosificarlo y sellarlo, obteniendo la unidad de producto listo para pasos posteriores del proceso.

La necesidad de agilizar y mejorar tecnológicamente la línea de envasado llevó a que la empresa adquiriera de forma paulatina equipos modernos que tengan dichas funcionalidades y a su vez cumplan con los requisitos del diseño sanitario necesarios para garantizar un desmontaje y limpieza eficaces de algunos componentes y superficies de contacto. Adicionalmente, al tratarse de un proceso para la elaboración de alimentos, la Normativa Técnica Sanitaria para Alimentos Procesados (ARCSA-DE-067-2015-GGG) a lo largo de su Capítulo 2 sobre las Buenas Prácticas de Manufactura [5], también involucra al mantenimiento y la asignación de programas o planes de mantenimiento a equipos e infraestructura, como un requisito importante para el aseguramiento de las condiciones sanitarias y necesarias para garantizar la inocuidad del alimento procesado.

Lo que adicionalmente se espera obtener mediante la implementación y ejecución del Plan de mantenimiento obtenido, es contar con resultados favorables en cuanto al desempeño deseado de estos activos, a través de la confiabilidad lo que involucra la inclusión de una nueva estrategia de mantenimiento y mejoras para la empresa.

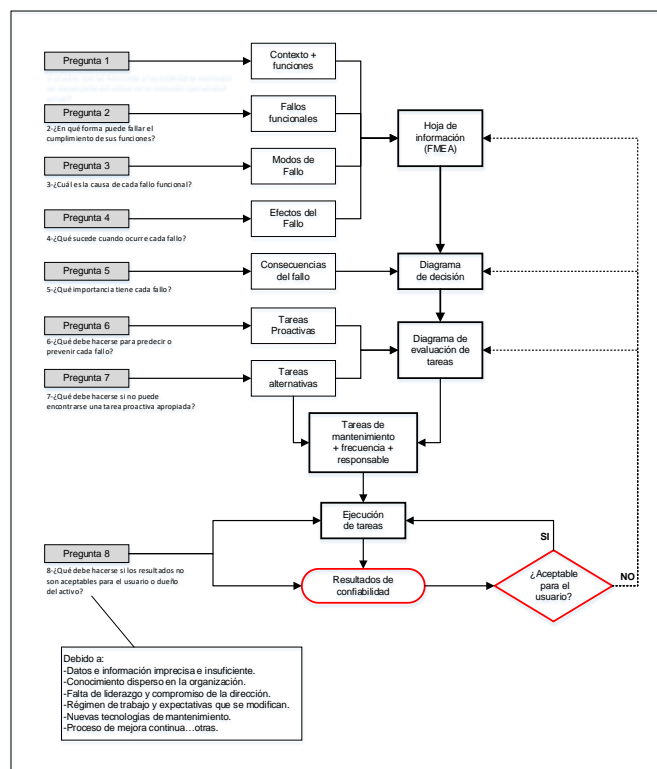


Figura 1: Secuencia básica de un proceso RCM [6]

II. METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología utilizada en base a la norma SAE JA 1011 (Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrados en la confiabilidad), en la que una vez obtenidos los datos necesarios, el equipo RCM conformado pudo responder el banco de 7 preguntas planteadas por la normativa y se pudo estructurar el proceso de análisis RCM para el grupo de activos. Las preguntas a responder son las siguientes [7]:

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de rendimiento asociados con el activo en su contexto operativo?
- ¿De qué manera puede fallar?
- ¿Qué causó cada modo de falla?
- ¿Qué sucede cuando cada e falla ocurre?
- ¿Importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué se debería hacer si no se encuentra una actividad proactiva adecuada?

Con el fin de contar con una guía para el desarrollo del proceso RCM en base a la normativa, se utilizó la norma SAE JA 1012 (Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) la misma que clarifica los conceptos claves y términos usados en el Mantenimiento Centrado en la confiabilidad [8].

II-A. Formación del equipo de trabajo RCM

En la mayoría de las empresas los registros históricos no son lo suficientemente comprensivos como para ser usados dentro de análisis, sin embargo las preguntas deben ser respondidas y para lograrlo la mejor fuente de información es mediante un pequeño grupo de trabajo que tenga el conocimiento y experiencia sobre el activo o sistema. El contar con un equipo de estudio RCM permite tener varios puntos de vista, tanto de los procesos, costos y de mantenimiento, entendiendo las 7 interrogantes anteriormente mencionadas y cumpliendo el objetivo principal del equipo que es obtener los requerimientos de mantenimiento del activo, respondiendo las preguntas bajo consenso y registrando sus respuestas [7].

