

**Optimización del plan de mantenimiento actual de la línea de plátano en la empresa
Pepsico Alimentos Colombia basado en la metodología RCM**

Jackson David Torres Valencia

Juan David Pérez Salazar

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI,
Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá 2021

Optimización del plan de mantenimiento actual de la línea de plátano en la empresa

Pepsico Alimentos Colombia basado en la metodología RCM

Jackson David Torres Valencia

Código: 100083

Juan David Pérez Salazar

Código: 48351

MSC Fred Geovanny Murillo Rondón

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI,
Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá 2021

Dedicatoria

A mi madre Myrian Valencia

Que aún desde el cielo me sigue guiando y entregando sus mejores consejos, a ella que siempre fue el motor de mis logros y a quien le debo todo lo que he conseguido en mi vida.

Jackson Torres

A mi madre Nancy Salazar

Este trabajo de grado lo quiero dedicar con todo mi corazón a mi madre que es el motor que impulsa mi vida, pues sin ella no lo habría logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el lado del bien.

Juan Pérez

Tabla de contenido

Tabla de contenido	4
Tabla de ilustraciones	7
Lista de tablas	9
Resumen.....	11
Abstract	12
Introducción	13
1 Título de la investigación	14
2 Problema de investigación.....	14
2.1 Descripción del problema.....	14
2.2 Planteamiento del problema	17
2.3 Sistematización del problema.....	17
3 Objetivos de la investigación.....	17
3.1 Objetivo General	17
3.2 Objetivos Específicos	17
4 Justificación y delimitación	18
4.1 Justificación.....	18
4.2 Delimitación	19
4.3 Limitaciones	19
5 Marco conceptual	19

5.1	Estado del arte	19
5.1.1	Estado del arte Nacional.....	19
5.1.2	Estado del arte internacional	23
5.2	Marco Teórico	31
5.2.1	Concepto de mantenimiento.....	31
5.2.2	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	33
5.2.3	Breve historia de RCM.....	35
5.2.4	Proceso de RCM.....	36
5.3	Marco normativo y legal	48
6.	Diseño metodológico	50
6.1	Fases del proyecto.....	51
6.1.1	Fase 1	51
6.1.2	Fase 2	51
6.1.3	Fase 3	52
6.2.1	Cronograma.....	53
7.	Propuesta de solución	55
7.1	Descripción de activos relacionados con el proceso de transformación del plátano	55
7.2.1	Contexto operacional	56

7.2 Desarrollo de Análisis de Modos, efectos de falla y criticidad de la línea de plátano	85
7.3 Propuesta de mejoras del plan de mantenimiento	86
8. Resultado RCM línea plátano	90
9. Análisis financiero	95
10. Conclusiones	100
11. Recomendaciones	101
Referencias	103

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1	15
Ilustración 2	45
Ilustración 3	56
Ilustración 4	59
Ilustración 5	64
Ilustración 6	65
Ilustración 7	68
Ilustración 8	69
Ilustración 9	70
Ilustración 10	70
Ilustración 11	71
Ilustración 12	72
Ilustración 13	73
Ilustración 14	74
Ilustración 15	74
Ilustración 16	75
Ilustración 17	77
Ilustración 18	77
Ilustración 19	78
Ilustración 20	79
Ilustración 21	84
Ilustración 22	85

Ilustración 23	87
Ilustración 24	90
Ilustración 25	92
Ilustración 26	93
Ilustración 27	94
Ilustración 28	95
Ilustración 29	99

Lista de tablas

Tabla 1	40
Tabla 2	41
Tabla 3	41
Tabla 4	42
Tabla 5	43
Tabla 6	45
Tabla 7	46
Tabla 8	47
Tabla 9	47
Tabla 10	48
Tabla 11	53
Tabla 12	53
Tabla 13	54
Tabla 14	54
Tabla 15	55
Tabla 16	57
Tabla 17	58
Tabla 18	60
Tabla 19	65
Tabla 20	68
Tabla 21	80
Tabla 22	96

Tabla 23	96
Tabla 24	97
Tabla 25	97
Tabla 26	97

Resumen

El presente trabajo de grado se enfoca en buscar el incremento de la disponibilidad técnica de los equipos críticos en la línea de chips de plátano de la empresa Pepsico Alimentos, basados en la implementación de un programa de metodología RCM debido a la baja eficiencia que presenta el plan actual de mantenimiento.

Soportados en esta metodología se crea un equipo multidisciplinario conformado por el gerente de mantenimiento, coordinador de mantenimiento, técnico líder de la línea, planeador, operario y el facilitador RCM para el desarrollo de las sesiones, se inicia definiendo la taxonomía de la línea, recomendada bajo la norma ISO 14224 para cargar en SAP que es el administrador de mantenimiento asistido por computadora, posteriormente se limita el alcance para los equipos de proceso y se redacta el contexto operacional de cada sistema donde se contemplan las variables operativas para que los equipos trabajen a su capacidad nominal y se identifican las funciones deseadas de estos.

Tomando como base la información registrada en SAP de las actividades correctivas realizadas a los equipos, se inicia con el desarrollo del AMEF para identificar los modos de falla, sus efectos y su impacto representado con el número de prioridad de riesgo, de esta manera se define la criticidad (acorde con la metodología propia de la compañía) de cada falla para determinar la criticidad global de los equipos.

Apoyados con el diagrama de decisión desarrollado por la propia compañía, se analiza en conjunto con el equipo multidisciplinario durante las reuniones programadas, las actividades costo – efectivas basadas en tres categorías (autónomo, monitoreo por condición y frecuencia de recambio) para ser implementadas. Estas actividades planificadas son plasmadas en una matriz de mantenimiento para facilitar su carga masiva al sistema.

Palabras clave: Diagrama de decisión, mantenimiento centrado en confiabilidad, tiempo muerto no planeado.

Abstract

The present degree work focuses on seeking to increase the technical availability of critical equipment in the platano chip line of the company Pepsico Alimentos based on the implementation of an RCM methodology program due to the low efficiency of the current maintenance plan.

Based on the RCM methodology, a multidisciplinary team made up of the maintenance manager, maintenance coordinator, lead line technician, planner, operator and RCM facilitator is created for the sessions development. It begins with the line taxonomy, it is defined under the ISO 14224 standard as recommendation to load in the SAP, which is the computer-assisted maintenance administrator, subsequently the scope is limited only process equipment. The operating context is written for each system, where each operative variable and the functions are contemplated with the purpose the equipment working at nominal capacity.

Using the SAP recorded information of the corrective activities from the equipment, we started with the development of the FMEA to identify the failure modes, yours effect and the impact based within priority risk number, of this way we define the criticality of each failure to establish the global equipment criticality (according with company methodology).

Supported with decision diagram development by the company, we analyze the activities cost – effective with the multidisciplinary team during the scheduled meeting, we separate this activities in three categories (autonomous, condition monitoring and replacement frequency) to be implemented. Subsequently this maintenance tasks are represented in a matrix to facilitate the SAP massive load.

KeyWords: Decision diagram, reliability centered maintenance, unplanned downtime, corn extruder

Introducción

Colombia es un país altamente biodiverso, considerables riquezas naturales, posición geoestratégica privilegiada y tierras fértiles para el cultivo de alimentos.

La industria alimentaria es la encargada de transformar la materia prima procedente del sector agropecuario y ganadero para el consumo humano, la industria a su vez se encarga de transportar, almacenar, comercializar y abastecer a toda la población.

El plátano es uno de los alimentos preferidos por la población, además de generar más de 35.000 empleos directos en Colombia y quinto país exportador mundial de plátano, PepsiCo alimentos fabrica un producto conocido como Natuchips el cual está compuesto por plátano esencialmente, toda esta materia prima proviene del Eje Cafetero (45%), Llanos Orientales (40%) y del Urabá (15%), por lo tanto es uno de los principales motores de crecimiento económico en estas regiones y se destaca por ser uno de los proyectos agroindustriales sociales más innovadores del país por su ayuda a los pequeños agricultores.

PepsiCo alimentos como líder en la fabricación de snacks y pasabocas tiene una alta demanda en todo el país además de exportar a otros países como Ecuador, Chile, Republica Dominicana, entre otros, por ello tiene altos estándares para su fabricación y debe mantener una alta confiabilidad y disponibilidad en sus equipos de producción.

El área de mantenimiento juega un papel muy importante para lograr la máxima eficiencia en los equipos de la empresa, ya que es el encargado de mantener los equipos, maquinaria e instalaciones en óptimas condiciones, esto se logra implementando adecuados

planes de mantenimiento y estrategias como el RCM que garantizan la máxima confiabilidad de los equipos.

1 Título de la investigación

Optimización del plan de mantenimiento actual de la línea de plátano en la empresa Pepsico Alimentos Colombia basado en la metodología RCM

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema

PepsiCo es una compañía líder global de alimentos y bebidas presente en más de 200 países, la cual para el año 2017 generó más de US \$63 mil millones de dólares en ingresos netos, impulsados por un portafolio complementario de alimentos y bebidas que incluye Frito-Lay, Gatorade, Pepsi-Cola, Quaker y Tropicana. En Colombia están presentes desde 1947 con marcas como papas Margarita, Quaker, Pepsi, Natuchips, Gatorade, Doritos, Chokis, entre otros.

PepsiCo Colombia cuenta con tres plantas de producción dentro del territorio colombiano distribuidas en Funza, Bogotá y Sabaneta Antioquia.

La planta de Bogotá en donde se desarrolló la presente investigación cuenta con 12 líneas de producción en las cuales se pueden encontrar procesos de transformación de materias primas tales como: plátano, papa, maíz, maní entre otros, cada uno de estos procesos cuentan con maquinaria específica destinada para cumplir con los requerimientos exigidos por las entidades gubernamentales en Colombia, las condiciones actuales de producción de plátano no madurado, así como su control sanitario para la distribución masiva, han determinado una nueva alternativa de venta de aperitivos con altos estándares de producción, por lo que se hace necesario que el flujo de dichos procesos productivos se encuentre estandarizado y muy bien controlado, estos requerimientos están ligados estrictamente al funcionamiento de la maquinaria que a pesar de no

contar con las características propias de última tecnología son funcionales y muy bien aprovechadas para suplir las necesidades de la demanda en cuanto a productos comestibles.

Actualmente la planta posee una línea de producción que esta ideada para la elaboración de snacks, teniendo como materia prima la fruta no madura del plátano, que llega pelado en bolsas, es una línea semi automatizada cuyo flujo de proceso consiste en:

Ilustración 1

Diagrama del flujo de proceso línea plátano



Nota. Los bloques representan cada sección del proceso de producción de snacks de plátano en la zona punteada se hará el estudio de RCM. Fuente propia

Este plátano hace parte de dos productos, uno denominado Detodito el cual está compuesto de tres elementos comestibles, papa, pellet de cerdo y plátano, el segundo es denominado Natuchips, por ende la disponibilidad de la línea para la ejecución de mantenimiento preventivo es muy ajustada de acuerdo con el plan actual, este se encuentra basado en frecuencias de sustitución de componentes el cual demanda en promedio 18 horas de mantenimiento mensual cuando solo se puede disponer de 12 horas al mes, por lo cual se genera un backlog teórico del 33%. Esta baja ejecución debido a la estimación del plan actual versus la cantidad de tiempo ofrecido por el personal de producción, impacta en el indicador de disponibilidad productiva, que de acuerdo con la información recopilada años atrás presenta un cumplimiento del plan de mantenimiento por debajo de los estándares ya que en 2018 fue 49% de las actividades programadas y 45% para el 2019, el KPI global para mantenimiento planeado debe ser superior a 85% de cumplimiento de acuerdo al objetivo de la organización.

También esta línea presenta una disponibilidad productiva fuera de rango operacional permitido y parte de ello se encuentra asociado a tiempos muertos por mantenimiento. Dentro del estándar global, el KPI (Key Performance Indicator) de tiempo muerto asociado a mantenimiento correctivo, este indica que el rango debe estar entre 0,0% a 1,0% del tiempo disponible para producción y entre 2,0% y 3,0% asociado a tiempo por mantenimiento planeado. Los indicadores actuales de la línea son 1,9% por mantenimiento correctivo y 1,5% por mantenimiento planeado.

Estas condiciones no previstas dentro del contexto de mantenimiento generan pérdidas de mano de obra, de materias primas, e impactan negativamente los indicadores de tiempo medio de reparación, tiempo medio entre falla y la eficiencia verdadera de la planta.

El área de mantenimiento juega un papel muy importante para lograr la disponibilidad y confiabilidad en los equipos de la línea de producción, ya que con sus acciones deben preservar

los equipos, maquinaria e instalaciones en óptimas condiciones, garantizando el correcto funcionamiento de los procesos, además de realizar una rápida intervención cuando los equipos fallen. Hoy en día se está implementado con más fuerza el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) ya que da una visión específica para identificar todos los posibles modos de falla del equipo y así determinar e implementar los adecuados planes de mantenimiento.

2.2 Planteamiento del problema

¿Por qué es el RCM la opción más adecuada para la optimización del plan de mantenimiento preventivo de la línea de producción de plátano en Pepsico?

2.3 Sistematización del problema

¿Cuál es el estado actual de los equipos relacionados con el proceso de transformación del plátano?

¿Por qué se debe realizar el análisis de criticidad de los activos físicos planteados como críticos en la línea de plátano para la optimización en la gestión de los recursos?

¿Con qué tipo de actividades se pueden optimizar los tiempos de ejecución del plan de mantenimiento preventivo en la línea de plátano?

3 Objetivos de la investigación

3.1 Objetivo General

Diseñar el plan de mantenimiento de la línea de plátano de la empresa Pepsico Alimentos Colombia basado en la metodología RCM.

3.2 Objetivos Específicos

Establecer los activos relacionados con el proceso de transformación del plátano y su estado actual

Elaborar el análisis de modos, efectos de falla y su criticidad para los activos físicos críticos que componen el área de proceso de la línea de plátano.

Plantear mejoras a los planes de mantenimiento resultado del RCM mediante la determinación de tareas proactivas y mantenimiento autónomo.

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación

Debido a los requerimientos actuales en la industria de alimentos para mantener una eficiencia de producción de acuerdo con las exigencias del mercado, se hace necesario que los activos de una organización estén vinculados a un plan de mantenimiento que optimice el funcionamiento de estos y en lo posible evite paros inesperados de la producción, para tal efecto se usan diferentes técnicas de mantenimiento guiadas hacia la mejora de la confiabilidad de los equipos tales como, monitoreos por condición, análisis de modos de falla efectos y consecuencias, todo esto buscando reducir las afectaciones al plan de producción, la seguridad, la calidad y el medio ambiente.

La propuesta de investigación se fundamenta en el desarrollo de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad de tal manera que se establezca un diagrama de decisión claro para la ejecución de las actividades, optimizando los tiempos de intervención de las máquinas para el mantenimiento y reduciendo de esta manera los tiempos muertos de la línea. Asociado a la optimización de los planes de mantenimiento y en busca de la mejora de los indicadores de disponibilidad de la línea de plátano, el desarrollo de la metodología RCM, es replicable a las demás líneas de este tipo que dispone la compañía en Latinoamérica.

4.2 Delimitación

Esta investigación se desarrolló en la empresa Pepsico Alimentos Colombia Ltda. ubicada en la ciudad de Bogotá zona industrial de Montevideo.

Esta investigación se realizó desde el mes de septiembre de 2020 hasta el mes de junio del 2021.

El contenido está estructurado de acuerdo con la propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM

4.3 Limitaciones

El tiempo para la ejecución de la propuesta de desarrollo en las secciones de proceso de la línea.

Poca información técnica, como manuales, ayudas visuales, entre otros debido a que los equipos son muy antiguos.

5 Marco conceptual

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado del arte Nacional

5.1.1.1 *Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrifuga IHM 15 H -7.5 TW*

Para el año 2016 los ingenieros Pedro Abril et ál., elaboraron una investigación que fue presentada a la universidad ECCI como parte de su programa de seminario de investigación II con el nombre de: “*Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrifuga IHM 15 H -7.5 TW*”. En este trabajo de investigación se plantea una estrategia para dar solución a la necesidad que se tiene de mantener operativo el sistema de presión de agua en edificaciones comerciales y residenciales por medio de la aplicación de un mantenimiento centrado en

confiabilidad que garantice la funcionalidad de la red hidráulica a todos los puntos de suministro por medio de la identificación de los modos y efectos de falla de la motobomba centrífuga 15 H - 7.5 TW (Abril, 2016). La anterior cita es de vital importancia ya que muestra como el mantenimiento centrado en confiabilidad se puede aplicar a un equipo crítico con un modelo específico pudiendo mejorar desde fábrica las posibles fallas que este vaya a tener durante su operación por consiguiente se puede generar un documento específico que pueda dar una guía para el mantenimiento de aquellos componentes que sean vitales para el funcionamiento del activo y alargue su vida útil evitando colapsos en edificaciones por la falta de un recurso indispensable.

5.1.1.2 Elaborar planes de mantenimiento para industria plástica a fin de mejorar su productividad: caso ABC Gotuplas

En el año 2016 en la universidad ECCI los ingenieros Javier Mesías y Rodrigo Robles presentan un trabajo de opción de grado para la especialización de Gerencia en Mantenimiento titulado “*Elaborar planes de mantenimiento para industria plástica a fin de mejorar su productividad: caso ABC Gotuplas.*” El mantenimiento en las empresas productoras de plástico tienen una oportunidad de mejora y por medio de este trabajo se trata de dar un enfoque de como al optimizar los mantenimientos, la producción aumenta sus utilidades, pasando de los correctivos, a un análisis, planeación y ejecución de acuerdo con las necesidades de la planta (Mesías & Roblez, 2016). El anterior trabajo muestra como la elaboración de planes de mantenimiento conllevan una alta responsabilidad y requiere dedicación para poder establecer cuál es la mejor manera de involucrar los activos de una empresa dentro de una programación estricta, esto puede significar paralelamente que la organización genere mayores utilidades o que

por el contrario el paro de equipos junto con el gasto de repuestos y mano de obra la lleven a la quiebra, de ahí la importancia de elegir adecuadamente.

5.1.1.3 Análisis de la gestión de mantenimiento en una empresa del sector metalmecánico

En el año 2016 los ingenieros Camilo Castillo y José Vaca elaboran un trabajo de grado para optar al título de especialista en Gerencia de Mantenimiento en la Universidad ECCI el cual tuvo el nombre de: “*Análisis de la gestión de mantenimiento en una empresa del sector metalmecánico*”. El proyecto analiza la gestión de mantenimiento de una empresa dedicada a la industria metalmecánica por medio de una matriz de excelencia para evaluar en qué clase de mantenimiento se encuentra la compañía y validar si el estado actual se encuentra ligado a la visión de la organización para que de esta manera se puedan sugerir nuevas metodologías como el TPM o RCM2, como estrategias para alcanzar los objetivos generales tanto del departamento de mantenimiento como de manera transversal a los demás colaboradores (Castillo Acosta & Vaca, 2016). La anterior cita muestra la importancia de la gestión del mantenimiento en una organización y como esta gestión debe estar ligada con la visión de la compañía para que ambas partes logren sus objetivos, por medio de una matriz de excelencia pueden evaluar varios criterios tanto de su planificación como de su gestión del talento humano, permitiendo situar al departamento de mantenimiento en una categoría específica para establecer estrategias de mejora continua que pueden obtenerse por medio del TPM o RCM2.

5.1.1.4 Desarrollo de una propuesta basada en la metodología PMO para las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo

En el año 2020 en un trabajo de grado con el nombre de “*Desarrollo de una propuesta basada en la metodología PMO para las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo*” hecho por los ingenieros Niyiseth Ruiz et ál, para la universidad ECCI como opción de grado

para optar al título de especialista en Gerencia de Mantenimiento, se hace un muestreo de 692 unidades de bombeo de crudo estimando el número de fallas y la recurrencia de estas para estudiar los patrones de repetición y de esta manera impulsar una optimización del plan de mantenimiento para estas unidades, también se realiza una especie de consultoría para determinar el estado actual del área de mantenimiento y sus desviaciones, escogiendo la mejor estrategia que garantice la disponibilidad de los equipos (Ruiz Llorente, 2020). El anterior trabajo es importante para mostrar que el estado del área de mantenimiento se debe tener en cuenta antes de tomar alguna decisión en cuanto a la estructura del plan para los activos de una organización, haciendo consultorías se pueden nutrir las estrategias a partir de las necesidades de los propios trabajadores, el conocimiento del contexto de la compañía es de vital importancia antes de iniciar con la implementación de un plan de mejora continua.

5.1.1.5 Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el análisis modal de falla y efecto (AMEF- AMFE), aplicable a empresas de impresión y artes gráficas

En el año 2015 el ingeniero Mario Garcia presenta un trabajo a la universidad ECCI con el nombre de: “Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el análisis modal de falla y efecto (AMEF- AMFE), aplicable a empresas de impresión y artes gráficas” el cual evidencia una problemática en el sector de la impresión y artes gráficas en donde no existe una directriz con políticas claras para la implementación de un programa de mantenimiento basado en los activos y en el estudio de estos para dar solución a las fallas que puedan presentar, esta problemática no solo determina la necesidad de conocer al detalle cada uno de sus activos sino que muestra como la gestión de talento humano en el proceso de selección puede estar errado ya que no se está escogiendo al personal más idóneo para contribuir al mantenimiento que realmente necesitan los equipos (García, 2015). La cita anterior es de vital importancia ya que

muestra desde una perspectiva del propio integrante de mantenimiento como la metodología AMEF puede servir para la selección adecuada del personal de mantenimiento ya que sugiere que por este medio todo el departamento aprenderá a conocer mejor cada uno de los activos de manera detallada a tal punto que se podrán pasar solicitudes aterrizadas de personal requerido en mantenimiento para la solución asertiva de las fallas en los equipos de impresión y ates gráficas.

5.1.2 Estado del arte internacional

5.1.2.1 Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre.

En el año 2019 los autores Edgar Estupiñán y Oscar Cordero en un artículo que se publicó en la Revista de la Facultad de Ciencias Básicas con el nombre: “*Uso de la metodología FMECA - RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre.*” en este artículo los autores realizan una descripción de como los precios fluctuantes del cobre impactan significativamente en el control de costos de producción para las empresas mineras, que se ven obligadas a encontrar maneras para la reducción de estos. Las nuevas estrategias de mantenimiento se muestran como alternativa para contener y reducir los costos asociados a la producción, especialmente en el proceso de tostación, por lo que la metodología de FMECA en la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad que identifique brechas y ofrezca una mejora continua se presenta como una alternativa de reducción de costos (Estupiñán & Cordero, 2019). La anterior cita evidencia que el uso de las diferentes estrategias de mantenimiento, especialmente basados en la confiabilidad ofrecen ventajas que pueden optimizar el uso de los recursos en la ejecución de mantenimiento, de tal manera que los costos asociados a la producción disminuyan y se prioricen las actividades establecidas como

críticas, los resultados de un buen análisis y una estrategia adecuada de mantenimiento pueden influir en el funcionamiento adecuado de toda una organización.

5.1.2.2 Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE.

