

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE ENSACADORA EN LÍNEA PARA
PLANTA CEMENTO MELÓN LA CALERA

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero en
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Benjamín Alejandro Sepúlveda Zamora

Profesor guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

2024

DEDICATORIA

En este momento importante de mi vida, solo desearía agradecer a todas las personas y situaciones que de alguna u otra forma me forjaron para llegar a este momento, partiendo por mis familiares más cercanos que sin ellos nada pudiese haber sido posible, mis padres Mauricio Sepúlveda Morales y Alejandra Zamora Diaz, y mi abuela, Adriana Diaz Gutierrez, la primera que me enseñó a leer e interesarme por aprender siempre más allá. A mis amigos cercanos y a mi grupo de universidad, ahora colegas, no podría nombrarlos a todos, pero siempre los llevo presente, sin duda alguna fueron una parte importante de esta etapa universitaria, puesto que, sin el apoyo mutuo al momento de estudiar, quizá hubiese sido mucho más complicado el avance curricular universitario.

A mis profesores los cuales siempre tuvieron una palabra de aliento y un trato más fraternal en los días donde las dudas abundaban. Y sin duda, a mi profesor guía Carlos Baldi Gonzalez, el cual siempre estuvo para responder mis dudas pacientemente ayudando a tener una correcta orientación respecto a este trabajo de título.

Gracias.

RESUMEN

Debido al avance e implementación de nuevas tecnologías en la industria, cada vez son más las empresas que optan por realizar mantenimiento centrado en confiabilidad, lo que ha llevado a un aumento constante en la implementación de esta estrategia para los equipos.

Asimismo, se busca emplear este tipo de mantenimiento a un equipo destinado a la distribución y llenado de cemento, el cual es crucial para la continuidad del proceso productivo, ya que es la primera máquina que conecta la línea de producción con la de distribución, y en términos económicos cada hora de producción genera cerca de un millón de pesos chilenos, lo que resulta crucial tanto productiva como económicamente para la empresa. Por esta razón, este equipo debe mantener una alta disponibilidad para cumplir con los objetivos de la misma.

El primer paso en este enfoque es realizar un análisis exhaustivo del proceso productivo y del equipo, con el fin de identificar los distintos subsistemas y jerarquizar los problemas que puedan presentar. Se propone un enfoque para el subsistema crítico con el fin de aminorar la posibilidad de interrupciones en el proceso de funcionamiento. Para esto, se debe hacer un análisis del equipo para identificar los subsistemas y jerarquizarlos mediante una matriz de riesgo semicuantitativa. Luego, se lleva a cabo un análisis de modos, efectos y criticidad de fallos, con el fin de seleccionar las tareas de mantenimiento adecuadas, para posteriormente realizar un gráfico de comparación entre el costo de mantenimiento propuesto para los modos de falla críticos, versus el costo que genera el impacto en la producción actual en un margen de una semana para evidenciar de manera más detallada la ventaja económica que puede otorgar, de esta manera, basándose en los resultados, se puede afirmar que la propuesta de mantenimiento enfocada en el subsistema crítico es favorable, puesto que con la aplicación del plan propuesto, se obtiene un beneficio económico a partir de las 19 horas de funcionamiento del equipo tomando en cuenta que opera 7284 horas en un año de trabajo. Finalmente, se deben planificar y programar las actividades de mantenimiento, lo que permitirá evaluar la viabilidad de la propuesta de mejora.

De esta manera, la implementación adecuada del mantenimiento centrado en confiabilidad genera resultados favorables, al aumentar la disponibilidad y reducir los costos de ineficiencia. Esto no solo resulta en beneficios económicos, sino que también permite entender mejor cómo operan los equipos en un contexto operativo real, lo que facilita un mejor control de los distintos subsistemas.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ÍNDICE.....	5
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL:.....	10
OBJETIVOS ESPECIFICOS:	10
CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES Y ELECCION DEL SISTEMA CRÍTICO	11
1. ANTECEDENTES GENERALES, DEFINICIONES Y ELECCIÓN DEL SISTEMA CRÍTICO	12
1.1 LINEA DE PRODUCCIÓN Y ELECCIÓN DE SISTEMA	12
1.1.1 Obtención de materias primas	13
1.1.2 Trituración y almacenamiento.....	13
1.1.3 Prehomogeneización	13
1.1.4 Molienda de crudo.....	13
1.1.5 Precalentado de ciclones	13
1.1.6 Fabricación de clinker	13
1.1.7 Molienda y fabricación de cemento	14
1.1.8 Almacenamiento de cemento	14
1.1.9 Expedición a granel.....	14
1.2 CEMENTO MELÓN SOCIEDAD ANÓNIMA	15
1.3 EMPLAZAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE ENVASADO	15
1.4 ENSACADORA EN LÍNEA.....	16
1.5 PROBLEMÁTICA	17
1.6 SUBSISTEMAS DEL EQUIPO ENSACADORA EN LINEA	18
1.7 DESCRIPCION DE LOS SUBSISTEMAS DE LA ENSACADORA	19
1.7.1 Distribuidor de células	19
1.7.2 Tolva.....	20
1.7.3 Bomba impulsora de producto	20
1.7.4 Llenado de saco.....	21

1.7.5 Extractor	22
1.7.6 Cinta transportadora	23
1.8 MODELO DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO	23
CAPITULO II: ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA EN EQUIPO DE ENSACADORA EN LÍNEA.....	31
2. ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA	32
2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	32
2.2 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)	36
2.2.1 Contexto operacional.....	36
2.2.2 Ítems mantenibles.....	36
2.2.3 Definición de los límites de operación de subsistema.....	37
2.2.4 Análisis funcional SIPOC	38
2.4 SELECCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	49
2.4.1 Árbol lógico de decisión	49
2.4.2 Resultado hoja de decisión RCM.....	50
2.4.3 Selección de tareas de mantenimiento	51
2.4.4 Análisis comparativo de costos operativos	52
2.5 COSTOS ASOCIADOS	53
CAPITULO III: PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO, VALIDACIÓN DE VIABILIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS.....	56
3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO, VALIDACIÓN DE VIABILIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS	57
3.1 VALIDACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO.....	57
3.2 PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO.....	58
3.2.1 Pauta de trabajo a modos de falla críticos	58
3.2.2 Ficha técnica a modos de falla críticos.....	61
3.2.3 Orden de trabajo	63
3.2.4 Seguridad y prevención.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS	69
ANEXO A. RESULTADO HOJA DE DECISIÓN RCM S UBSISTEMA CRÍTICO...	70

ANEXO B. SELECCIÓN TAREAS DE MTTO. SUBSISTEMA CRÍTICO.....	71
ANEXO C. PERMISO PARA TRABAJO SEGURO.....	73

INTRODUCCIÓN

Gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, cada vez resulta más efectivo para las industrias llevar a cabo un análisis relacionado al proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad, dicha herramienta resulta capaz de reducir considerablemente las ineficiencias presentes en un equipo al asignar actividades de mantenimiento únicas a cada activo que se requiera analizar.

Por otro lado, en la industria del cemento, la eficiencia operativa es crucial para mantener la competitividad y cumplir con la misión de liderazgo regional en calidad, innovación y sustentabilidad. En Melón S.A, la disponibilidad de los equipos es fundamental para asegurar la continuidad del proceso productivo. Sin embargo, el equipo de ensacadora en línea ha experimentado significativos tiempos de inactividad, acumulando en promedio 75 horas de avería solo en un mes. Esto resulta en una pérdida estimada de \$999,976 por hora, lo que podría sumar \$899,978,216 pesos chilenos en pérdidas anuales.

La recurrencia de estas fallas no solo impacta financieramente, sino que también genera retrasos logísticos, comprometiendo la producción y distribución del cemento. Cada hora no planificada de inactividad implica la pérdida de 386 de cemento, afectando directamente los ingresos.

Para abordar esta problemática, Melón S.A ha decidido implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad. Esta estrategia busca reducir los tiempos de inactividad y aumentar la disponibilidad de los equipos.

Dichos equipos poseen planes de mantenimiento con políticas correctivas, las cuales más la suma del deterioro de dicho equipo ha dado como resultado un aumento en las fallas de los distintos subsistemas, solo en el mes de febrero la confiabilidad ha alcanzado el peak más bajo de confiabilidad, con un 69,7% lo cual se traduce en aumento de horas de indisponibilidad, afectando directamente la producción y la economía de la empresa. Por lo mencionado anteriormente, se busca generar una propuesta de mantenimiento centrado en la

confiabilidad, con el objetivo de mejorar la disponibilidad, optimizando la intervención y reduciendo tiempos de inactividad mejorando la eficiencia operativa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Proponer un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad basado en sistema crítico ensacadora en línea de la empresa Melón S.A, evaluando su viabilidad y rentabilidad mediante herramientas y metodologías específicas del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Diagnosticar información del equipo ensacadora en línea e implementar la metodología de criticidad para seleccionar un subsistema crítico mediante matriz de riesgo.
- Jerarquizar los modos de falla de los subsistemas mediante análisis de modo de falla, efecto y criticidad para la selección de tareas de mantenimiento, en busca de información para la correcta realización de un RCM.
- Proponer tareas de mantenimiento para subsistema crítico del equipo, basada en datos extraídos, evidenciando costos asociados y medidas de implementación de seguridad respaldando dichas tareas.

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES Y ELECCION DEL SISTEMA CRÍTICO

1. ANTECEDENTES GENERALES, DEFINICIONES Y ELECCIÓN DEL SISTEMA CRÍTICO

A través de la recopilación de antecedentes, la descripción de la línea de producción y el emplazamiento de los equipos, se obtiene una comprensión integral del funcionamiento del equipo, resaltando el subsistema más crítico dentro de este.

1.1 LINEA DE PRODUCCIÓN Y ELECCIÓN DE SISTEMA

Ubicada en La Calera, la empresa MELON S.A es uno de los principales fabricantes de cemento dentro de la zona central.

Dicho proceso de fabricación de cemento es fundamental en la industria de la construcción, ya que el cemento es uno de los materiales más utilizados en la creación de estructuras duraderas. Para comprender cómo se produce este material, es útil visualizarlo a través de un esquema que ilustra cada una de las etapas del proceso, desde la extracción de las materias primas hasta la producción del cemento listo para ser distribuido.

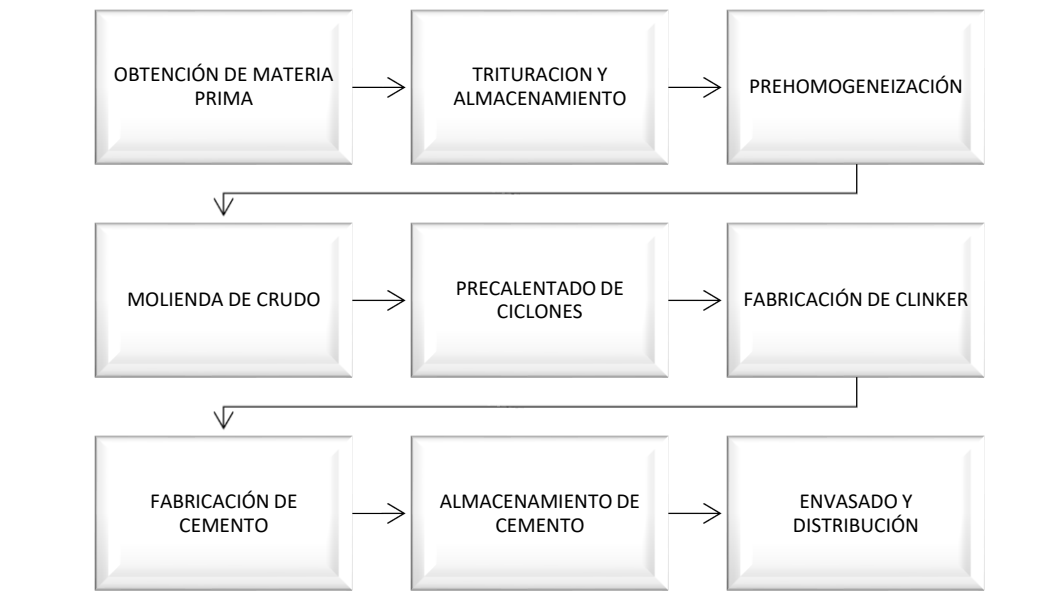


Figura 1-1 Proceso de fabricación de cemento

Fuente: Proceso de producción de cemento Oficemen

1.1.1 Obtención de materias primas

Las canteras se explotan mediante voladuras controladas, en el caso de materiales duros como calizas y pizarras, mientras que en el caso de materiales blandos (arcillas y margas) se utilizan excavadoras para su extracción.

1.1.2 Trituración y almacenamiento

Una vez extraído y clasificado el material, se procede a su trituración hasta obtener una granulometría adecuada para el producto de molienda y se traslada a la fábrica mediante cintas transportadoras o camiones para su almacenamiento en el parque de prehomogeneización.

1.1.3 Prehomogeneización

El material triturado se almacena en capas uniformes para ser posteriormente seleccionadas de forma controlada. La prehomogeneización permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes reduciendo su variabilidad.