Normalmente un equipo típico RCM está conformado por un Facilitador, un supervisor de operaciones, un operador, un supervisor de ingeniería y un especialista externo; sin embargo, no tiene que ser exacto ya que el objetivo es contar con un equipo que aporte con la mayoría, más no con toda la información. También es recomendable que los equipos no deben tener menos de cuatro y más de siete integrantes que cubran todos los sectores relacionados con el activo [1]

Cada empresa en base a su organización de talento humano puede variar al referenciado, por tal motivo, se realizó el proceso de selección de los distintos miembros del equipo de trabajo RCM, considerándose como requisitos primordiales de que el mismo debe estar conformado por personal de planta, mantenimiento y dirección, además de estar familiarizados con las instalaciones, el proceso, operación de los equipos de estudio y sus requerimientos. Cabe la pena recalcar que el equipo RCM también intervino en el análisis posterior de fallas, modos de fallas y efectos (AMEF). La estructura del equipo de trabajo fue la siguiente:

- Facilitador
- Supervisor de Planta
- Técnico de Mantenimiento
- Operador de equipos
- Gestor de costos

II-B. Caracterización del entorno operativo y mantenimiento

En la Figura 1 se expone una secuencia básica que se utilizó

para poder responder las preguntas que plantea el proceso RCM. El diagrama incluye una pregunta extra que involucra directamente a los resultados obtenidos y la satisfacción del dueño o usuario del activo y que se relaciona directamente con la efectividad de los resultados que hayan sido implementados en los activos.

Previamente al entendimiento de los modos de falla, fue necesario conocer cómo operan los activos y las funciones que cumplen, con el fin de que tanto el facilitador como los otros miembros del equipo estén al mismo nivel de entendimiento del activo, por lo cual, una de las primeras actividades que realizó el equipo es responder a la primera pregunta que el proceso RCM plantea.

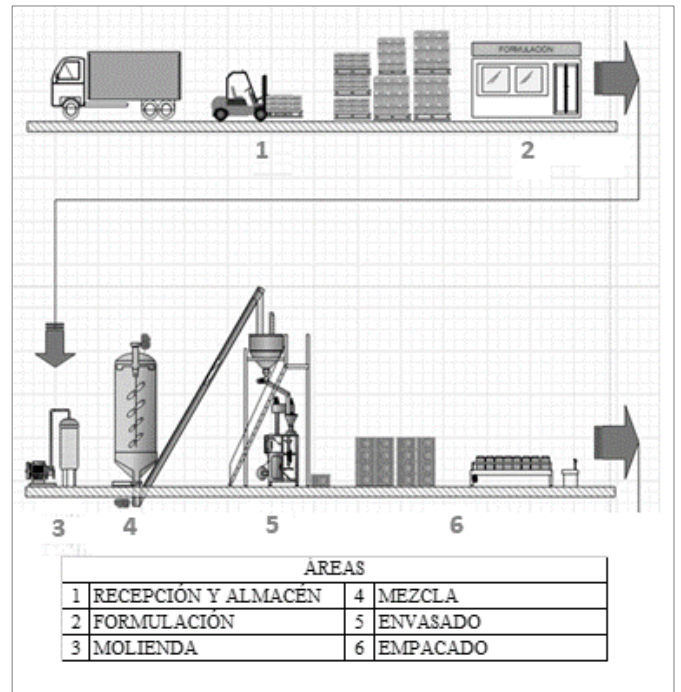


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso coladas en polvo de la empresa

Definición de contexto operacional y función del sistema:

Según la norma SAE JA1011 el contexto operativo son las circunstancias bajo las cuales se espera que opere un activo o sistema físico [7]. Sabiendo esto diremos que en la aplicación del proceso RCM, es muy importante conocer y entender claramente estas condiciones o circunstancias al igual que las necesidades que el usuario espera suplir durante su uso. Cabe mencionar que el contexto operacional y su confiabilidad es una de las cuatro vertientes que determinan la confiabilidad integral del activo, como lo podemos observar a continuación [9]:

- Confiabilidad inherente del activo
- Confiabilidad del contexto operacional
- Confiabilidad de la Gestión
- Confiabilidad humana

El equipo RCM definió el contexto operacional para los activos estudiados al igual que su función primaria de la siguiente manera:

La clasificación de los equipos dentro de la empresa está en base a la ubicación de los mismos en cada área de las instalaciones. Existen un total de 6 áreas determinadas en la empresa y una de las cuales corresponde a la planta de procesamiento, que a su vez se subdivide en 6 áreas descritas en la Figura 2.