Los ingenieros Jesús González, et al., en el año 2018 publican en la Revista Ingeniería Industrial un artículo con el nombre: “*Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE*”, en donde muestran como el mantenimiento industrial ha evolucionado de tal manera que día a día se están buscando formas para mejorarlo y evaluarlo, en este caso con una técnica conocida como Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMFE), que permite mejorar los rangos de frecuencias y tiempos para el mantenimiento, en el caso de los equipos que incurren constantemente en correctivos se pueden establecer tareas preventivas y predictivas, en una máquina herramienta la implementación de AMFE permite mejorar la fiabilidad y la seguridad de esta (González Sosa & et al., 2018). De acuerdo con la cita anterior el hecho de realizar un análisis y estudio bien detallado de las situaciones particulares de cada elemento constitutivo de una maquina o proceso permite identificar aspectos claves a mejorar, de tal manera que las actividades de mantenimiento se conviertan en el camino más práctico para prolongar adecuadamente el ciclo de vida de un activo y por ende sus tiempos de inproductividad.

5.1.2.3 Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado.

En el año 2014 los autores Gorika Unzueta-Aranguren et al., desarrollaron un estudio que fue publicado en la revista DYNA – Ingeniería e Industria como: “*Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado.*” que muestra los resultados de la implementación de una versión adaptada de la metodología RCM en tres empresas de diferentes sectores que pudieron establecer programas de preventivo con énfasis en el mantenimiento autónomo reduciendo la carga de trabajo a mantenimiento y que dieron las pautas para iniciar

una gestión de mantenimiento por software asistido por computador (Unzueta-Aranguren, 2014). La anterior cita es importante ya que muestra que aparte de los beneficios que trae consigo la implementación de un mantenimiento basado en confiabilidad también puede mejorar de cierta manera la calidad de vida de los integrantes del departamento de mantenimiento reduciendo su carga laboral apoyado de las personas de operación mediante un proceso autónomo.

5.1.2.4 Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual

En el año 2014 los autores Andres Cartín Rojas et al., hacen una publicación en una revista de Medicina Veterinaria con el nombre de “*Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual*” en el cual elaboran un análisis de riesgo mediante AMEF (Análisis Modal de Efectos y Fallas) incorporado a un programa de HACCP que es un Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control para poder determinar las secciones más vulnerables del proceso de una maquiladora de pavo deshuesado y poder establecer medidas preventivas en estas, las consideraciones para la decisión de las actividades preventivas se evaluaron por medio de un índice de criticidad IC y los puntos de control mediante un árbol de decisiones que se priorizaron por medio de los puntajes más altos del IC, también se usó un Análisis Causa Raíz en las desviaciones más importantes que podrían afectar el programa HACCP, logrando tener un alto beneficio en cuanto a las consideraciones de inocuidad del producto, la manufactura y el aseguramiento de la salud pública a los consumidores finales (Cartín Rojas & et, al, 2014). En el sector alimenticio las concepciones de prevención de la contaminación accidental, los peligros físicos, químicos y biológicos que causan enfermedades, lesiones o muertes son la razón más importante para el control estricto de todos los agentes que se involucran con el proceso desde la materia prima, el personal que tiene

relación directa con el alimento hasta las partes mecánicas estructurales que componen la maquinaria, por lo que este artículo muestra cómo se puede hacer una integración entre los procesos de mantenimiento y los programas de seguridad alimentaria, que deben estar muy de la mano cuando se trata de seguridad pública y productos de distribución masiva.

5.1.2.5 Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica.

Los ingenieros Jose Espinoza Martinez, et al., en el año 2020 con una publicación realizada en Centro Azúcar como: “contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica” realizan un estudio de mantenimiento basado en confiabilidad para los activos de un hotel de modalidad de sol y playa cubano determinando aquellos de mayor consumo energético para la evaluación de sus funciones, fallas funcionales, efectos y consecuencias para la seguridad, el ambiente, el servicio y los costos de mantenimiento (Espinoza Martínez & et, 2020). Este tipo de trabajos muestran como el mantenimiento es de vital importancia para cualquier tipo de instalación desde la industria de productos hasta la de confort como lo es en este caso un hotel, las características del mantenimiento y su afectación directa a los costos generales de un negocio pueden motivar la implementación de un programa eficiente de uso de recursos de mantenimiento que contemple los equipos más relevantes y de mayor consumo para el negocio, encontrando brechas y oportunidades de mejora continua.

5.1.2.6 Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica.

En el año 2016 con un artículo denominado “*Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica*” los ingenieros Armando Díaz

Concepción, et al., publican en la revista Ingeniería Mecánica, un trabajo que desea proporcionar una herramienta, tipo encuesta, con el fin de determinar si la implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad es pertinente para mejorar la gestión de los activos, su disponibilidad, confiabilidad operacional, optimización de costos y el aumento de su vida útil (Díaz Concepción & et, 2016). Como se describe en la anterior cita la implementación de un programa de RCM pretende abarcar muchos de los aspectos inherentes de una empresa y el uso de herramientas como las encuestas permiten determinar de manera anticipada si la adaptación de un modelo tan detallado como el RCM tendrá repercusiones de mejora de todos aquellos aspectos.

5.1.2.7 Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

En el año 2017 los ingenieros Maira Gasca, et al., publican en la revista Información Tecnológica un trabajo con el nombre de: “*Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial*” el cual propone el uso de una herramienta para la evaluación de confiabilidad de equipos determinados como críticos de acuerdo a ciertos criterios definidos como prioritarios para jerarquizar los activos dentro de los que se encuentran, i) su operación y producción, ii) frecuencia, costo y tiempo de reparación de las fallas; y iii) el impacto en la seguridad y salud del operador, para que al final los equipos con una mayor puntuación tengan un catálogo de fallas mediante el uso de un AMEF, para después establecer el medio tiempo entre fallas con herramientas como Weibull, Log normal y Normal de manera automática teniendo como base el historial de fallas del equipo, estimando las actividades necesarias para la intervención de los equipos críticos antes de las fallas funcionales (Gasca & et, 2017). Las variables tenidas en cuenta en el anterior caso de estudio para conformar la matriz de criticidad de los activos es de gran ayuda para ir contextualizando un análisis aterrizado y bien

fundamentado en la definición de los patrones a evaluar para concentrar los esfuerzos de un RCM en esos equipos que por su importancia dentro de la línea de producción requieren mayor atención, además el uso del tiempo medio entre fallas también sugiere un factor de vital importancia.

5.1.2.8 Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo.

En el año 2014 se publica con el nombre de: *“Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo”* un artículo elaborado por los ingenieros, David Barros Chaparro, et al., para la revista Scientia et Technica, el cual muestra la implementación de un programa de RCM II en una fábrica de baterías, contemplando las bases de desarrollo tales como el AMEF y la jerarquización del riesgo en cuanto a su criticidad, la asignación de tareas proactivas fueron dispuestas para los equipos con fallas funcionales identificadas mediante el uso de diagramas de decisión y un análisis costo-efectivo. El uso de esta filosofía de mantenimiento mostro fallas en aspectos de seguridad funcional de equipos y un rediseño de la configuración de los equipos para la mejora del tiempo medio entre fallas (Barros Chaparro & et, 2014). Cuando se toma la decisión de establecer un programa de RCM tratando de optimizar el plan de mantenimiento actual de una organización se debe estar abierto a la posibilidad de mejorar también la seguridad operacional de las máquinas ya que este tipo de metodologías pueden abarcar aspectos que no afectan directamente la producción pero que si representan un riesgo en términos legales para el funcionamiento de estas.

5.1.2.9 Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la estación Atacapi del b57-li de Petroamazonas EP

En el año 2017 el ingeniero Ángel Castillo presenta una tesis para la obtención del grado de magister en gestión del mantenimiento industrial en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo denominada como: “*Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la estación Atacapi del b57 li de Petroamazonas EP*” en la cual pretende desarrollar un programa basado en RCM que contribuya con el desarrollo óptimo del campo de extracción petrolero ya que hay una alta tasa de fallas imprevistas en la unidad de bombeo horizontal multietapas HPS que provocan pérdidas de producción de este recurso, las consideraciones tomadas por el ingeniero fueron desarrollar un contexto operacional, realizar un levantamiento de información de años pasados calculando la tasa de fallas de los equipos y la unidad HPS, un análisis de fallas para poder establecer un diagrama de decisión RCM II, con la implementación de este modelo se podría mejorar el tiempo medio entre fallas de 29 a 69 días (Castillo Santillán, 2017). Dentro de los argumentos claves para la optimización de un plan de mantenimiento está el factor de tiempo medio entre fallas que como se ve en la propuesta anterior mejora ostensiblemente pasando de 29 a 69 días, como es bien sabido en mantenimiento el MTBF debe tender a infinito para que los activos produzcan de manera teórica al 100% de la capacidad por la que fue adquirida, por lo que este tipo de adaptaciones pueden incidir ampliamente en las variables económicas de una organización que a la final es el objetivo de tener un medio productivo con ánimo de lucro generando la mayor utilidad posible sin tiempos muertos y reprocesos.

5.1.2.10 Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de bebidas carbonatadas

En el año 2018 la ingeniera Angelina Ponce elabora una tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la universidad de Piura con el nombre de: “*Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de bebidas carbonatadas*” que como su nombre lo indica propone la optimización del plan de mantenimiento basándose en que las programaciones de las tareas muchas veces presentan duplicidad, no tienen una frecuencia adecuada y no agregan valor al proceso de mantenimiento conformándose principalmente con tareas intrusivas sin el involucramiento de tareas predictivas, se argumenta que estas son unas de las razones por las cuales los activos van entrando en fases de correctivos así como, el incremento de los tiempos medios de reparación y los tiempos medios entre fallas se tienen con una frecuencia muy corta, la propuesta incluye el estudio histórico de fallas de una línea de producción de bebidas carbonatadas identificando equipos críticos y el estudio de sus fallas funcionales, por ende la mejor alternativa para en donde se genere una mayor disponibilidad de equipos basados en un plan de mantenimiento que se enfoque en las causas de las fallas antes de que los equipos paren (Ponce Mostacero, 2018). Las consecuencias de tener un plan basado únicamente en frecuencias de recambio se pueden evidenciar en un mayor coste general de los implementos en el departamento de mantenimiento ya que involucra el uso de más repuestos sin determinar que efectivamente dicho repuesto deba ser cambiado, si su vida útil ya está punto de culminar o si aún le queda un 50% más de uso, también se evidencia en el uso del personal técnico que si bien está trabajando para las labores para las cuales fueron contratados no se está utilizando de manera óptima su tiempo ya que cambiar un repuesto que no es necesario puede considerarse como innecesario, pero si por el contrario se optimizan las variables de medición

para dicha vida útil y se cambia en el tiempo que de verdad es requerido se controlaran más las desviaciones de presupuesto y no se incurrirá en tiempos extras para ejecución de actividades, mejorando el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo y bajando los índices de tiempo muerto de la línea.

5.2 Marco Teórico

El sustento teórico de la presente investigación se basa en el desarrollo de los temas

5.2.1 Concepto de mantenimiento

La implementación de sistemas de gestión de mantenimiento como filosofía son de gran responsabilidad ya que el mantenimiento afecta todos los aspectos del negocio; seguridad, sustentabilidad, calidad del producto, servicio al cliente, disponibilidad de los activos y los costes en general.

Para comprender el concepto de RCM (Reliability Centered Maintenance – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) es necesario entender qué es mantenimiento y cuál es su objetivo.

Desde el momento que una organización concibe adquirir un activo para que este cumpla una función definida se debe contemplar que este tiene asociado a su uso un deterioro natural, ahora bien, si como parte de su función el activo presenta algún tipo de movimiento (lineal o rotativo) se comprende que las partes expuestas a este movimiento presentarán desgaste o pérdida de material debido a la fricción presente entre ellos. Partiendo de esta premisa John Moubray define mantenimiento como: *asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga* (Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad, 2008). Alberto Mora Gutiérrez lo define como: *La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen funcionamiento de las máquinas a través del tiempo* (Mora, 2009). Ricky Smith R - Keith Mobley indican que *el objetivo final del mantenimiento es proporcionar una*

confiabilidad óptima que cumpla con las necesidades comerciales de la compañía (Smith & Mobley, 2008)

En este último enunciado se incorpora el término “confiabilidad” en donde se define confiabilidad como la probabilidad de que un activo realice las funciones para las cuales se ha diseñado durante un periodo de tiempo determinado y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno.

Bajo estos conceptos la confiabilidad siempre está asociada con el suceso de fallas y su medida está dada por la frecuencia en que ocurren éstas, entre menos fallas sucedan se puede decir que los activos son más confiables. Mas sin embargo en campo siempre existirán factores que conllevan a que ocurra una falla y la función de mantenimiento es llevar el indicador de confiabilidad lo más cercano al 100% mitigando la ocurrencia de las fallas analizando las posibles causas que lo origina y planteando acciones para evitar que vuelvan a suceder.

El concepto de mantenimiento puede definirse de muchas formas diferentes dependiendo del enfoque que se le dé, pero en primera instancia se establece una premisa esencial que establece al mantenimiento como todas aquellas acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida, mejorando el estado funcional de los equipos, tal y como lo menciona Cesáreo:

la mejora de las condiciones funcionales de los equipos incide directamente en la seguridad de las instalaciones y, por tanto, en la disminución de los riesgos laborales. Por otra parte, un funcionamiento óptimo de la maquinaria redundante en una disminución de los niveles de vibración y de ruido, lo que contribuye a mejorar las condiciones del ambiente del trabajo. Además, obtener el máximo aprovechamiento de la vida útil de cualquier instalación, así como de cualquiera de los elementos de la misma, puede también

considerarse como una aportación, nada desdeñable, a un desarrollo industrial sostenible, y consecuentemente con una repercusión positiva en la mejora del medio ambiente, por cuanto el aprovechamiento óptimo de los recursos, conduce -en términos globales- a una disminución del consumo energético, y a una reducción del volumen de desechos industriales (Gómez de León Hijes, 1998).

De acuerdo con lo anteriormente mencionado se evidencia la importancia que cumple el mantenimiento no solo por tener un equipo en funcionamiento para que cumpla una función requerida sino también para mejorar las condiciones generales del lugar en donde se encuentre, que impactara directamente al ambiente laboral, así como, las condiciones económicas que todos estos factores implican.

5.2.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Para poder entender de una manera más clara el concepto e importancia del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM es necesario contextualizar el significado de confiabilidad por sí solo, el cual es definido como: *“Es la probabilidad de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un periodo adecuadamente durante un periodo bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes”* (Huerta, 2006). En la anterior definición es importante resaltar el hecho de la consideración como probabilidad enmarcada para el cumplimiento de las funciones no solo de un equipo, sino de sistemas completos en donde se asocia de manera implícita las fallas que pueden ocurrir y afectar concepto, así como la frecuencia con que estas se presenten, es decir, que entre menos fallas se presenten, más confiable será el equipo.

Ahora se puede empezar a dar un enfoque al objeto de estudio del presente trabajo que es el RCM que se considera como una metodología de mantenimiento que permite determinar cuáles

son las tareas de mantenimiento costo efectivas adecuadas para los activos físicos de planta, es decir que es una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallos de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

Esta metodología se fundamenta en:

- *“Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y función bajo el contexto operacional de estos.*
- *Identificación de los componentes críticos.*
- *Aplicación de técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.*
- *Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos, mediante revisión y análisis permanente.*
- *Algunos de los objetivos del RCM son los siguientes:*
- *Eliminar las averías de las máquinas.*
- *Suministrar fuentes de información de la capacidad de producción de la planta a través del estado de sus máquinas y equipos.*
- *Minimizar el costo de mano de obra en reparaciones, con base en el compromiso por parte de los responsables de mantenimiento, en la eliminación de fallas de máquinas.*
- *Anticipar y planificar con precisión las necesidades de mantenimiento.*

- *Permitir a los departamentos de producción y mantenimiento una acción conjunta y sincronizada al momento de programar” (Mora, 2009)*

Se debe tener en cuenta que se describe el método de (RCM) Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, considerando teorías de los autores como Nowlan, Heap y Moubray que se vincula con las normas internacionales para confiabilidad operacional como la SAE JA1011 / SAE JA1012 e ISO 14224.

5.2.3 Breve historia de RCM

En la industria aeronáutica durante el año de 1960 se utilizó por primera vez como metodología de mantenimiento el RCM que resulto del producto de los índices de riesgo en accidentes aéreos a finales de la década de 1950 y los costos elevados para ejecutar las actividades de mantenimiento, estos factores motivaron una investigación específica acerca de la efectividad de estas actividades. Resultado de esto para el año 1960, se conformó un grupo con representantes de las líneas aéreas como de la Administración Federal de Aviación FAA para investigar las condiciones específicas del mantenimiento preventivo ejecutado en los aviones. Por medio de esta investigación se establecieron una serie de pautas clave que más adelante se implementaron como programas de mantenimiento. De esta manera resultado de un reporte escrito por F.S Nowlan y H.F. Heap y que publico posteriormente el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en 1978 nació el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Después de esta publicación el RCM se ha utilizado para estandarizar y formular estrategias para la gestión de activos prácticamente en todos los países industrializados y en diferentes áreas de la actividad humana organizada. Este proceso que fue estructurado por primera vez de acuerdo con las premisas de Nowlan y Heap ha servido para la aplicación de diferentes documentos de aplicación en activos, pero así como muchos conservan las pautas iniciales de los

autores muchos otros han tergiversado las características primordiales de esta metodología convirtiendo las condiciones de aplicación de RCM en muchas otras que solo se nombran así mismas como mantenimiento centrado en confiabilidad cuando sus condiciones no se asimilan y hasta se contradicen, por tal motivo se demanda que exista una guía o norma internacional que establezca los criterios para que un proceso pueda definirse como RCM, por lo que en agosto de 1999 fue publicada la norma SAE-JA.1011 que establece unos criterios de evaluación claves para que un proceso pueda denominarse RCM, también surgió la norma SAE-JA-1012 que especifica los modos y los efectos de falla. a del RCM.

5.2.4 Proceso de RCM

Para el inicio de cualquier proceso en que se involucre el desarrollo de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad es necesario conocer ciertas premisas que formula Moubray cuando enuncia las siete preguntas básicas que a continuación se relacionan:

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

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra tarea proactiva adecuada?” (Moubray, 2004)

El RCM inicia definiendo el contexto operacional, el cual consiste en la identificación de las condiciones operativas que el equipo cumplirá es decir su función, estas condiciones están dadas por:

- El desempeño del equipo (estándares de operación)
- Estándares de calidad del producto.
- Los modos de fallas asociados a las condiciones de funcionamiento.
- Estándares medioambientales.
- Riesgos a la integridad de las personas.
- Tiempo de reparación y repuestos

5.2.4.1 Describiendo funciones

Una vez realizado el contexto operacional el proceso RCM continúa definiendo las funciones del equipo.

Para iniciar con las descripciones de funciones referente a los activos es necesario identificar lo importante que es esta concepción para mantenimiento y tal como lo menciona Moubray:

“Todo activo físico tiene más de una función, por lo general tiene varias. Si el objetivo del mantenimiento es asegurarse que continúe realizando estas funciones, entonces todas aquellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados. A primera vista, esto puede verse como un proceso bastante directo. Sin embargo, en la práctica casi siempre se vuelve el aspecto más desafiante y el que más tiempo toma en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento” (Moubray, 2004).

La anterior cita es muy importante ya que menciona que la actividad de definir las funciones de los activos es la más demandante cuando se va a desarrollar una propuesta de mantenimiento

centrado en confiabilidad por lo que se deben seguir ciertas premisas y conocer muy bien los equipos a evaluar.

Las funciones se clasifican en varias categorías:

Funciones primarias: Función que constituye la razón principal por la que su propietario o usuario adquirió un activo físico o sistema.

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

Función Evidente: Es una función cuya falla será evidente por sí misma para los operarios en circunstancias normales de operación.

Función oculta: Es una función cuya falla no será evidente por sí misma para los operarios en circunstancias normales de operación.

5.2.4.2 *Fallas Funcionales*

Seguido a la definición de funciones se identifican las fallas que tendrán incidencia en el equipo.

Una falla se define como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios desean que haga, son eventos inesperados que implican un mal funcionamiento o en ocasiones hasta el cese de las actividades, las fallas se clasifican como:

Falla Funcional: Este tipo de falla establece que un activo es incapaz de cumplir el funcionamiento específico para el cual fue adquirido por una organización o persona de una manera aceptable.

Falla Potencial: Condición identificable que indica que una falla funcional está en vías de ocurrir o en proceso de ocurrir.

Falla Oculta: Modo de Falla que no será evidente por sí mismo para los operarios en circunstancias normales de operación.

Conociendo estas diferencias entre las fallas es importante entender que el RCM busca anticiparse a la ocurrencia de las fallas o tener estrategias bien definidas por si estas llegan a pasar, afrontarlas de la manera más objetiva y sin generar traumatismos importantes en la producción de las industrias, de manera que las actividades de mantenimiento proactivo en muchas ocasiones permiten intervenir los activos antes de que se llegue a la falla.

Es importante considerar la participación de los operadores de las máquinas, así como de los técnicos de mantenimiento ya que con las observaciones de estos se puede nutrir la definición de las fallas y no solo eso, sino que con su experiencia pueden indicar cuales son las fallas recurrentes o aquellas que más les costó resolver en cierto momento.

5.2.4.3 Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos (AMEF)

Con los pasos anteriormente ya ejecutados se empieza a construir el AMEF junto con la criticidad de la falla, el cual lo describimos de la siguiente manera:

AMEF (Análisis de modos y efectos de falla), partiendo de las funciones y las fallas asociadas a dichas funciones se establecen los modos de falla que pueden estar guiados por la ISO 14224 que establece unas directrices para códigos de fallas de acuerdo con el tipo de activo al que se haga referencia, estos modos de falla se definen como el evento que pueda causar una falla funcional, en otros términos, es el que induce la pérdida de función completa o parcial de un equipo en su contexto operacional.

La norma ISO 14224 tiene estandarizado algunos modos de fallas de equipos críticos, más sin embargo no quiere decir que el usuario pueda definir sus modos de falla.

El paso siguiente es evaluar el efecto de la falla que es una descripción de la consecuencia que puede tener esta tanto en el equipo analizado como en todos los equipos que están asociados a este.

Análisis de criticidad. Posterior a la descripción de los efectos de la falla, continua la evaluación de riesgo (criticidad), la cual se cuantifica con la siguiente fórmula

$$\text{CRITICIDAD (Ce)} = \text{Fsass} \times \text{Fq} \times \text{Fm} \times \text{Fc}$$

Tabla 1

Factor de seguridad (Fsass)

REQUISITO TÉCNICO	SIGLA	DEFINICIÓN	BAJO		MEDIO		ALTO	
			Ce = 0 - 10 Puntos		Ce = 11 - 30 Puntos		Ce = > 30 Puntos	
			CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA
Factor SASS	Fsass	Este factor se refiere al impacto del equipo con relación a salud, seguridad y medio ambiente en caso de una falla / parada del equipo	No hay riesgo para la seguridad, salud o medio ambiente	1	Riesgo de grado menor para la seguridad, salud o medio ambiente	2	Riesgo catastrófico, resultando con pérdidas de vida, destrucción de los equipos y/o problemas medioambientales que resulten en la remoción de licencia de operación	4
			N/A	N/A	Riesgo de grado mayor para las personas, resultando en días de incapacidad o daños a los equipos con pérdida de función con costos altos de reparación y pérdida de tiempo considerable, impacto medio ambiental que resulta en multas para la compañía	3	N/A	N/A

Nota: El factor de seguridad es una categoría que considero la empresa para la determinación de criticidad de acuerdo con unos patrones de comportamiento de la planta de producción (Pepsico Alimentos, 2018)

Tabla 2*Factor de calidad (Fq)*

REQUISITO TÉCNICO	SIGLA	DEFINICIÓN	BAJO		MEDIO		ALTO	
			Ce = 0 - 10 Puntos		Ce = 11 - 30 Puntos		Ce = > 30 Puntos	
			CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA
Factor de Calidad	Fq	Este factor se refiere al impacto del equipo con relación a la calidad del producto en caso de una falla / parada del equipo	La falla en el equipo no genera ningún riesgo de calidad al producto o afecta la seguridad alimentaria	1	La falla en el equipo genera defectos de calidad para el producto, mas no genera un riesgo a la seguridad alimentario o un insatisfactorio como requisito de AIB	2	La falla en el equipo provoca un riesgo de contaminación para el producto, compromete la seguridad alimentaria como insatisfactorio por parte de AIB e infringe requisitos legales y consumidor final	3

Nota: El factor de calidad es una categoría que considero la empresa para la determinación de criticidad de acuerdo con los gastos que el activo represente anualmente (Pepsico Alimentos, 2018)

El costo operativo se obtiene del historial de consumo de repuestos y el historial de órdenes de trabajo. Está compuesto por el consumo anual de materiales y las horas hombre de mantenimiento correctivo. En caso de no tener datos se estima con base al valor del equipo y de sus repuestos.