1.1.4 Molienda de crudo

En el molino vertical se tritura el material a través de la presión que ejercen sus rodillos sobre una mesa giratoria. A partir de ahí, la materia prima (harina o crudo) se almacena en un silo para incrementar la uniformidad de la mezcla.

1.1.5 Precalentado de ciclones

La materia prima molida se introduce por la parte superior de la torre y va descendiendo por ella. Mientras tanto, los gases provenientes del horno, ascienden a contracorriente precalentando así el crudo, que alcanza los 1.000°C antes de entrar al horno.

1.1.6 Fabricación de clinker

El proceso de cocción de la harina en el horno implica un aumento de temperatura hasta los 1.500°C, donde ocurren las reacciones químicas que generan el clinker. Para alcanzar estas temperaturas, el horno tiene una llama principal que llega a los 2.000°C. Al salir del horno, el clinker se enfría mediante un enfriador que reduce su temperatura de 1.400°C a 100°C,

utilizando aire frío. El aire caliente generado se reintegra al horno para mejorar la eficiencia energética del proceso.

1.1.7 Molienda y fabricación de cemento

Gracias a la rotación del molino, las bolas colisionan entre sí, triturando el clínker y las adiciones hasta lograr un polvo fino y homogéneo: el cemento.

1.1.8 Almacenamiento de cemento

El cemento se almacena en silos, separado según sus clases.

1.1.9 Expedición a granel

El cemento se ensaca o se descarga en un camión cisterna para su transporte por carretera o ferrocarril.

Dentro del almacenamiento y expedición, se encuentra el proceso de empaquetado de cemento, el cual es realizado por el equipo de ensacadora en línea, dicho equipo permite no solo empacar y almacenar el producto, sino que comprende una seguidilla de factores que influyen dentro del proceso de empaquetado y sellado de cemento, tales como:

Eficiencia y Precisión: Permite llenar los sacos con la cantidad exacta de cemento de manera rápida y precisa, minimizando el desperdicio y asegurando la uniformidad del producto final.

Automatización y Productividad: Automatiza un proceso que de otro modo sería manual, mejorando la productividad y reduciendo los costos operativos.

Control de Calidad: Facilita el control de calidad al asegurar que cada saco de cemento cumpla con las especificaciones requeridas antes de su distribución.

1.2 CEMENTO MELÓN SOCIEDAD ANÓNIMA

Cemento melón S.A. es una fábrica empleada en la fabricación y distribución de cemento, específicamente cuenta con sucursales en distintas regiones tales como la región de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y de Los Lagos. El principal objetivo de esta empresa es producir cemento de alta calidad de una manera eficiente, a la misma vez que logra mantener una producción constante, mediante un servicio integral, eficaz y responsable. La planta principal de esta empresa se encuentra ubicada en calle Carrera n°34, La Calera Chile.

La distribución del producto se realiza a lo largo de todo Chile, el equipo Ensacadora en línea es fundamental en el proceso de distribución puesto que es el primer equipo dentro de la línea de empaquetado para luego ser distribuida la materia prima.

Habitualmente el personal encargado del equipo es el operador, mantenedor (acciones correctivas), supervisor, ingeniero de planta. Todas estas personas son los encargados de realizar tareas de mantenimiento correctivo las cuales son acordadas en conjunto con el jefe de mantenimiento con el objetivo de mantener una disponibilidad al menos del 90% y generar reducción de costos de ineficiencia.

1.3 EMPLAZAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE ENVASADO

Dentro de la planta, el proceso de fabricación del cemento se organiza en varias secciones, las cuales cada una está dedicada a una etapa específica dentro de la cadena de producción de este material. Estas secciones abarcan desde la preparación de materias primas hasta molienda y cocción del Clinker. Finalmente, el producto se dirige a la zona de envasado, donde se encuentra el equipo denominado “Ensacadora en línea”, crucial para el empaque eficiente del cemento antes de su distribución.

1.4 ENSACADORA EN LÍNEA

La ensacadora en línea (véase Figura 1-1, Figura 1-2), contribuye a cumplir el objetivo principal de la organización, de manera que con este equipo mejora la eficiencia y la precisión en el empaque del producto final. Posee por nombre “Ensacadora en línea LINEAMAT EVO” modelo MD00930E00, es un equipo incorporado desde el 2020, posee una capacidad de 5000-5600 sacos/h lo que corresponde (con sacos de 25 kg) a una producción de 140 ton/hora de cemento como máximo. Trabaja con una presión de 6 bares. Posee una altura de 4 metros, ancho y profundidad 1,5 metros, longitud 5 metros.



Figura 1-1 Ensacadora en línea

Fuente: Archivo Cemento melón La Calera

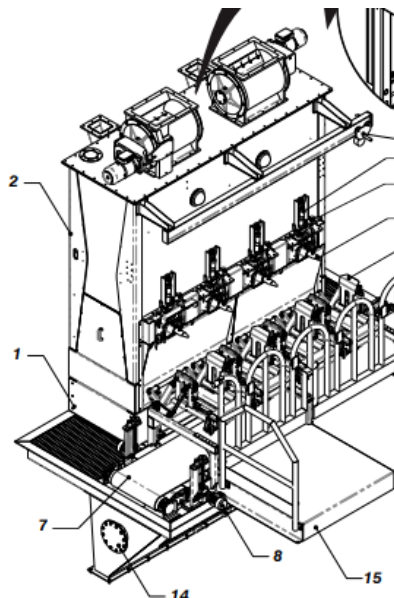


Figura 1-2 Ilustración referencial sistema ensacadora en línea

Fuente: Manual del proveedor

1.5 PROBLEMÁTICA

Melón S.A tiene como misión el liderazgo regional en la industria de materiales de construcción cimentado en la calidad, innovación y sustentabilidad de productos, servicios y procesos de excelencia. Para lograr esto, es necesario que todos sus equipos funcionen de manera eficiente con una disponibilidad de al menos 90%, dicho porcentaje es un objetivo comúnmente adoptado en las industrias de mantenimiento, especialmente en equipos críticos en plantas de producción continua.

Tras realizar auditorías a la línea de empaquetado, el equipo de ensacadora en línea ha experimentado solo en el mes de marzo, tiempos de avería recurrentes, los cuales suman alrededor de 75 horas de falla, que afectan la eficiencia de los procesos, esta ineficiencia se

traduce en periodos de inactividad los cuales al no ser planificados están resultando en retrasos significativos en el proceso de producción, impactando financiera y logísticamente en la producción y distribución del cemento.

Si por cada hora se tiene una producción estimada de 9639 kg y cada tonelada se vende al por mayor en montos de \$103,740 pesos chilenos aproximadamente, se estiman pérdidas de hasta \$999,976 solo en una hora de avería. Lo que a lo largo de todo un año se resume en una cantidad de \$899,978,216 pesos chilenos.

Es por este motivo que la empresa Melón S.A ha optado por instalar nuevas herramientas las que aumenten la disponibilidad y disminuyan los tiempos de inactividad, como lo es en el caso de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, de esta manera se busca la continuidad operacional del equipo. El primer paso para lograr este plan de mantenimiento es jerarquizar los distintos subsistemas que abarca el equipo de Ensacadora en línea, de esta manera podremos saber y definir cuál es el equipo más y menos crítico, a continuación, se define los distintos subsistemas del equipo.

1.6 SUBSISTEMAS DEL EQUIPO ENSACADORA EN LINEA

Alimentación

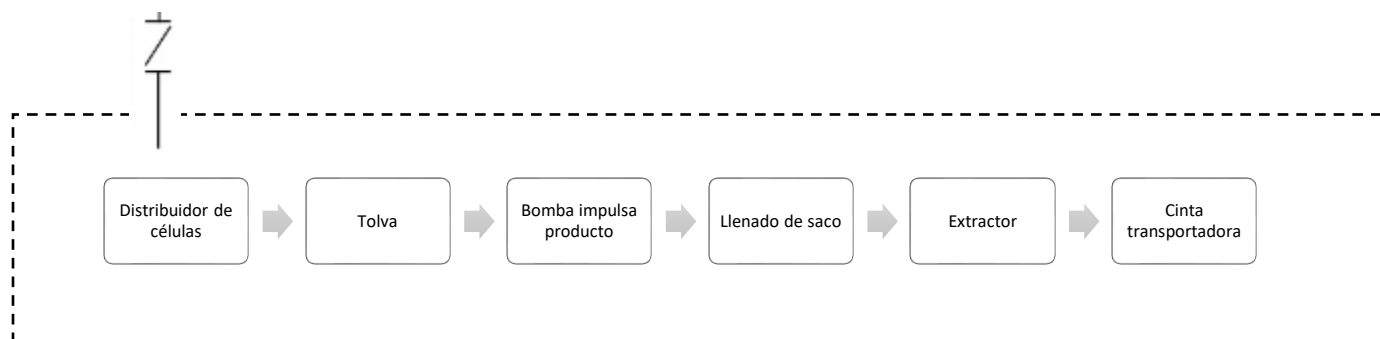


Diagrama 1-2 Descripción funcionamiento subsistemas Ensacadora en línea

Fuente: Elaboración propia, según información de manual del proveedor

En la parte superior de la ensacadora está instalado un sistema de contención/alimentación del producto. Debajo de este sistema hay un cierre manual o, como alternativa, una válvula de mariposa, que permite el paso del producto hacia un distribuidor de células que, a su vez, lo trasvasa y lo distribuye a la tolva de la ensacadora. En la parte inferior de la tolva está instalado el grupo bomba que envía el producto a la boca de la ensacadora donde está colocado el saco para llenar. En esta fase la boquilla sostiene el saco y permite su pesaje. Una guillotina (o, como alternativa, unas pinzas), colocada entre el grupo turbina y la boca de la ensacadora, regula el flujo del producto hasta alcanzar el peso establecido. Una vez terminada esta fase el extractor deposita el saco en la cinta transportadora que lo lleva hacia la salida.

1.7 DESCRIPCION DE LOS SUBSISTEMAS DE LA ENSACADORA

1.7.1 Distribuidor de células

El distribuidor de células posee componentes encargados de manejar el flujo del producto (véase tabla 1-1). El cierre de tornillo, ubicado debajo de la tolva, permite el paso del producto (puede ser reemplazado por una válvula de mariposa). Esta válvula controla el flujo mediante un disco accionado neumáticamente, permitiendo el mantenimiento sin vaciar la tolva. El dosificador, disponible en transmisión directa o de cadena, alimenta automáticamente la tolva de la ensacadora cuando el nivel es bajo, moviendo el producto a través de una célula. En ensacadoras de 4 bocas, se utilizan dos dosificadores. La criba giratoria, también para ensacadoras de 4 bocas, alimenta la tolva mediante un motorreductor y cóclea, activándose automáticamente al detectar falta de producto. Estos componentes aseguran un flujo continuo y controlado del cemento, permitiendo mantenimiento sin detener la producción.

Tabla 1-1

ITEMS MANTENIBLES SUBSISTEMA
Cierre de tornillo
Válvula de mariposa
Dosificador
Criba giratoria

Fuente: Elaboración propia

1.7.2 Tolva

La tolva contiene el producto y lo distribuye a las bocas de carga. Es una estructura metálica cuyas dimensiones varían según el número de bocas que tenga. En su interior tiene un indicador de nivel de membrana que sirve para medir la cantidad de producto que contiene. Funciona transmitiendo la presión que ejerce el producto sobre la membrana dentro de la tolva; si falta esta presión, indica que no hay producto. Cuando la tolva está acoplada a una ensacadora en línea de 4 bocas, puede tener dos indicadores de nivel. Además, se puede ver el nivel de producto en la tolva a través de ventanas en la pared frontal (Véase tabla 1-2).

Tabla 1-2

ITEMS MANTENIBLES SUBSISTEMA
Estructura metálica
Indicador de nivel de membrana
Ventanas de visualización
Conexiones y acoplamientos

Fuente: Elaboración propia

1.7.3 Bomba impulsora de producto

El sistema de bomba impulsora de producto mueve el cemento desde el tanque hasta la boquilla de carga, utilizando un grupo bomba que puede tener una turbina con eje de rotación horizontal o vertical. La turbina, accionada por un motor, impulsa el producto hacia la boquilla mediante un sistema de guillotina o una válvula de manguito que regula la cantidad de producto en el saco. Equipado con un grupo de estanqueidad monobloque intercambiable, el grupo guillotina controla el flujo mediante una placa y contraplaca ajustadas por accionadores neumáticos, mientras que el grupo pinzas utiliza actuadores neumáticos para comprimir un manguito de goma, determinando así la sección de paso del producto. Ambos sistemas están situados detrás del grupo de pesaje, asegurando un control preciso del flujo de cemento para una operación eficiente y exacta del ensacado (Véase tabla 1-3).

Tabla 1-3

ITEMS MANTENIBLES SUBSISTEMA
Turbina
Motor
Grupo guillotina
Grupo de estanqueidad

Fuente: Elaboración propia

1.7.4 Llenado de saco

El subsistema de llenado y pesaje sostiene el saco durante el llenado. Está formado por una parte conectada a la estructura fija mediante cuatro muelles y una célula de carga que mide el peso. Un cilindro neumático llamado bloqueasacos sujeta el saco. En la versión manual, una palanca activa un detector que inicia el llenado al detectar la presencia del saco. Si el saco no está bien colocado, el sistema impide la salida del producto. Una vez lleno, el cilindro suelta el saco y el grupo extractor lo retira (Véase tabla 1-4).

