

Propuesta de análisis de criticidad basados en herramientas RCM para una línea de envasado de bebidas carbonatadas.

Juan José Romero Calderón (72127)  
Jheison Dubán Quiroga Quintero (51511)

Asesor

Fred Geovanny Murillo Rondón

Especialización en gerencia de mantenimiento

Dirección de posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C 03/08/2023

Propuesta de análisis de criticidad basados en herramientas RCM para una línea de envasado de bebidas carbonatadas.

Juan José Romero Calderón (72127)  
Jheison Dubán Quiroga Quintero (51511)

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de especialista en gerencia de mantenimiento.

Especialización en gerencia de mantenimiento

Dirección de postgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C 03/08/2023

## **Dedicatoria**

Este artículo científico está dedicado a:

Principalmente a Dios, quien ha sido el gestor de guiarnos por el buen camino, concedernos múltiples bendiciones y darnos fuerzas para continuar con este proceso de obtener el título de especialista de mantenimiento, el cual es uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres por su amor, trabajo, sacrificio, paciencia y apoyo en el transcurso de estos años, porque gracias a ellos es que hemos logrado llegar hasta dónde estamos y es ahí donde se valora su esfuerzo de enseñar los valores que nos brindaron ya que es lo que nos ha convertido en lo que somos. Es todo un privilegio ser sus hijos.

A todas las personas que nos han ayudado a que este proyecto se culmine con un total éxito, en especial al profesor Fred Giovanni Murillo Rondón quien fue el responsable de impartir las pautas para realizar el presente proyecto y además nos compartió conocimientos clave para la plenitud del mismo.

## **Agradecimientos**

Nos gustaría mostrar nuestro más sincero agradecimiento a DIOS principalmente ya que sin la voluntad de el nada sería posible, a nuestro tutor el Dr. Fred Murillo que ha estado guiándonos y aportando a nuestra formación de la manera más atenta y profesional posible, a nuestra familia que siempre ha estado apoyándonos para que cumplamos nuestras metas y expectativas que nos hemos propuesto, y finalmente a nuestra institución universidad ECCI que está haciendo posible cumplir nuestro sueño de ser Especialistas en Gerencia de mantenimiento, infinitos agradecimientos por acogernos en tan amplias instalaciones en donde se impartieron todas las clases que presenciamos en los módulos I y II, que fueron vitales para la elaboración de este proyecto.

## **Introducción**

En una de las diferentes empresas colombianas de bebidas azucaradas, con varias sedes ubicadas a nivel nacional. Siendo una de las empresas más grandes de Colombia y una de las principales en América del Sur. Cuenta con una amplia gama de productos compuesta por bebidas ligeras y alcohólicas, bebidas de fruta, aguas, otras de nueva generación (tés, energizantes e hidratantes), salsas, aderezos, frutos secos, sazonadoras, snacks y mermeladas.

La planta ubicada en la ciudad de Bogotá, que pertenece a la misma organización. Es una compañía especializada en la fabricación y comercialización de bebidas que produce diferentes sabores como manzana, uva, tropical, etc.

El propósito es postular un análisis de criticidad para Desarrollar e implementar una metodología de Gestión de Mantenimiento de sus Activos, por medio de indicadores estratégicos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), además de costos integrales de nuestros procesos, teniendo como táctica un mantenimiento combinado de RCM y TPM en busca de reducir los costos de la gestión y operación del mantenimiento, aumento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y líneas de producción, incremento de la vida útil de los activos y la disminución de los niveles de inventario de repuestos e insumos, logrando operar con flexibilidad y eficiencia, con lo cual podamos seguir siendo líderes en el mercado de las bebidas.

## Resumen

El siguiente documento, tiene como objetivo presentar el análisis de criticidad y disponibilidad para una línea de producción, denominada línea 3 que posee la compañía en mención, tomando como referencia las normas internacionales SAE JA1011, SAE JA1012 e ISO 14224. La línea en la cual se llevará a cabo este análisis, es la línea número tres de envasado de bebidas carbonatadas, la cual presenta una baja eficiencia de utilización, producción y eficiencia mecánica. Debido a que hace parte de las líneas críticas de la planta debido a los volúmenes de producción que genera alto impacto dentro de la organización. El objetivo principal de realizar este estudio se basa en clasificar adecuadamente los equipos de mayor criticidad que hacen parte de la línea, con el fin de generar planes de mantenimiento a condición que incrementen la disponibilidad de la línea y reduzcan el tiempo entre fallos, así como el tiempo destinado a realizar las labores de mantenimiento programado.