La línea de envasado consta de un total de 8 equipos ubicados en paralelo y que comparten características tanto funcionales como tecnológicas. En base a un estudio de criticidad de áreas previamente realizado por la empresa (Figura 4), considerando los riesgos relacionados con la producción, seguridad, calidad e inocuidad, se pudo determinar que ésta área es una de las más críticas debido a que todo el producto procesado o mezclado en procesos anteriores tiene que pasar obligatoriamente por los equipos de envasado, para posteriormente ser empacado y almacenado. Cualquier fallo de estos equipos trae consecuencias a procesos posteriores que requieren mantener niveles adecuados del buffer de producto envasado para su empaque en base a requerimientos de pedidos para su posterior almacenamiento y despacho. Se consideró además que es necesario tomar en cuenta criterios de algunos sistemas de aseguramiento de la inocuidad, ya que al igual que el proceso RCM, comparten ciertas características que influyen al momento de seleccionar los sistemas y subsistemas, como es el caso de la seguridad y la salud [4].

Función principal de los activos:

Estos equipos automáticos (Figura 3) son los encargados de envasar y codificar el producto mezclado a una velocidad nominal e individual que va desde las 20 fundas por minuto hasta un máximo de 35 fundas por minuto [10], 10800 por día, 238000 por mes aproximadamente. El envasado consiste en dosificar el producto en el envase que previamente ha sido codificado, formado y sellado (1 sellado térmico horizontal y 1 vertical) con el fin de que posteriormente se realice el corte y sellado final (1 sellado térmico horizontal) para el paso de la funda a la banda transportadora de salida. Las temperaturas de sellado del equipo oscilan entre los 110 a 150 °C, esto debido a que el material BOPP+BBB usado puede presentar variaciones mínimas de fábrica en su grosor. Estas temperaturas se ven registradas mediante diferentes termocuplas ubicadas en las mordazas de sellado vertical y sellado/corte horizontal.

Los equipos requieren de electricidad y aire comprimido a 0.6 MPa para su funcionamiento. Normalmente 5 de las 8 envasadoras trabajan 6 horas por día, con intervalos de ajuste y cambio de rollos de material de envase de 10 minutos cada uno aproximadamente.

Dos de los 3 equipos restantes trabajan alrededor de 2 horas por día debido a que están asignadas para otro tipo de producto con distintas características y menor demanda, mientras que la envasadora restante funciona como backup para toda la línea de envasadoras. Dependiendo del sabor y presentación del producto a envasar, se realizan hasta 4 de estos cambios y ajustes a lo largo la jornada diaria de trabajo por parte del operador, los mismos que son necesarios debido a que un mismo equipo puede

envasar varios sabores según la planificación de la producción para cada máquina.



Figura 3: Envasadora vertical automática de línea de envasado

La comunicación máquina/operador se lleva a cabo mediante una pantalla touch que permite controlar y modificar los distintos parámetros de funcionamiento al igual que notificar cualquier alarma que presente el equipo. Cabe la pena mencionar que la interfaz de control de los equipos se encuentra disponibles en idioma inglés y mandarín.

Entre los principales riesgos de seguridad detectados se encuentran las quemaduras leves y cortaduras, debido a que actividades de limpieza y ajuste que lleva a cabo el operador han ocasionado incidentes relacionados con estos elementos de sellado y corte.

En cuanto a los requisitos de calidad en el envasado y que el producto debe cumplir, tenemos a los siguientes:

- Sabor correcto de acuerdo al envase y Orden de Producción
- Fundas con triple sellado hermético, centrado y sin arrugas
- Corte de funda sin anomalías y rasgaduras
- Peso dosificado correcto (RTE INEN 284)
- Codificación de funda nítida y sin errores (fechas, lotes y otros datos de trazabilidad)
- Producto libre de contaminantes físicos, químicos o microbiológicos

El uso de Hojas de Información RCM ayudó a documentar y esquematizar los resultados obtenidos de este Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) de cada subsistema.