Tabla 1-4

ITEMS MANTENIBLES SUBSISTEMA
Sensor de flujo
Celda de carga
Actuador neumático
Componente de control y peso
Componente grupo guillotina
Sistema de mordaza

Fuente: Elaboración propia

1.7.5 Extractor

Cuando el saco alcanza el peso preestablecido, se libera en el extractor de pantógrafo. Este extractor cuenta con una o más sillas (descansos) que utilizan un sistema de palancas. Estas palancas son activadas por cilindros neumáticos y su función es colocar el saco de manera vertical sobre la cinta transportadora que se encuentra debajo, evitando que se vuelque durante el proceso (Véase tabla 1-5).

Tabla 1-5

ITEMS MANTENIBLES SUBSISTEMA
Sillas del extractor
Sistema de palancas
Cilindros neumáticos

Fuente: Elaboración propia

1.7.6 Cinta transportadora

El subsistema comienza cuando el saco lleno es liberado en un extractor de basculación. Este extractor utiliza rampas accionadas neumáticamente para volcar el saco sobre la cinta transportadora, asegurando que el saco se deposite correctamente. Un lateral fijo en el lado opuesto de la cinta ayuda a mantener los sacos en su lugar mientras son transportados. La cinta, compuesta por una estructura de soporte, gira sobre un tambor motorizado y un tambor de reenvío, permitiendo un movimiento suave y continuo. Además, la estructura de la cinta puede ajustarse verticalmente mediante patitas motorizadas, facilitando el manejo y alineación del sistema de acuerdo con las necesidades de la producción (Véase tabla 1-6).

Tabla 1-6

ITEMS MANTENIBLES SUBSISTEMA
Rampa extractor
Cinta transportadora
Tambor motorizado de reenvío
Patitas motorizadas

Fuente: Elaboración propia

Una vez ya realizada la descripción de los distintos subsistemas de la ensacadora en línea, con el fin de contextualizar el funcionamiento de cada uno, para realizar una buena propuesta de mantenimiento centrada en confiabilidad, fue necesario la selección de cuál de estos subsistemas es el más crítico según el riesgo asociado, para esto se debe definir la selección de la herramienta de jerarquización.

1.8 MODELO DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO

Una vez realizada la descripción y contextualización de los distintos subsistemas, se busca seleccionar cuál de estos subsistemas es el más crítico según el riesgo asociado, esto con el

fin de identificar cual subsistema del equipo debe ser atendido en función de su impacto, según Alejandro J. Pistarelli (2010), en su libro “Manual de mantenimiento Ingeniería, gestión y organización”, *“las empresas utilizan distintas herramientas para priorizar sus activos, algunas organizaciones se valen de matrices de criticidad para evaluar sus activos, si este trabajo ya fue hecho, puede aprovecharse para seleccionar las máquinas a revisar”* con esto, se entiende que para poder definir que subsistema es el más crítico dentro de un activo, la jerarquización resulta ser un paso primordial, junto con su riesgo asociado al fallo. Dicha jerarquización se logra mediante el modelo de criticidad semicuantitativo, conocido como criticidad total por riesgo (CTR), con esta herramienta se logra seleccionar el subsistema crítico de la ensacadora a través de un análisis semicuantitativo por el concepto de riesgo, el cual es el resultado de la multiplicación de la frecuencia de falla por la consecuencia.

Sus expresiones dentro del modelo están descritas por la fórmula:

$$CTR = FF * C$$

Fuente: “Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos” PhD. Carlos Parra y PhD. Adolfo Crespo

CTR: Criticidad total por riesgo.

FF: Frecuencia de fallos (Fallos/años, meses, días, etc.).

C: Consecuencia de fallos.

Asimismo, las consecuencias se dividen en 4 variables las cuales vienen dadas por:

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

Fuente: “Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos” PhD. Carlos Parra y PhD. Adolfo Crespo

Donde:

C: Consecuencia de fallos.

IO: Factor de impacto en la producción.

FO: Factor de flexibilidad operacional.

CM: Factor de costes de mantenimiento.

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

De modo que la ecuación final para el modelo de riesgo de criticidad semicuantitativa resulta dada por la expresión:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

Fuente: “Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos” PhD. Carlos Parra y PhD. Adolfo Crespo

De los factores mencionados anteriormente en la ecuación “CTR”, se debe tener una ponderación respecto a su evaluación por la expresión de riesgo, con la finalidad de cuantificar cada variable.

Para el factor de frecuencia de fallos (FF), se tiene una ponderación de una escala de 2-8, de esta manera se tiene que:

Tabla 1-7 Ponderación de factor de frecuencia de fallos

Frecuencia de fallas (FF)	Cifra
Mayor a 7 fallas/año	8
Entre 5 y 7 fallas/año	6
Entre 2 y 4 fallas/año	4
Menor a 2 fallas/año	2

Fuente: Elaboración propia a partir de artículo “Desarrollando un Plan de Mantenimiento apoyados en RCM”.

El factor de ponderación de frecuencia de fallas, toma en consideración, la bitácora de fallos existente en la línea de trabajo de la ensacadora en línea, la que tiene datos pertenecientes al transcurso de todo un año, a raíz de esto se tiene como referencia una cantidad determinada de fallos en la cantidad de tiempo que posee la bitácora. La escala 2, 4, 6, 8 se elige para proporcionar una mayor diferenciación en la evaluación de la frecuencia de fallas, permitiendo reflejar de manera más precisa el impacto operativo de las fallas en los subsistemas.

Por otra parte, una vez ya realizada la ponderación de frecuencia de fallos, para el impacto operacional (IO), se tiene que:

Tabla 1-8 Ponderación de factor de impacto operacional

Impacto operacional (IO)	Cifra
Detiene la producción	15
Disminuye producción	9
Produce costos operacionales	5
No origina ningún efecto negativo	1

Fuente: Elaboración propia a partir de artículo “Desarrollando un Plan de Mantenimiento apoyados en RCM”.

Se determina una escala de 1 a 15 como se aprecia en la Tabla 1-8 en donde, la máxima ponderación, es una parada total de la producción y la mínima ponderación nos indica que no origina ningún efecto negativo.

En el caso de la flexibilidad operacional (FO):

Tabla 1-9 Ponderación de factor de flexibilidad operacional

Flexibilidad operacional (FO)	Cifra
La reparación dura más de 24 horas	12
La reparación dura entre 12 y 24 horas	9
La reparación dura entre 6 y 12 horas	6
La reparación dura menos de 6 horas	3

Fuente: Elaboración propia a partir de artículo “Desarrollando un Plan de Mantenimiento apoyados en RCM”.

Cuando la falla del subsistema, no provoca detención total del proceso, pero si pérdida de sus funciones, se evalúa una cifra 12, pero si la falla no incide en el proceso y posee bajos tiempos de reparación, su ponderación es la mínima (3).

Tabla de costos de mantenimiento:

Tabla 1-10 Ponderación de costos de mantenimiento

Costo de mantenimiento (CM)	Cifra
Sobre \$500.001	10
De \$200.001 a \$500.000	8
De \$50.001 a \$200.000	5
De 0 a \$ 50.000	1

Fuente: Elaboración propia a partir de artículo “Desarrollando un Plan de Mantenimiento apoyados en RCM”.

Los costos de mantenimiento superiores a \$500.001 son de carácter más crítico que los inferiores a este mismo valor.

Finalmente, se tiene la tabla de seguridad y medio ambiente (SHA):

Tabla 1-11 Ponderación de seguridad y medio ambiente

Seguridad y medio ambiente (SHA)	Cifra
Alto impacto en la seguridad humana/ambiental.	18
Afecta las instalaciones causando severos daños.	15
Provoca daños menores (accidentes e incidentes), impacto ambiental bajo.	7
Provoca molestias mínimas en las instalaciones y ambiente.	1

Fuente: Elaboración propia a partir de artículo “Desarrollando un Plan de Mantenimiento apoyados en RCM”.

Tabla 1-12 Resultados de frecuencias y consecuencias en matriz de riesgo

SUBSISTEMA	Frecuencia	FF	I.O	F. O	C.M	S.H. A	Consecuencia	Riesgo
Distribuidor de células	1	2	9	3	1	1	29	58
Tolva	3	4	9	3	5	7	39	156
Bomba impulsora de producto	2	4	5	3	5	7	27	108
Llenado de saco	21	8	15	9	5	7	147	1176
Extractor	3	4	9	3	5	1	33	132
Cinta transportadora	8	8	9	6	5	7	59	472

Fuente: Elaboración propia

A partir de las frecuencias de falla registradas en una planilla proporcionada por el equipo de mantenimiento de la empresa, que documenta las incidencias de los subsistemas durante un período de un año, se realizaron las respectivas ponderaciones. Estos datos fueron utilizados

para calcular la consecuencia y riesgo, lo que permitió evaluar la criticidad de cada subsistema.

Una vez realizada la tabla de resultados de frecuencia y consecuencia, en busca de generar los respectivos resultados y análisis, se debe calcular la criticidad de cada subsistema y posicionarlos en una matriz de frecuencia por consecuencia, donde el eje “Y” (eje vertical), se posiciona la frecuencia de falla (FF), y en el eje “X” (eje horizontal), se posiciona la consecuencia.

Se separan por colores, dependiendo la criticidad de los resultados de cada subsistema.

Tabla 1-13 Resultados de frecuencias y consecuencias en matriz de riesgo

FRECUENCIA	8			CINTA TRANSPORTADORA						LLENADO DE SACO
	6									
	4	BOMBA IMPULSORA	EXTRACTOR		TOLVA					
	2	DISTRIBUIDOR DE CELULAS								
		15	30	45	60	75	90	105	120	135
		CONSECUENCIA								

Fuente: Elaboración propia

Donde el color rojo representa que el subsistema posee riesgo crítico, el color amarillo indica semi-criticidad y el color verde indica que no es crítico.

De esta manera, se logra evidenciar que el subsistema más crítico es Llenado de saco, los subsistemas medianamente críticos son Tolva, y extractor, por otra parte, los subsistemas de cinta transportadora, bomba impulsora y distribuidor de células, poseen criticidad más baja.

Los subsistemas que son más críticos deben ser mayormente mantenidos, puesto que estos indican que la producción puede disminuir o fallar directamente al momento de fallar uno de estos equipos.

La presente propuesta de plan de mantenimiento se centrará en disminuir dicho impacto.

A continuación, se presentará el análisis de modos, efectos y criticidad de falla en el sistema de ensacadora en línea, donde se identificará la descripción de su función, falla funcional, modos y efectos de falla, para la selección de tareas de mantenimiento.

CAPITULO II: ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA EN EQUIPO DE ENSACADORA EN LÍNEA

2. ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA

Se aborda la identificación y evaluación de fallas en los subsistemas de la ensacadora en línea. Se exploran metodologías clave, junto con el uso de matrices para evaluar la frecuencia y consecuencias de las fallas.

2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), es una metodología utilizada en la gestión de mantenimiento que tiene como objetivo principal asegurar que los sistemas, equipos y activos de una organización funcionen de manera confiable y eficiente a lo largo de su vida útil. Asimismo, con esta herramienta se reducen los costos de mantenimiento y disminuyen los tiempos de inactividad de los equipos.

Dicha metodología surge como una adaptación en la industria, con el objetivo de reducir costos y riesgos de accidentes. Basándose en analizar las funciones de los equipos y determinar los modos de falla que puedan afectar dichas funciones, para luego establecer las tareas más adecuadas de mantenimiento. Posee un enfoque participativo, es decir, involucra a los técnicos y operadores, por lo que permite aprovechar su experiencia y conocimiento.

Además, busca introducir un cambio en los conceptos de mantenimiento, considerándolo como una herramienta de gestión que asegura el funcionamiento de los equipos.

El RCM analiza los problemas de confiabilidad, buscando soluciones proactivas en lugar de reactivas, para prevenir fallas y garantizar la seguridad de operaciones.

Asimismo, este método se rige por una estructura de 7 preguntas, las que tiene por objetivo definir la metodología de mantenimiento más apropiada para cada equipo según sea su contexto operativo real. Las 7 preguntas que debe responder el RCM (véase tabla 2-1), debe ser de manera secuencial y generar respuestas satisfactorias.

Tabla 2-1 “Modelo de las 7 preguntas y etapas del RCM”

Pregunta	Descripción	Tópico/Paso
1	¿Cuáles son las funciones del sistema?(teniendo en cuenta sus patrones de funcionamiento en el contexto operativo actuante)	Funciones
2	¿De qué forma no se cumplen las funciones?	Fallas funcionales
3	¿Cuáles son las causas que provocan las fallas funcionales?	Modos de falla
4	¿Qué sucede cuando ocurre cada modo de falla?	Efecto de los fallos
5	¿Qué consecuencias provoca cada modo de falla?	Consecuencia de los fallos
6	¿Qué se puede hacer para evitar, predecir o detectar cada modo de falla?	Acciones pro-activas
7	¿Cómo proceder si no es posible evitar, predecir o detectar el modo de falla?	Acciones reactivas

Fuente: “Manual de mantenimiento Ingeniería, gestión y organización” Alejandro J. Pistarelli

De esta manera, para responder satisfactoriamente las 7 preguntas, se requiere la recolección de información y la generación de un contexto operacional adecuado para el usuario, teniendo como propósito fundamental conservar las funciones del sistema, una vez que estas respuestas se generan, se logra obtener el plan RCM, arrojando todo tipo de tareas de mantenimiento según sea la necesidad para evitar el modo de falla, tal como: mantenimiento basado en falla, en uso, en condición, en oportunidad, etc.