*Palabras clave:* matriz, criticidad, disponibilidad, eficiencia, calidad, mantenibilidad, plan, línea, equipos.

## Abstract

The objective of the following document is to present the criticality and availability analysis for a production line, called line 3, owned by the company, taking as a reference the international standards SAE JA1011, SAE JA1012 and ISO 14224. The line in which this analysis will be carried out is line number three of carbonated beverage bottling, which has a low efficiency of utilization, production and mechanical efficiency. Because it is part of the critical lines of the plant due to the production volumes that generates high impact within the organization. The main objective of this study is based on properly classifying the most critical equipment that are part of the line, in order to generate condition maintenance plans that increase the availability of the line and reduce the time between failures, as well as the time to perform scheduled maintenance work.

*Key words:* matrix, criticality, availability, efficiency, quality, maintainability, plan, line, equipment.

## Índice

### Contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos .....	4
Introducción .....	5
Resumen .....	6
Índice .....	7
Propuesta De Cómo Análisis De Criticidad Basados En Herramientas RCM Para La Línea Tres De Envasado De Bebidas Carbonatadas.....	8
1 Problema de investigación .....	8
1.1 Descripción del problema.....	8
1.2 Formulación del problema.....	9
2 Objetivos.....	9
2.1 Objetivo general.....	9
2.2 Objetivos específicos .....	9
3 Justificación y delimitación.....	10
3.1 Justificación .....	10
3.2 Delimitación .....	11
4 Marcos de referencia .....	12
4.1 Estado del arte.....	12
4.2 Marco teórico.....	23
4.2.1 Mantenimiento .....	23
4.2.2 RCM .....	28
4.2.3 Norma SAE JA1011 .....	38
4.2.4 Norma ISO 14224.....	40
4.2.5 Taxonomía.....	41
4.2.6 Matriz de criticidad.....	42
4.2.7 Planes de mantenimiento preventivo y predictivo .....	46
5 Marco metodológico de la investigación.....	47
5.1 tipos de investigación.....	47
5.2 Fuentes de información .....	48
5.2.1 Fuente de información primaria .....	48
5.2.2 Fuente de información secundaria .....	49

5.3	Cronograma.....	49
5.4	Diseño metodológico .....	49
6	Propuesta de solución.....	51
7.1	Creación de la taxonomía de la línea.....	51
7.2	Clasificación de criticidad de los equipos .....	59
7.3	Propuesta de análisis de criticidad basados en herramientas de condición generando así nuevos planes de mantenimiento.....	64
7	Resultados y/o propuesta .....	65
7.1	Prueba de termografía .....	70
8	Conclusiones y recomendaciones.....	72
9	Referencias bibliográficas .....	74
	Bibliografía.....	74

Propuesta De Cómo Análisis De Criticidad Basados En Herramientas RCM Para La Línea Tres De Envasado De Bebidas Carbonatadas.

## **1 Problema de investigación**

### **1.1 Descripción del problema**

Compañía manufacturera de bebidas carbonatadas; ubicada en Bogotá. Cuenta con varias líneas de embotellamiento en formato retornable 250 ml y 350 ml. Donde en la Línea 3 se ven reflejadas eficiencias bajas de utilización que a la fecha 28 de febrero del año 2022 es de 43,16%, teniendo como objetivo 65% EU (eficiencia de utilización). Basados en la experiencia y manejo de matrices de criticidad de otras plantas de la misma compañía con tecnología similares.

Debido a la reactivación económica que se viene presentando desde finales del año 2021 a causa del coronavirus (COVID-19); la demanda de los consumidores ha hecho resaltar la baja eficiencia de utilización, por lo que la gerencia de la planta ha decidido poner diferentes planes de acción en marcha, para mejorar la eficiencia de la línea 3 requerida por el comité directivo.