Tabla 3*Factor de producción (Fp)*

REQUISITO TÉCNICO	SIGLA	DEFINICIÓN	BAJO		MEDIO		ALTO	
			Ce = 0 - 10 Puntos		Ce = 11 - 30 Puntos		Ce = > 30 Puntos	
			CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA
Factor de Producción	Fp	Este factor hace referencia al impacto en producción / productividad de planta, en caso de una falla / parada de los equipos, se analiza la consecuencia del paro del equipo, baja capacidad de producción, paro de línea o paro de planta.	La falla genera paro de ítem mantenible sin generar paro de máquina, no genera ningún impacto a producción, existe un equipo de back up.	1	La falla genera paro de máquina, se dispone de un sistema de pulmón por un lapso corto de tiempo el cual termina en un paro de línea con un impacto medio a la TE.	3	La falla genera un paro de línea súbito, con un impacto mayor a la TE, incumplimiento al programa de producción >20% del CPP	5
			La falla genera un paro de máquina, una baja producción afectando la TE y no se dispone de un equipo de stand by.	2	La falla genera un paro de línea súbito, con un impacto mayor a la TE, incumplimiento al programa de producción hasta 20% del CPP	4	La falla genera un paro de planta, 100% de afectación a la TE, no existe un equipo de reserva o de soporte	6

Nota: El factor de producción es una categoría que considero la empresa para la determinación de criticidad de acuerdo con el tiempo medio entre fallas de los activos (Pepsico Alimentos, 2018)

El tiempo medio para la reparación (tmpr) se obtiene del historial de fallas. Si no se posee información se estima con base a complejidad técnica que posea el equipo.

Tabla 4

Factor tiempo reparo de mantenimiento (Fm)

REQUISITO TÉCNICO	SIGLA	DEFINICIÓN	BAJO		MEDIO		ALTO	
			Ce = 0 - 10 Puntos		Ce = 11 - 30 Puntos		Ce = > 30 Puntos	
			CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA
Factor tiempo de reparo de mantenimiento	Fm	Este factor hace referencia al tiempo de reparación (MTTR) en caso de una falla, los datos deben ser obtenidos a través del histórico de fallas del equipo, en caso de no dispones un histórico se deba hacer una estimativa basado en la complejidad técnica de reparo del equipo.	MTTR < 1hr	1	MTTR > = 1hr a < = 2 hr	2	MTTR > 2 hr	3

Nota: El factor de tiempo de reparo de mantenimiento es una categoría que considero la empresa para la determinación de criticidad de acuerdo con las afectaciones que un activo pueda tener en estas importantes variables para la organización (Pepsico Alimentos, 2018)

Tabla 5*Factor costos de mantenimiento*

REQUISITO TÉCNICO	SIGLA	DEFINICIÓN	BAJO		MEDIO		ALTO	
			Ce = 0 - 10 Puntos		Ce = 11 - 30 Puntos		Ce = > 30 Puntos	
			CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA	CRITERIO	NOTA
Factor costos de mantenimiento	Fc	Este factor se refiere al costo histórico de reparación de mantenimiento en caso de una falla / parada de equipo. El histórico debe ser obtenido contemplando el consumo anual utilizando materiales y mano de obra sumando el total de ordenes de servicio de un periodo de 1 año. En caso de no existir datos para esta validación, se debe estimar un costo de mantenimiento basado en el valor del equipo y el valor de las piezas de reposición.	Costo anual de reparación (material + mano de obra) < USD 1.000	1	Costo anual de reparación (material + mano de obra) de USD 1.000 a 3.000	2	Costo anual de reparación (material + mano de obra) > USD 3.000	3

Nota: El factor de costos de mantenimiento se deriva del histórico que se tenga para la reparación del equipo teniendo en cuenta la mano de obra, de no tener esta información se debe asumir cuanto impactara presupuestalmente un paro del equipo evaluado (Pepsico Alimentos, 2018)

La tabulación para evaluar el nivel de criticidad de la falla está dada como:

Tabla 6*Niveles de criticidad*

Niveles de criticidad	
Criticidad Baja	Menor a 0-10 Puntos
Criticidad Media	Entre a 11 y 30 Puntos
Criticidad Alta	Mayor a 30 Puntos

Nota: Los niveles en los cuales se define la criticidad de acuerdo con su ponderación se definieron en tres categorías tal y como se aprecia en la tabla (Pepsico Alimentos, 2018)

La criticidad del equipo está dada por la falla con mayor nivel de criticidad. Una vez calculado el valor de la criticidad se continúa determinando las posibles causas que generan las fallas determinadas.

5.2.4.1 Cálculo del número de prioridad de riesgo

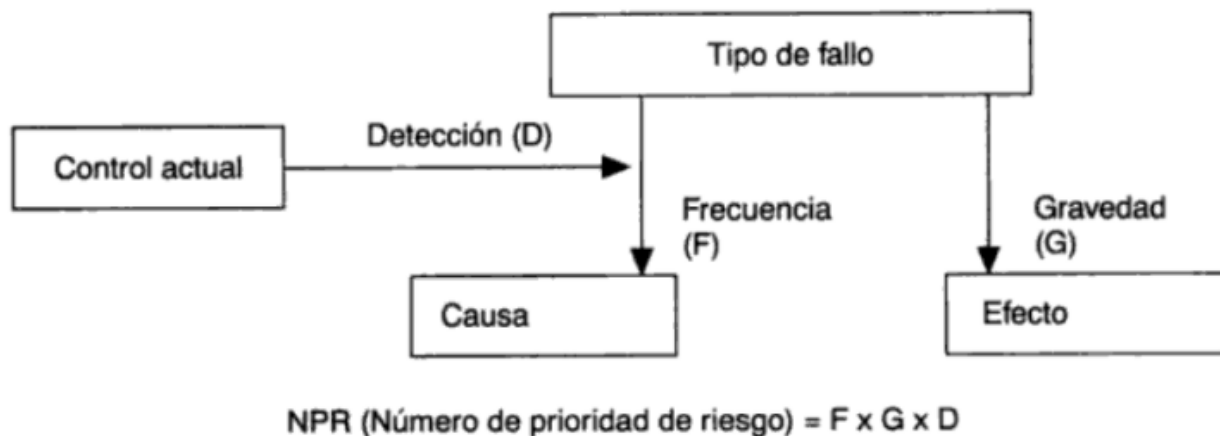
La evaluación de la criticidad de cada falla es un importante factor a tener en cuenta ya que de acuerdo con su ponderación se estimara que tan compleja puede ser la falla para priorizar las actividades de mantenimiento necesarias y mitigar su impacto o tratar de mejorar la calificación inicial, este cálculo esta dado por ciertas directrices que se usan de acuerdo a tres índices fundamentales que son la ocurrencia, la severidad y la detección, cada una de ellas tiene una calificación que le induce mayor complejidad y está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{NPR} = (\text{severidad} \times \text{ocurrencia} \times \text{detección})$$

El número de prioridad de riesgo o NPR como se llamará de ahora en adelante en este documento es definido como: “Es el producto de la valoración de frecuencia, gravedad y detección. Este es el valor que se utiliza para ordenar los problemas de diseño por orden de importancia (Grimas Cintas & Tort-Martorell Llabres, 1995)

Ilustración 2

Número de Prioridad de Riesgo



Nota: En cuanto mayor valor tenga D será menor su poder de detección, todo está evaluado de acuerdo con el tipo de fallo (Grimas Cintas & Tort-Martorell Llabres, 1995) p. 59

A continuación, se realiza la descripción de cada uno de los índices para dar una mayor claridad a lo referente con el NPR:

Índice de severidad es una estimación de la gravedad del impacto en caso de que llegue a ocurrir una falla por la causa asociada y que es relacionada en la tabla 6.

Tabla 6

Índice de severidad (Is)

Índice de severidad (Is)		
Criterio	Puntuación	Downtime
Severidad mínima - Una falla no tiene ningún efecto visible al desempeño del equipo el cual no genera ningún tiempo muerto. Operadores, mecánicos y electricistas no notarán la falla.	1	0%
Severidad baja - Una falla mínima que causa un leve tiempo muerto, en la mayoría de los casos la puede intervenir el operario o puede requerir el apoyo de un técnico	2	<0,5%
	3	0,5% - 1%
Severidad moderada - Una falla causará algún contratiempo con el sistema, lo que generará un deterioro	4	1% - 1,3%
	5	1,3% - 1,6%

en el desempeño del sistema y un tiempo muerto considerable	6	1,6% - 2%
Severidad alta - La falla produce una gran afectación al desempeño del sistema, pone en riesgo el cumplimiento del programa producción	7	2% - 2,5%
	8	>2,5%
Severidad muy alta - La falla afecta la seguridad y requisitos asociados a la calidad del producto	9	Indiferente
Catastrófica - La falla puede causar serios daños a la propiedad y a las personas	10	Indiferente

Nota: El índice de severidad lo diseñó la empresa estableciendo diferentes criterios directamente relacionados con las líneas de producción y su ponderación se establece desde 1 siendo este el de menor impacto a 10 que en este caso sería el de mayor severidad, de acuerdo con los criterios descritos y el tiempo muerto de afectación (Pepsico Alimentos, 2018).

Índice de ocurrencia es una estimativa de las probabilidades de ocurrencia de la falla relacionada con la causa asociada y que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7

Índice de ocurrencia (Io)

Índice de Ocurrencia (Io)		
Criterio	Puntuación	Semanas
Remota probabilidad de ocurrencia. No sería razonable esperar que una falla ocurra	1	0
Baja probabilidad de ocurrencia. Se asocia a conjuntos que se encuentran sin intervención durante algún tiempo	2	1:52
	3	1:38
Moderada probabilidad de ocurrencia. Se asocia a componentes que muestran fallas ocasionales mas no en grandes proporciones	4	1:26
	5	1:12
	6	1:8
Alta probabilidad de ocurrencia. Se asocia a equipos o componentes que frecuentemente presentan problemas	7	1:4
	8	1:2
Muy alta probabilidad de ocurrencia. Existe certeza que acontecerá una falla	9	1:1
	10	<1

Nota: El índice de ocurrencia lo diseñó la empresa estableciendo diferentes criterios directamente relacionados con rangos de tiempo en el que la falla puede pronunciarse y su ponderación se establece desde 1 siendo este el de menor impacto a 10 que en este caso sería el de mayor ocurrencia o frecuencia (Pepsico Alimentos, 2018).

Tabla 8*Índice de detección (Id)*

Índice de detección es una estimativa de las probabilidades de detección de la falla, antes de generar impacto si llegara a ocurrir.

Índice de detección (Id)		
Criterio	Puntuación	Detección
Ciertamente será detectado	1	Muy grande
	2	
Existe una gran probabilidad de ser detectado	3	Grande
	4	
Probablemente será detectado	5	Moderada
	6	
Probablemente No será detectado	7	pequeña
	8	

Nota: El índice de detección lo diseñó la empresa estableciendo diferentes criterios directamente relacionados con la facilidad en la que la falla pueda ser detectada y su ponderación se establece desde 1 siendo este el de menor impacto a 8 que en este caso tendría una detección pequeña o compleja (Pepsico Alimentos, 2018).

El número de prioridad de riesgo es calculado multiplicando los 3 índices:

$$\text{NPR} = (\text{Is} \times \text{Io} \times \text{Id})$$

Tabla 9*Criterio del Número de Prioridad de Riesgo*

NPR	Criterio
NPR > 85	ALTO
60 > NPR < 85	MEDIO
NPR < 60	BAJO

Nota: El criterio para la ponderación final y la categoría se determina por medio de la tabla 9 e indica entre alto, medio y bajo de acuerdo con el nivel de la multiplicación de los tres índices (Pepsico Alimentos, 2018).

Dependiendo del tipo de criterio del NPR (número de prioridad de riesgo) se definen las tareas del mantenimiento planeado.

5.3 Marco normativo y legal

Tabla 10

Marco normativo y legal asociado con el desarrollo del RCM

De acuerdo con las condiciones asociadas al presente trabajo se estima la aplicabilidad de diferentes normativas y aspectos legales que impactan en el desarrollo de las actividades a implementar para el mantenimiento de los activos de la línea de producción de plátano, además de direccionar el orden jerárquico de equipos.

Norma, Ley, Decreto o Acuerdo	Numeral que aplica	Observaciones de nivel de cumplimiento
SAE JA1011 Criterios mínimos que debe cumplir cualquier proceso para ser llamado RCM	Sección 1,1	Definición de activo
	Sección 5,1	Esta sección discute cuatro conceptos clave como los son: Contexto operacional, Funciones primarias y secundarias, Enunciado de una función y estándares de desempeño
	Sección 5,2	En esta sección se definen todos los estados de fallas asociados a cada función
	Sección 6	Define el concepto de falla referente a un activo cuando este no es capaz de desempeñar lo que el usuario desea que haga
SAE JA1012 Guía para la Norma para Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	Sección 5 a la 14, 16 y 17	Reflejan las secciones de SAE JA1011 en la mayoría de su contenido
	Sección 15	Explica más detalladamente como se pueden combinar los elementos claves del proceso MCC para seleccionar políticas apropiadas de manejo individual de modos de falla y sus consecuencias
	Sección 18	Toma en cuenta la gerencia y los aspectos relacionados con recursos esenciales para el desarrollo exitoso de MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)

ISO 14224	<p>Sección 4</p> <p>Sección 5</p>	<p>Esta norma proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones en diferentes clases de industrias tales como aquellas relacionadas con la petroquímica, gas natural y petróleo, con estos datos se gestiona el ciclo de vida de los activos. No solo proporciona información de clasificación para algunas industria en específico tal y como se mencionó anteriormente sino que establece la gestión de equipos industriales lo que facilita que esta norma pueda ser usada para la recopilación de información de activos en general</p> <p>La ISO 14224 proporciona una ayuda para clasificar los elementos de una manera sistemática en grupos generales como el uso dedicado, su ubicación, discriminación por subequipos, etc., ubicándolos dentro de una posición jerárquica.</p>
ISO 9001 Sistema de Gestión de calidad	<p>4. Contexto de la organización</p> <p>4.1 Comprensión de la organización y de su contexto</p> <p>4.4 Sistema de gestión y de sus procesos</p>	<p>Se requiere para conocer acerca de la organización, comprender sus necesidades y expectativas de los trabajadores y de otras partes interesadas acerca de criterios de calidad</p> <p>La organización debe establecer cuáles son las cuestiones internas y externas que conciernen para el cumplimiento de su propósito y que afectan la capacidad para alcanzar los resultados estimados por el área de Calidad.</p> <p>La organización debe implementar, establecer, así como mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de calidad, incluidos aquellos procesos que se necesiten y sus interacciones, de acuerdo con los requisitos de esta norma.</p>

<p>ISO 45001 Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo</p>	<p>4. Contexto de la organización</p> <p>4.1 Comprensión de la organización y de su contexto</p> <p>4.4 Sistema de gestión y de sus procesos</p> <p>6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades</p>	<p>Contexto de la organización Esta parte de la norma se requiere para poder conocer los aspectos fundamentales de la organización, así como de comprender cuáles son sus necesidades y sus expectativas tanto de los empleados como de otras partes interesadas</p> <p>En este apartado se puede extraer como una organización debe conocer tanto las partes internas como externas que puedan o estén afectando las condiciones para cumplir un propósito o estén mitigando su capacidad para encontrar los resultados iniciales de su SG- SST.</p> <p>La organización debe implementar, establecer, así como de mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de la SST, incluidos aquellos procesos que se necesiten y sus interacciones.</p> <p>Gestión del cambio Es importante esta metodología ya que le proporciona a la organización y sus procesos de planificación, como debe determinar y evaluar los riesgos y oportunidades que impactan de buena o mala manera los resultados del sistema de gestión de la SST ya sea por cambios que se ejecuten en la organización, sus procesos, o el sistema de gestión de la SST. Por otro lado, si es un cambio planificado, de manera temporal o permanente, es importante que esta gestión se haga antes de que se implemente el cambio</p>
--	---	--

6. Diseño metodológico

Este proyecto está basado en un tipo de investigación descriptivo con el fin de recopilar información de los activos presentes en la línea número 3 de producción de plátano en la empresa Pepsico Alimentos Colombia Ltda, de la ciudad de Bogotá, para lo cual se describe cómo es y cómo se comportan las variables físicas de los equipos durante la producción, así como sus modos, efectos y consecuencias de fallas para el cumplimiento de los programas de producción y los indicadores globales de mantenimiento, este es un grupo de activos finitos

totalmente identificables dentro de cada sección de su operación de alimentación, rebanado, lavado, secado, freído, escurrido y enfriado.

6.1 Fases del proyecto

6.1.1 Fase 1

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos del presente trabajo se desarrollaron actividades de la siguiente manera:

Para el primer objetivo específico que se trata de establecer los activos relacionados con el proceso de transformación del plátano y su estado actual, se iniciara con la elaboración del contexto operacional de los activos de la línea estableciendo su estándar de desempeño, con los cuales se espera obtener resultados tales como, conocer el detalle de funcionamiento tanto operacional como técnico de cada activo y la definición de estándares de calidad global y expectativas de servicio de operación, seguido de esto la actividad a ejecutar será la validación del estado actual de cada uno de los equipos en el sistema SAP, obteniendo resultados relacionados con la identificación de equipos faltantes y sobrantes en el software de mantenimiento así como la modificación de la descripción que no se encuentre acorde a la taxonomía real, la tercera actividad es establecer las funciones primarias y secundarias de cada uno de los equipos, con esto se pretende documentar las funciones principales de cada activo en línea e identificar las variables físicas principales de cada equipo.

6.1.2 Fase 2

Segundo objetivo específico es elaborar el análisis de modos, efectos de falla y su criticidad FMECA para los activos físicos que componen el área de proceso de la línea de plátano, para lo cual se estipulan actividades en pro del cumplimiento de este con el uso del árbol de decisiones estandarizado por Pepsico para determinar FMECA, identificando causas de fallas

a nivel operativo y técnico, con esta se pretende determinar causas de fallas de acuerdo con los criterios del diagrama de decisiones entre deterioro natural, sobrecarga, error humano, deterioro forzado y error de diseño, la segunda actividad es documentar las funciones, fallas funcionales, modos de falla basados en la ISO 14224, con el cual se obtendrá el cálculo del NPR (Número de Prioridad de Riesgo) para cada modo de fallo determinando la ponderación de los índices de ocurrencia, detección y severidad, la última actividad para este objetivo es establecer la criticidad de cada modo de falla, esto permitirá validar el impacto para cada uno de los criterios asociados a los activos tales como: factor SASS, calidad, producción, costos y reparación de mantenimiento.

6.1.3 Fase 3

El tercer objetivo específico que es plantear mejoras a los planes de mantenimiento resultado del RCM mediante la determinación de tareas proactivas y mantenimiento autónomo se apoyará en establecer actividades a ejecutar para mitigar el impacto del cálculo del NPR, estas actividades darán una mayor confiabilidad de los activos disminuyendo el número de prioridad de riesgo, otro de los puntos a ejecutar será definir el tipo de mantenimiento, frecuencias y horas hombre para cada actividad optimizando el plan de mantenimiento y mejorando los tiempos globales de ejecución, para el cumplimiento de los anteriores enunciados se requiere la consolidación de los tipos de herramientas predictivas a utilizar de acuerdo con las actividades definidas, estructurando el alcance de cada metodología predictiva para los equipos y sus variables físicas a registrar llevando una trazabilidad de tendencias de acuerdo con los monitoreos por condición establecidos.

6.2.1 Cronograma

De acuerdo con lo anteriormente descrito en los pasos metodológicos, se ha estimado un tiempo en semanas para el desarrollo de cada una de las actividades que más adelante permitirá la elaboración de un cronograma y la definición de las actividades más críticas durante la ejecución:

Tabla 11

Actividades para primer objetivo específico

Actividad	Descripción	Semanas
A	1.1 Elaboración del contexto operacional de los activos de la línea estableciendo su estándar de desempeño	2,5
B	1.2 Validación del estado actual de cada uno de los equipos en el sistema SAP	1,5
C	1.3 Establecer las funciones primarias y secundarias de cada uno de los equipos	1,5

Nota: Las actividades descritas se ejecutarán para el cumplimiento del primer objetivo específico tal y como se aprecia en la tabla fuente propia

Tabla 12

Actividades para segundo objetivo específico

Actividad	Descripción	Semanas
D	2.1 Uso de árbol de decisiones Pepsico para determinar AMEF, identificando causas de fallas a nivel operativo y técnico	4
E	2.2 Documentar las funciones, fallas funcionales, modos de falla basados en la ISO 14224, efectos de las fallas, consecuencias de las fallas.	2
F	2.3 Establecer la criticidad de cada modo de falla	2

Nota: Las actividades descritas se ejecutarán para el cumplimiento del segundo objetivo específico tal y como se aprecia en la tabla fuente propia

Tabla 13*Actividades para tercer objetivo específico*

Actividad	Descripción	Semanas
G	3.1 Establecer actividades a ejecutar para mitigar el impacto del cálculo del NPR	2
H	3.2 Definir el tipo de mantenimiento, frecuencias y horas hombre para cada actividad	1
I	3.3 Consolidar los tipos de herramientas predictivas a utilizar de acuerdo con las actividades definidas	1

Nota: Las actividades descritas se ejecutarán para el cumplimiento del segundo objetivo específico tal y como se aprecia en la tabla fuente propia

Tabla 14*Actividades críticas proyecto*

	Críticas	Nombre	Descripción	Predecesoras	Color
1	■	Inicio	Actividad inicial		
2	■	A	Actividad A		■
3	■	B	Actividad B		■
4	■	C	Actividad C	A	■
5	■	D	Actividad D	C	■
6	■	E	Actividad E	D	■
7	■	F	Actividad F	E	■
8	■	G	Actividad G	D	■
9	■	H	Actividad H	G	■
10	■	I	Actividad I	H	■
11	■	FINAL	Actividad Final		

Nota: Las actividades críticas se diferencian con un color rojo fuente propia

Las consideraciones anteriormente enunciadas en la tabla 13 permiten identificar cuáles son aquellas actividades que se deben iniciar y terminar con prioridad para que alguna otra pueda ser empezada.