Por otra parte, para responder estas 7 preguntas, se debe saber que las funciones son las definiciones del contexto operacional real, en la cual se debe satisfacer los niveles de desempeño deseados por el usuario o dueño, también se deben conocer las definiciones de

funciones, fallas funcionales, modos de fallo, efecto de los fallos, consecuencia de los fallos, acciones pro-activas y acciones reactivas descritas en la Tabla 2-1.

- i. Se entiende por función a las tareas o actividades esenciales que un equipo, máquina o sistema debe realizar para cumplir con su propósito dentro del proceso productivo.
- ii. Las fallas funcionales son las fallas que ocurren cuando un activo físico o sistema no presenta disponibilidad para ejercer una función específica según el contexto operacional deseado. Para este caso, las fallas funcionales están directamente relacionados con los modos de falla del equipo “Ensacadora en línea”.
- iii. El modo de falla es un evento que provoca una falla funcional. Es necesario identificar todos los modos de falla posibles que podrían causar dicha falla.
- iv. El efecto de los fallos es la consecuencia de un modo de falla, y describe lo que ocurre si no se realiza mantenimiento para anticipar, detectar o prevenir la falla.
- v. Las consecuencias de los fallos son los efectos de los modos de falla, que pueden ser ocultos (no detectables en operación normal) o evidentes (perceptibles durante la operación)
- vi. La acción proactiva previene fallos, optimizando equipos mediante mantenimiento, monitoreo y análisis, para reducir costos y mejorar la disponibilidad.
- vii. Las acciones reactivas son intervenciones post-fallo para reparar equipos rápidamente, pero pueden causar tiempos de inactividad y aumentar los costos operativos.

El proceso del RCM (Diagrama 2-1), en primera instancia, debe realizar un análisis del proceso productivo, con la finalidad de identificar el contexto operacional, con esta se puede realizar una matriz de riesgo semicuantitativa, donde se selecciona el subsistema crítico, para los subsistemas no críticos se mantendrá el mantenimiento genérico, por otro lado, para el

subsistema crítico “Llenado de saco”, se realizará un análisis de modos, efectos y criticidad de fallo (FMECA).

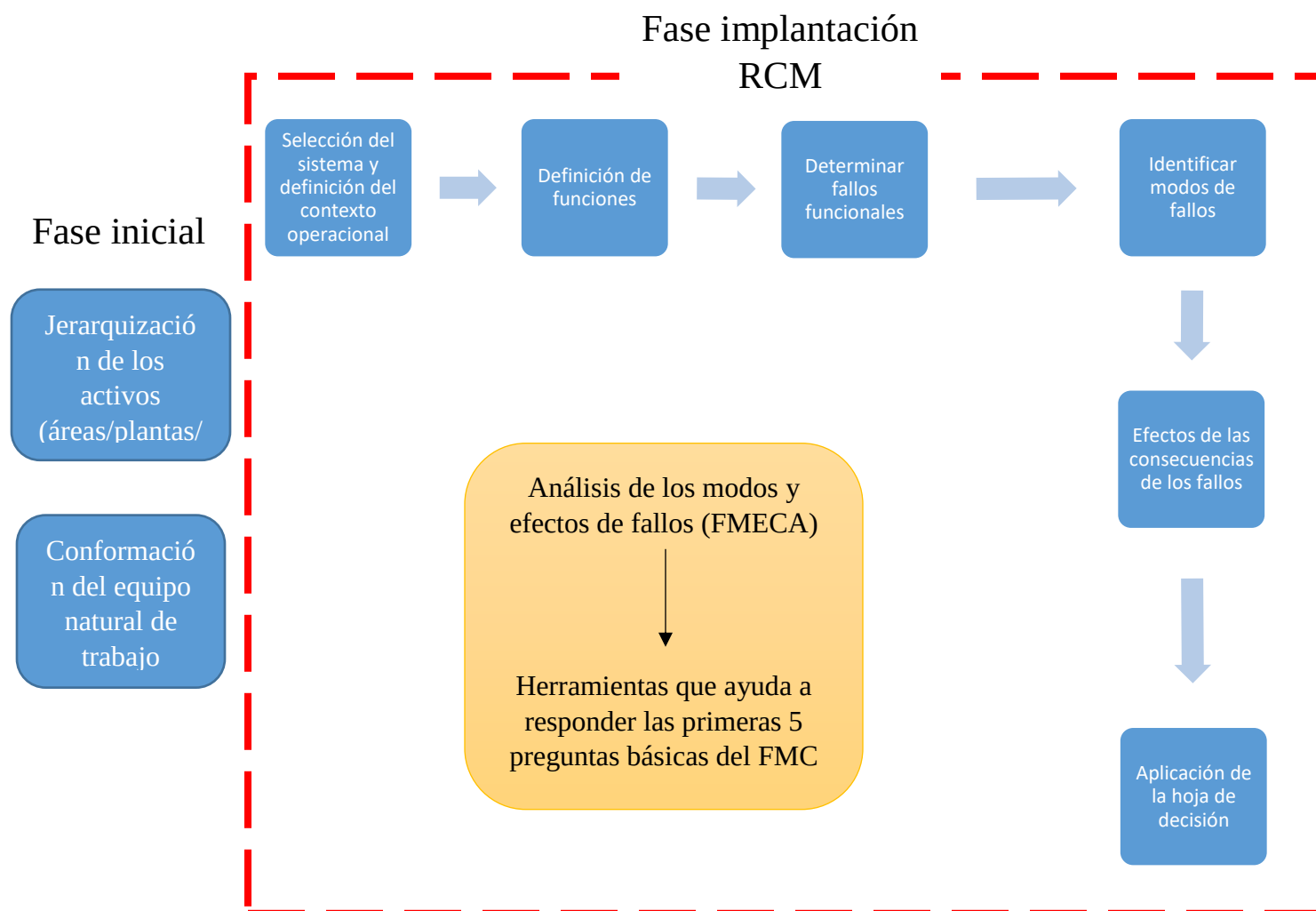


Diagrama 2-1 Proceso del RCM

Fuente: “Generalidades del mantenimiento” Universidad Industrial de Santander

Como se logra apreciar en el Diagrama 2-1, la implantación del FMECA comienza con la selección del sistema y definición del contexto operacional para posteriormente definir claramente las funciones, para esto, posterior a la contextualización operacional se deberá

realizar un análisis SIPOC al proceso de producción del sistema, con el fin de obtener los fallos funcionales e identificar de manera clara los modos y efectos de falla. Una vez efectuando todo esto, se deben seleccionar las tareas de mantenimiento, para validarlas mediante un estudio de prefactibilidad técnico económico, de no ser viable el plan, se debe volver a ejecutar el análisis del riesgo, por otro lado, de ser viable, se deben planificar, programar y ejecutar el plan de mantenimiento. Ya finalizada la descripción de mantenimiento, y RCM, se procede a efectuar el análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA) para el subsistema crítico “Llenado de saco”, a continuación, se da inicio al desarrollo de esta metodología.

2.2 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)

2.2.1 Contexto operacional

El contexto operacional para la Ensacadora en línea, definido por la gerencia de la empresa Melón S.A., indica que el equipo opera en el área de empaquetado de la planta, trabajando a una presión de 6 bares. En un día de operación normal, la ensacadora produce aproximadamente 231 toneladas en una jornada de 24 horas, distribuida en turnos de 8 horas, los 6 días de la semana. El equipo se encuentra sujeto a las condiciones ambientales propias de la planta, incluyendo temperaturas y humedad relativa que varían según la estación del año. Adicionalmente, el proceso de empaquetado involucra la manipulación de materiales abrasivos y polvorientos, lo cual representa un desafío adicional para el mantenimiento del equipo.

2.2.2 Ítems mantenibles

El subsistema crítico de la ensacadora en línea, donde se decide llevar a cabo el estudio es el subsistema de “Llenado de saco” (Tabla 2-2), el cual posee distintos ítems mantenibles.

Tabla 2-2 Ítems mantenibles Subsistema Llenado de saco

ITEMS MANTENIBLES SUBSISTEMA
Sensor de flujo
Celda de carga
Actuador neumático
Componente de control y peso
Componente grupo guillotina
Sistema de mordaza

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Definición de los límites de operación de subsistema

Con el fin de definir los límites del proceso, se debe identificar las fronteras del subsistema que se desea estudiar, en este caso, para el subsistema crítico de “Llenado de saco”, con la finalidad de centrar de manera más clara las actividades de mantenimiento, solamente a lo que está dentro de los límites seleccionados con color.

Alimentación

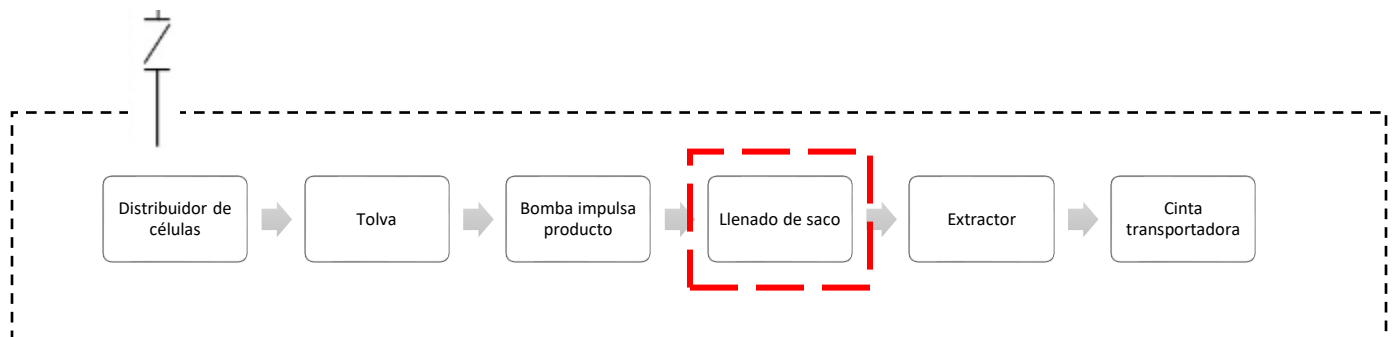


Diagrama 2-2 Descripción funcionamiento subsistemas Ensacadora en línea

Fuente: Elaboración propia, según información de manual del proveedor

2.2.4 Análisis funcional SIPOC

El análisis SIPOC es un diagrama que nos permite marcar los límites del proceso para obtener una buena toma de decisiones, de tal manera que estas elecciones estén dentro de los límites demarcados. Este análisis documenta los proveedores, entrada, proceso, salida y cliente del proceso, el cual nos permite contextualizar aún mejor las funciones del sistema y subsistema crítico Llenado de saco (véase Tabla 2-3).

Tabla 2-3 Análisis funcional SIPOC subsistema Llenado de saco

Subsistema crítico Ensacadora en línea				
<u>Suppliers</u>	<u>Input</u>	<u>Process</u>	<u>Output</u>	<u>Customer</u>
1.Bomba impulsora	Energía eléctrica	Su activación controla el caudal, la presión, la velocidad de rotación y la temperatura, asegurando un flujo constante y adecuado del producto hacia la boquilla de la ensacadora para el llenado del saco.	Saco lleno de cemento en cantidad precisa	Subsistema Llenado de saco

2.Boquilla dosificadora	Aire comprimido	Regula el caudal, la precisión de dosificación, la presión de entrada y la temperatura del cemento, controlando paso de material preciso y uniforme para un llenado exacto.		
-------------------------	-----------------	---	--	--

Fuente: Elaboración propia

2.3 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)

2.3.1 Riesgo total anual

Para desarrollar el análisis de los modos efectos y criticidad, en primera instancia se debe identificar el subsistema crítico, una vez realizado este paso, es describir la función del subsistema con el objetivo de identificar las fallas funcionales, una vez descrita dichas fallas se debe identificar los distintos modos de fallos relacionados a dichas fallas.

Una vez que se identifiquen los modos de fallas y las fallas funcionales, hay que cuantificar el impacto de dichas fallas en el equipo, esto se realiza mediante el riesgo total anual, siendo

este un análisis cuantitativo, posteriormente se debe realizar una matriz doble (A, B, C) la cual tiene como función ser una herramienta de análisis cualitativo de riesgo, ambas criticidades del riesgo son utilizadas para jerarquizar la criticidad de los modos de fallo.

Para realizar la evaluación de riesgo total anual, se deben conocer las expresiones de la fórmula:

$$RTA = FF * (MTTR * IP + IM)$$

Fuente: “Manual de mantenimiento Ingeniería, gestión y organización” Alejandro J. Pistarelli

Donde:

RTA = Riesgo total anual

FF = Frecuencia

MTTR = Tiempo promedio para reparar

IP = Impacto en la producción generado por falla en horas.