Esta línea es parte fundamental de la planta ya que su aporte representa un 25% de la producción total; teniendo como base una velocidad nominal de 750 botellas/min, representando en 24 horas 1.080.000 botellas envasadas en formato 350ml a una eficiencia de utilización del 100%; en la actualidad se están envasando 498.528 botellas/día (46,16%), a un costo de producción de 1.100 COP convirtiéndose en línea crítica.

Donde el plan de acción principal se ve enfocado en la creación de una matriz de criticidad, para aportar en el aumento de la eficiencia de utilización aproximadamente en un 20%; representando un aumento de producción de 203.472 botellas/día, equivalentes a 223, 819,200 COP.

## **1.2 Formulación del problema**

De acuerdo a esta problemática, se busca dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación, ¿cómo el análisis de criticidad basados en herramientas RCM aumentará la eficiencia de utilización para la línea tres de envasado de bebidas carbonatas?

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar la criticidad de los equipos que conforman la línea tres de envasado de bebidas carbonatas, basados en herramientas RCM con el fin de aumentar la eficiencia de utilización.

### **2.2 Objetivos específicos**

- 1) Clasificar los equipos de envasado de bebidas carbonatadas, teniendo en cuenta los factores principales de criticidad y la información extraída de la base de datos (SAP).

- 2) Asignar valores cuantitativos y cualitativos a la matriz de criticidad según los hallazgos extraídos en el objetivo anterior, basados en la experiencia del departamento de mantenimiento; de acuerdo a las pautas establecidas por la compañía.
- 3) Analizar la matriz de criticidad de los equipos, basados en los resultados obtenidos en los objetivos 1 y 2, con sus respectivos planes basados en condición, para aumentar la eficiencia de utilización de la línea 3.

### **3 Justificación y delimitación**

#### **3.1 Justificación**

La presente propuesta, permitirá a la empresa contar con un programa de mantenimiento basado en condición para su línea 3, dicho programa en herramientas RCM2 traerá como consecuencia la reducción de los costos operativos puesto que se espera que, al estar las máquinas en óptimas condiciones para el funcionamiento, debido a la aplicación del mantenimiento predictivo, se logre reducir las horas extras de trabajo, reducción de los costos de energía eléctrica y permitirá mayor conservación de los activos de la empresa, así mismo; gracias a este programa se prevé una mejor utilización de los recursos y una reducción de los costos operativos, lo que repercutirá económicamente en forma positiva para la empresa.

Actualmente la industria manufacturera juega un papel bastante fundamental en el desarrollo tecnológico de nuestro país, por lo cual se necesita usar equipos y maquinaria de alta tecnología para mitigar los precios de producción y al brindar mantenimiento a las máquinas, los usuarios realizarán sus ocupaciones en óptimas condiciones, evitando el deterioro de la infraestructura de la empresa, así como asegurarse que no existan inconvenientes que afecten a la producción. Es por esa razón que se elaborara la Propuesta

de estructuración de un departamento de mantenimiento de la empresa que se dedica al diseño de troquel, maquinados a precisión, engranes y rechazado.

La propuesta de análisis de criticidad basado en herramientas RCM para la línea tres de envasado de bebidas carbonatadas, ayudara a depurar los planes de mantenimiento existentes lo que nos llevara a la mejora y efectividad de todas las actividades subyacentes a los planes, permitiendo mejorar los tiempos por fallas repentinas y los tiempos medios entre reparaciones.

Aportando a los indicadores globales de eficiencia de utilización de la línea de envasado. Donde el plan de acción principal se ve enfocado en la creación de una matriz de criticidad, para aportar en el aumento de la eficiencia de utilización aproximadamente en un 20%; representando un aumento de producción de 203.472 botellas/día, equivalentes a 223, 819,200 COP.

Con la matriz de criticidad generada como plan de acción principal, se mejorará a futuro los planes de mantenimiento existentes que permitirán el cumplimiento del objetivo.

### **3.2 Delimitación**

La generación de la matriz se realizará teniendo en cuenta la base de datos en los equipos de la línea crítica número tres, durante un periodo de tiempo de un semestre, donde se evaluarán tiempos perdidos de los diferentes equipos que componen la línea, tales como: Despaletizadora, transportadores de envase, transportadores de cajas, desempacadora, lavadora de botellas, inspector de envase, etiquetadora, llenadora, empacadora, y paletizadora. Se analizarán tiempos perdidos para calcular el MTTR y MTBF, que permitirán analizar estadísticamente los diferentes modos de falla que se presentan.