Tabla 15

Diagrama de Gantt

Proyección semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actividad inicial												
Actividad A												
Actividad B												
Actividad C												
Actividad D												
Actividad E												
Actividad F												
Actividad G												
Actividad H												
Actividad I												
Actividad Final												

Nota: El diagrama de Gantt estipula una duración de 12 semanas para el desarrollo de las actividades fuente propia

7. Propuesta de solución

7.1 Descripción de activos relacionados con el proceso de transformación del plátano

Los productos comestibles procesados son aquellos que son alterados por la adición o introducción de sustancias (sal, preservantes, azúcar, aceite y/o aditivos) que por tal efecto externo cambian la naturaleza de los alimentos, con diversos fines, ya sea para hacerlos más agradables o prolongar su duración.

El proceso que se lleva a cabo para lograr un producto alimenticio adecuado y apto para el consumo humano con todas las normas de sanitación e inocuidad exigidas en el territorio colombiano, así como las necesidades para poder exportar dicho producto, hacen necesario que las

condiciones se estandaricen de tal manera que se lleve una trazabilidad de todos los factores que componen el producto tanto desde el inicio (llegada de la materia prima) como el producto final snack o pasabocas empacado.

La fritura de fruta de plátano no madurado consiste en el rebanado de este para que salgan hojuelas o chips de un grosor determinado, una vez se encuentra rebanado pasa a un lavador que quita el exceso de almidón presente en este, para que una vez se termine este paso se elimine la humedad superficial y se sumerjan en aceite comestible a una temperatura que permite la evaporación del agua presente en las hojuelas, se obtiene un producto crujiente y caliente que debe pasar por un enfriamiento.

7.2.1 Contexto operacional

Por medio de este desarrollo se identificó la forma de trabajar de cada una de las secciones de la línea de producción encontrando la fuente de información básica que nutrirá a la metodología RCM de antecedentes y hechos inherentes a su proceso.

La línea de producción esta ideada para la elaboración de snack, teniendo como materia prima la fruta no madura del plátano, que llega pelado en bolsas, esta línea es semi automatizada.

Ilustración 3

Diagrama de flujo del proceso

El proceso en línea para la producción de chips de plátano está dada por secciones bien definidas, inicialmente esta la alimentación que se hace manualmente a una banda de cangilones para que llegue a la sección de rebanado, que una vez queda en tajadas de aproximadamente 3mm cae a un lavador que tiene un sistema de secado que elimina el agua superficial de la hojuela y de ahí pasa al freidor para que el producto quede sumergido en aceite vegetal con un tiempo de residencia establecido de acuerdo con la receta fijada, a la salida del freidor existe una banda que tiene la

función de escurrir el exceso de aceite adherido a la hojuela después de eso el producto debe enfriarse para pasar a la zona de saborizado y por ultimo de empacado.



Nota. Representación de secciones del proceso de producción de chips de plátano. Fuente propia

La línea tiene una capacidad aproximada para fritar 1.500 kg/h

Tabla 16

Equipos sección de rebanado

Ítem	Componente	Código SAP
1	banda inclinada plátano (cangilones)	10150876
2	banda horizontal	10151016
3	tajadora	10154678
4	lavador	10157037
5	catch box lavador	10151636
6	air sweep	10156921
7	air knife	10156918
8	impulsores (freidor)	10154044
9	banda sumergidora (freidor)	10151164
10	catch box (freidor)	10151634
11	banda de escurrido	10150973
12	enfriador	10151139
13	intercambiador de calor	10152647

Nota: Equipos principales que intervienen en la sección de rebanado. fuente propia

7.2.1.1 Sección de rebanado

El plátano crudo es abastecido manualmente en la parte inferior de la banda inclinada, depositando un plátano en cada sección libre entre empujador y empujador y garantizando un flujo aproximado a la banda horizontal de 120 unidades por minuto, esta se encarga de suministrar el plátano uno a uno a la tajadora en donde el disco transforma la materia prima en hojuelas dejando un espesor de 0.5mm para tal fin, el equipo cuenta con dos discos que son intercambiados cada 120 minutos en donde se reemplazan las 16 cuchillas, adicionalmente este proceso requiere de agua potable y agua recirculada desde el lavador que es suministrada para lubricar el corte, evitar la acumulación de las hojuelas en el cofre y facilitar la salida de la misma al canal de alimentación al lavador.

Los parámetros empleados actualmente en los variadores de frecuencia son:

Tabla 17

Parámetros para el proceso de rebanado de plátano

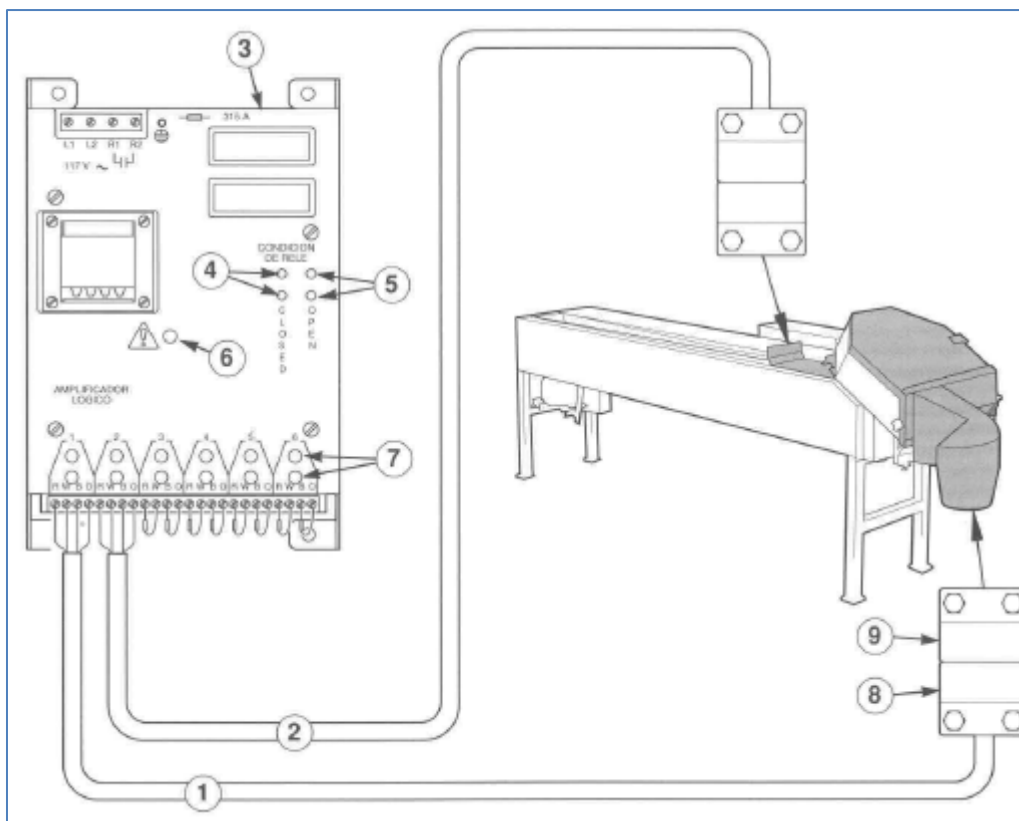
Equipo	Mínimo	Máximo
Banda inclinada	50 hz	60 hz
Banda horizontal	55 hz	65 hz
Disco de corte	25 hz	35 hz

Nota: Rango de frecuencias de los variadores para el rebanado de plátano

En cuanto al tema de seguridad la máquina es muy estricta debido al uso de cuchillas para el corte transversal del plátano por lo que, el disco de corte cuenta con un sistema de seguridad que inactiva el funcionamiento de equipo por la apertura de la compuerta o el túnel de alimentación, adicionalmente los dos tableros de control que se encuentran sobre la plataforma cuentan con paros de emergencia.

Ilustración 4

Seguridad sistema de rebanado



Nota: Sistema de seguridad rebanadora Slicer Urshell. Tomado de manual Pepsico

La descripción de la figura de acuerdo con los números relacionados en la figura se describen a continuación:

- (1) Conducto de descarga
- (2) Cubierta del transportador
- (3) Amplificador
- (4) LED verdes de condición de relé
- (5) LED rojos de condición de relé
- (6) LED rojo de atención
- (7) LED rojos de salida del interruptor

(8) Sensor

(9) Accionador

Tabla 18*Taxonomía sección rebanado*

A continuación, se discriminan los equipos que tiene la sección de rebanado teniendo en cuenta la guía ofrecida por la norma ISO 14224, identificando aquellos que no poseen código SAP en el administrador del plan de mantenimiento:

Sección	Equipo	Sub equipo	Componentes	
			Descripción	Cantidad
SECCION REBANADO	BANDA ALIMENTACION VIBRADOR ISO FLO ▶ SAP: XXXXXX	MOTOREDUCTOR ▶ SAP: XXXXX	> EURODRIVE SA37TD63L4 > MOTOR SEW >0,25KW > 1750/31 RPM >220V ▶ SAP: XXXXXXX	1
			RODAMIENTO UC 205 ▶ SAP: 800174246	2
			RETENEDOR ▶ SAP: XXXXX	
		SISTEMA TRANSMISION BANDA ALIMENTACION VIBRADOR ▶ SAP: XXXXXX	CHUMACERA REF FYTB 505 SKF ▶ SAP: 800173195	2
			RODAMIENTO UC 205 ▶ SAP: 800174246	2
			ENGRANAJE THERMODRIVE EZ CLEAR S8026/12 DIENTES ▶ SAP: XXXXXX	5
			CHUMACERA TENSORA REF TU 505 ▶ SAP: 800173322	2
			RODAMIENTO REF 205 ▶ SAP: 800174246	2
			CINTA THERMODRIVE 8026 FLAT TOP CON EMPUJADORES ▶ SAP: XXXXX	3MT
		SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL ▶ SAP: XXXXXX	CLAVIJA LEGRAND 16 AMP ▶ SAP 800167786	1
			TOMA LEGRAND 16 AMP ▶ SAP: 800167786	1
			VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 525 ▶ SAP: 800169147	1
		VIBRADOR ISO FLOW ▶ SAP: 10217103	MOTOR ▶ SAP: XXXXXXX	>KEY TECHNOLOGY >1 HP > 1750 RPM ▶ SAP: XXXXXXX
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN ▶ SAP: XXXXXX		POLEA CONDUCTORA ▶ SAP: XXXXXXX	1
			POLEA CONDUCIDA ▶ SAP: XXXXXXX	1
	SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL ▶ SAP: XXXXXX		CORREA ▶ SAP: XXXXXXX	1
			CLAVIJA LEGRAND 16 A ▶ SAP: 800167786	1
TOMA LEGRAND 16 A ▶ SAP:800167786			1	

		VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 525 ▶SAP: 800169147	1
BANDA CANGILONES PLATANO ▶SAP: 10150876	▶MOTOREDUCTOR SAP: 10153798	SEW-EURODRIVE SA47/T DRS80S4 >MOTOR SEW >1HP >220V >1730/30 RPM >EJE 25MM CUÑA 5/16 ▶SAP: 800174507	1
		ODAMIEN TO REF ▶SAP: XXXXX	2
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN ▶SAP: 10155496	CHUMACERA PLANA 4 HUECOS SF 506 ▶SAP: 800167898	2
		RODAMIEN TO REF UC206 ▶SAP: 800174165	2
		ENGRANAJE S900 6.1" EZ CLEAN ▶SAP: 800170246	4
		CHUMACERA REF FYTB 505 SKF ▶SAP: 800173195	2
		RODAMIEN TO UC 205 ▶SAP: 800174246	2
		CHUMACERA REF FYTB 505 SKF ▶SAP: 800173195	2
		RODAMIEN TO UC 205 ▶SAP: 800174246	2
		ENGRANAJE S900 6.1" EZ CLEAN ▶SAP:800170246	3
		CHUMACERA PLANA 4 HUECOS REF FY 504 ▶SAP: 800173189	2
		RODAMIEN TO REF UC 204 ▶SAP: 800174161	2
		ENGRANAJE S900 6.1" EZ CLEAN ▶SAP:800170246	3
		CHUMACERA PLANA 4 HUECOS SF 506 ▶SAP: 800167898	2
		RODAMIEN TO REF UC206 ▶SAP: 800174165	2
		ENGRANAJE S900 6.1" EZ CLEAN ▶SAP:800170246	3
		ROLLO PASADOR SERIE 900 0.240" DE 3/16 ▶SAP: 800174324	PASADORES DE 31CM
		EMPUJADOR SERIE 900 LON 6" 3" ALTO S9PB ▶SAP: 41008331	
	BANDA FLUSH GRID INTRALOX SERIE 900 ▶SAP: 800190668	13M TS	
	TABLERO DE CONTROL ▶SAP: 10156170 10156189 ELIMINAR DE SAP	CLAVIJA LEGRAND 16 AMP ▶SAP 800167786	1
		TOMA LEGRAND 16 AMP 380/415V INCRUST ▶SAP: 800175226	1
		VARIADOR POWER FLEX 40 22F-B4P2N103 ▶SAP: 800168996	1
		SECCIONA ALLEN BRADLEY 194E-Y25-1753-6N ▶SAP: 800165801	1
PARO EMERGEN CIA CON RETENCION XB4-BS-542 ▶SAP: 800172054		2	
SENSORES SEGURIDAD 440N-Z21W1PA ALLEN BRAD ▶SAP: 80166214		2	
BANDA LISA HORIZONTAL ▶SAP: 10151016	MOTOREDUCTOR BANDA HORIZONTAL 01 ▶SAP: 10153841	>VNM3546 >MOTOR BALDOR >1 HP >220V >1745 RPM ▶SAP: 800175624	1
		RODAMIEN TO REF 6205 ▶SAP: 800173998	1

		RODAMIENTO REF 6203 ▶SAP: 800174125	1	
	SIS TRANSMISION BANDA HORIZONTAL SAP: 10155506	POLEA INOX A 4-1/2 " EJE 25MM CUÑA1/4 ▶SAP: 800172621	1	
		POLEA INOX CAN T.A 2-1/2" EJE 5/8, CUÑA3/16 ▶SAP: 800171115	1	
		CORREA A34 ▶SAP: 800167820	1	
		REF SY 505 CHUMACERA PEDESTAL SKF ▶SAP: 800173295	2	
		RODAMIENTO UC 205 ▶SAP: 800174246	2	
		REF 27054 EJE IMPULSOR TRASPORTADOR URSCHHEL ▶SAP: 800166050	1	
		REF 27252 RODILLO IMPULSOR TRASPORTADOR URSCHHEL ▶SAP: 800168907	1	
		REF 27275 CORREA DE ALIMENTACION PIEZA ▶SAP: 800173020	1	
		REF 27007 SOPORTE TENSOR IZQ URSCHHEL ▶SAP: 800168895	1	
		REF 27008 SOPORTE TENSOR DER URSCHHEL ▶SAP: 800174878	1	
		EJE INTERMEDIARIO PART 27053 URSCHHEL ▶SAP: 800170210	1	
		REF 27009 RODILLO TENSOR URSCHHEL ▶SAP: 800173017	2	
		REF 27061 BUJE ▶SAP: 800168036	2	
		TABLERO DE CONTROL REBANDORA ▶SAP: 10156170	VARIADOR POWER FLEX 40 22F-B4P2N103 ▶SAP: 800168996	1
	SECCIONADOR ALLEN BRADLEY 194E-Y25-1753-6N ▶SAP: 800165801		1	
TAJADORA PLATANO ▶SAP: 10156318	MOTOR TAJADORA URSCHHEL PLATANO ▶SAP: 10153628	>13754 URSCHHEL >MOTOR BALDOR >2 HP >220V >1745 RPM ▶SAP: 800165645	1	
		RODAMIENTO 6205 SAP: 800173900	1	
		RODAMIENTO 6203 2Z SAP: 800173895	1	
	SIS TRASMISION ▶SAP:10155655		REF 27003 POLEA TRAPDEZIODAL DE4.88"DII.13" URSCHHEL ▶SAP:800168894	1
			REF 012221 PULLEY"V" 3.25OD 0.875ID URSHELL ▶SAP: 800165270	1
			CORREA A40 ▶SAP: 800167825	2
			REF 055378 CONJUNTO ARBOL MOTRIZ URSCHHEL ▶SAP: 800169707	1

			REF 55255 TORNILLO ▶SAP: 800175240	16
			RET 27041 TUERCA DE PERNO ▶SAP: 800173019	32
			REF 27040 PERNO ▶SAP: 800172151	32
		DISCO MICROSLICE ▶SAP: 800172076	REF 22074 SOPORTE CUCHILLA ▶SAP: 800172976	16
			REF 55345 PORTACUCHILLA ▶SAP: 800172644	16
			REF 027836 YUNQUE MARCA URSCHEL ▶SAP: 800172873	1
		TABLERO DE CONTROL REBANDORA ▶SAP: 10156170	VARIADOR POWER FLEX 4 M 3HP A 220 ▶SAP: 800175553	1

Nota: Taxonomía sección rebanado. Fuente propia. Continúa AMEF (análisis de modos y efecto de fallas), y criticidad de equipos sección de transporte, ver anexo tablas de Excel hojas 4 y 5

7.2.1.2 Sección de lavado

La hojuela de plátano que sale de la tajadora es transportada por el canal mediante un flujo constante de agua al lavador, en donde, con la ayuda de chorros de agua descendentes se busca separar las posibles hojuelas pegadas y con las espreas mediante un baño a presión sobre las hojuelas busca eliminar el exceso de partículas propias del corte de la tajadora.

El lavador tiene una capacidad de 7m³ y se conecta con el catch box, esta conexión se hace por medio de una tubería de 10" en la parte inferior de los equipos, el catch box cuenta con una motobomba conectada en la parte inferior. Esta bomba toma el agua del proceso que se encuentra contenida en el catch box y la retorna en su mayor parte al lavador, en este proceso las particular (ripió) son atrapadas por la banda del catch box que está en constante movimiento y con la ayuda de un moto ventilador elimina las partículas adheridas a la banda depositándolas en un contenedor, a continuación, se muestra una fotografía tomada del equipo en la línea de producción

Ilustración 5

Catch Box lavador



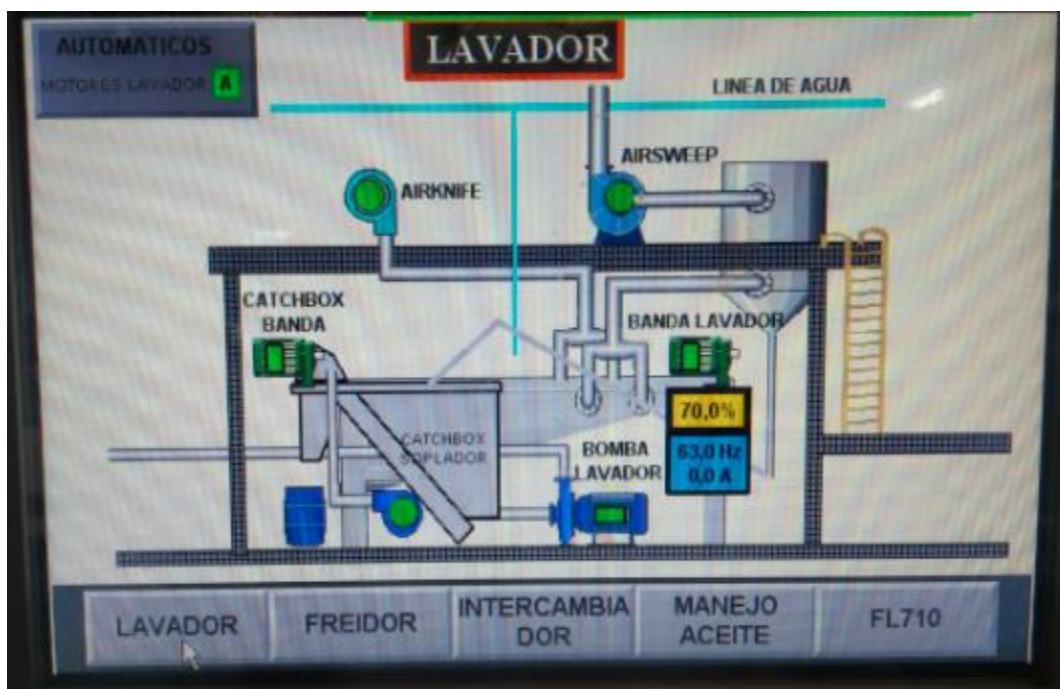
Nota: La ilustración muestra el sistema de filtro de finos en el lavador de plátano. Fuente propia

La malla transportadora del lavador se encarga de recoger las hojuelas y llevarlas a un proceso el cual busca eliminar el exceso de agua mediante dos sub-equipos:

Air knife, este moto ventilador está ubicado sobre una plataforma y es el encargado de llevar aire sobre la parte superior de la malla para retirar el agua de las hojuelas, por otro lado, el Air sweep es el encargado de eliminar la humedad superficial de las hojuelas para que al entrar al freidor la carga de agua sea mucho menor que al inicio del proceso y de esta manera hacer más efectiva la transferencia de calor y por ende la evaporación del agua.