IM = Impacto en costos de mantenimiento (Costos directos por falla)

Una vez ya definidas las siglas de la formula, se procede a calcular cada una de estas, con el fin de tener un valor real estimativo para realizar el FMECA.

El valor cuantitativo del impacto en la producción (IP) se calcula mediante la fórmula:

$$IP = \text{Costo por tonelada de cemento} * \text{perdida de producción por falla}$$

Con esto, se tiene que cada hora genera perdida de \$999,976 pesos chilenos.

Para obtener el valor cuantitativo del impacto en costes de mantenimiento (véase Tabla 2-4), se debe realizar la siguiente fórmula:

$$IM = N^{\circ} p \cdot HH \cdot Tarifa\ especialidad + valor\ materiales$$

Fuente: “Manual de mantenimiento Ingeniería, gestión y organización” Alejandro J. Pistarelli

Tabla 2-4 Impacto de mantenimiento

Sigla	Expresión
IM	Impacto en costes de mantenimiento (Costos directos por falla)
N° p	Número de personas
HH	Horas hombre ejecutadas para resolver la falla

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que para cada impacto de mantenimiento se obtendrá un valor distinto, puesto que los componentes tienen un costo distinto por ende sus respectivos materiales también los tendrán.

Para generar la matriz doble “A, B, C”, la cual corresponde al análisis de riesgo cualitativo, se debe ponderar el impacto de seguridad y ambiental (véase Tabla 2-5), una vez ponderado ambos impactos, se debe construir la doble matriz de riesgo (véase Tabla 2-5), en esta matriz el color verde representa el área no crítica, el color amarillo el área de mediana criticidad, y el área de color rojo indica una alta criticidad.

Tabla 2-5 Clasificación de impacto de seguridad y ambiente

Ponderación	Clasificación
A	Alto impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia de este modo de fallo.
B	Mediano impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia de este modo de fallo.
C	Bajo impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia de este modo de fallo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-5 Criticidad riesgo cualitativo

IMP. A	CA	BA	AA
SEG. B	BC	BB	AB
C	CC	BC	AC
	C	B	A
IMP.AMB.			

Fuente: Elaboración propia

Tras la descripción del proceso de RCM y el contexto operacional, se procede a construir el FMECA identificando las variables críticas previamente analizadas. Se calcula el Riesgo total anual de cada modo de falla, y se establece un análisis detallado para cuantificar el impacto de estos fallos, tomando en cuenta factores como la frecuencia, severidad y detectabilidad de los riesgos. Este análisis permite obtener una visión precisa del riesgo total anual, ayudando a priorizar acciones correctivas y optimizar la confiabilidad del sistema.

Tabla 2-7 Análisis FMECA, parte 1

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	FREC. FALLAS	MTTR (LOG-EJEC. P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO
					11.1	SOBRECARGA TÉRMICA MOTOR TRIFÁSICO GRUPO BOMBA	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: El motor que abastece de movimiento al grupo bomba se sobrecalienta provocando la detención de la operación. Efecto: Funcionamiento intermitente del grupo bomba y ralentización de la producción. Detección: Ruido y vibración anormal.	1	24	\$ 999.976	\$ 3.486.040	A	B	\$ 27.485.459	AB
					11.2	FALLA EN CÉLULA DE CARGA C2G1	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: La célula de carga proporciona lecturas inconsistentes. Efecto: Precisión inexacta de llenado causando sobrecarga. Detección: Monitoreo continuo.	3	5	\$ 999.976	\$ 836.040	A	B	\$ 17.507.757	AB
					11.3	FALLA ACTUADOR NEUMÁTICO DE DOBLE ACCIÓN GRUPO GUILLOTINA	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: El actuador neumático no activa el mecanismo de corte. Efecto: Incapacidad para realizar cortes de flujo de producto, afectando grupo de trabajo. Detección: Alarma del sistema.	2	3	\$ 999.976	\$ 611.040	B	C	\$ 7.221.935	BC

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-8 Análisis FMECA, parte 2

ENSACADORA EN LÍNEA	1	EL SUBSISTEMA SE ENCARGA DE LLENAR,CALIBRAR Y EMPACAR EL PRODUCTO PARA SU DISTRIBUCIÓN	1,1	INTERRUPCIÓN/DE TENCIÓN DEL PROCESO DE LLENADO POR FALLA DE COMPONENTES DEL SUBSISTEMA.	1.1.4	OBSTRUCCIÓN PASO DE PRODUCTO EN LA BOQUILLA DE CARGA	Evidente/ No Evidente: NO Descripción del Evento: Material atascado impide correcto funcionamiento del actuador. Efecto: Interrupciones en el flujo de producto. Detección: Inspección visual.	7	3	\$ 999.976	\$ 486.040	B	C	\$ 24.401.772	BC
					1.1.5	DESGASTE ACCIONADOR NEUMÁTICO	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: Pérdida de presión que impide el funcionamiento uniforme del actuador neumático. Efecto: Disminución en la eficiencia de operación. Detección: Monitoreo constante e inspección visual.	5	2	\$ 999.976	\$ 386.040	B	B	\$ 11.929.958	BB
					1.1.6	FRACTURA MEDIDOR DE FLUJO MAGNÉTICO DE CEMENTO	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: El sensor se fractura debido a alojamiento de material dentro del, causando sobrecarga/subcarga y dejando de funcionar, impidiendo el llenado adecuado del saco. Efecto: Sobrecarga de sacos generando pérdidas y subcarga de sacos afectando la calidad del producto. Detección: Alarmas en el sistema, inspección visual, monitoreo de datos.	1	4	\$ 999.976	\$ 1.536.040	A	C	\$ 5.535.943	AC

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-9 Análisis FMECA, parte 3

1.1.7	ATASCAMIENTO VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: La válvula que permite la regulación de flujo del producto se atasca, impidiendo un llenado adecuado de saco. Efecto: Flujo insuficiente del producto, afectando la producción. Detección: Monitoreo de flujo, alarmas de sistema.	12	2	\$ 999.976	\$ 506.040	B	B	\$ 30.071.899	BB
1.1.8	FALLA SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Corte en el funcionamiento en el sistema que conecta el producto hasta el llenado, debido a atascamiento por tornillo sin fin. Efecto: Llenado inconsistente / interrupción total del proceso de llenado. Detección: Inspección visual, alarma que indica nula alimentación.	2	6	\$ 999.976	\$ 886.040	A	A	\$ 13.771.790	AA
1.1.9	FRACTURA CARCASA DEL SUBSISTEMA	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: La carcasa presenta grietas visibles conforme pasa el tiempo se prolonga a una deformación de esta. Efecto: Pérdida de presión en el sistema. Detección: Inspección visual y medición de presión.	1	8	\$ 999.976	\$ 1.136.040	A	B	\$ 9.135.846	AB
1.1.10	DEFICIENCIA EN LAS JUNTAS O SELLOS	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Se observan fugas de aire y/o producto en polvo en las juntas. Efecto: Pérdida de presión en el sistema. Detección: Medición de presión y posterior inspección.	2	1	\$ 999.976	\$ 271.040	B	A	\$ 2.542.032	BA

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-10 Análisis FMECA, parte 4

1.1.11	FUNCIONAMIENTO INTERMITENTE SISTEMA DE CONTROL	Evidente/ No Evidente: No Descripción del Evento: Mal funcionamiento del software de control. Efecto: Interrupción en la operación del sistema. Detección: Inconsistencias en el sistema de registros.	0,5	6	\$ 999.976	\$ 1.236.040	A	C	\$ 3.617.947	AC
1.1.12	DESAJUSTE EN LA CALIBRACIÓN DE SENSORES	Evidente/ No Evidente: NO Descripción del Evento: Sensores descalibrados dan lecturas erróneas. Efecto: Error en la dosificación de pesaje. Detección: Verificación con pesos de referencia.	1	3	\$ 999.976	\$ 561.040	B	C	\$ 3.560.967	BC
1.1.13	DESPLAZAMIENTO CORREA DE TRANSMISIÓN DE LA BOMBA	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: Pérdida de tracción en las correa de la bomba. Efecto: Mal funcionamiento del sistema de transporte de producto. Detección: Monitoreo de funcionamiento e inspección visual.	1	4	\$ 999.976	\$ 686.040	B	C	\$ 4.685.943	BC

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-11 Análisis FMECA, parte 5

					1.1.14	CONTAMINACIÓN DEL PRODUCTO	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Residuos de otros productos contaminan el subsistema. Efecto: Afecta la calidad del producto final. Detección: Inspección visual al analizar el producto.	1	4	\$ 999.976	\$ 611.040	A	C	\$ 4.610.943	AC
					1.1.15	CORTOCIRCUITO CABLE DE ALIMENTACIÓN	Evidente/ No Evidente: No Descripción del Evento: Fallo repentino en el funcionamiento eléctrico. Efecto: Parada de sistema y de producción. Detección: Alarmas del sistema.	1	4	\$ 999.976	\$ 636.040	A	C	\$ 4.635.943	AC
					1.1.16	DESGASTE COMPONENTES MECÁNICOS	Evidente/ No Evidente: No Descripción del Evento: Ruido anómalo y disminución en el rendimiento de la producción. Efecto: Fallo en el movimiento de guillotina. Detección: Inspección visual y monitoreo de rendimiento de producción.	1	6	\$ 999.976	\$ 836.040	B	C	\$ 6.835.895	BC

Fuente: Elaboración propia

Con esto, se logra analizar el riesgo cualitativo y cuantitativo, con la finalidad de jerarquización los distintos modos de falla, para la selección de tareas de mantenimiento.

Tabla 2-12 Resultados RTA y matriz de riesgo cualitativo, plan de mantenimiento actual

#	MODO DE FALLA	RTA PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	RIESGO CUALITATIVO
1.1.8	FALLA SISTEMA ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO	\$ 13,771,790	AA
1.1.1	SOBRECARGA TÉRMICA MOTOR TRIFÁSICO GRUPO BOMBA	\$ 27,485,459	AB
1.1.2	FALLA EN CÉLULA DE CARGA C2G1	\$ 17,507,757	AB
1.1.9	FRACTURA CARCASA DEL SUBSISTEMA	\$ 9,135,846	AB
1.1.10	FUGA EN LAS JUNTAS O SELLOS	\$ 2,542,032	BA
1.1.6	FRACTURA MEDIDOR DE FLUJO MAGNÉTICO DE CEMENTO	\$5,535,943	AC
1.1.15	CORTOCIRCUITO CABLE DE ALIMENTACIÓN	\$ 4,635,943	AC
1.1.14	CONTAMINACIÓN DEL PRODUCTO	\$ 4,610,943	AC
1.1.11	FUNCIONAMIENTO INTERMITENTE SISTEMA DE CONTROL	\$ 3,617,947	AC
1.1.7	ATASCAMIENTO VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	\$ 30,071,899	BB
1.1.5	DESGASTE ACCIONADOR NEUMÁTICO	\$ 11,929,958	BB
1.1.4	OBSTRUCCIÓN PASO DE PRODUCTO EN LA BOQUILLA DE CARGA	\$ 24,401,772	BC
1.1.3	FALLA ACTUADOR NEUMÁTICO DE DOBLE ACCIÓN GRUPO GUILLOTINA	\$ 7,221,935	BC
1.1.16	DESGASTE COMPONENTES MECÁNICOS	\$ 6,835,895	BC
1.1.13	DESLIZAMIENTO CORREA DE TRANSMISIÓN DE LA BOMBA	\$ 4,686,943	BC
1.1.12	DESAJUSTE EN LA CALIBRACIÓN DE SENSORES	\$ 3,560,967	BC
TOTAL		\$ 177,552,029	

Fuente: Elaboración propia

Como se logra evidenciar en la Tabla 2-12, se ordenan los modos de fallos desde el más crítico al menos crítico, con el objetivo de jerarquizarlos, se observa que el modo de fallo “Falla sistema alimentación de producto”, “Sobrecarga térmica motor grupo bomba”, “Falla en célula de carga”, “Fractura carcasa del subsistema”, “Fuga en las juntas o sellos”, son los modos de falla más críticos, el resto son de mediana y baja criticidad. El plan de mantenimiento centrado en confiabilidad propuesto se centrará en los modos de falla críticos, por lo tanto, las tareas selectas serán aplicadas solo a estos modos de falla

2.4.2 Resultado hoja de decisión RCM

El resultado de la hoja de decisión (Tabla 2-12), se realiza en base a los modos de falla que resultaron críticos para el correcto funcionamiento del subsistema. Las tareas propuestas se alinean en una frecuencia acorde a la cantidad de fallas a que presentan a lo largo del año, con el fin de reducirlas al mínimo. Asimismo, el personal de mantenimiento, específicamente el técnico mantenedor, es el encargado de realizar dichas tareas y mantener un monitoreo constante según corresponda (Véase ANEXO A, figura A-1 para revisar Hoja de decisión RCM completa).