## **4 Marcos de referencia**

### **4.1 Estado del arte**

#### **Aplicación De La Metodología Actualización Rcm (Backfitrcm) Para Maquinaria Utilizada En Procesos De Enseñanza Aprendizaje En Estudiantes Universitarios**

El RCM o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una técnica que permite desarrollar, modificar y revisar planes de mantenimiento en plantas industriales, con ventajas significativas respecto a otras técnicas. En la industria y, en menor medida, en instituciones educativas, como universidades, se enfrentan diversas inconsistencias en manufactura, como baja calidad de productos, baja eficiencia, reprocesos y tiempos muertos. Además, la falta de herramientas didácticas para abordar estas situaciones es evidente. Por ello, el presente proyecto propone implementar una metodología efectiva para formular estrategias de mantenimiento en talleres o laboratorios de manufactura en universidades con maquinaria y equipo para mejorar el tiempo medio entre fallos (MTBF), reducir el tiempo medio para reparar (MTTR), el número de paros y los costos, entre otros. (Jose alfredo Carazo, 2017)

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

Los cambios frecuentes en los precios del cobre resaltan la importancia de que las empresas mineras controlen rigurosamente los costos de producción para mantener su competitividad en el mercado global. Por ello, el uso de nuevas estrategias de mantenimiento está ganando aceptación, ya que pueden ayudar a reducir los costos asociados a la producción. En este estudio, se presenta el caso de una empresa minera en Chile que busca reducir significativamente sus costos de producción, centrándose en mejorar la disponibilidad y reducir los altos costos de mantenimiento en el proceso de tostación. A través de un análisis de sensibilidad, se demuestra que implementar un plan de

mantenimiento basado en la confiabilidad, utilizando la metodología FMECA y herramientas matemáticas y estadísticas, es beneficioso. Esta metodología proporciona información sobre el estado de los equipos y permite identificar oportunidades de mejora de manera priorizada. (estupiñan & Cordero, 2019)

### **Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado**

Este artículo presenta los resultados de aplicar una versión adaptada de la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) en tres empresas de diferentes sectores. A través de esta metodología, las empresas pudieron establecer programas de mantenimiento preventivo personalizados para cada caso, lo que contribuyó al mantenimiento autónomo. Como resultado, lograron reducir la carga de trabajo en el mantenimiento sin comprometer la disponibilidad de las instalaciones. Este trabajo ha sido fundamental para que estas empresas establezcan las bases para implementar o mejorar un programa de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO) en una PYME (pequeña y mediana empresa). Palabras clave: Mantenimiento, RCM, Mantenimiento preventivo sistemático, Implantación de un GMAO, Gestión del Mantenimiento en una PYME.(Sanchez, Garitano, & Goti, 2014)

### **Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo**

Este artículo presenta la aplicación del concepto de RCM II (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad II) en una fábrica de baterías, específicamente en la sección de producción de lingotes de plomo. La metodología utilizada para implementar el RCM II involucra varios pasos, como el análisis funcional, la identificación de los modos de falla, los efectos de las fallas y la jerarquización del riesgo o criticidad.

Una vez identificados los modos de falla, se asignan tareas de mantenimiento proactivo utilizando el Diagrama de Decisión RCM II y analizando el costo-efectividad para cada patrón de falla. Como resultado de este estudio, se obtuvieron documentos para la Gestión de Mantenimiento, como la Hoja de información RCM y la Hoja de Decisión RCM en la sección de Metalurgia, así como Planos RCM que muestran la relación gráfica entre las tareas de mantenimiento propuestas y los equipos analizados. Además, el RCM piloto reveló condiciones de seguridad operacional y llevó a un rediseño en la configuración de los equipos para mejorar el tiempo medio entre fallos (MTBF).