Ilustración 6

Lavador proceso de chips plátano



Nota: La ilustración fue extraída de la interfaz gráfica de operación y muestra todos los equipos relacionados en la sección de lavado. Fuente propia

Tabla 19

Taxonomía sección de lavado

A continuación, se muestran los equipos que se encuentran en la sección de lavado y para aquellos que no tienen código se identificaron con unas equis para que el planeador de mantenimiento incluya en su taxonomía la nueva estructura:

Sección	Equipo	Sub equipo	Componentes	
			Descripción	Cantidad
SECCIÓN LAVADO	LAVADOR SAP: 10157037	MOTOREDUCTOR BANDA LAVADOR ▶ SAP: 10153849	> EURODRIVE SA47/TDRS80S4 > MOTOR SEW > 0,75KW > 17625/98 RPM > 220V ▶ SAP: 800191797	1
			RODAMIENTO 6205 ▶ SAP: 800173900	1
			RODAMIENTO REF 6202-2ZR ▶ SAP: 800174124	1

		SISTEMA TRANSMISION MOVIMIENTO LAVADOR L3 ▶SAP: 10155479	REF TU 507 CHUMACERA TENSORA SKF ▶SAP: 800173323	2
			RODAMIENTO REF UC 207 ▶SAP: 800174162	2
			PINON DOS HILERAS MALLA 6" 50 MM EJE 35M ▶SAP: 800241223	5
			CHUMACERA FST 508 2 HUECOS ▶SAP: 800167144	2
			RODAMIENTO YAR 208 2FGR/HVV268 EJE40MM SKF ▶SAP: 800173827	2
			PINON DOS HILERAS MALLA 6" 50 MM EJE 35M ▶SAP: 800241223	5
			BANDA PLANA TRABAJO PESADO1/2"X1/2"X31 ▶SAP: 800166806	8MT
			PLATINA EMPACK 1 1/2 ANCHO X 1/2 X 6MT SAP: 800172571	6
			TABLERO DE CONTROL ▶SAP:	VARIADOR ▶SAP:
			SECCIONADOR ALLEN BRADLEY 194E-Y25-1753-6N ▶SAP: 800165801	1
SISTEMA RECIRCULACION DE AGUA	BOMBA LAVADOR ▶SAP: 10151385	▶SAP:800180556 >BOMBA GRUNDFOS >NK65-200/219 > >IMPULSOR 219MM S3"	1	
		RODAMIENTO REF4305 B.T.V.H. ▶SAP: 800174184	1	
		RODAMIENTO REF 6305-2ZR ▶SAP: 800174142	1	
		SELLO MECANICO DE 1 1/4 ▶SAP: 800174624	1	
	MOTOR BOMBA ▶SAP: 10153295	▶SAP: 800210082 > MOTOR WEG > 15 HP > 1755 RPM > 220 V > 132M/L FRAME	1	
		RODAMIENTO REF 6308-2ZR ▶SAP: 800174145	1	
		RODAMIENTO DE BOLAS 6207 2RS ▶SAP:800173905	1	
		ELASTOMERO ACOPLA OMEGA REX 10 ▶SAP: 800170217	1	
	CATCH BOX LAVADORA ▶SAP: 10151636	MOTOREDUCTOR BANDA CATCH BOX ▶SAP: 10153949	EURODRIVE SA47TDP.S71S4 > MOTOR SEW > 0,37KW > 1700/36 RPM > 220V ▶SAP: 800182766	1
			RODAMIENTO REF ▶SAP:	1
RODAMIENTO REF ▶SAP:			1	
SIS TRANSMISION CATCH BOX LAVADORA ▶SAP: 10155457		REF SY 505 CHUMACERA PEDESTAL SKF ▶SAP: 800173295	2	
		RODAMIENTO UC 205 ▶SAP: 800174246	2	
	ENGRANAJE S900 6.1" EZ CLEAN ▶SAP: 800170246	4		

SISTEMA DE SECADO	MOTOR VENTILADOR CATCH BOX LAVADORA SAP: 10153646	BANDA SERIE 900 A312MMXL4MT ▶SAP: 800168194	1
		AL90S/L > MOTOR WEG > 2,2 KW (3HP) > 3465 RPM > 220V ▶SAP:	1
		RODAMIENTO REF 6205 2 Z C3 SAP: 800174128	1
		RODAMIENTO 6204 2RS C3 SAP: 800174126	1
	VENTILADOR AIR KNIFE LAVADORA ▶SAP: 10156918	EM4106T MOTOR ALTA EFICIENCIA > BALDOR > 20 H.P. > 3520 RPM > 220V >FRAME 256T ▶SAP: 800170014	1
		RODAMIENTO 6309 2RS C3 ▶SAP: 800173941	1
		RODAMIENTO 6208-2ZR ▶SAP: 800174131	1
	VENTILADOR AIR SWEEP LAVADORA ▶SAP: 10156921	M/2163 M/2163 B3 IP 65 MOTOR ELEC ALTA EFICIEN > WEG > 15KW (20 HP) > 3535 RPM > 440V > FRAME 160M ▶SAP: 800171256	1
		RODAMIENTO 6309 2RS C3 ▶SAP: 800173941	1
		6209 2RS C3 ▶SAP: 800173910	1

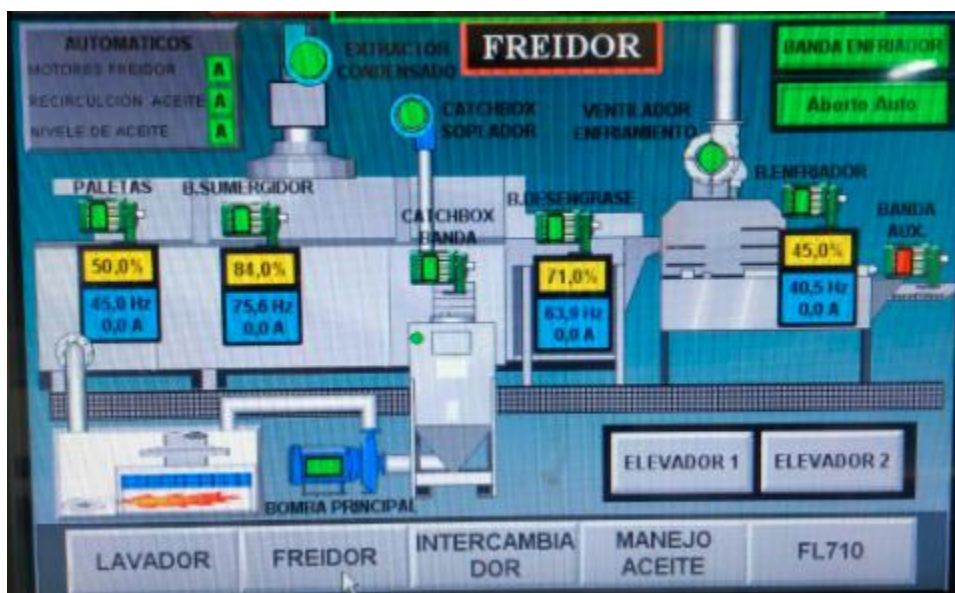
Nota: Taxonomía sección de lavado. Fuente propia Continúa AMEF (análisis de modos y efecto de fallas), y criticidad de equipos sección de transporte, ver anexo en Excel hojas 7 y 8

7.2.1.3 Sección de freído

En esta sección se busca fritar las hojuelas de plátano y transportarlas a lo largo del freidor, para lo cual el equipo cuenta con una serie de sub-equipos los cuales son visualizados y manipulados desde un HMI (Human Machine Interfase) que se muestra en la ilustración 6, ubicado en el tablero principal, las velocidades son ajustables y fijadas a través de variadores de frecuencia.

Ilustración 7

HMI manejo freidor



Nota: La ilustración fue extraída de la interfaz gráfica de operación y muestra todos los equipos relacionados en la sección de freído. Fuente propia

El freidor tiene una capacidad de producción según la descripción del fabricante de 750 kg/hr, en donde su área de fritura es de 9 m² que corresponden a 102m de ancho x 8.8 m de largo.

Tabla 20

Equipos involucrados en la sección de freído

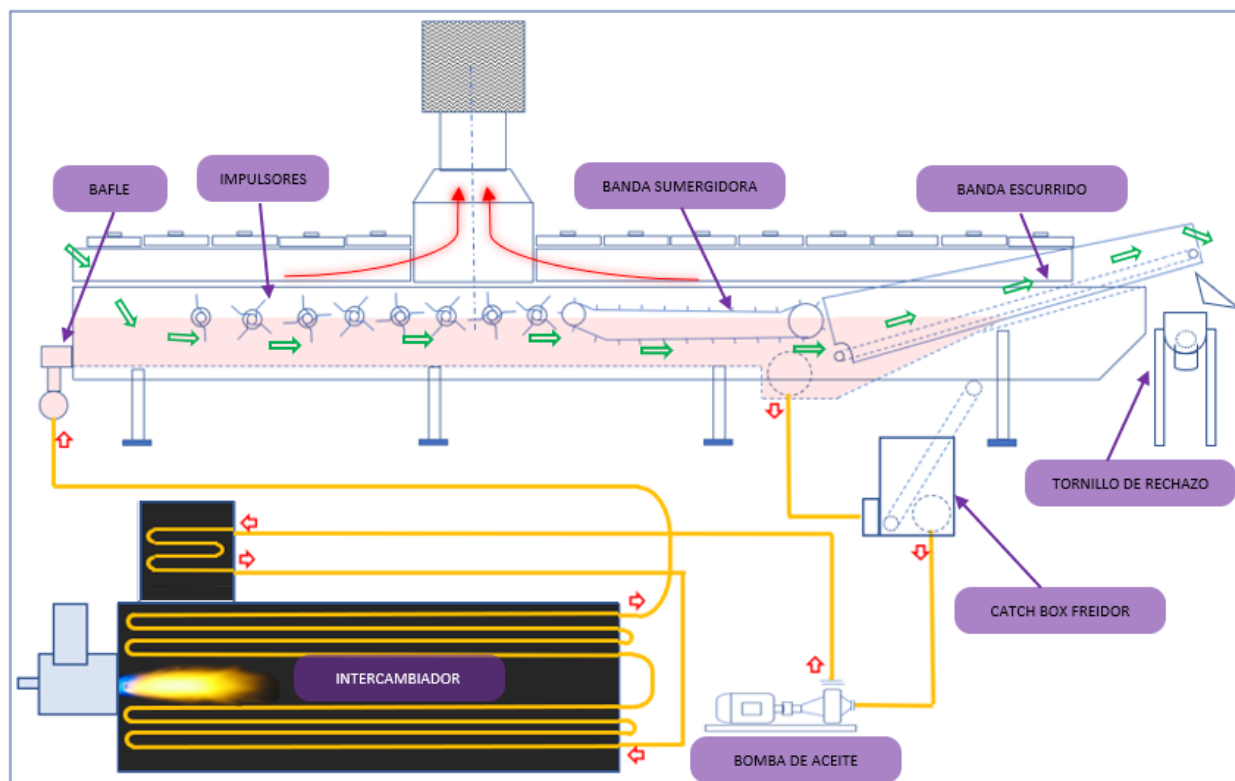
Se muestran los equipos que hacen parte de la sección de freído:

Ítem	Componente	Código SAP
1	Impulsores	10150876
2	Banda sumergidora	10151016
3	Banda de escurrido	10154678
4	Tornillo de rechazo	10157037
5	Catch box freidor	10151636
6	Bomba de aceite	10151297
7	Intercambiador de calor	10156921

Nota: Equipos más representativos del sistema del freidor. Fuente propia

Ilustración 8

Diagrama esquemático del freidor



Nota: Representación gráfica de los equipos relacionados en el freidor. Fuente propia

Inicialmente las hojuelas entran al freidor y caen sobre flujo laminado de aceite calentado a unos (187°C), el flujo laminado de aceite se logra mediante un bafle que recibe el aceite de un distribuidor de 3 pulgadas, que tiene 18 perforaciones de 1½ pulgadas, a lo largo de su sección longitudinal, este a su vez está conectado en su parte inferior por cuatro tubos de 3 pulgadas a un segundo distribuidor que recibe el flujo de aceite por una tubería de 6 pulgadas que proviene del intercambiador de calor.

Ilustración 9*Bafle del freidor desinstalado*

Nota: Este dispositivo permite un flujo laminar del aceite a la entrada del freidor. Fuente propia

Ilustración 10*Bafle desinstalado*

Nota: Bafle instalado en el freidor, debe tener unas medidas específicas desde la base hasta el inicio del dispositivo. Fuente propia

Ilustración 11

Distribuidor de aceite de 3"



Nota: Distribuidor de aceite de 3" con 18 perforaciones. Fuente propia



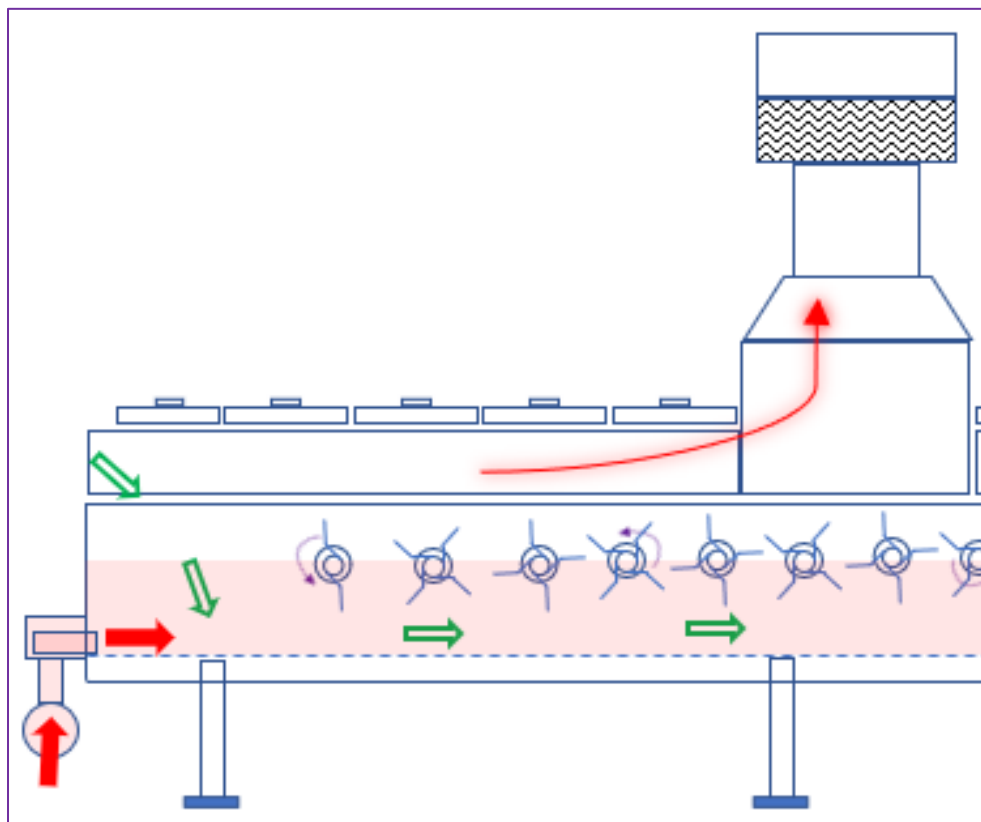
Nota: Distribuidor de aceite de 6" con 4 derivaciones. Fuente propia

Luego de que las hojuelas realizan la primera transferencia de calor y eliminan las partículas de agua adheridas a su superficie y que no se lograron eliminar en el proceso de secado en el lavador.

Es en esta zona es en donde se genera la mayor parte de vapor resultante de la volatilidad de las partículas de agua, este vapor es halado por la chimenea que cuenta con un filtro en malla que evita la emanación de vapor tal y como se muestra en la figura.

Ilustración 12

Filtro de condensación de vapor



Nota: Extracción de vapor. Fuente propia

7.2.1.3.1 Sistemas de impulsores

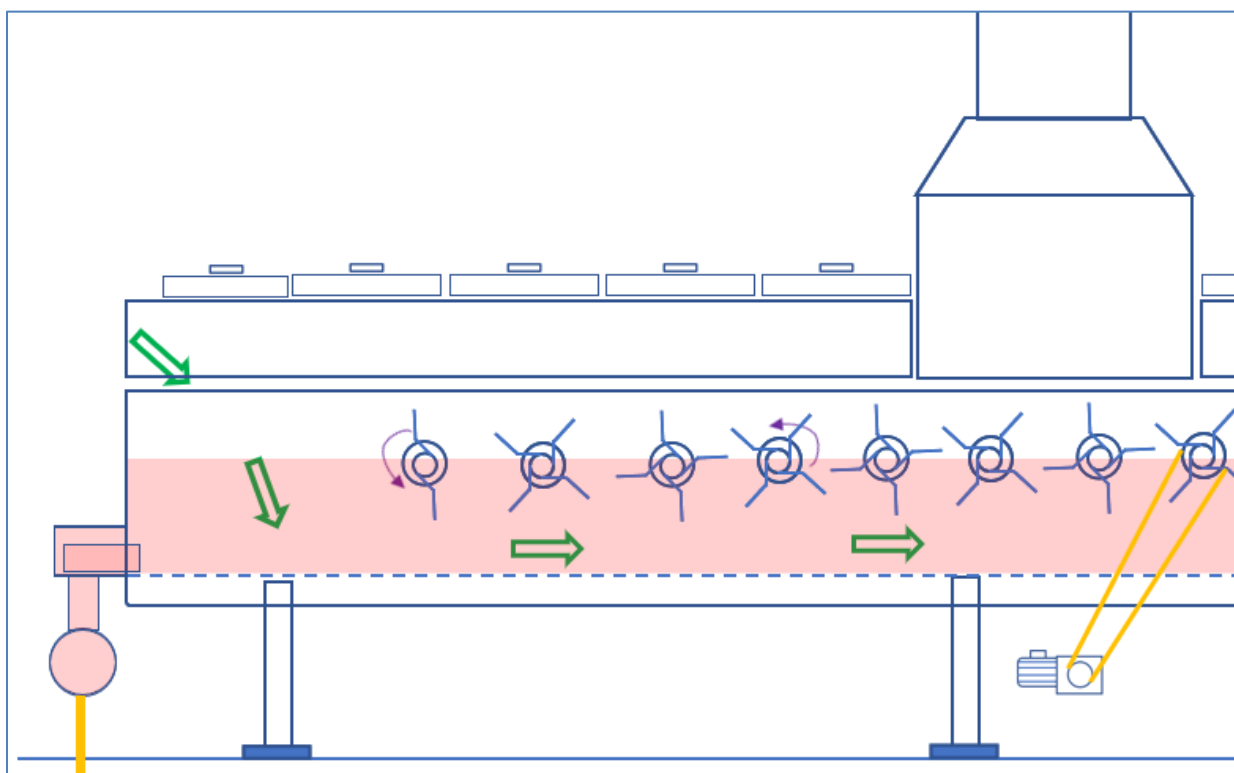
El propósito de estos son retener, liberar y empujar, las hojuelas son retenidas levemente para luego ser liberadas y empujadas por una serie de impulsores que trabajan sincronizadamente, es decir, el impulsor No. 1 recibe las hojuelas, las retiene y las libera empujándolas al impulsor

No. 2 en donde se inicia nuevamente con este ciclo, este proceso continua hasta el impulsor No. 7, posteriormente las hojuelas pasan a la banda sumergidora.

Para que este flujo sea efectivo los impulsores están ajustados con una diferencia de 45° entre sí, el movimiento de este tren de impulsores se logra mediante un motor de 0,75 kW con una velocidad variable y atado mecánicamente por un sistema de transmisión piñón / cadena que se extiende a lo largo del tren de transmisión iniciando por el impulsor #7.

Ilustración 13

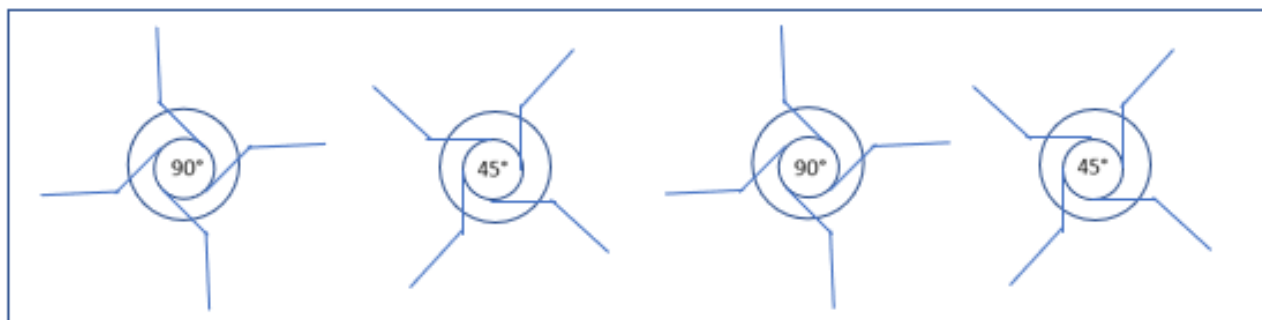
Esquema de impulsores



Nota: Esquema de impulsores o paletas del freidor. Fuente propia

Ilustración 14

Ángulos de los impulsores

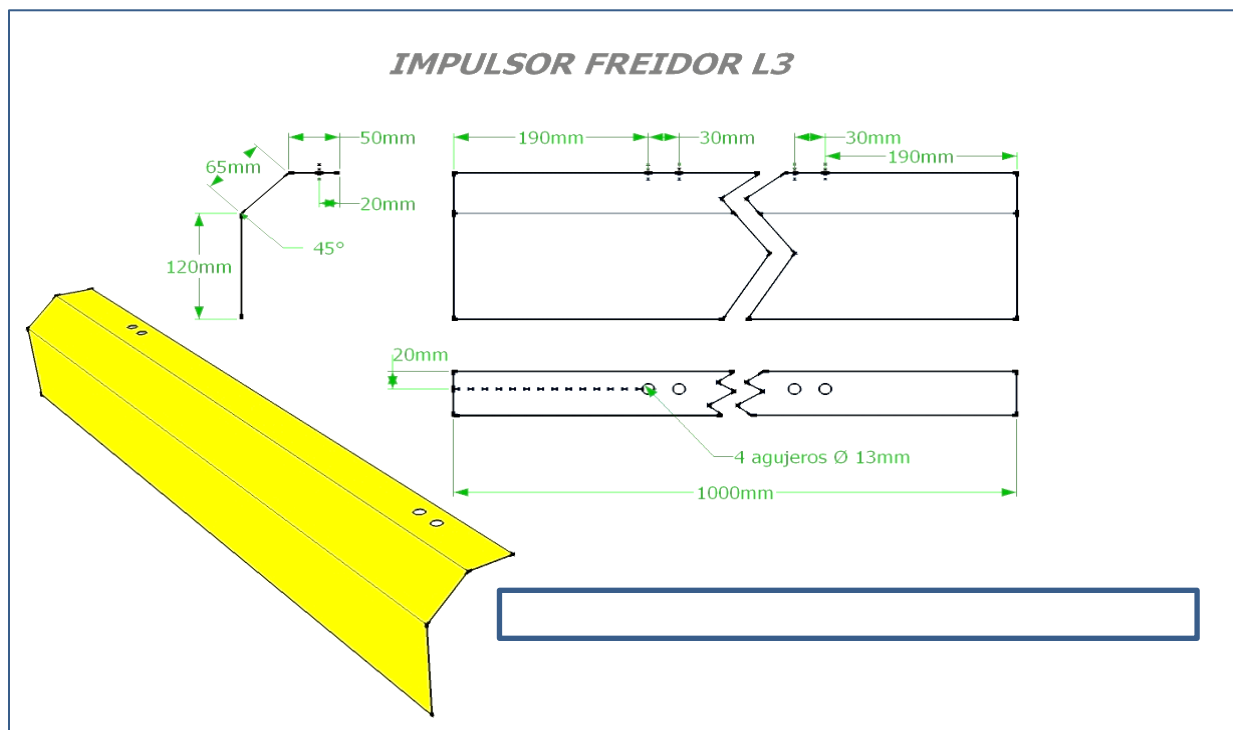


Nota: Los impulsores deben estar calibrados en esa secuencia para permitir un flujo correcto y deshidratación de la hoja de plátano. Fuente propia

Los impulsores tienen una longitud de 100cm y el ancho de la paila es de 102cm, lo cual se deja 1cm a lado y lado para evitar el roce.

Ilustración 15

Diseño de láminas impulsores



Nota: Cada sistema de impulso maneja 4 láminas de este tipo. Fuente propia

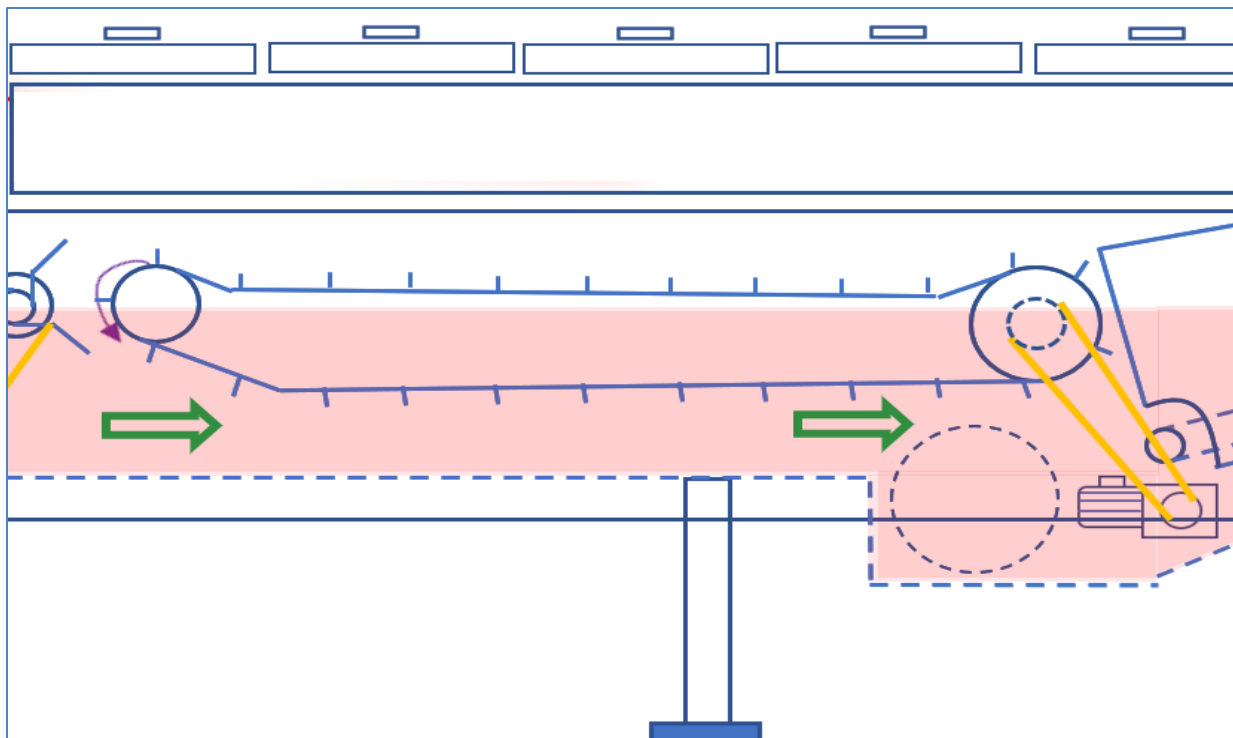
7.2.1.3.2 Banda sumergidora

La estructura de esta banda está suspendida mediante unos husillos roscados que permiten variar la altura entre la malla metálica y el fondo del sartén, para garantizar el proceso de fritura este espacio es de 6 cm.