Tabla 2-12 Hoja de decisión RCM modos de falla críticos

Hoja de decisión RCM							Basado en condición	Reacondicionamiento	Sustitución						
Sistema: Ensacadora en línea															
Subsistema: Llenado de saco															
Referencia información			Evaluación de consecuencias							H1	H2	H3	Tareas "a falta de"		
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
EL SUBSISTEMA PIERDE NOTORIAMENTE LA CAPACIDAD DE REALIZAR SUS TAREAS DE CALIBRACIÓN, EMPAQUETADO Y SELLADO DEL PRODUCTO	INTERRUPCIÓN/ DETENCIÓN DEL PROCESO DE LLENADO POR FALLA DE COMPONENTES DEL SUBSISTEMA.	1.1.8	SI	NO	NO	SI	NO	SI					Tarea reacondicionamiento: Limpiar, lubricar y ajustar el tornillo sin fin, evitando atascamientos futuros.	6 MESES	Personal de mttto.
		1.1.1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI				Tarea Sustitución: Reemplazo motor grupo bomba y limpieza de componentes del sistema.	2 AÑOS	Personal de mttto.
		1.1.2	SI	NO	NO	SI	SI						Tarea preventiva: Realizar inspección y calibración de la célula de carga para asegurar lecturas precisas y funcionamiento óptimo.	6 MESES	Personal de mttto.
		1.1.9	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI				Tarea sustitución: Reemplazo de carcasa subsistema grupo bomba.	ANUAL	Personal de mttto.
		1.1.10	SI	NO	NO	SI	SI						Tarea preventiva: Medir presión de sistema periódicamente, asegurar juntas y sellos, inspecciones visuales periodicas evitando fuga de presión.	6 MESES	Personal de mttto.

Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Selección de tareas de mantenimiento

La selección de tareas de mantenimiento se hace según los lineamientos a partir de los resultados FMECA (véase Tabla 2-13 y Tabla 2-14), se toman en consideración distintos tipos de políticas de mantenimiento, los cuales son estimados a partir de los resultados del árbol de decisión RCM, para la realización de las actividades, para este caso se utilizaron políticas correctivas, preventivas y predictivas (Véase ANEXO B, Figura B-1 y Figura B-2, para revisar Tareas de mantenimiento a subsistema crítico completo).

Tabla 2-13 Resultados tareas de mantenimiento, parte 1

#	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (Anual)	Numero de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PITO ANUAL
1.1.8	Mantenimiento preventivo basado en condición	Limpieza, lubricación y ajuste de tornillo sin fin.	2	2	12	\$ 7.273	\$ 286.040	\$ 921.184
1.1.1	Mantenimiento correctivo	Reemplazo motor grupo bomba	0,5	2	24	\$ 7.273	\$ 1.086.040	\$ 717.572
1.1.2	Mantenimiento preventivo basado en condición	Inspección y calibración de la célula de carga	2	2	15	\$ 7.273	\$ 336.040	\$ 1.108.460
1.1.9	Mantenimiento correctivo	Sustitución carcasa de subsistema	1	2	8	\$ 7.273	\$ 336.040	\$ 452.408
1.1.10	Mantenimiento preventivo	Medición presión de sistema periódicamente, asegurar juntas y sellos.	2	2	2	\$ 7.273	\$ 171.040	\$ 400.264

Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionadas las tareas de mantenimiento a los modos de falla críticos, se obtiene un monto total de \$3,599,888 pesos chilenos en costos para las tareas críticas del subsistema Llenado de saco. Basándose en la experiencia, se obtiene como resultado una criticidad de modos de falla reducida de manera significativa, esto quiere decir que los modos de falla “Falla sistema alimentación de producto”, “Sobrecarga térmica motor grupo bomba”, “Falla en célula de carga”, “Fractura carcasa del subsistema”, “Fuga en las juntas o sellos”, pasan de ser considerados de alta criticidad a un nivel moderado de riesgo. Esto, determina que, aunque los modos de falla siguen siendo relevantes, su probabilidad de ocurrencia y el

impacto potencial sobre la operación se reducen considerablemente, puesto que su frecuencia disminuye y, por ende, su tiempo de reparación igual.

Tabla 2-14 Resultado aplicación tareas de mantenimiento sobre modos de falla críticos

#	MODO DE FALLA	RTA PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	RIESGO CUALITATIVO
1.1.8	FALLA SISTEMA ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO	\$ 6,885,895	AA
1.1.1	SOBRECARGA TÉRMICA MOTOR TRIFÁSICO GRUPO BOMBA	\$ 13,742,730	AB
1.1.2	FALLA EN CÉLULA DE CARGA C2G1	\$ 8,753,878	AB
1.1.9	FRACTURA CARCASA DEL SUBSISTEMA	\$ 4,567,923	AB
1.1.10	FUGA EN LAS JUNTAS O SELLOS	\$ 1,271,016	BA

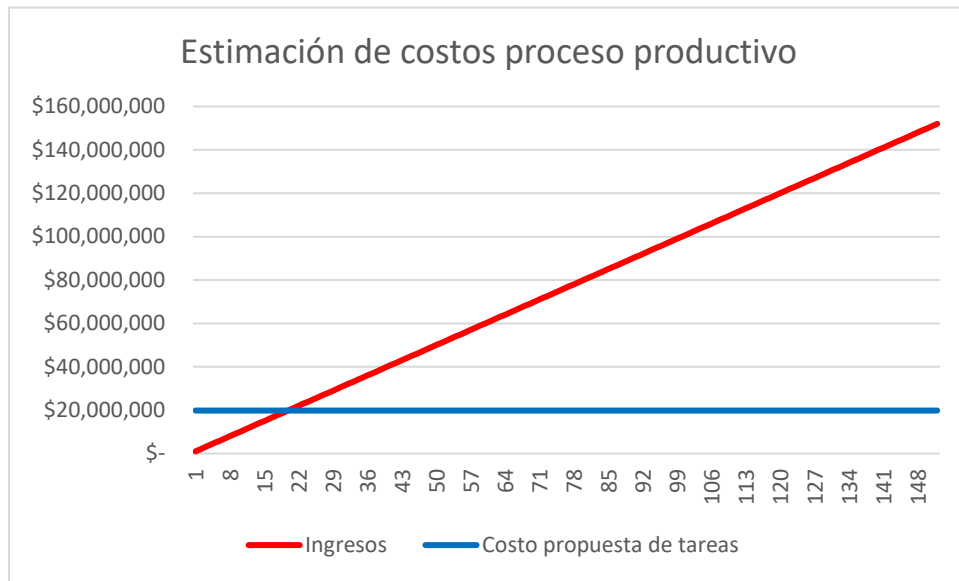
Fuente: Elaboración propia

Se observa su disminución de riesgo cualitativo y cuantitativo, de riesgo crítico a criticidad media y el riesgo total anual disminuye a la mitad, aproximadamente de \$70,442,883 a \$35,221,442 pesos chilenos.

2.4.4 Análisis comparativo de costos operativos

Por otra parte, al implementar las tareas de mantenimiento, se obtienen beneficios tanto económicos como productivos. Se realiza una comparación entre el costo de plan de mantenimiento propuesto en comparación a los costos de producción por hora dentro del proceso productivo en una semana de funcionamiento operativo (148 horas).

Figura 2-2 Gráfico de costos proceso productivo



Fuente: Elaboración propia

Como se logra evidenciar, con la implementación de las tareas de mantenimiento propuestas, a partir de la hora 19 desde el inicio del funcionamiento se comienza a tener un beneficio económico, el equipo funciona un total de 607 horas al mes, lo que en un año se resume en 7284 horas de trabajo, por lo que el beneficio del costo de la implementación de estas tareas de mantenimiento no solo ofrecen una mejora en el equipo, si no que genera ganancias las cuales son el resultado de reducir la frecuencia de fallos y paradas no programadas. El nuevo enfoque de mantenimiento ofrece ganancias económicas considerables que impactan positivamente en los márgenes operativos de la empresa, mejorando su eficiencia y rentabilidad global.

2.5 COSTOS ASOCIADOS

Para calcular los costos directos por falla reflejados en el FMECA del capítulo 2, se utilizaron una serie de costos, dichos costos y presupuestos vienen dados por la suma de distintos factores, entre los principales son, sueldo del mantenedor que opera, insumos, repuestos.

Tabla 2-15 Costo por hora mantenedor

	Sueldo mantenedor
Sueldo base mensual	1.371.526
Dias del mes	30
Dias semana	7
Horas semanales	44
Total por día	\$ 45.718
Total semanal	\$ 320.023
Costo por hora	\$ 7.273

Fuente: Elaboración propia

Para los insumos, se realiza una estimación de costes en general, puesto que el mantenedor deberá contar con dichas herramientas e insumos como elementos de protección personal siempre en su haber.

Tabla 2-16 Costo insumos mantenedor

COSTOS INSUMOS	
Zapatos de seguridad	\$28.000
Guantes (par)	\$2.490
Casco	\$3.990
Gafas de seguridad	\$3.990
Juego llave allen	\$20.990
Juego llaves inglesas	\$34.690
Trapo de limpieza	\$2.000
mascara 3m 6200	\$39.890
Total	\$136.040

Fuente: Elaboración propia

Para los repuestos en base a los reacondicionamientos, sustitución y mantenimiento basado en condición según fuese aplicado para los modos de falla se tiene:

Tabla 2-17 Costo repuestos

	Modo de falla	Costo repuesto	costo insumos	
1.1.1	SOBRECARGA TÉRMICA MOTOR TRIFÁSICO GRUPO BOMBA	\$ 950.000	\$136.040	\$1.086.040
1.1.2	FALLA EN CÉLULA DE CARGA	\$ 200.000	\$136.040	\$336.040
1.1.3	FALLA ACTUADOR NEUMÁTICO DE DOBLE ACCIÓN GRUPO GUILLOTINA	\$ 175.000	\$136.040	\$311.040
1.1.4	OBSTRUCCIÓN PASO DE PRODUCTO EN LA BOQUILLA DE CARGA	\$ 50.000	\$136.040	\$186.040
1.1.5	DESGASTE ACCIONADOR NEUMÁTICO	\$ 50.000	\$136.040	\$186.040
1.1.6	FRACTURA MEDIDOR DE FLUJO MAGNÉTICO DE CEMENTO	\$ 1.000.000	\$136.040	\$1.136.040
1.1.7	ATASCAMIENTO VÁLVULA CONTROL DE FLUJO	\$ 170.000	\$136.040	\$306.040
1.1.8	FALLA SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO	\$ 150.000	\$136.040	\$286.040
1.1.9	FRACTURA CARCASA DEL SUBSISTEMA	\$ 200.000	\$136.040	\$336.040
1.1.10	DEFICIENCIA EN LAS JUNTAS O SELLOS	\$ 35.000	\$136.040	\$171.040
1.1.11	FUNCIONAMIENTO INTERMITENTE SISTEMA DE CONTROL	\$ 500.000	\$136.040	\$636.040
1.1.12	DESAJUSTE EN LA CALIBRACIÓN DE SENSORES	\$ 125.000	\$136.040	\$261.040
1.1.13	DESLIZAMIENTO CORREA DE TRANSMISIÓN DE LA BOMBA	\$ 150.000	\$136.040	\$286.040
1.1.14	CONTAMINACIÓN DEL PRODUCTO	\$ 75.000	\$136.040	\$211.040
1.1.15	CORTOCIRCUITO CABLE DE ALIMENTACIÓN	\$ 100.000	\$136.040	\$236.040
1.1.16	DESGASTE COMPONENTES MECÁNICOS	\$ 100.000	\$136.040	\$236.040
			Total	\$6.206.640

Fuente: Elaboración propia

A partir de la suma de los insumos y el coste de los repuestos, se realiza la suma entre insumos y repuestos, con el fin de obtener el factor económico de cada modo de falla en la fórmula de costos directos por falla, además de calcular el valor total de todos los costos.

CAPITULO III: PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO, VALIDACIÓN DE VIABILIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS

3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO, VALIDACIÓN DE VIABILIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS

En una primera instancia, se realizó el análisis de los modos de falla, efectos y criticidad del subsistema crítico de la ensacadora en línea, el cual corresponde al subsistema “Llenado de saco”. Una vez que estos modos de falla estuviesen jerarquizados, y se efectuaran la selección de tareas de mantenimiento, se procede a generar una planificación en base a estas tareas, con la finalidad de ejecutarlas de manera eficiente, minimizando retrasos y pérdidas operacionales, a su vez, permite llevar el control a la organización, a través de documentación, como fichas técnicas y pautas de trabajo, para tener conocimiento de qué tareas de mantenimiento se han realizado, cuando deben realizarse y con qué orden deben ser ejecutadas. Como se menciona anteriormente, las tareas seleccionadas para elaborar la propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad fueron los modos de fallos críticos, que se obtuvieron como resultado del análisis de criticidad cuantitativo y cualitativo.

3.1 VALIDACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Puesto que la máquina opera un total de 658,56 horas al mes, resulta crucial su funcionamiento continuo y una implementación de tareas de mantenimiento debido a que se registran 75 horas de falla al mes, y de estas, 40,2 horas corresponden a fallas del subsistema crítico, lo que representa una porción significativa del tiempo de inactividad. Cada hora de inactividad genera un costo directo de millones de pesos debido a las fallas de este subsistema crítico. Por otro lado, las tareas de mantenimiento propuestas, con un costo de 19,817,990 pesos, están diseñadas para reducir estas horas de falla y mejorar la confiabilidad operativa. Al comparar los costos, la inversión en mantenimiento representa solo el 2,2% del costo anual de las fallas, lo que demuestra que las tareas de mantenimiento no solo son económicamente viables, sino que generarán un ahorro significativo en términos de costos de producción, mejorando la disponibilidad operativa y convirtiéndose en una inversión rentable a largo plazo.