CODIGO DE AREA	AREA	FUNCION DE AREA	CODIGO DE EQUIPO	EQUIPOS DEL AREA	REDUNDANCIA a = no tiene redundancias b = tiene 1 redundancia c = tiene más de 1 redundancia	Valoración de Criticidad por equipo sin Redundancias	Valoración de Criticidad por equipo con Redundancias	Valoración de Criticidad por Área
R	Recepción y bodega	Almacenar alrededor de 60 items de materias primas. 10 tipos de insumos necesarios para producción Almacén producto terminado	R1	Montacargas eléctrico	b	3	2	NO CRITICA
			R2	Uñas de carga	b	0	1	
			R3	Zunchadora semi-automática	a	2	2	
M	Molienda y Mezcla	Se realizan las operaciones básicas para la dosificación, acondicionamiento y mezcla de los ingredientes que forman la composición en polvo a razón de 400Kg por batch.	M1	Molino de martillos	b	5	4	CRITICA
			M2	Mezcladora vertical	a	5	5	
			M3	Mezcladora horizontal	a	5	5	
			M4	Granuladora oscilante	b	4	3	
			M5	Aspiradora	c	2	0	
E	Envasado	Envasar y codificar la mezcla de producto. 7 sabores en 3 presentaciones. (18 items)	E1	Envasadora Vertical Automática	b	5	4	CRITICA
			E2	Codificadora térmica Autopilot	a	5	5	
			E3	Codificadora Inkjet	c	3	1	
			E4	Balanza	c	2	0	
Q	Empaque	Empaquetar de manera manual cada una de las distintas presentaciones, sellarlas y codificarlas. Cajas en 4 presentaciones)	Q1	Selladora de cajas automática	a	3	3	NO CRITICA
			Q2	Selladora de paquetes	c	3	1	
			Q3	Codificadora de chorro	b	3	2	
			Q4	Zunchadora automática	a	3	3	
			Q5	Lector de códigos de barras	a	0	0	
			Q6	Balanza digital de piso	a	3	3	
F	Fuerza	Generar y distribuir aire comprimido seco a razón de	F1	Compresor de tornillo	b	5	4	CRITICA
			F3	Sistema de distribución de aire	a	3	3	
C	Control	Controla la distribución eléctrica de planta con un total de 6 secciones de distribución	C1	Panel eléctrico de control central	a	4	4	CRITICA
			C2	Transformador	a	5	5	
			C3	Cableado eléctrico	a	5	5	

Figura 4: Matriz de análisis de criticidad de activos/áreas [11]

II-C. Definición de sistemas y subsistemas de los equipos

En base a la recolección de información técnica y de mantenimiento de los activos se procedió a delimitar e inventariar los subsistemas físicos y funcionales del grupo de equipos (sistemas) que forman parte de la línea de envasado de la planta procesadora. Cabe la pena recalcar que por la similitud tecnológica y funcional, al igual que los activos operan en un contexto operativo muy parecido, se utilizó el Análisis por Similitud, que consiste en realizar el análisis de un activo usado como “patrón” para otros [1]. Adicionalmente se realizaron inspecciones in situ, revisión de manuales y mediante el criterio y conocimiento de miembros del equipo RCM, se identificaron un total de 6 subsistemas funcionales, los cuales agrupan ciertos componentes que forman parte del activo y contribuyen a cumplir las funciones esperadas por el usuario. Los subsistemas identificados y sus componentes se exponen en la Figura 5.

II-D. Identificación y análisis de fallas funcionales, modos de fallas y sus efectos

Para responder las preguntas 2,3 y 4 y a su vez siguiendo la secuencia referencial del proceso RCM en la Figura 1, se consideró que cada subsistema tiene distintas funciones identificadas, de las cuales se tuvieron que definir todos los estados de falla asociados, al igual que sus modos de falla y efectos hasta un nivel de análisis que permita, en pasos posteriores, asignar tareas de mantenimiento que sean entendibles y viables. En cuanto a los modos de falla se consideraron aquellos que han ocurrido antes, los que están siendo prevenidos actualmente y aquellos que aún no han ocurrido o son probables de ocurrir [7]. Los distintos modos de falla identificados requirieron diferentes niveles de detalle, de acuerdo al conocimiento del equipo RCM de los componentes que forman parte de cada subsistema.