La banda metálica de 99 centímetros de ancho cuenta con 40 empujadores de 5 cm de altura distribuidos cada 15cm, la cadena de transporte doble paso (50.80mm) tipo C2082H está montada en el eje conductor sobre piñones tipo 2082B18 y en el eje conducido sobre piñones del mismo tipo de 12 dientes, el sistema de transmisión es generado por un motor de 0.5 KW, con una velocidad ajustable fijada a través de un variador de frecuencia, el motor esta engranado a un sistema de piñón cadena paso 40

Ilustración 16

Banda sumergidora



Nota: Representación gráfica de la banda sumergidora. Fuente propia

7.2.1.3.3 Banda escurrido

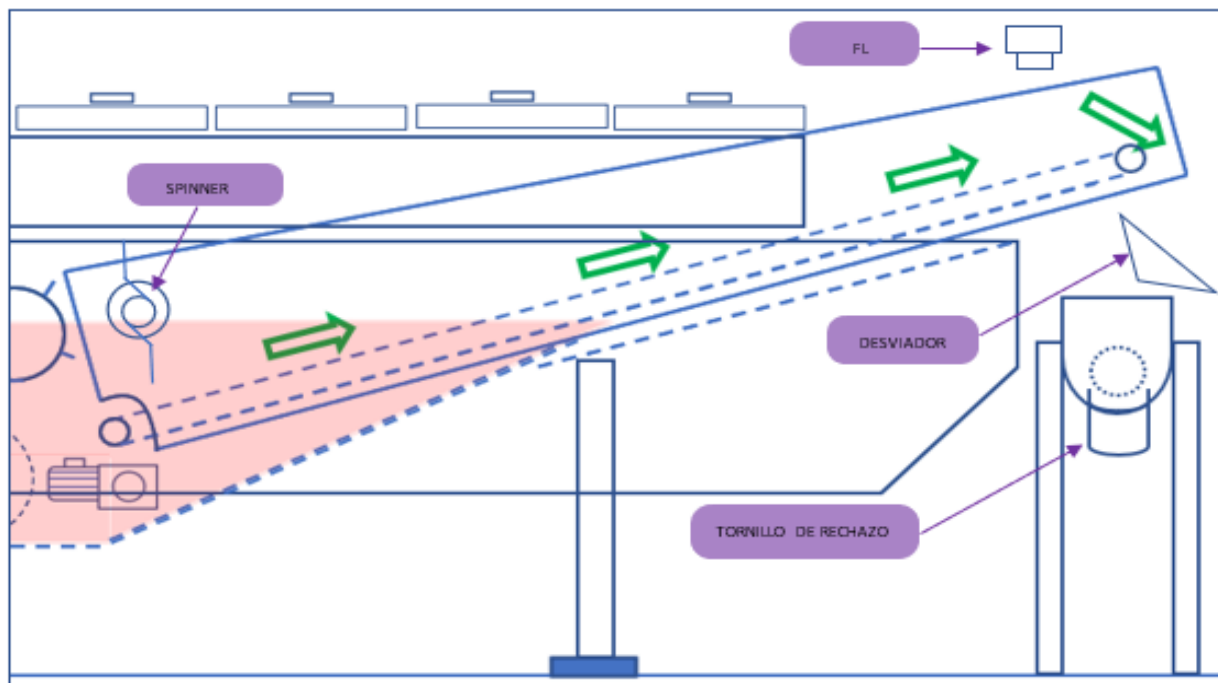
En la salida de esta etapa las hojuelas son llevadas a la banda de escurrido con la ayuda de un spinner que está atado mecánicamente con el eje conducido de la banda, el avance de este equipo es suministrado por un motor de 0.5 kW acoplado directamente al eje conductor.

Posteriormente las hojuelas pasan por la parte inferior de la banda sumergidora, el aceite permanece en un constante movimiento generado por una bomba Cornell 4HH-F16K, el aceite es tomado de la parte baja del freidor y llevado a través del catch box (filtro) en donde los residuos son retirados del aceite con la participación de una malla metálica y aire de corte generado por un soplador, posteriormente el aceite es llevado al precalentador del intercambiador en donde son aprovechados los gases de combustión para ganar temperatura, una vez se realiza el paso de aceite por el serpentín el precalentador, este pasa al intercambiador en donde se alcanza la temperatura requerida para el proceso, cuando el aceite realiza el pasó por los serpentines es enviado al distribuidor del bafle en donde se inicia recorrido del aceite.

Humedad y porcentaje de aceite son monitoreados en tiempo real bajo los parámetros establecidos por calidad, este monitoreo es realizado por el FL que se encuentra sobre la malla transportadora, cuando los rangos que no se encuentran dentro de lo establecido, al final de la banda se encuentra un desviador que cambia de posición para dejar pasar la hojuela o lleva al tornillo de rechazo, este movimiento se logra mediante un cilindro neumático.

Ilustración 17

Diagrama banda de escurrido



Nota: Representación gráfica de la banda de escurrido también conocida como banda desengrasante. Fuente propia

Ilustración 18

Sistema Spinner



Nota: Este sistema permite que la hojuela tenga un flujo adecuado para que ingrese a la banda desengrasante. Fuente propia

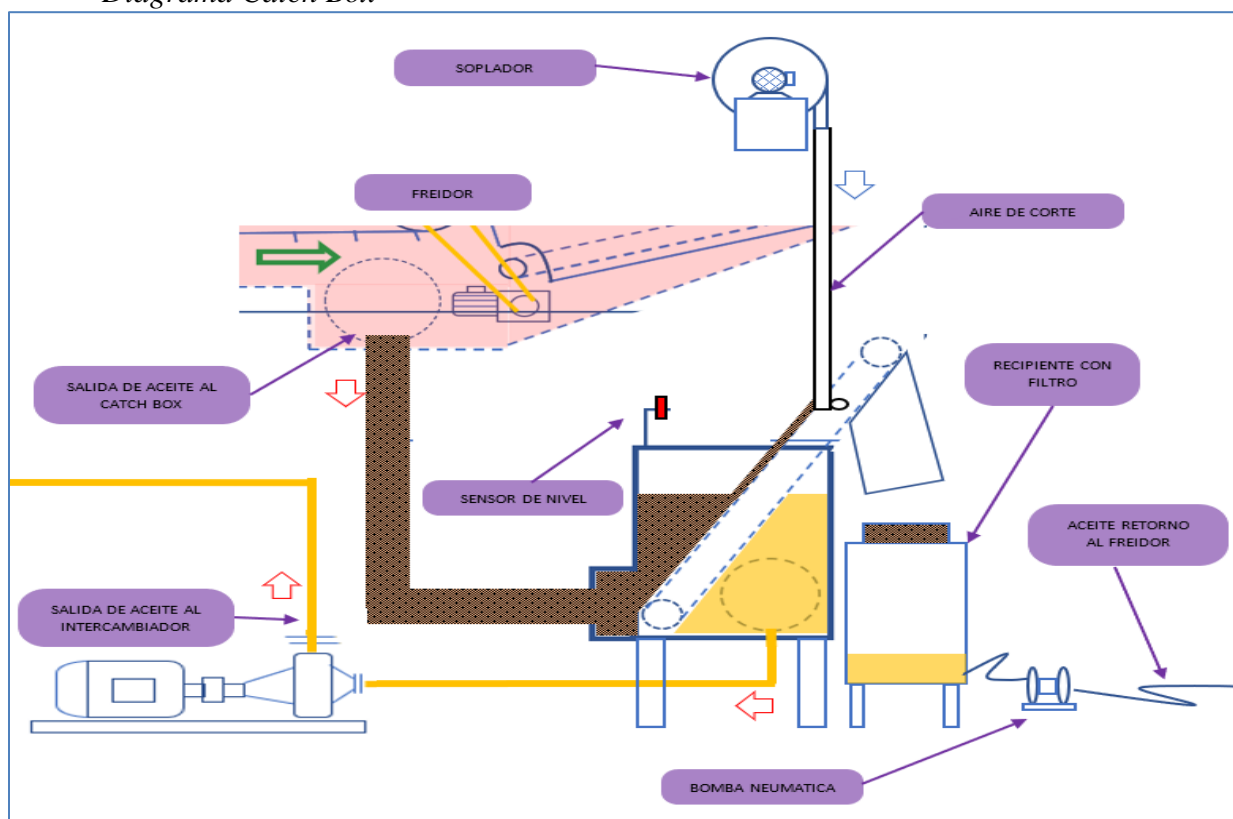
7.2.1.3.4 Catch Box

El freidor se conecta con el catch box por medio de una tubería en la parte inferior de los equipos, el catch box cuenta una malla metálica por la cual pasa el aceite y retiene los finos (ripio) generados en corte y fritura de la hojuela, estos finos son separados de la malla por aire de corte generado por un soplador, luego las particular caen en un contenedor dotado de un tamiz el cual actúa como un segundo filtro y por donde escurre el remanente de aceite que se encuentra en las hojuelas y ripio, en la parte baja del contenedor está conectado con una bomba neumática por medio de una manguera, el accionamiento de esta bomba es de forma manual

Adicionalmente por la parte superior del catch box se encuentra el sensor de nivel y las entradas de aceite

Ilustración 19

Diagrama Catch Box



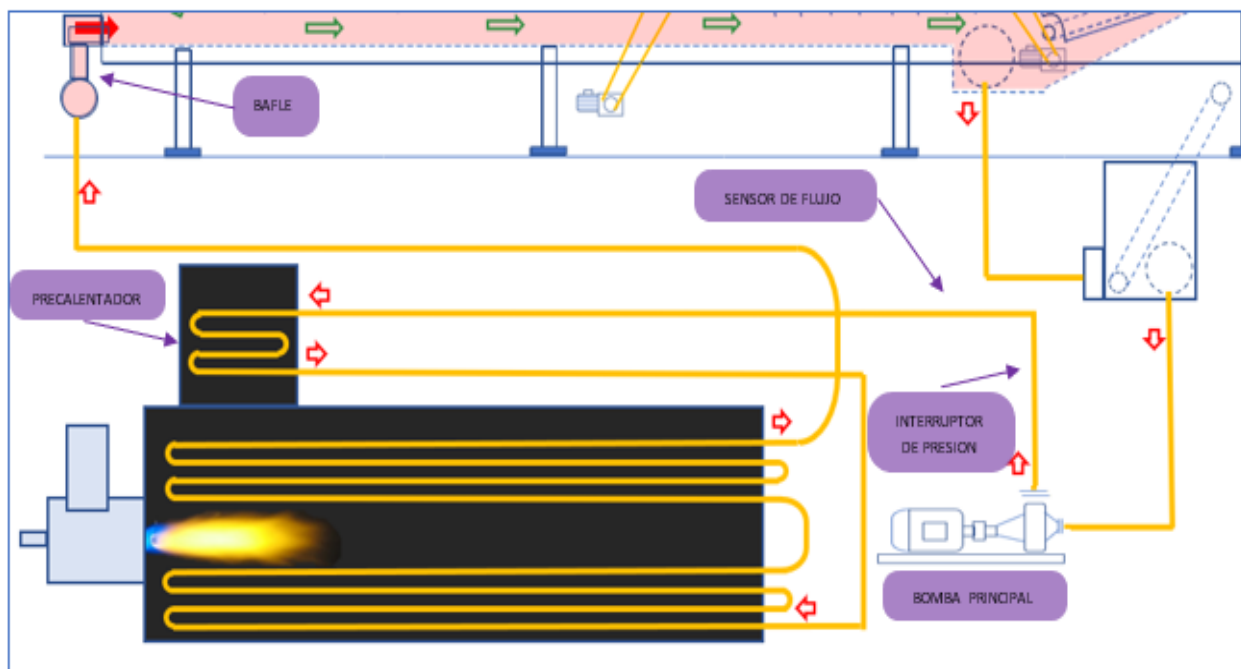
Nota: Este sistema filtra las partículas de plátano pequeñas Fuente propia

7.2.1.3.5 Intercambiador

El aceite permanece en un constante movimiento generado por una bomba Cornell serie 4HH-F16K, con un flujo máximo de 350 m³/hora y una presión máxima de 120 mwc, el aceite es tomado de la parte baja del freidor y llevado a través del catch, posteriormente el aceite es llevado al precalentador del intercambiador en donde son aprovechado los gases de combustión para ganar temperatura, una vez se realiza el paso de aceite por el serpentín del precalentador, este pasa al intercambiador en donde se alcanza la temperatura requerida para el proceso, la temperatura es generada por un quemador marca eclipse con una capacidad de 17000000 Btu/h, una vez que el aceite realiza el paso por los serpentines en la cámara de combustión es enviado al baffle en donde se inicia nuevamente el ciclo de flujo

Ilustración 20

Diagrama intercambiador de calor



Nota: Intercambiador de calor diseñado por la compañía Heat and Control Fuente propia

Tabla 21*Taxonomía sección de Freído*

Teniendo como guía la norma ISO 14224 se estableció un estándar para poder organizar los equipos de manera jerárquica lo que nos da la siguiente tabla para la sección de freído, muchos de los componentes y sub equipos se encontraron sin codificación en SAP, este es un punto importante en el camino de la optimización del mantenimiento actual de la línea de producción de plátano:

	Equipo	Sub equipo	Componentes	
			Descripción	Cantidad
SECCIONFRITURA	IMPULSORES SAP xxxxxxx No Serie 41836	MOTOREDUCTOR ▶SAP 10154044	> EURODRIVE S47DRS80S4 > MOTOR SEW > 0,75KW > 1730/85 RPM > 220V ▶SAP: 800202766	1
			RODAMIENTO 6205 ▶SAP: 800173900	1
			RODAMIENTO REF 6202-2ZR ▶SAP: 800174124	1
		SISTEMA DE TRANSMISIÓN SAP 10155589	PIÑÓN 40B15SS ▶SAP: 800170535	1
			PIÑÓN 40A49 ▶SAP: 800214380	7
			PIÑÓN 40A61 ▶SAP: 800214381	9
			BUJE TAPER ▶SAP: 800214382	7
			PIÑÓN 40B16 CON ALOJAMIENTO ▶SAP 800170540	7
			RODAMIENTO 6202 ▶SAP 800174124	7
			CADENA PASO 40 ▶SAP: 800167979	4
	BANDA SUMERGIDORA SAP: 10151164 No Serie 41836	MOTOREDUCTOR ▶SAP 10153699	> REDUCTOR SS20Q5660R/VSWDM3538 > MOTOR BALDOR > 0.5KW > 1740 RPM 60/1 > 230V MOTOR REDUCTOR SEW ▶SAP: 800174906	1
			RODAMIENTO DE 6205 2Z C3 SAP: 800174128	1
			RODAMIENTO ODE 6203 2Z C3 SAP: 800173896	1
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN SAP XXXXXXXX	PIÑÓN 40B30 SAP: 800172332	1	
		PIÑÓN 40B49 SAP: XXXXXXXX	1	

		CADENA PASO 40 ▶SAP: 800167979	1
		CHUMACERA FYTB 506 ▶SAP: 800170616	4
		RODAMIENTO YAR 206 ▶SAP: 80174165	4
		PIÑÓN 2082B12 ▶SAP: XXXXXX	2
		PIÑÓN 2082B18 ▶SAP: XXXXXX	2
		BANDA TRANSPORTADORA CADENA DE 2082 SAP: XXXXXX	7 m
BANDA DE ESCURRIDO SAP 10150973 No Serie 41838	MOTOREDUCTOR ▶SAP: 10153810	MOTOREDUCTOR MARCA: SEW EURODRIVE POTENCIA: 0,55KW VELOCIDAD: 1750/ 13 RPM VOLTAJE: 220V I NOMINAL (AMP): 2.6 SERIE: SA57/TDRS71M4 ▶SAP: 800191799	1
		RODAMIENTO DE SAP XXXXXXX	1
		RODAMIENTO DE SAP XXXXXXX	1
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN ▶SAP: 10155456	CHUMACERA REDONDA SAP: 800167904	2
		RODAMIENTO YAR 206 SAP: 80174165	2
		RODAMIENTO 6005 2RS2 C3HT SAP: 800232032	1
		BANDA TRANSPORTADORA INOX SAP: 800168603	7mt
		PIÑON 2042B10 SAP: 800172263 (PARA MAQUINAR)	3
		BUJE TEFLÓN SEGÚN PLANO	1
	SPINNER ▶SAP: 10207961	CHUMACERA FYTB 506 ▶SAP: 800170616	2
		RODAMIENTO YAR 206 2 FW SS ▶SAP: 800174269	2
		PINON 40B16 SS D. EJE30MM CUN5/16 INOX ▶SAP: 800172303	1
		RODAMIENTO 6004 ▶SAP: 800174108	2
		PIÑÓN 40B16 CON ALOJAMIENTO ▶SAP: 800172305	2
		PIÑÓN 40B15 SS EJE 25, CUÑA 1/4 ▶SAP: 800172300	1
CADENA PASO 40 ▶SAP: 800167978		2mts	
CATCH BOX FREIDOR 10151634	MOTOREDUCTOR SAP: 10154043	MOTOREDUCTOR MARCA: SEW EURODRIVE POTENCIA: 0,37KW VELOCIDAD: 1750/ 19 RPM VOLTAJE: 220V I NOMINAL (AMP): 0,92 SERIE: R37DRS71S4 ▶SAP:	1
		RODAMIENTO DE 6302 2Z SAP: 800173925	1
		RODAMIENTO REF 6202-2ZR ▶SAP: 800174124	1
		CHUMACERA FYTB 504 ▶SAP: 800173194	2

	SISTEMA DE TRANSMISIÓN SAP 10155497	RODAMIENTO YAR 204 2F ▶SAP: 800174260	2	
		PIÑÓN 2042B9 ▶SAP: 800172262	1	
		PIÑÓN 40B20 ▶SAP: XXXXXXXXXX	2	
		PIÑÓN 40B15 (MOTOR) ▶SAP: XXXXXXXXXX		
		PIÑÓN 2042B16 ▶SAP: 800172264	2	
		BUJE ALTA TEMPERATURA ▶SAP: XXXXXXXXXX	2	
		BANDA TRANSPORTADORA ▶SAP: 800166838	3.5	
	MOTO VENTILADOR SAP: 10154045	MARCA: BALDOR POTENCIA: 3 HP VELOCIDAD: 3460 RPM VOLTAJE: 220V I NOMINAL (AMP): 7,6 FRAME: 182T SERIE: EM3660T ▶SAP: XXXXXXXX	1	
		RODAMIENTO DE 6205 2Z C3 ▶SAP: 800174128	1	
		RODAMIENTO ODE 6206 2Z C3 ▶SAP: 800174000	1	
	BANDA SALIDA FREIDOR (ENFRIAMIENTO) SAP: 10151139	MOTOREDUCTOR ▶SAP: 10153263	MARCA: SEW EURODRIVE POTENCIA: 0,75KW VELOCIDAD: 1750/ 21 RPM VOLTAJE: 220V I NOMINAL (AMP): 1.74 SERIE: SA57TDRS80S4 ▶SAP: 800189042	1
			RODAMIENTO DE ▶SAP XXXXXXXX	1
			RODAMIENTO DE ▶SAP XXXXXXXX	1
		SISTEMA DE TRANSMISIÓN ▶SAP: 110155338	CHUMACERA SP 208 ▶SAP: XXXXXXXX	2
RODAMIENTO 208 - 24 ▶SAP: XXXXXXXX			2	
PIÑÓN ▶SAP: XXXX				
CHUMACERA SPL 208 SAP: XXXXXXXX			2	
RODAMIENTO 208 - 24 SAP: XXXXXXXX			2	
PIÑÓN ▶SAP: XXXX				
MALLA ▶SAP: XXXXX				
VENTILADOR AXIAL DE 16" SIEMENS 220V ▶SAP: 800175590 VENTILADOR AXIAL 16" SIEMENS 220V	1			
TORNILLO DE RECHAZO SAP: xxxxxxx	MOTORREDUCTOR ▶SAP:	MOTOREDUCTOR MARCA: SEW EURODRIVE POTENCIA: 0,75KW VELOCIDAD: 1750/ 192 RPM VOLTAJE: 220V I NOMINAL (AMP): 3,45 SERIE: S37DRSS0S4 ▶SAP: XXXXXX	1	
		SISTEMA DE TRANSMISIÓN SAP:		
		CHUMACERA 4 HUECOS ▶SAP: 800167898	2	
	RODAMIENTO YAR 206 2 FW SS ▶SAP: 800174269	2		

		PIÑÓN 50B12 ▶SAP:	1
		PIÑÓN 50B28 ▶SAP:	1
		CADENA PASO 50 ▶SAP: 800172106	1mt
		CILINDRO 40-200 800167725	1
		4M310-08 AC 110 VALVULA SOLENO AIRMATIC SAP: 800169021	1
SISTEMA DE ELEVACION # 1 SAP: 10152476 DUFF-NORTON	MOTORREDUCTOR SAP:	RODAMIENTO 6205 2Z C3 SAP: 800174128	2
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN SAP:	RODAMIENTO AXIAL 51108 SAP: 800173065	4
		RODAMIENTO 6003 SAP: 800174107	4
		CADENA PASO 40 SAP: 800167978	2
SISTEMA DE ELEVACION # 2 SAP: 10152477 DUFF-NORTON	MOTORREDUCTOR SAP:	RODAMIENTO 6205 2Z C3 SAP: 800174128	2
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN SAP:	RODAMIENTO AXIAL 51108 SAP: 800173065	4
		RODAMIENTO 6003 SAP: 800174107	4
		CADENA PASO 40 SAP: 800167978	2
BOMBA ACEITE FREIDOR SAP: 10151297	MOTOR ▶SAP: 10153274	MARCA BALDOR POTENCIA 60HP VELOCIDAD:1780 RPM VOLTAJE: 230V I NOMINAL (AMP) 140 MOTOR BALDOR EM4314T SAP: 800190671	1
		RODAMIENTO DE 6313 2RS1 SAP: 800173091	1
		RODAMIENTO ODE 6313 2RS1 SAP: 800173091	1
		ACOPLE OMEGA E-30 SAP: 800168431	1
	BOMBA ▶SAP	BOMBA 4HH-F16K MARCA: CORNELL PUMP COMPANY MODEL: 4HH FRAME: F16 K DESCARGA: 4" SUCCIÓN: 6" ▶SAP: SAP: 800169017	1
		RODAMIENTO DE 6313 2Z C3 SAP: 800174005	1
		RODAMIENTO ODE 6313 2Z C3 SAP: 800174006	1
		SELLO MECÁNICO SAP: 800173141	1
		RETENEDOR METÁLICO 2 1/2" X 3 3/4" X 7/16 SAP: 800180553	2
		4140 EJE BOMBA CORNELL EXT 76MM X 740MM ▶SAP: 800234099	1
		IMPELLER CORNELL D2820-3CI-R SAP: 800180554	1