3.2 PLANIFICACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

Puesto que las tareas de mantenimiento son una parte esencial para mantener una alta disponibilidad operacional y reducir costos asociados a fallas, es de suma importancia identificar y planificar, los modos de falla que realmente generan tanto perdida de disponibilidad, como generación de costos de ineficiencia, es por esto que se planificara las tareas de mantenimiento para los modos de falla críticos selectos en el FMECA. Para el actual plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, se planificación llevar el control por parte de la organización con la creación de ficha técnica y pautas de trabajo con el fin de monitorear adecuadamente la implantación de estas tareas.

3.2.1 Pauta de trabajo a modos de falla críticos

La pauta de trabajo de mantenimiento para el subsistema crítico Llenado de saco, generado en la planificación para la propuesta del plan de mantenimiento, está centrada en los modos de falla críticos obtenidos en la jerarquización de riesgo total anual y matriz cualitativa de riesgo. La pauta de trabajo tiene por finalidad establecer la metodología, para realizar las distintas tareas de mantenimiento propuestas para el subsistema crítico, en donde se identifica una tarea de mantenimiento, con la secuencia de las actividades, para la correcta ejecución, en esta pauta de trabajo se debe identificar quien es el que ejecuta la actividad identificando su cargo, nombre, firma y fecha en la que se realizaron. Esta pauta de trabajo es de suma importancia para el ejecutor de las actividades de mantenimiento, ya que lleva la secuencia lógica de las tareas encomendadas, con la finalidad de llevar un mismo lineamiento, optimizando el tiempo de reparación. Por otro lado, la organización puede llevar el control de las tareas de mantenimiento, generar un seguimiento para elaborar futuras retroalimentaciones para la empresa con el objetivo de identificar en primera instancia los

Tabla 3-1 Pauta de trabajo, Mantenimiento subsistema crítico Llenado de saco

riesgos asociados, en la realización de las tareas de mantenimiento. Al mismo tiempo se decidieron las secuencias de trabajo, que se consideraron óptimas, con la finalidad de dar una eficiencia respecto al tiempo de ejecución de estas. A continuación, en la Tabla 3-1 se adjunta la pauta de trabajo, en donde se identifican los distintos bloqueos y los pasos necesarios para ejecutar la actividad de mantenimiento adecuada.

PAUTA DE TRABAJO - MANTENIMIENTO SUBSISTEMA CRÍTICO LLENADO DE SACO

Lista de actividades		Ejecutor	Nombre	Firma	Fecha
1	Activar interruptor de detención/parada	Operador máquina			
2	Bloqueo suministro eléctrico	Operador máquina			
3	Bloqueo válvula de aire comprimido	Operador máquina			
4	Bloqueo flujo de alimentación de producto	Operador máquina			
	SUMINISTRO ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO	Mantenedor			
5	Revisar estado mangueras de goma	Mantenedor			
6	Inspeccionar bomba de alimentación	Mantenedor			
7	Ajustar válvulas de control de flujo	Mantenedor			
8	Limpiar boquillas de carga	Mantenedor			
9	Revisar conexiones neumáticas actualizadas	Mantenedor			
10	Comprobar calibración sistema pesaje	Mantenedor			
	MOTOR GRUPO BOMBA				
11	Verificar cableado y terminales del motor	Mantenedor			
12	Comprobar nivel de lubricación	Mantenedor			
13	Medir temperatura de funcionamiento	Mantenedor			
14	Verificar arranque y parada de motor	Mantenedor			
15	Revisar ventilador de refrigeración	Mantenedor			
16	Inspeccionar estado de rotor del motor	Mantenedor			
	CÉLULA DE CARGA				
17	Verificar calibración de célula	Mantenedor			
18	Inspeccionar conexión de célula con cables de señal	Mantenedor			

19		Inspecciona base de montaje de célula de carga evitando desajuste	Mantenedor			
20		Medir señal de salida de célula verificando precisión	Mantenedor			
		FRACTURA CARCASA DEL SUBSISTEMA				
21		Inspeccionar carcasa	Mantenedor			
22		Verificar juntas de carcasa selladas	Mantenedor			
23		Comprobar señales de vibración anormal	Mantenedor			
24		Revisar puntos de fijación de carcasa	Mantenedor			
25		Inspeccionar superficie de carcasa por fricción o contacto con otros componentes	Mantenedor			
		FUGA EN LAS JUNTAS O SELLOS				
26		Limpiar y revisar zona alrededor de juntas	Mantenedor			
27		Verificar integridad de sellos en las conexiones	Mantenedor			
28		Realizar prueba de presión en el sistema	Mantenedor			
29		Comprobar superficies de contacto de los sellos	Mantenedor			
30		Inspeccionar juntas de sellado de los componentes del subsistema	Mantenedor			

_____ Nombre Operador de máquina	_____ Nombre Mantenedor
_____ Firma Operador de máquina	_____ Firma Mantenedor

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se logra evidenciar en la tabla, antes de dar inicio a las actividades propiamente tal de esta tarea, se deben realizar 4 actividades previas, con el objetivo de

asegurar la integridad del operador, estas actividades son, accionar el interruptor de detención, de esta manera el equipo se detiene, pero de todos modos para asegurarse de que no exista peligro alguno, como segunda actividad también se debe generar el bloqueo del suministro eléctrico. Por otra parte, el bloqueo de aire comprimido y el bloqueo de flujo de producto es complementando las acciones de seguridad. Una vez efectuadas estas actividades, se puede seguir con la secuencia de actividades en relación con la tarea de mantenimiento de manera que se puedan reducir al máximo cualquier tipo de inconveniente.

3.2.2 Ficha técnica a modos de falla críticos

Con el fin de asegurar una correcta monitorización y revisión, se elabora una ficha técnica que respalde el plan de mantenimiento propuesto. Esta tiene como objetivo evitar paradas en el funcionamiento del equipo, centrándose en los modos de falla críticos del subsistema, anticipándose a posibles problemas y reduciendo las interrupciones en la producción. De esta manera, se optimiza el tiempo operativo, mejorando la eficiencia del sistema y prolongando la vida útil de los equipos. Al ser una herramienta precisa y detallada, la ficha técnica permite intervenciones oportunas, garantizando la continuidad del proceso productivo y promoviendo una gestión de mantenimiento más proactiva y efectiva.

Tabla 3-2 Ficha inspección técnica modos de falla críticos

		CARTILLA OBLIGATORIA PARA EL SUPERVISOR DIRECTO				CÓDIGO	
		FICHA INSPECCIÓN TÉCNICA - SUBSISTEMA CRÍTICO LLENADO DE SACO				FECHA	
						REVISIÓN	
						UBICACIÓN	
		MARCAR CON UNA X SEGÚN CORRESPONDA					
		1. CUMPLE CON LOS SIGUIENTES ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)				CONDICIONES DE OPERACIÓN	
		OVEROL: _____	ZAPATOS DE SEGURIDAD: _____	MÁSCARA DE RESPIRACIÓN: _____	GAFAS DE PROTECCIÓN: _____	GUANTES: _____	FUNCIONANDO: _____ EN MANTENCIÓN: _____ DETENIDO: _____
COMPONENTE	ITEM	ACTIVIDAD	ESTADO DE CONSERVACIÓN				OBSERVACIÓN
			F	L	G	C	
SISTEMA ALIMENTACIÓN	1	Verificar que no haya obstrucciones en el sistema de alimentación					
	2	Comprobar calibración de la dosificación de material					
MOTOR GRUPO BOMBA	3	Comprobar temperatura del motor durante su funcionamiento					
	4	Verificar que motor no presente sobrecarga					
CÉLULA DE CARGA	5	La célula de carga está calibrada correctamente					
	6	Estado de las conexiones eléctricas en funcionamiento					
CARCASA	7	La carcasa se encuentra en correcto estado sin grietas ni fisuras					
	8	Los componentes internos no se ven afectados por daños en la carcasa					
JUNTAS O SELLOS	9	Comprobar que no existe fugas de producto o daño en las juntas o sellos					
	10	Comprobar que las juntas estén posicionadas correctamente sin desgaste					
			F : FAVORABLE	L : DEFECTO LEVE	G : DEFECTO GRAVE	C: DEFECTO CRÍTICO	
HR. INICIO : _____ HR. TÉRMINO: _____							
NOMBRE DEL SUPERVISOR : _____ TURNO: _____ FIRMA: _____							

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar, la ficha técnica cumple con los parámetros necesarios para resolver las dudas relacionadas con las tareas a realizar, enfocándose en la prevención de fallas críticas dentro del subsistema. Además, incluye un monitoreo de los elementos de protección personal adecuados para salvaguardar la integridad del operario. Posteriormente, se solicita definir la condición del equipo al momento de elaborar la ficha técnica, para luego verificar cada actividad mediante cuatro criterios de evaluación. Si no se detecta ningún mal desempeño o impedimento, la actividad se considera favorable para el correcto funcionamiento del equipo. En cambio, si se identifica un defecto que impida el funcionamiento completo del subsistema, se considera un defecto crítico. De esta manera, se asegura un funcionamiento adecuado del sistema.

3.2.3 Orden de trabajo

La orden de trabajo en mantenimiento es un documento clave que planifica, autoriza y registra las actividades de mantenimiento en una planta, definiendo las tareas, tiempos y recursos necesarios, como personal, herramientas y repuestos. Facilita el seguimiento del avance de las intervenciones, garantizando que se cumplan los tiempos y costos establecidos, mientras asegura el control de calidad y el cumplimiento de los estándares de seguridad. Además, actúa como un registro histórico, permitiendo consultar intervenciones pasadas, realizar análisis de fallas y tomar decisiones informadas para el mantenimiento futuro. Su función también abarca la organización y control de las actividades, asegurando la disponibilidad de recursos y minimizando interrupciones en la operación, lo que mejora la eficiencia operativa y previene accidentes.

Tabla 3-3 Orden de trabajo

			ORDEN DE TRABAJO		
N° DE ORDEN:			Código:	Fecha:	Turno:
Ubicación de tarea:			Descripción:		
Empresa o área responsable de la realización de la(s) tarea(s):					
Equipo, vehículo, sistema o componente de unidad a intervenir:					
Solicitada			Autorizada		
Responsable de ejecución			Supervisor de ejecución		
Tareas a ejecutar					
Descripción de la tarea		Tiempo estimado		Tiempo real	
Personal participante de tareas					
Nombres y Apellidos		Ocupación	Hora	Empresa	Firma
Repuestos y herramientas					
Repuesto requerido	Cantidad	Código	Herramienta requerida	Cantidad	Código
OBSERVACIONES Y DIAGNÓSTICO					
RECOMENDACIONES					
Revisado por		Fecha	Firma responsable	Firma supervisor	

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Seguridad y prevención

La seguridad y el permiso de trabajo seguro son aspectos cruciales en las intervenciones de mantenimiento industrial en una planta de cemento, debido a los riesgos inherentes a la operación de equipos pesados y la exposición a factores ambientales como la polución y sustancias peligrosas. A pesar de contar con documentos técnicos como la ficha técnica, la pauta de trabajo y la orden de trabajo, el permiso de trabajo seguro se convierte en una herramienta esencial para garantizar que todas las condiciones de seguridad sean evaluadas y controladas antes de iniciar cualquier actividad. Este permiso (Ver anexo C, Figura C-1) involucra la identificación de riesgos específicos, como la exposición al polvo de cemento, emisiones de gases y peligros derivados del uso de maquinaria pesada, lo que requiere una planificación detallada. Además, se debe asegurar que los operarios cuenten con la capacitación necesaria sobre el manejo de los equipos, procedimientos de seguridad, uso adecuado de equipos de protección personal (EPP) y protocolos de actuación ante emergencias. La capacitación continua es vital para minimizar errores humanos, asegurar el cumplimiento de normas de seguridad y reducir la probabilidad de accidentes, lo que contribuye a un entorno de trabajo seguro y eficiente, protegiendo tanto la salud de los operarios como la integridad de los equipos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras realizar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, podemos deducir que es de suma importancia realizar un análisis del proceso productivo, puesto que permite generar un contexto operacional real y aterrizado según las capacidades del equipo y las necesidades del usuario, logrando recopilar satisfactoriamente la información necesaria, identificando correctamente las funciones del sistema principal y los distintos subsistemas que lo componen. Una vez generado este contexto se jerarquizan los subsistemas, mediante la matriz de riesgo semicuantitativa, obteniendo como subsistema crítico el de Llenado de saco, con un riesgo obtenido al multiplicar la frecuencia por consecuencia de 147, muy por encima del subsistema que lo antecede con un valor de 59. Esta matriz es de suma utilidad, ya que permite centrar la atención en el equipo crítico, en el cual se desean generar las nuevas actividades de mantenimiento, por otro lado, los equipos y/o subsistemas de criticidad baja y media seguirán con el plan de mantenimiento genérico actual (políticas correctivas). Una vez selecto el subsistema crítico, se desarrolla el análisis de modos, efectos y criticidad de fallos de forma satisfactoria, encontrando la función principal mediante el análisis SIPOC, demostrando ser una excelente técnica para desarrollar la función que el usuario desee darle al subsistema y/o equipos. Al generar la función principal, se obtiene por consecuencia el fallo funcional que es la negación de esta, logrando identificar modos de fallos con sus distintos efectos. Posterior a esto se realizaron los análisis de riesgo cuantitativo y cualitativos, permitiendo jerarquizar los distintos modos de fallo, siendo la fractura del cigüeñal el más crítico. Se elaboran las actividades de mantenimiento para los modos de falla, críticos y de mediana criticidad, buscando disminuir el riesgo total anual. Esto último demuestra una gran disminución en los costos de ineficiencia, demostrando que el FMECA es una gran metodología, que, con el correcto uso, permite seleccionar las tareas de mantenimiento a los modos de falla que realmente requieren, atención por parte del personal y no generar pérdidas de tiempo con modos de falla que no requieren una atención significativa. Se deja en clara evidencia el beneficio económico que obtendría el costo de este nuevo mantenimiento versus el impacto operacional, puesto que resulta mucho más económico para la empresa y el beneficio sería mayor al actual. Por último, mediante una

pauta de trabajo y una ficha técnica se busca establecer dicho plan con el fin de cubrir todos los ámbitos posibles para mantener esta nueva propuesta de mantenimiento, en busca de genera mejores resultados que el plan de mantenimiento actual.