El RCM se enmarca en el nivel táctico de la Gestión de Mantenimiento y ha sido ampliamente aceptado en diversas industrias modernas, incluyendo la aviación, la minería, la manufactura y la energética. (Petrolera, hidroeléctrica, nuclear), entre otras. (Barros, Valencia, & Vargas, 2014)

### **Analysis of a maintenance strategy to be implemented in electric transmission companies**

La gestión del mantenimiento es esencial para asegurar el ciclo de vida de los activos. En este estudio, el objetivo fue implementar una herramienta para evaluar la pertinencia de una estrategia de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para una empresa. Tras la aprobación y consenso de los especialistas, se confirmó la eficacia de la herramienta, ya que los indicadores de confiabilidad de la encuesta fueron favorables.

Los resultados obtenidos al aplicar esta herramienta en una empresa de transmisión eléctrica mostraron una confiabilidad del 92% en la primera variable, basada en el RCM, calificada como excelente, y del 72% en la segunda variable, la preparación de la empresa para la implementación, considerada aceptable. Ambas calificaciones se obtuvieron mediante el coeficiente Alfa de Cronbach.

Además, se concluyó que la estrategia del RCM era pertinente para este campo de investigación, pero la entidad no estaba preparada para asumirla sin realizar cambios previos. Esto resalta la importancia de evaluar y preparar adecuadamente a la empresa antes de implementar nuevas estrategias de mantenimiento. (Díaz, Alfonso, & Guillen, 2021)

### **Metodología para Mejorar el Comisionamiento de Plantas Nuevas Integrando las Normas ISO 55000:2014 y ISO 14224:2016, Caso de Estudio: Plantas de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica y Eólica**

En este artículo se propone una metodología para mejorar el proceso de comisionamiento en plantas de energía eólica y solar fotovoltaica. Para lograr esto, se utilizaron las normas ISO 55000:2014 e ISO 14224:2016. La metodología consta de cuatro fases:

Fase 1: Aplicación de la norma ISO 14224 para la taxonomía.

Fase 2: Utilización de la norma ISO 31000 para evaluar la criticidad.

Fase 3: Implementación de la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

Fase 4: Integración de los aportes de las fases anteriores a los requisitos de la norma ISO 55001.

Se concluye que, al aplicar esta metodología, se logra mejorar el proceso de comisionamiento en plantas de energía eólica y solar fotovoltaica. (Correa & Franco, 2021)

### **Asociación de indicadores antropométricos para evaluar el estado nutricional y el riesgo cardio metabólico en adolescentes**

En este estudio, se analizó la asociación de diferentes indicadores antropométricos (IA) como la circunferencia de cintura (CC), el índice de masa corporal (IMC), el índice cintura/cadera (ICC), el índice cintura/talla (ICT) y el porcentaje de grasa corporal (PGC) para evaluar el estado nutricional (EN) y estimar el riesgo cardio metabólico (RCM) en adolescentes mexicanos. El diseño del estudio fue descriptivo y transversal, con la participación de 917 adolescentes de entre 15 y 17 años de edad, estudiantes de nivel medio superior en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, siendo 52.9% mujeres y 47.1% varones.

Los resultados mostraron que las mujeres presentaron una mayor prevalencia de obesidad en la mayoría de los IA utilizados. El ICT fue el IA que detectó la mayor prevalencia de obesidad (31%) y mostró correlación con el IMC y el PGC. También se encontró una asociación significativa entre el EN evaluado por todos los IA y el RCM.

En conclusión, el ICT podría ser considerado una herramienta adecuada para el diagnóstico de obesidad asociada al riesgo cardio metabólico en adolescentes. Los hallazgos resaltan la importancia de utilizar múltiples indicadores antropométricos para una evaluación integral del estado nutricional y el riesgo de enfermedades cardiovasculares en esta población. (Hernandez, 2019)

### **Tecnología para el análisis de criticidad de los sistemas tecnológicos en empresas biofarmacéuticas**

El objetivo de este trabajo fue proponer una tecnología para la jerarquización de sistemas y activos tecnológicos en empresas biofarmacéuticas. La tecnología se implementó en una empresa biofarmacéutica específica. Esta jerarquización clasifica los activos involucrados en el proceso productivo según las nuevas tendencias en mantenimiento.

Para lograrlo, se utilizaron métodos como encuestas y modelación matemática. Se obtuvieron dos modelos matemáticos para analizar la criticidad y complejidad de los activos. Estos modelos fueron aplicados y validados. A través de la validación de los modelos y encuestas, se obtuvo una lista jerarquizada de los activos mediante una matriz de comparación.