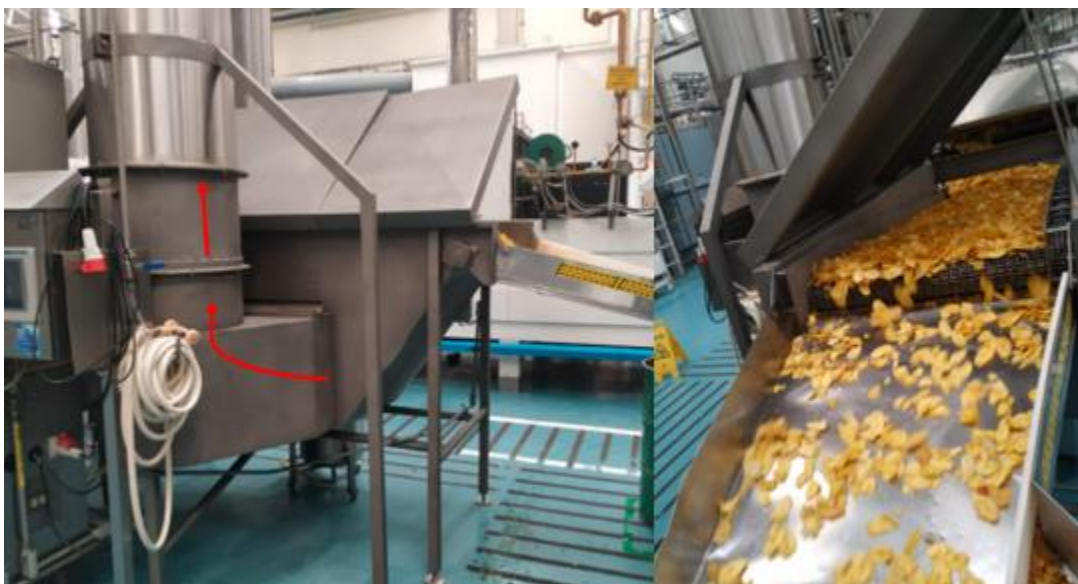
Nota: Taxonomía sección de lavado. Fuente propia Continúa AMEF (análisis de modos y efecto de fallas), y criticidad de equipos sección de transporte, ver anexo hoja 10 y 11 documento de Excel

7.2.1.4 Sección de secado

En esta zona lo que se busca es bajar la temperatura de los chips de plátano ya fritos para que se mezclen con los otros productos o simplemente para que sea empacado como un producto conocido como Natuchips, este proceso se lleva a cabo por medio de una malla que es el último punto de la línea de plátano y lo que provoca el enfriamiento de los chips es un ventilador con un sistema de extracción por debajo de la banda tal y como se muestra en la siguiente imagen:

Ilustración 21

Sistema de enfriamiento chips plátano

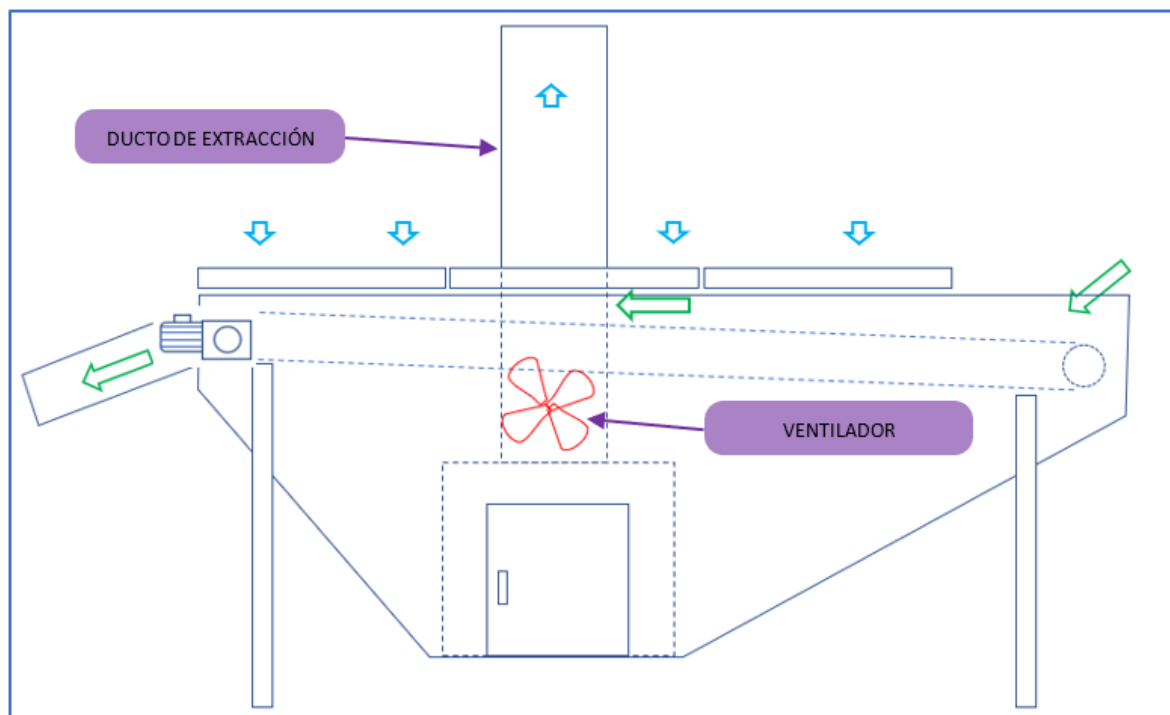


Nota: Este proceso permite que el chip baje su temperatura para que pueda ser empacado y no afecte el papel de empacado. Fuente propia

Hay un motor con una potencia de 1hp en el ducto que extrae el calor de los chips hacia la zona de la cubierta de planta tal y como indican las flechas en la ilustración, la banda de enfriamiento tiene un variador de frecuencia que trabaja a 45Hz a una velocidad de 13 revoluciones por minuto.

Ilustración 22

Diagrama explicativo sistema enfriamiento



Nota: El ducto sale del enfriador hasta la cubierta exterior de la planta Fuente propia

7.2 Desarrollo de Análisis de Modos, efectos de falla y criticidad de la línea de plátano

Una vez realizado el contexto operacional y estableciendo la taxonomía recomendada para incluir en SAP de acuerdo con las directrices de la norma ISO 14224, se procede a realizar el análisis de modos, efectos de falla y criticidad de la línea de plátano, basados en el funcionamiento detallado y la delimitación de cada sistema, estimando cuáles serían las principales fallas funcionales de cada equipo en las secciones de la línea y para cada función asociar los ítems mantenibles que podrían verse afectados, asociando los efectos que cada falla ocasionara en el proceso normal de la línea, sus consecuencias y las causas por las que estas fallas se ocasionan, por medio de esta herramienta se puede estimar la severidad, ocurrencia y la

detección de fallas por medio de un número de prioridad de riesgo. Este proceso está alineado con SAE JA1011/1012.

El análisis detallado continúa en los anexos de Excel en las hojas 4 y 5 para la sección de rebanado, 7 y 8 para la sección de lavado, 10, 11, 12 y 13 para freído y combustión

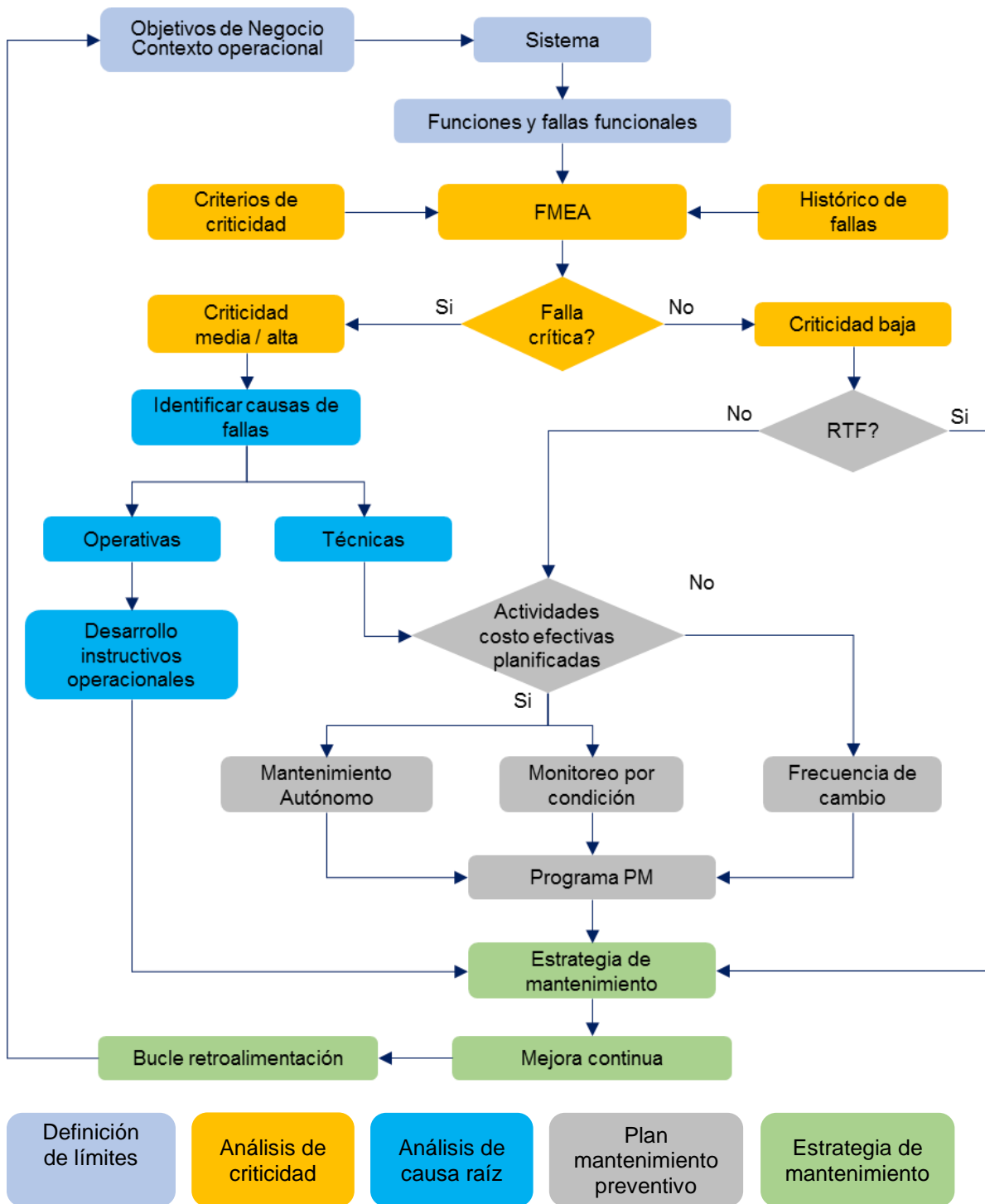
7.3 Propuesta de mejoras del plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento en definitiva es el programa que se ejecutara para mitigar o eliminar la ocurrencia de las averías en la línea de producción de chips de plátano, para poder establecer un programa aterrizado de acuerdo con los recursos humanos y técnicos se programaron 3 reuniones en donde participaron: el gerente de mantenimiento, el coordinador de mantenimiento, el técnico líder de la línea, el planeador, operario y el facilitador RCM.

Los planes de mantenimiento son plasmados por medio de matrices con el fin de facilitar la carga masiva al CMMS que por sus siglas en ingles traducen Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora, que en este caso es SAP y están guiadas por el diagrama de decisión de mantenimiento definido por Pepsico alimento para sus equipos:

Ilustración 23

Diagrama de decisión de mantenimiento



Definición de límites

- Definición de equipos de planta.
- Definición de jerarquía (sistemas e ítem mantenible).
- Funciones del sistema.

Análisis de criticidad

- Definición de falla funcional.
- Definición de modos de falla basado en registros y fallas típicas (AMEF).
- Cálculo de NPR según tabla de severidad, ocurrencia y detención.
- Funciones del sistema.
- RTF (Run to failure) Equipos a falla

Análisis de causa raíz

- Ciclo para prevenir la recurrencia de fallas.
- Proceso PDCA para solución de problemas.
- Diagrama Ishikawa, 5 por qué?, lluvia de ideas, etc.
- Cumplimiento de acciones recomendadas (contramedidas).

Plan mantenimiento preventivo

- Matrices de mantenimiento planeado (plan mtto anual).
- Generación de órdenes de trabajo en SAP.
- Actividades costo – efectivas (inspecciones con equipos en operación, intervenciones con paro <1hr, costo de ejecución < USD 100).
- Tareas de mantenimiento (autónomo, monitoreo por condición, frecuencia de cambio).
- Prekitting de repuestos previa a los paros programados,

Estrategia de mantenimiento

- Misión – Visión del área de mtto.
- Establecer entradas → proceso → salidas del área de mtto.
- Estructura de mantenimiento (definición de roles y funciones de cargo).
- Definición de objetivos básicos a través del tiempo.
 1. Tiempo muerto no planeado.
 2. Disponibilidad técnica.
 3. Cumplimiento de mtto planeado.
 4. Presupuesto de mantenimiento.
- Estrategia de confiabilidad (desarrollo de RCM).
- Criticidad de componentes (inventario).

La metodología a utilizar para la definición de las actividades se desarrolló de la siguiente manera:

1. Basado en el diagrama de decisiones para identificar las actividades costo efectivas y cuales por su forma constitutiva se correrían a la falla (RTF), con el apoyo de la criticidad de los equipos en conjunto con el NPR (Número de Prioridad de Riesgo) de tal manera que se pueda definir la criticidad de la actividad, que posteriormente servirá para elaborar un diagrama de Gantt en las jornadas definidas para mantenimiento, de esta manera se puede priorizar la jornada de ejecución.
2. A cada causa de falla identificada y asociada en la matriz se le asocia una o más actividades de mantenimiento.
3. Para aquellas actividades costo efectivas se determina cuales se pueden ejecutar con los equipos en funcionamiento de tal manera que se establezcan tareas predictivas basadas en un monitoreo por condición.
4. Son clasificadas las tareas que los operarios podrán ejecutar basados en un mantenimiento autónomo, así como también aquellas que por su complejidad técnica se deben ejecutar por líderes de mantenimiento y la cantidad de recurso humano que se debe designar para cada actividad.
5. Se determinan las actividades que requieren una frecuencia periódica de ejecución para recambio de piezas debido a que no se puede establecer una métrica para el monitoreo de alguna variable que nos pueda indicar la proximidad a una avería.
6. La frecuencia para aquellas actividades que no se pueden monitorear por condición es definida por el MTBF (tiempo medio entre falla), que se toma de la información registrada en SAP dando una frecuencia inicial que se puede modificar de acuerdo

con la reforma de características técnicas del medio o del equipo, si la actividad está basada en un monitoreo por condición se realiza una medición de las variables con una periodicidad bimestral como mínimo para llevar una tendencia del comportamiento del equipo, esto es definido por la estrategia del área de mantenimiento de la compañía.

7. El tiempo para la ejecución se encuentra asociado a la estadística de duración de esta actividad o de actividades similares, si la actividad propuesta nunca se ha realizado, se comprende la dificultad de realizarlo basado en el contexto operacional y se estima un tiempo que se actualizará a medida que se ejecute y optimice la duración.

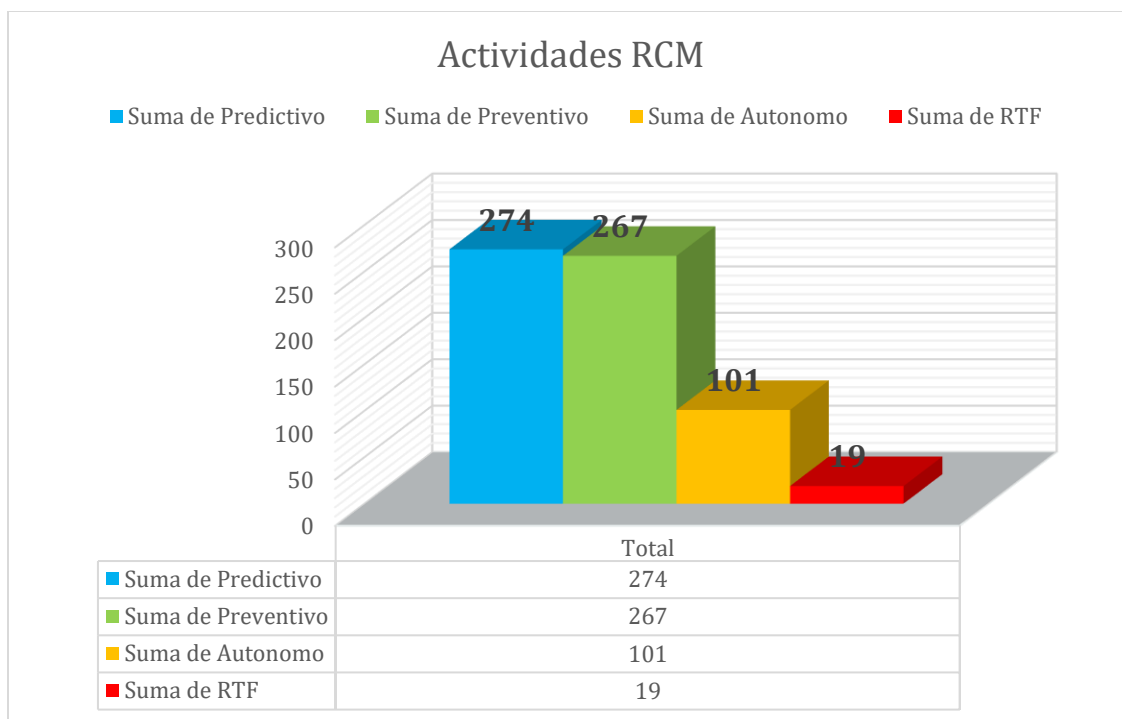
Una vez realizada la matriz de mantenimiento se comparte esta información al planeador para realizar la carga masiva al sistema SAP e iniciar la programación de las actividades planeadas.

8. Resultado RCM línea plátano

La optimización del plan de mantenimiento para la línea de plátano dio como resultado 661 actividades para su implementación. Actividades que han sido clasificadas como: mantenimiento autónomo, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo y RTF (Run to failure)

Ilustración 24

Actividades a ejecutar



Nota: Cantidad de actividades a desarrollar en el plan de mantenimiento una vez que fue planteado por metodología RCM Fuente propia

El 41% con 274 actividades corresponden a mantenimientos predictivos, este tipo de actividades son las que más predominan y nos permiten anticiparnos a posibles fallas o averías en la línea, reduciendo el número de intervenciones correctivas, aumentando así la prolongación de la vida útil de los equipos, además de la disminución del tiempo de inactividad de la línea, entre otros beneficios para la operación, cabe mencionar que la mayoría de las actividades se pueden ejecutar con la línea encendida por lo que no se vería afectada la producción, los mantenimientos predictivos que se van a utilizar en el plan de mantenimiento son:

- Análisis de vibración
- Termografía
- Ultrasonido
- Medición de consumo

En una posición similar se ubica los mantenimientos preventivos con una participación del 40% con 267 actividades. El objetivo de estas actividades es aumentar la vida útil de los activos

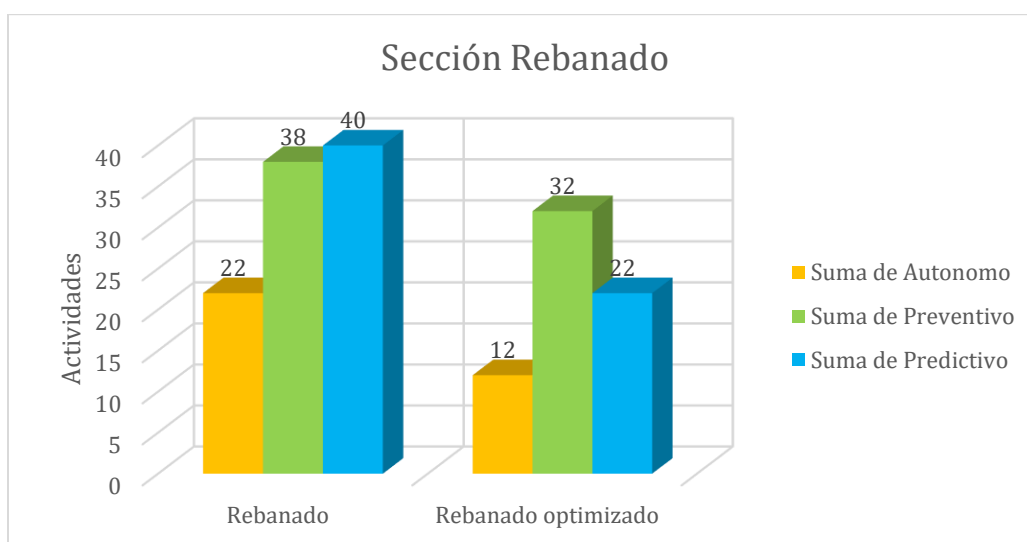
evitando el deterioro de los equipos, esto incluye cambiar piezas con desgaste y algo muy impórtate como la limpieza, inspección, lubricación y calibración de los equipos con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la línea.

Con el 15% y con 101 actividades se encuentra el mantenimiento autónomo, este tipo de actividad busca involucrar a los operadores de la línea con el fin de generar una cultura de interés, sentido de pertenencia y compromiso con las máquinas y así mantener en condiciones ideales de funcionamiento a los equipos, el operador se va a convertir en un sensor humano para detectar anomalías que puedan impactar en la producción y en altos costos de mantenimiento.

El 3% pertenece al RTF (Run to failure) con 19 actividades, este tipo de actividad no tiene contemplado un plan preventivo ni plan predictivo ya que no tiene un impacto significativo en producción ni en mantenimiento simplemente se deja hasta que el equipo falle para ejecutar su remplazo.