Nº	SUBSISTEMA	COMPONENTES
1	Alimentación de producto	Vibradores neumáticos Motor eléctrico de tornillo Tornillo sin fin Mangas de conexión
2	Agitación y Dosificado	Motor eléctrico de agitación Cadena de transmisión Tornillo dosificador Motor eléctrico de dosificación Sensores de nivel
3	Codificación	Cabezal de impresión térmico Pantalla touch de control Regulador y filtro de aire
4	Formación y corte de envase	Motores eléctricos de bobina Juego de rodillos de recorrido Mordaza de sellado vertical Mordaza de sellado horizontal y cuchilla de corte Juego de engranajes Actuadores o cilindros Sistema de distribución de aire y lubricación neumática (válvulas, electro válvulas, unidad FRL) Sensores de ubicación y fotoeléctrico Elementos de arrastre Cuello formador
5	Transporte de producto	Banda transportadora Motor eléctrico
6	Comunicación y Control	Sistema eléctrico y electrónico Seguridades Pantalla touch de mando general Sistema neumático

Figura 5: Subsistemas identificados del activo y sus componentes

II-F. Tareas proactivas de mantenimiento

La información obtenida al responder las primeras 4 preguntas, permitió al equipo tener una idea más concreta sobre los modos de fallo de los activos y dio paso para responder las preguntas 5, 6 y 7 del proceso RCM, a través de la evaluación de las consecuencias evidentes relacionadas con la seguridad, ambiente, ámbitos operacionales, no operacionales y no evidentes que involucran a los fallos ocultos. De igual manera, fue necesario considerar que toda actividad de mantenimiento preventiva o correctiva que se llegue a aplicar, puede devolver al activo a una serie de estados como se indican a continuación [6]:

- Tan bueno como nuevo.
- Mejor que antes de fallar, pero peor que nuevo.
- Mejor que nuevo.
- Tan malo como antes de fallar.
- Peor que antes de fallar.

Para determinar las tareas de mantenimiento se utilizó el Diagrama de Decisión RCM y registrando los resultados del análisis en Hojas de Decisión, se obtuvieron las actividades de mantenimiento necesarias para prevenir que cualquier elemento entre en estado de falla y principalmente evitar las consecuencias que ocasionan sobre los ámbitos anteriormente

mencionados. Tanto las tareas proactivas como las alternativas fueron establecidas en base a sus consecuencias detectadas y fueron registradas en el análisis considerando los distintos criterios de factibilidad.

Se obtuvieron un total de 96 tareas entre todos los subsistemas analizados, siendo el subsistema 4 (Alimentación, formación y corte), el de mayor cantidad de tareas asignadas con un total de 33, seguido del subsistema 2 (Agitación y Dosificado) con 21 tareas.

La cantidad de tareas y su distribución lo podemos observar en la siguiente figura:

SUBSISTEMAS	TAREAS DE MANTENIMIENTO					
	predictivas	restauración programada	sustitución programada	rediseño	búsqueda de fallos	no asignar
1. Alimentación de producto mezclado a envasadora	2	5	1	1	0	7
2. Agitación y Dosificado	2	14	0	2	0	3
3. Codificación de envase	0	8	0	0	0	2
4. Alimentación, formación y corte	0	20	0	2	3	8
5. Transporte de producto	0	2	0	0	0	1
6. Comunicación y Control	1	6	0	0	1	5

Figura 6: Tipos y cantidad de tareas de mantenimiento en envasadoras

También se pudo determinar que el 57% de tareas propuestas corresponden a restauraciones programadas, las mismas que fueron consideradas para la estructuración de las actividades que forman parte de Plan de Mantenimiento de estos activos. En cuanto a tareas predictivas fueron asignadas para componentes eléctricos como son motores que forman parte de los subsistemas 1 y 2 y a tableros de control del subsistema 6.

Por otro lado, alrededor del 80% de los modos de fallo tienen un efecto adverso directo sobre ámbitos operacionales como son producción, costos operativos, calidad e inocuidad. Entre las consecuencias directas detectadas por el equipo RCM tenemos a:

- Reducción de la capacidad productiva diaria debido a paradas y micro paradas del proceso de envasado
- Desperdicio de material de empaque
- Paros en cadena
- Producto no conforme por incumplimiento de requisitos internos calidad e inocuidad:
 - Incumplimiento de normativa sanitaria, sección etiquetado (ARCSA 067 2015)
 - Incumplimiento de normativa de cantidad neta de producto preenvasado/preempacado (INEN 284)
- Devoluciones y reprocesos de producto

Adicionalmente, la ejecución del 30% de las tareas (29 tareas) fueron asignadas al operador del equipo de envasado, esto se debe a que son actividades de limpieza, revisión, sustitución y ajustes simples, con tiempos bajos de ejecución

que pueden cumplirse en su mayoría con una frecuencia diaria, semanal o pre-operacional. Además, ciertas características propias de los equipos entre estas su diseño sanitario, permite la intervención de los operadores en ciertas actividades de mantenimiento relacionadas con componentes de baja complejidad.