En resumen, este trabajo propuso una tecnología que permite jerarquizar los activos tecnológicos en empresas biofarmacéuticas, brindando una valiosa lista jerarquizada de los mismos, lo que puede ser útil para la toma de decisiones en el ámbito del mantenimiento y la gestión de activos. (Enriques, Diaz, & Alfonso, 2019)

### **Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica**

En este artículo, se proponen los elementos necesarios para crear un modelo que permita determinar la criticidad y complejidad de los equipos y sistemas tecnológicos en las centrales eléctricas. El objetivo es establecer órdenes de prioridad para atender los activos de manera más eficiente y basada en datos concretos. Se ha observado que la jerarquización actual de activos en las centrales eléctricas no se ajusta adecuadamente a las condiciones específicas de cada lugar, y no existe una herramienta efectiva para lograrlo.

Mediante un trabajo de campo, se desarrolló un modelo de criticidad personalizado para las centrales eléctricas. Este modelo proporciona valores de ponderación que se utilizan para establecer las prioridades de mantenimiento de manera más precisa y contribuir así a mejorar significativamente la gestión del mantenimiento en estas centrales.

En resumen, este artículo ofrece un enfoque novedoso para determinar la criticidad y complejidad de los equipos en centrales eléctricas, lo que permite una gestión más eficiente del mantenimiento y una priorización más adecuada de los activos. Esto puede resultar en

un mejor rendimiento y operación general de las centrales eléctricas. (Díaz, Toledo, & Del castillo, Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoelectrica, 2015)

### **Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Resultados parciales teórico-prácticos**

En este trabajo, se continúa desarrollando la metodología de diagnóstico integral (DI) presentada previamente por los autores. El objetivo es introducir el mantenimiento basado en la condición (MBC) como una mejora del mantenimiento preventivo planificado (MPP) en las centrales termoeléctricas cubanas. La base del MBC consiste en establecer la relación entre fallas y variables o parámetros de estado de diagnóstico de un equipo o sistema.

Para lograrlo, se utilizan herramientas como los diagramas de Ishikawa y de Lorenz, así como matrices de fallas y de parámetros óptimos. También se analizan las variables de estado de diagnóstico y se realiza un análisis de criticidad específico para la turbina y el generador de vapor.

En resumen, este trabajo presenta una metodología para implementar el mantenimiento basado en la condición en las centrales termoeléctricas cubanas, aprovechando la relación entre fallas y parámetros de diagnóstico para mejorar el mantenimiento preventivo planificado y, en última instancia, optimizar el rendimiento y la fiabilidad de los equipos y sistemas en estas centrales. (Hernandez & Montes, 2009)

### **Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba**

En el año 2004, Cuba implementó un nuevo programa de generación eléctrica distribuida mediante la instalación de emplazamientos con grupos electrógenos que funcionan con Diesel o fuel-oil. Este programa representó un cambio conceptual significativo en el campo de la generación eléctrica. El objetivo de este trabajo es obtener un modelo matemático para el Análisis de Criticidad que permita jerarquizar los sistemas en este proceso de generación eléctrica.

Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo diversas etapas. En primer lugar, se estudiaron diferentes modelos de criticidad para determinar su viabilidad en el campo de investigación. Luego, se identificaron los sistemas y subsistemas que componen los grupos electrógenos. También se realizó un análisis documental de las fallas más frecuentes que afectan a los sistemas y equipos de los grupos electrógenos.

Con base en el criterio de expertos, se desarrolló un instrumento para determinar las variables a considerar en el modelo de criticidad y complejidad, y se llevó a cabo un estudio de confiabilidad para los modelos. Finalmente, el modelo obtenido fue aplicado y proporcionó resultados satisfactorios en la clasificación de los activos según el índice de criticidad frente al índice de complejidad.

En resumen, este trabajo logró obtener un modelo matemático para el Análisis de Criticidad que permitió jerarquizar los sistemas en el proceso de generación eléctrica distribuida en Cuba, utilizando grupos electrógenos que operan con Diesel o fuel-oil. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, lo que demuestra la efectividad y utilidad del modelo para la gestión y mantenimiento de estos sistemas. (Barbara, Brito, & Del castillo, 2012).