Ilustración 25

Optimización sección rebanado

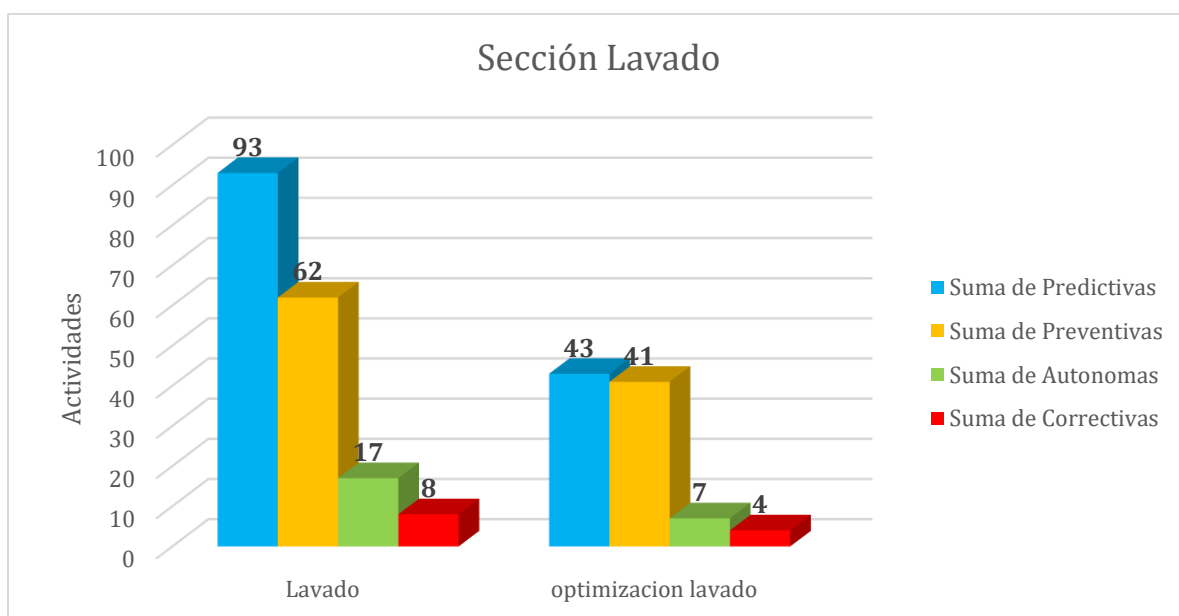


Nota: optimización de actividades de la sección de rebanado una vez fue planteado la metodología RCM Fuente propia

Para la sección de rebanado arrojó 100 actividades de las cuales 40 son acciones predictivas, 38 actividades preventivas y 22 actividades autónomas, se realizó el análisis del plan de mantenimiento de la sección de rebanado en donde se logró optimizar las actividades ya que algunas de las acciones se repiten para los diferentes equipos, con una reducción del 44% en actividades

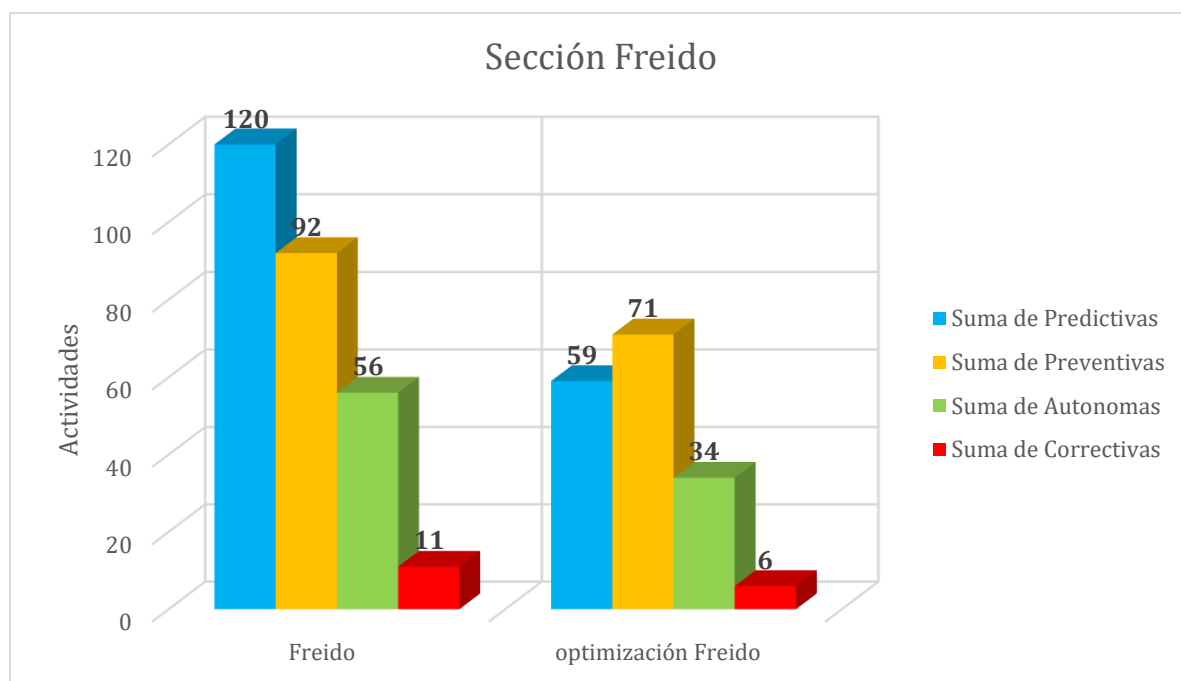
Ilustración 26

Optimización sección lavado



Nota: optimización de actividades de la sección de lavado una vez fue planteado la metodología RCM Fuente propia

La sección de lavado dio como resultado 180 actividades de las cuales 93 son actividades predictivas, 62 actividades preventivas, 17 actividades autónomas y 8 actividades correctivas (Run to failure), se realizó el correspondiente análisis del plan de mantenimiento de esta sección en donde se logró optimizar un 47% las actividades, pasando de 180 actividades al inicio del análisis y terminar con 95 actividades a ejecutar

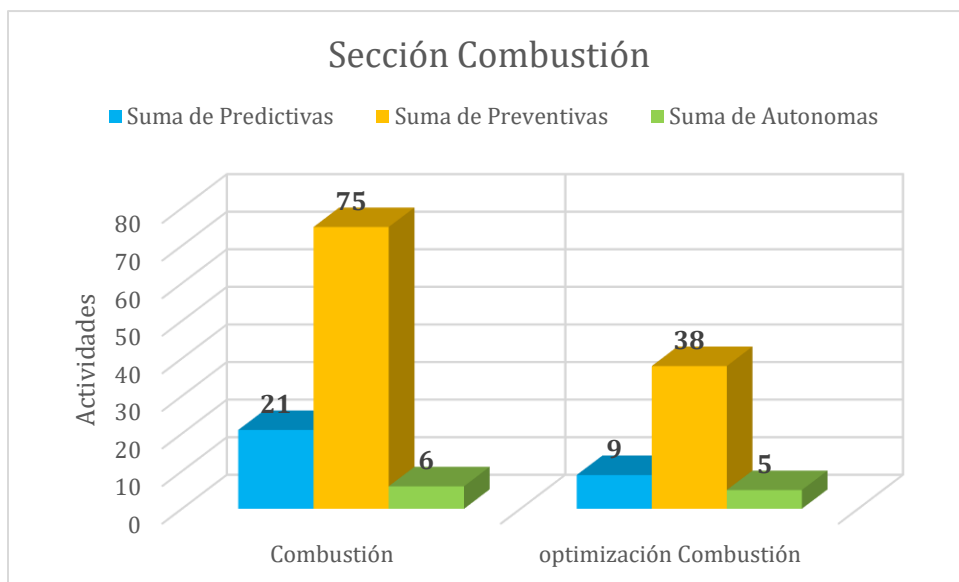
Ilustración 27*Optimización sección freído*

Nota: optimización de actividades de la sección de freído una vez fue planteado la metodología RCM Fuente propia

Para la sección de freído dio como resultado 279 acciones a desarrollar de las cuales 120 son actividades predictivas, 92 actividades preventivas, 56 actividades autónomas y 11 correctivas (Run to failure), se realizó el correspondiente análisis del plan de mantenimiento de esta sección de la línea de plátano, en donde se logró optimizar un 39% las actividades, pasando de tener inicialmente 270 actividades a 170 actividades para su ejecución

Ilustración 28

Optimización sección combustión



Nota: optimización de actividades de la sección de combustión una vez fue planteado la metodología RCM Fuente propia

Para la sección de combustión arrojó 102 actividades de las cuales 21 son acciones predictivas, 75 actividades preventivas y 6 actividades autónomas, se realizó el análisis del plan de mantenimiento de la sección de combustión, en donde se logró optimizar un 51% las actividades, pasando de tener inicialmente 102 actividades a 52 actividades para su ejecución.

9. Análisis financiero

El presente análisis muestra la relación detallada de los costos del proyecto como equipos, instalaciones y la organización requerida para llevar a cabo el proyecto, además de mostrar su rentabilidad a un largo plazo.

Los costos y gastos de operación de la compañía para la implementación de optimización del plan de mantenimiento actual en la línea de plátano de PepsiCo alimentos alcanzaron un total de \$187.090.000 en cinco meses

Tabla 22*Proyección Financiera*

		PROYECCION FINANCIERA				
		Pesos Colombianos				
PROYECTO:		Aplicación de RCM a linea de platano				
DESARROLLADO POR:		Ing. Jackson David Torrez, Ing. Juan David Perez				
		PROYECCIÓN FINANCIERA DETALLADA				
INGRESOS		Proyeccion al año 2022				
00.	Ingresos por conceptos de ventas (%)	1,12% que representa a 45 toneladas				
00.	Ingresos (repuestos - mano de obra)	18,076,292				
	TOTAL	18,076,292				
EGRESOS		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
01.	Talento humano	\$ 3.670.000	\$ 3.670.000	\$ 3.670.000	\$ 3.670.000	\$ 1.835.000
02.	Equipos y software	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 154.950.000
03.	Capacitación y participación en eventos	\$ -	\$ -	\$ 3.700.000	\$ -	\$ 9.400.000
04.	Administrativos	\$ 145.000	\$ 145.000	\$ 145.000	\$ 145.000	\$ 145.000
	TOTAL	\$ 4.265.000	\$ 4.265.000	\$ 7.965.000	\$ 4.265.000	\$ 166.330.000

distribuidos de la siguiente manera: \$16.515.000 por concepto de gastos por talento humano, \$156.750.000 en costos de equipos y software, \$13.100.000 en gastos de programas de capacitación y participación a eventos y \$725.000 en gastos administrativos. Reflejando una participación del 82.82% los costos en equipos y software del mes 5, seguidos de los gastos en programas de capacitación y participación a eventos con el 5.2% en el mismo mes.

Tabla 23*Gastos Talento Humano*

DESCRIPCIÓN DE LOS GASTOS DE TALENTO HUMANO										
NOMBRE	FUNCIÓN	DEDICACIÓN (h/sem)	SEMANAS	VALOR HORA (\$)	TOTAL	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5
Hector Usuga	Gerente	5	18,0	\$ 18.000	\$ 1.620.000	\$ 360.000	\$ 360.000	\$ 360.000	\$ 360.000	\$ 180.000
Juan David Perez	facilitador	25	18,0	\$ 10.500	\$ 4.725.000	\$ 1.050.000	\$ 1.050.000	\$ 1.050.000	\$ 1.050.000	\$ 525.000
Jackson David Torrez	coordinador	25	18,0	\$ 15.200	\$ 6.840.000	\$ 1.520.000	\$ 1.520.000	\$ 1.520.000	\$ 1.520.000	\$ 760.000
Danilo Carreño	Planeador	8	18,0	\$ 12.500	\$ 1.800.000	\$ 400.000	\$ 400.000	\$ 400.000	\$ 400.000	\$ 200.000
Rafael Camargo	Operador	10	18,0	\$ 8.500	\$ 1.530.000	\$ 340.000	\$ 340.000	\$ 340.000	\$ 340.000	\$ 170.000
TOTAL					\$ 16.515.000	\$ 3.670.000	\$ 3.670.000	\$ 3.670.000	\$ 3.670.000	\$ 1.835.000

los gastos talento humano presentan un comportamiento igual para los meses 1,2,3,4 y una reducción en el mes 5.

Tabla 24*Costos Administrativos*

DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COSTOS ADMINISTRATIVOS									
COSTOS ADMINISTRATIVOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL	Totales	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
servicios (internet, energía, agua)	1	\$ 120.000	\$ 120.000,00	\$ 600.000	\$ 120.000	\$ 120.000	\$ 120.000	\$ 120.000	\$ 120.000
	1	\$ 25.000	\$ 25.000,00	\$ 125.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000	\$ 25.000
		TOTAL	\$ 145.000,00	\$ 725.000	\$ 145.000	\$ 145.000	\$ 145.000	\$ 145.000	\$ 145.000

los gastos administrativos presentan un comportamiento igual para los meses 1,2,3,4 y 5 de \$145.000 pesos mcte distribuidos en servicios de energía e internet

Tabla 25*Capacitación y eventos*

DESCRIPCIÓN DE CAPACITACIÓN Y EVENTOS											
Proveedor	Tema de la capacitación o evento	No. de días	No. De personas	Costo de capacitación por persona	Costo capacitación total	Totales	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
SKF	Análisis de vibración nivel 1	5	2	\$ 2.500.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000					\$ 5.000.000
SKF	Termografía nivel 1	5	2	\$ 2.200.000	\$ 4.400.000	\$ 4.400.000					\$ 4.400.000
SKF	RCM	5	2	\$ 1.850.000	\$ 3.700.000	\$ 3.700.000			\$ 3.700.000		
				TOTAL	\$ 13.100.000,00	\$ 13.100.000	\$ -	\$ -	\$ 3.700.000	\$ -	\$ 9.400.000

Es de resaltar que la inversión en programas de capacitación y participación a eventos solo se presentan en el mes 3 y 5 de la implementación del proyecto. Así mismo, que la implementación fue llevada a cabo con 2 recursos de talento humano desempeñando funciones de Facilitador y Coordinador, con dedicación promedio de 25 horas en la semana.

Tabla 26*Cuantificación de Equipos*

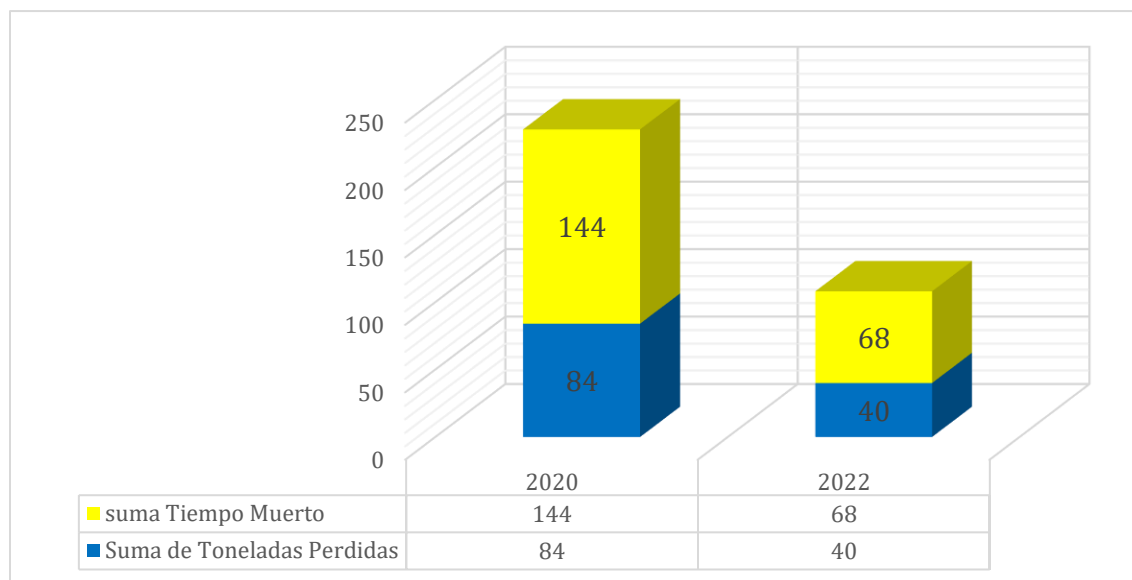
DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS Y SOFTWARE									
EQUIPOS Y SOFTWARE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL	Totales	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Analizador de vibraciones	1	\$ 80.000.000,00	\$ 80.000.000,00	\$ 80.000.000					\$ 80.000.000,00
Camara termografica	1	\$ 65.000.000,00	\$ 65.000.000,00	\$ 65.000.000					\$ 65.000.000,00
Alineador laser	1	\$ 7.000.000,00	\$ 7.000.000,00	\$ 7.000.000					\$ 7.000.000,00
Alineador correas	1	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000					\$ 2.500.000,00
software (SAP, excel)	1	\$ 450.000,00	\$ 450.000,00	\$ 2.250.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 450.000
		TOTAL	\$ 154.950.000,00	\$ 156.750.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 450.000	\$ 154.950.000

En el mes 1 hasta el mes 4 se utilizaron equipos de cómputo y softwares, en el mes 5 se procedió a la compra de herramienta especializada para aplicación de actividades predictivas con un valor en total de 154.950.000

En la actualidad, la producción diaria de la línea de plátano tiene un promedio de 14 toneladas distribuidas en 3 turnos compuestos de 8 horas cada uno de lunes a sábado. Su producción total anual supera las 4000 toneladas, sin embargo, dicha productividad se ve afectada por los tiempos muertos que se presenta por las diferentes averías que requieren intervención de mantenimiento. Para el año 2020 el tiempo muerto tuvo un comportamiento del 1.9% que representa 144 horas de averías lo que conllevó a que se dejaran de producir 84 toneladas de plátano, que representaron un 2.1% de la producción total en el año, impactando significativamente en los ingresos de la empresa.

Ilustración 29

Tiempos muertos/toneladas perdidas



Con el presente proyecto de implementación de RCM a la línea de plátano se proyectó una disminución por debajo del 1% en tiempos muertos lo que representaría a 44 toneladas más de producción mejorando los ingresos por conceptos de ventas en 1.12%.

Adicionalmente se reducirá los mantenimientos preventivos que involucran mano de obra técnica y repuestos con un alto costo con un valor de \$18.076.292 al año, se remplazarán actividades por el mantenimiento predictivo que no requiere que el equipo este parado y menos costos por mano de obra garantizando mayor productividad y mejores ingresos para la compañía

10. Conclusiones

Una vez finalizado el RCM de la línea de producción de chips de plátano se puede concluir:

- La estrategia de mantenimiento que se disponía se basaba solamente en el recambio de componentes con una frecuencia determinada para el mantenimiento preventivo sin medir alguna variable que indique el momento de falla. Es así como surge la propuesta de realizar un RCM para optimizar esta estrategia e implementar actividades costo – efectivas que resulten en mejorar la disponibilidad de los equipos y optimizar el presupuesto de mantenimiento, por ese motivo se incorporan actividades autónomas y de monitoreo por condición como soporte del plan de mantenimiento actual, igualmente se identificaron actividades de recambio los cuales por la dificultad de medir alguna variable finalmente se implementaron.
- Durante el desarrollo del RCM se identificaron oportunidades en el estado de los equipos y en el plan de mantenimiento vigente, iniciando por la taxonomía que se disponía la cual no cumplía con ninguna norma y que durante las sesiones realizadas se han creado códigos de sub-equipos e ítem mantenibles, adicionalmente se identificaron equipos los cuales no estaban creados en SAP.
- el análisis de criticidad es un factor muy importante que se deber tener en cuenta en la elaboración del RCM ya que de acuerdo con su ponderación se estimara que tan compleja puede ser la falla para priorizar las actividades de mantenimiento necesarias y mitigar su impacto, además de los diferentes factores que se van a

ver afectados si se presenta la falla como lo son el factor de producción, seguridad, medio ambiente, calidad, mantenibilidad y finanzas.

- Las actividades predictivas como análisis de vibraciones, termografía y ultrasonido son importantes para optimizar los tiempos de ejecución, con este tipo de mantenimiento nos anticipamos a posibles fallas o averías en la línea de producción, las ejecuciones de estas actividades se realizan con los equipos encendidos lo que garantiza más tiempo de producción y reducción los costos de mantenimiento.
- Es importante reflexionar que la productividad de una industria mejorara a medida que las fallas disminuyan considerablemente, para lograr este fin es importante establecer estrategias de mantenimiento adecuadas como lo es el RCM además de contar con el personal técnico capacitado
- Se debe conocer el contexto operacional de todos los equipos en su entorno físico, ambiental y organizacional, para poder conocer las condiciones y variables en las que opera el equipo para poder desempeñar su función

11. Recomendaciones

- Desplegar el plan de mantenimiento y el detalle de las actividades a todos los equipos de Pepsico para que esta información se pueda replicar a otras operaciones con el mismo proceso.
- Continuar alimentando la matriz de mantenimiento con base a las experiencias operativas y técnicas, a través de juntas de revisión y actualización de máster planning de SAP.

- Realizar un procedimiento detallado para que a todo equipo nuevo que ingrese a planta se le desarrolle un plan de mantenimiento analizando sus modos de falla y efectos sobre la línea de producción, medio ambiente, seguridad y costos del área de mantenimiento.
- Establecer una matriz de capacidades con el fin de determinar un cronograma estructurado con una malla de capacitación que abarque programas de monitoreo por condición, automatización y sistemas mecánicos en general.

Referencias

- Abril, B. P. (2016). Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrífuga IHM 15 H -7.5 TW. *Universidad ECCI*, 5-10.
- Barros Chaparro, D., & et, a. (2014). Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo. *Scientia et Technica*, 200-208.
- Cartín Rojas , A., & et, al. (2014). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. *Revista de Medicina Veterinaria*, 133-148.
- Castillo Acosta, C. A., & Vaca, R. J. (2016). Análisis de la gestión de mantenimiento en una empresa del sector metalmecánico. *Universidad ECCI*, 14.
- Castillo Santillán, Á. V. (2017). Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la estación Atacapi del b57-li de Petroamazonas EP. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*, XV.
- Díaz Concepción , A., & et, a. (2016). Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería mecánica*, 137-142.
- Espinoza Martínez, J., & et, a. (2020). Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica. *Centro Azúcar*, 22-32.
- Estupiñan, E., & Cordero, O. (2019). Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 21-30.

- García, C. M. (2015). Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el análisis modal de falla y efecto (AMEF- AMFE), aplicable a empresas de impresión y artes gráficas. *Universidad ECCI*, 11-13.
- Gasca, M., & et. a. (2017). Frecuencia, costo y tiempo de reparación de las fallas; y iii) el impacto en la seguridad y salud del operador. *Información Tecnológica*, 111-124.
- Gómez de León Higes, F. C. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia: Universidad de Murcia.
- González Sosa, J. V., & et al. (2018). Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*, 209-225.
- Grimas Cintas, P., & Tort-Martorell Llabres, J. (1995). *Técnicas para la gestión de la calidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- Herrera Galán, M., & Duany Alfonso, Y. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento. *Ingeniería Industrial*, 2-13.
- Huerta, R. (2006). *Proceso de Análisis Integral de Disponibilidad y Confiabilidad como Soporte para el Mejoramiento Continuo de las Empresas*. Monterrey: Reliability World.
- Mesías, J. H., & Roblez, D. R. (2016). Elaborar planes de mantenimiento para industria plástica a fin de mejorar su productividad: caso ABC Gotuplas. *Universidad ECCI*, 6.
- Mora, G. A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCMII*. Buenos Aires: Aladon LLC.
- Moubray, J. (2008). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Mexico: Aladon.
- Pepsico Alimentos, C. (2018).

- Ponce Mostacero, A. A. (2018). Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de bebidas. *Universidad de Piurua Facultad de Ingeniería*, 9.
- Ruiz Llorente, N. e. (2020). Desarrollo de una propuesta basada en la metodología PMO para las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo. *Universidad ECCI*, 9.
- Smith, R., & Mobley, R. K. (2008). *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*. Oxfordshire: Butterworth-Heinemann.
- Unzueta-Aranguren, G. (2014). Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado. *DYNA - Ingeniería e Industria*, 347-354.