II-G. Plan de Mantenimiento Propuesto

El objetivo primordial de un Plan es mantener la confiabilidad de los activos y mejorar su disponibilidad [12]. Para cumplir este objetivo el plan debe estar bien estructurado, incluir el mantenimiento necesario, las acciones, tipos de servicio e información de seguridad y logística que permita viabilizar su ejecución y así detectar posibles fallas antes de que ocasionen los tiempos de inactividad (downtimes) y todas sus consecuencias. Adicionalmente, se tuvo que adaptar a los distintos requisitos que cada empresa tiene establecidos en la gestión interna del mantenimiento.

Para poder determinar los distintos elementos que formaron parte del Plan de Mantenimiento, se consideró la estructura establecida por el sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) o software de mantenimiento usado en la empresa.

Existieron un total de 15 requisitos o datos que el sistema necesita para la estructuración del Plan, los mismos que se adaptaron de acuerdo a la necesidad de cada actividad de mantenimiento ingresada (Figura 7). Entre los principales requisitos ingresados se encuentran: nombre del sistema o equipo, partes o subsistemas, actividades de mantenimiento, tipo de actividad, frecuencia, duración (incluye días de paro), prioridad, procedimiento, clasificación, centro de costos asociado, entre otros.

Figura 7: Interfaz de ingreso de datos para actividades de mantenimiento en CMMS

Una vez ingresada toda la información requerida se establecieron las frecuencias de ejecución en base a las hojas de

decisión resultantes del análisis de consecuencias. Finalmente se realizó el enlace del Plan de Mantenimiento con cada uno de los 8 equipos que conforma la línea de envasado de coladas en polvo de la empresa.

En la Figura 8 podemos observar el resumen de las distintas actividades de mantenimiento que forman parte del Plan.

PLAN DE MANTENIMIENTO - RESUMEN DE ACTIVIDADES					
Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Clasificación 1	Clasificación 2
S1. Alimentación de producto mezclado a envasadora					
Inspección de conexiones eléctricas de motor	3 mes(es)	00 h 30 m	Alta	Electricidad	Inspección
Inspección de conexiones eléctricas de vibrador neumático	3 mes(es)	00 h 10 m	Media	Electricidad	Inspección
Limpieza de tornillo sin fin y componentes	3 mes(es)	02 h 00 m	Media	Limpieza	Mantenimiento de rutina
Revisión y ajuste de abrazaderas de mangas	1 mes(es)	00 h 20 m	Media	General	Revisión
Revisión y ajuste de sujeciones de motor/tornillo	3 mes(es)	04 h 00 m	Alta	Mecánica	Revisión
Sustitución de mangas de conexión	2 mes(es)	00 h 30 m	Alta	General	Mantenimiento de rutina
Termografía en motores eléctricos del sistema	2 mes(es)	00 h 10 m	Alta	Electricidad	Monitorización
S2. Agitación y Dosificado					
Inspección de conexiones eléctricas de sensor de nivel	3 mes(es)	00 h 10 m	Media	Electricidad	Inspección
Limpieza y desinfección de tornillo dosificador	2 mes(es)	01 h 00 m	Alta	Limpieza	Mantenimiento de rutina
Lubricación y Limpieza de cadena de transmisión motor/paleta	4 mes(es)	01 h 00 m	Alta	Mecánica	Mantenimiento de rutina
Revisión de estado de acoples matrimonio motor/tornillo	4 mes(es)	03 h 00 m	Alta	Mecánica	Revisión
Termografía en motores eléctricos del sistema	2 mes(es)	00 h 10 m	Alta	Electricidad	Monitorización
S3. Codificación de envase					
Limpieza interna de cabezal y componentes electrónicos	4 mes(es)	00 h 30 m	Alta	Electricidad	Mantenimiento de rutina
Revisión de cableado de comunicación y de poder	3 mes(es)	00 h 30 m	Alta	Electricidad	Revisión
Revisión y ajuste de cabezal en soporte	3 mes(es)	00 h 20 m	Alta	General	Revisión
S4. Alimentación, formación y corte					
Calibración de mordazas de sellado y cuchillas de corte	2 mes(es)	01 h 00 m	Alta	Mecánica	Mantenimiento de rutina
Lubricación de componentes móviles	4 mes(es)	01 h 00 m	Alta	Mecánica	Mantenimiento de rutina
Monitoreo, ajuste y limpieza de bandas de arrastre	1 mes(es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Monitorización
Revisión de estructura protectora de film	3 mes(es)	00 h 20 m	Alta	General	Revisión
Revisión de funcionamiento correcto de eje de bobina	3 mes(es)	00 h 10 m	Media	Mecánica	Verificación de la función
S5. Transporte de producto					
Ajuste de tensión de banda	3 mes(es)	00 h 20 m	Media	General	Mantenimiento de rutina
Revisión de cableado de comunicación y de poder	3 mes(es)	00 h 30 m	Alta	Electricidad	Revisión
S6. Comunicación y Control					
Inspección del Sistema de distribución de aire comprimido	3 mes(es)	00 h 30 m	Alta	General	Inspección
Inspección General y limpieza de panel de control	2 mes(es)	00 h 35 m	Alta	Electricidad	Mantenimiento de rutina
Monitoreo de funcionamiento de componentes	2 mes(es)	00 h 05 m	Alta	Electricidad	Monitorización
Verificación de funcionamiento de pulsante de emergencia	2 mes(es)	00 h 05 m	Alta	Otros	Ensayo de conformidad