### **Análisis de criticidad en los sistemas mecánicos de los grupos electrógenos**

La investigación se llevó a cabo en una central eléctrica con 6 baterías que cuentan con 4 motores de combustión interna (MCI), cada uno con una potencia de 2,5 MW. El

objetivo principal de la investigación fue jerarquizar los sistemas mecánicos que componen estos motores, utilizando un modelo de criticidad.

Para lograr la jerarquización, se empleó un modelo de análisis de criticidad previamente utilizado en grupos electrógenos. Este modelo permitió generar una lista jerarquizada de todos los sistemas de los motores, lo que facilitó la dirección adecuada de los recursos y mejoró la gestión del mantenimiento.

Para aplicar el modelo, se recopilaron todos los datos de fallos de cada motor durante un período de un año. Los resultados obtenidos indicaron que los sistemas más críticos en los motores fueron aquellos relacionados con la inyección de combustible, la admisión y los gases de escape, así como el sistema de enfriamiento del motor.

En resumen, mediante el uso del modelo de criticidad, se pudo jerarquizar los sistemas mecánicos de los motores de combustión interna en la central eléctrica, lo que permitió mejorar la planificación y asignación de recursos para el mantenimiento de los motores, especialmente enfocándose en los sistemas más críticos para garantizar un funcionamiento óptimo y confiable de la central eléctrica. (Alfonso, Garcia, & Diaz, 2017)

### **Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos**

En este trabajo se presenta un procedimiento para verificar la factibilidad de aplicar una metodología que permita realizar el análisis de criticidad y complejidad en plantas de bioproductos. El objetivo es priorizar la atención y mejorar la confiabilidad de los activos involucrados en el proceso productivo, siguiendo las nuevas tendencias en el mantenimiento.

Para llevar a cabo este procedimiento, se define una instalación típica de plantas de bioproductos y se determinan los indicadores relevantes a tener en cuenta para calcular la

criticidad y complejidad de los activos. A través de encuestas realizadas a ingenieros y especialistas con amplia experiencia en el tema, se obtienen los valores de ponderaciones necesarios para la comparación entre los criterios que intervienen en el índice de criticidad y el de complejidad de cada activo.

Como resultado de este estudio, se obtiene una lista jerarquizada de los equipos basada en la matriz de comparación entre los índices de criticidad y complejidad. El modelo desarrollado fue validado mediante el método de consulta a especialistas, y los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

En resumen, este trabajo presenta un procedimiento para aplicar una metodología de análisis de criticidad y complejidad en plantas de bioproductos, lo que permite priorizar la atención a los activos y mejorar su confiabilidad, siguiendo las tendencias actuales en el mantenimiento. La validación del modelo asegura su eficacia y utilidad en la gestión de activos en estas plantas. (Díaz, Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos, 2012)

### **Gestión de activos y matriz de criticidad**

En su exposición, Enagás comparte cómo ha abordado el desarrollo de un modelo de gestión de activos en su compañía. Dado que se trata de una empresa con un alto valor de activos, han prestado especial atención y dedicación a todas las actividades relacionadas con la gestión de infraestructuras. En particular, se enfocan en el modelo de gestión de mantenimiento y cómo lo están implementando con la ayuda de una empresa especialista.

Uno de los aspectos clave que se abordarán en la exposición es la fase de jerarquización de activos y matrices de criticidad. Esta etapa ha permitido ordenar y categorizar los activos de cada instalación, proporcionando una visión completa y cuantitativa de todos los elementos que componen las infraestructuras. El objetivo es

alcanzar una gestión de mantenimiento eficiente y avanzar hacia la excelencia en este campo de manera clara y organizada.

En lugar de simplemente teorizar sobre lo que podría hacerse, Enagás se centra en compartir las acciones concretas que están llevando a cabo para mejorar la gestión de activos y mantenimiento. La colaboración con una empresa especialista ha sido fundamental para asegurar la implementación efectiva del modelo de gestión y el logro de resultados tangibles.