A modo de recomendación se estima que, si el equipo presenta fallas prolongadas evidentes, en otros subsistemas, se realice un nuevo método de matriz, buscando actualizar los modos de fallo y, por consiguiente, elaborar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los modos de fallo críticos que arroje el nuevo resultado de criticidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pistarelli, A. (2010). *Manual de mantenimiento: Ingeniería, Gestión y organización Buenos Aires*.
2. Ensacadora en línea LINEAMAT EVO Manual de instrucciones de uso y mantenimiento
3. ISO. 14224 Second edition 2006(E)
4. <https://Mantenimientoplanificado.com> – Desarrollando un plan de mantenimiento apoyados en RCM
5. “Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos” PhD. Carlos Parra Márquez & PhD. Adolfo Crespo Márquez

ANEXOS

ANEXO A. RESULTADO HOJA DE DECISIÓN RCM S UBSISTEMA CRÍTICO

Hoja de decisión RCM							Basado en condicion	Reacondi- cionamiento	Sustituci- ón							
Sistema: Ensamadora en línea																
Subsistema: Llenado de saco																
Referencia información			Evaluación de consecuencias							H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas.
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
EL SUBSISTEMA PIERDE NOTORIAMENTE LA CAPACIDAD DE REALIZAR SUS TAREAS DE CALIBRACIÓN, EMPAQUETADO Y SELLADO DEL PRODUCTO.	INTERRUPCIÓN/ DETENCIÓN DEL PROCESO DE LLENADO POR FALLA DE COMPONENTES DEL SUBSISTEMA.	1.1.1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI				Tarea Sustitución: Reemplazo motor grupo bomba y limpieza de componentes del sistema.	2 AÑOS	Personal de mttto.	
		1.1.2	SI	NO	NO	SI	SI							Tarea preventiva: Realizar inspección y calibración de la célula de carga para asegurar lecturas precisas y funcionamiento óptimo.	6 MESES	Personal de mttto.
		1.1.3	SI	NO	NO	SI	SI							Tarea preventiva: Verificar fugas de aire, presión y estado de componentes internos del actuador. Realizar pruebas de funcionamiento para detectar posibles fallas antes de que ocurran.	6 MESES	Personal de mttto.
		1.1.4	NO				NO	SI						Tarea reacondicionamiento: Realizar y programar intervenciones periódicas para prevenir el atasco por material antes de que ocurra de forma	2 MESES	Personal de mttto.
		1.1.5	SI	NO	NO	SI	SI							Tarea preventiva: Monitorear la presión y realizar inspecciones visuales periódicas; realizar pruebas de fuga en caso de pérdida de presión.	2 MESES	Personal de mttto.
		1.1.6	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI					Tarea sustitución: Reemplazar sensor fracturado por uno nuevo, calibrándolo para su correcta lectura.	2 AÑOS	Personal de mttto.
		1.1.7	SI	NO	NO	SI	NO	SI						Tarea reacondicionamiento: Revisión y limpieza de la válvula cada mes, inspección y posibles ajustes evitando material acumulado.	MENSUAL	Personal de mttto.
		1.1.8	SI	NO	NO	SI	NO	SI						Tarea reacondicionamiento: Limpiar, lubricar y ajustar el tornillo sin fin, evitando atascamientos futuros.	6 MESES	Personal de mttto.
		1.1.9	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI					Tarea sustitución: Reemplazo de carcasa subsistema grupo bomba.	ANUAL	Personal de mttto.
		1.1.10	SI	NO	NO	SI	SI							Tarea preventiva: Medir presión de sistema periódicamente, asegurar juntas y sellos, inspecciones visuales periódicas evitando fuga de presión.	6 MESES	Personal de mttto.
		1.1.11	NO				SI							Tarea preventiva: Chequeo de registros del sistema de control para detectar inconsistencias. Realizar diagnóstico y ajuste antes que el fallo interrumpa la operación.	ANUAL	Personal de mttto.
		1.1.12	NO				SI							Tarea preventiva: Verificación periódica utilizando pesos de referencia asegurando lecturas precisas.	ANUAL	Personal de mttto.
		1.1.13	SI	NO	NO	SI	NO	SI						Tarea reacondicionamiento: Ajuste y alineación de correa asegurando funcionamiento adecuado de motor grupo bomba.	ANUAL	Personal de mttto.
		1.1.14	SI	NO	NO	SI	SI							Tarea preventiva: Realizar inspecciones periódicas y limpieza del sistema de producción.	ANUAL	Personal de mttto.
		1.1.15	NO				NO	NO	SI					Tarea sustitución ciclica: Cambio de cableado eléctrico	2 AÑOS	Personal de mttto.
		1.1.16	NO				NO	NO	SI					Tarea sustitución ciclica: Reemplazo de componentes mecánicos.	ANUAL	Personal de mttto.

Figura A-1, Resultado hoja de decisión RCM Subsistema Llenado de saco

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B. SELECCIÓN TAREAS DE MTTO. SUBSISTEMA CRÍTICO

#	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (Anual)	Numero de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
1.1.1	Mantenimiento correctivo	Reemplazo motor grupo bomba	0,5	2	24	\$ 7.273	\$1.086.040	\$ 717.572
1.1.2	Mantenimiento preventivo basado en condición	Inspección y calibración de la célula de carga	2	2	15	\$7.273	\$ 336.040,00	\$ 1.108.460
1.1.3	Mantenimiento preventivo basado en condición	Verificar fugas, realizar pruebas de funcionamiento previniendo despresurización e interrupción de funcionamiento	2	2	6	\$7.273	\$ 311.040,00	\$ 796.632
1.1.4	Mantenimiento preventivo basado en condición	Intervenciones y limpieza periódica del mecanismo para evitar obstrucciones	6	2	21	\$7.273	\$ 186.040,00	\$ 2.949.036
1.1.5	Mantenimiento preventivo basado en condición	Monitoreo de presión e inspecciones visuales periódicas, pruebas de fuga en caso de pérdida de presión.	6	2	10	\$7.273	\$ 186.040,00	\$ 1.989.000
1.1.6	Mantenimiento correctivo	Sustitución sensor de peso	0,5	2	4	\$7.273	\$ 1.136.040,00	\$ 597.112
1.1.7	Mantenimiento preventivo basado en condición	Limpieza mensual de válvula, inspección periódica	12	2	24	\$7.273	\$ 306.040,00	\$ 7.861.728
1.1.8	Mantenimiento preventivo basado en condición	Limpieza, lubricación y ajuste de tornillo sin fin.	2	2	12	\$7.273	\$ 286.040,00	\$ 921.184,00
1.1.9	Mantenimiento correctivo	Sustitución carcasa de subsistema	1	2	8	\$7.273	\$ 336.040,00	\$ 452.408,00
1.1.10	Mantenimiento preventivo	Medición presión de sistema periódicamente, asegurar juntas y sellos.	2	2	2	\$7.273	\$ 171.040,00	\$ 400.264,00
1.1.11	Mantenimiento predictivo	Chequeo del sistema de control para detectar inconsistencias. Realizar diagnóstico y ajuste antes que el fallo interrumpa la operación.	1	1	3	\$7.273	\$ 636.040,00	\$ 657.859
1.1.12	Mantenimiento preventivo basado en condición	Verificación periódica utilizando pesos de referencia asegurando lecturas precisas.	1	1	3	\$7.273	\$ 261.040,00	\$ 282.859

Figura B-1 Tareas de mantenimiento Subsistema crítico Llenado de saco

Fuente: Elaboración propia

1.1.13	Mantenimiento preventivo basado en condición	Tarea reacondicionamiento: Ajuste y alineación de correa asegurando funcionamiento adecuado de motor grupo bomba.	1	2	4	\$7.273	\$ 286.040,00	\$ 344.224
1.1.14	Mantenimiento preventivo basado en condición	Inspecciones periódicas y limpieza del sistema de producción.	1	2	4	\$7.273	\$ 211.040,00	\$ 269.224
1.1.15	Mantenimiento correctivo	Cambio de cableado eléctrico	0,5	2	4	\$7.273	\$ 236.040,00	\$ 147.112
1.1.16	Mantenimiento correctivo	Reemplazo de componentes mecánicos.	1	2	6	\$7.273	\$ 236.040,00	\$ 323.316,00
								\$ 19.817.990

Figura B-2 Tareas de mantenimiento Subsistema crítico Llenado de saco

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C. PERMISO PARA TRABAJO SEGURO

		PERMISO DE TRABAJO SEGURO			
		Salud y seguridad ocupacional			
I. IDENTIFICACIÓN GENERAL DEL TRABAJO					
Fecha	Horario		Equipo		NOMBRE EMPRESA
Area/Sector					N° DE ORDEN
Permisos anexos	Trabajo reactor biológico		Trabajo en caliente		
	Trabajo sustancias peligrosas		Trabajo en altura		
	Trabajo espacio confinado		Trabajo eléctrico		
ORDENADO POR:					CUMPLE MEDIDAS DE SEGURIDAD SI ☐ NO ☐
II. CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO QUE SE REALIZA					
Fuera de horario: _____ Programado: _____ Contrato: _____					
III. DESCRIPCIÓN DE EL O LOS TRABAJOS A EJECUTAR					
IV. CHECK LIST					
A.- Del personal		SI	NO	B.- Del lugar de trabajo	
Sus trabajadores tienen contrato laboral				Superficie de trabajo segura	
Existe procedimiento seguro de trabajo, ¿Lo conocen?				Acceso en buenas condiciones	
Conocen los riesgos asociados a su actividad				Espacio suficiente	
El personal cuenta con capacitación				Iluminación adecuada	
Sus trabajadores se encuentran en condiciones de salud apropiadas				Protecciones adecuadas (mecánicas y/o eléctricas)	
Esta familiarizado con las instalaciones				Ventilación adecuada	
Cuenta con elementos de protección personal				Existe orden y aseo	
Cuenta con capacitación y/o charla de seguridad				Dispone de extintor	
Cuenta con AST				Dispone de Salida de emergencia	
Equipos, herramientas e insumos			Contacto emergencias		
Equipos y/o herramientas adecuadas al trabajo			Celular de emergencias:		
Equipos y/o herramientas limpias y en buen estado			Canal de radio:		
Equipos y/o herramientas con protecciones de seguridad			Organismo administrador adherido:		
Traslada sus herramientas en cajas apropiadas			Puntos de bloqueo requeridos (Donde):		
V. IDENTIFIQUE LOS POSIBLES RIESGOS Y/O PELIGROS PRESENTES EN LA TAREA					
Contacto con químicos o corrosivos: _____		Trabajos en altura: _____		Equipos con presión interna: _____	
Ruidos: _____		Equipos y/o elementos en movimiento: _____		Proyección de partículas: _____	
Polvos: _____		Temperaturas extremas: _____		Contacto eléctrico: _____	
Atrapamientos: _____		Inflamabilidad e incendio: _____		Contaminación de producto: _____	
Sobreesfuerzo: _____		Golpes por-con-contr: _____		Riesgo de inmersión: _____	
Iluminación deficiente: _____		Caídas a mismo nivel: _____		Otros (indique): _____	
VI. NOMBRE PERSONAL EMPRESA EJECUTORA					
NOMBRE Y APELLIDO		RUT	FIRMA		CUENTA CON CHARLA ESPECÍFICA
					SI ☐ NO ☐
VII. RESPONSABLE EMPRESA EJECUTORA			VIII. RESPONSABLE EMPRESA MELÓN S.A		
Nombre:	Firma		Nombre:	Firma	
Rut:			Rut:		
OBSERVACIONES					

Figura C-1 Pauta de permiso para trabajo seguro

Fuente: Elaboración propia