Figura 8: Resumen de actividades de mantenimiento para envasadoras

III. CONCLUSIONES

Durante la aplicación de cada actividad del proceso RCM, se ha obtenido información valiosa y útil para la estructuración del plan de mantenimiento, obteniéndose las siguientes conclusiones:

1. Durante el levantamiento de información sobre los activos críticos de estudio, se ha podido corroborar la importancia de mantener su funcionalidad dentro del proceso de envasado, especialmente por motivos relacionados con la productividad, costos y cumplimiento de requisitos en cuanto a calidad e inocuidad.
2. Una vez establecidas las funciones (primarias y secundarias) de estos activos, se concluyó que todos los subsistemas son muy importantes para la obtención de los resultados de rendimiento esperados por sus usuarios y el dueño del proceso, ya que al estar muy relacionados entre sí, la pérdida de funcionalidad de alguno de ellos ocasiona, en su mayoría, el paro total del equipo y sus posteriores consecuencias.
3. Al analizar la información para la definición de los subsistemas, se pudo determinar que el subsistema 4

(Alimentación, formación y corte) influye drásticamente sobre la calidad del pesaje, presentación y dosificado del producto, además de ser el subsistema que históricamente presenta mayor cantidad de paros cortos por contar con componentes móviles e insumos de mayor desgaste del sistema.

4. En subsistemas que cuentan con componentes de naturaleza electrónica, la asignación de actividades de mantenimiento es muy limitada debido a su complejidad tecnológica y su confiabilidad intrínseca relativamente alta, por lo que las tareas se limitaron a revisiones y limpiezas superficiales de sus elementos.
5. Las mayoría de consecuencias resultantes de la aplicación del diagrama de decisión RCM, afectan directamente ámbitos operacionales, en los que se incluye los modos de falla que no son evidentes para el operador, lo que nos da a entender la importancia que tiene a asignación adecuada de tareas y proactivas de mantenimiento y su frecuencia a los distintos componentes de cada subsistema.
6. Un total de 26 modos de fallo no tuvieron asignación de tareas de mantenimiento debido a que la decisión del equipo RCM fue de “trabajar hasta fallar”. La motivación principal fue que la mayoría de los componentes relacionados corresponden a elementos eléctricos/electrónicos que necesariamente deben ser sustituidos y es complicado asignarles actividades preventivas complejas. También se consideró que para ciertos elementos de desgaste es más factible realizar su reemplazo cuando falle que el costo de la ejecución de cualquier actividad preventiva y los costos adicionales.
7. Varios estudios han indicado que el 40% o más de las fallas son el resultado de errores operativos [12]. Al contrastar esta información con el análisis de modos de falla y sus efectos realizado en los activos, podemos decir que si bien el operador forma parte primordial en la detección de los fallos funcionales de las envasadoras, también el error humano es muy común durante la operación y mantenimiento de estos equipos. Por tal motivo, se consideró que al asignar la ejecución de actividades como la limpieza, ajustes y revisiones por parte del operador ayudará de manera importante en ampliar el conocimiento y entendimiento del equipo de envasado y a su vez contribuirá en la reducción de paros no programados y demás consecuencias. No está por demás recordar que según lo mencionado en secciones anteriores la confiabilidad integral del activo depende de 4 aristas entre estas la confiabilidad humana.
8. El contar con un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) o software de mantenimiento, facilitó el ingreso, la organización y asignación de las tareas de mantenimiento de cada subsistema a través de la personalización de las distintas actividades de acuerdo a las necesidades y la complejidad de las mismas.

9. Las envasadoras verticales automáticas que conforman la línea de envasado, al tener características en común, permitieron tener una base importante de información que a pesar de compartir virtualmente un mismo contexto operativo, se obtuvieron diferentes puntos de vista que contribuyeron en la estructuración del plan propuesto.
10. Una vez aplicado el proceso RCM el equipo de trabajo pudo concluir que dicho proceso permitió obtener un Plan de Mantenimiento mucho más completo y sobretodo más realista, basado en la participación de todos los involucrados al igual que en información disponible sobre los activos y su mantenimiento.

IV. RECOMENDACIONES

1. Si el presente plan es adoptado por la empresa se recomienda iniciar su aplicación de manera paulatina, con el fin de evitar la aglomeración de actividades en meses iniciales y de esta manera establecer el calendario que se ajuste a la disponibilidad de personal de mantenimiento y tiempo en el área productiva. De igual manera, se deben evaluar los resultados obtenidos, con el fin de poder responder la pregunta 8 de la secuencia RCM. (Ver *Figura 1*), que si bien no es incluida por la norma SAEJA1011, se debe considerar como parte de un proceso de mejora continua.
2. Se debe asegurar que operadores y mantenedores sean debidamente capacitados con el fin de reducir los errores humanos tanto en su operación, ajustes iniciales y mantenimientos sobre estos activos. Se debe garantizar la calidad en la ejecución de toda actividad de mantenimiento aplicada sobre todos los activos sujetos a mantenimiento en la empresa.
3. Se pudo identificar que los motores eléctricos usados en el subsistema 1 de las envasadoras no cuentan con el grado de protección adecuado para el ambiente en el que trabajan, por tal motivo se recomienda reemplazarlos con motores sellados con factor de protección IP55 a IP66 [13].
4. Se recomienda la capacitación en termografía a personal de mantenimiento.
5. Se invita a que todo el personal involucrado en garantizar la confiabilidad de los activos de la empresa como son operadores, gestores, supervisores y especialmente a los mantenedores, hagan uso de las herramientas digitales disponibles (CMMS) para la gestión del mantenimiento, con el fin de establecer una plataforma de información que permita tener una mayor fluidez y agilidad en la planificación y toma de decisiones, proyectándose a brindar un mejor servicio al área productiva.
6. Con el fin de contar con una ejecución eficiente de actividades por parte de los operadores se recomienda la elaboración de Hojas de Estándares de Limpieza y Lubricación como parte de un programa de mantenimiento autónomo de activos críticos de la empresa y complemento al presente plan propuesto.

REFERENCIAS

- [1] John Moubray, *Reliability-centered Maintenance*, no. 2. 1997.
- [2] L. Tavares, *Administración Moderna de Mantenimiento*. 1999.
- [3] A. Cejalvo Lapeña and J. E. Domingo Biosca, "NTP 417: Análisis cuantitativo de riesgos: fiabilidad de componentes e implicaciones en el mantenimiento preventivo," 1994.
- [4] S. Riccetti, *Designing Food Safety and Equipment Reliability Through Maintenance Engineering*. United Kingdom: Taylor and Francis, 2014.
- [5] ARCSA, "Normativa Técnica Sanitaria Para Alimentos," pp. 1–59, 2016.
- [6] L. F. Sexto, "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad - Apuntes y Reflexiones," p. 45, 2015, [Online]. Available: radical-management.com.
- [7] The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space, *SAE JA 1011*, no. 724. 1998, pp. 1–5.
- [8] The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space, *SAE JA 1012*, vol. 1. 2002, pp. 1–62.
- [9] L. F. Sexto, "La confiabilidad integral del activo.," *Ing. Mecánica*, vol. 11, no. 1, 2008.
- [10] "Manual de operación y mantenimiento de envasadora vertical automática M420." p. 29, 2017.
- [11] "Análisis de Criticidad de Activos de la Empresa Erboindustrias Cía. Ltda.," 2019.
- [12] R. Gulati, *Maintenance and Reliability Best Practices*, vol. 2009. 2012.
- [13] WEG-S.A., "Motores Eléctricos Guía de Especificación," *Mot. Eléctricos WEG*, p. 67, 2016.