En resumen, Enagás destaca su enfoque en la mejora continua de la gestión de activos y mantenimiento, mostrando cómo la jerarquización de activos y las matrices de criticidad están proporcionando una visión clara y ordenada para avanzar hacia la excelencia en este ámbito. La eficiencia y la excelencia son los pilares de su enfoque en la gestión del mantenimiento, lo que les permite garantizar la confiabilidad y el rendimiento óptimo de sus activos e infraestructuras. (Del olmo, 2014)

### **Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de estudio: Unidad de Craqueo Catalítico**

Las técnicas de análisis de jerarquización son herramientas fundamentales para evaluar el nivel de criticidad de los activos en una instalación industrial y para optimizar el uso de recursos humanos, económicos y tecnológicos de manera eficiente. El proceso de análisis de criticidad permite determinar la importancia y las consecuencias de los eventos de fallos en los sistemas de producción dentro del contexto operacional.

En el artículo se explican los aspectos teóricos básicos del análisis de jerarquización de equipos, que se basa en Matrices de Riesgo que contemplan las frecuencias de fallos y las consecuencias asociadas a los mismos. Se detalla el desarrollo del modelo denominado

"Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo" (MCCR), el cual proporciona una forma estructurada de evaluar la criticidad de los activos.

Además, el artículo presenta los resultados de un caso de aplicación de la MCCR en el sector de Refinación de Petróleo, específicamente en la Unidad Craqueo Catalítico (FCC). Mediante esta aplicación práctica, se ilustra cómo la MCCR puede ser una herramienta útil para evaluar y priorizar la atención de los activos, permitiendo tomar decisiones informadas en cuanto a la asignación de recursos y estrategias de mantenimiento.

En resumen, el artículo destaca la importancia de las técnicas de análisis de jerarquización para la gestión de activos en instalaciones industriales, y muestra cómo el modelo de Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo (MCCR) se aplica con éxito en el sector de Refinación de Petróleo para mejorar la toma de decisiones en cuanto a la criticidad y el mantenimiento de los activos. (Parra, Crespo, Parra, Viveros, & Gonzales, 2019)

## **4.2 Marco teórico**

### **4.2.1 Mantenimiento**

El mantenimiento industrial está definido como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento. (Olarde, 2010)

#### **4.2.1.1 Evolución Del Mantenimiento**

Como todo proceso en evolución, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por métodos, herramientas y metodologías específicas.

### **La Primera Generación**

La primera generación cubre el periodo hasta la II Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paro no importaban mucho. Los equipos y máquinas eran sencillos y en la mayoría de los casos diseñados para un propósito determinado. Esto hacía que fueran confiables y fáciles de reparar. Como resultado no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

### **La Segunda Generación**

Durante la segunda guerra mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de la mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos. Las empresas habían empezado a depender de ellos. Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de un equipo se hizo más evidente. Esto llevó a la idea de que todas las fallas se podían y debían prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del mantenimiento preventivo en los años 60, basándose primordialmente en la intervención completa y total de los activos a intervalos fijos. El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado comenzaron a implementarse sistemas de control y planeación que ayudaron a poner el mantenimiento bajo control, y que ahora se han establecido como parte de sus prácticas.

### **La Tercera Generación**

Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado velocidades aún más altas. Estos cambios pueden clasificarse así: Nuevas expectativas El crecimiento continuo de la mecanización y automatización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, en el costo total y

en el servicio al cliente. Esto se aprecia claramente en el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en éstos, los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda la operación, creando grandes demandas para la gestión del mantenimiento. Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de los activos y la calidad del producto y la oportunidad en la entrega de servicios. Simultáneamente, se elevan los estándares de calidad. El aumento de la mecanización también produce consecuencias más serias para la seguridad o el medio ambiente al fallar un activo o una instalación. Nuevas metodologías Más que imponer grandes expectativas, las nuevas metodologías están cambiando las creencias básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace evidente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla. (Moubray, John)

#### **4.2.1.2 Tipos de mantenimiento**

Se puede identificar varios tipos de mantenimiento los cuales poseen características propias que difieren en función de: el momento en el que se realiza, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, que tan oportunos, prácticos y adecuados son para solventar una determinada necesidad o circunstancia, los recursos que utilizan y las estrategias a las que recurren. Un plan adecuado de mantenimiento debe ser la combinación de los diferentes tipos de mantenimiento. Actualmente se reconoce los siguientes: (Fedemetal, 1991)

##### **4.2.1.2.1 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es una estrategia en la que se programan periódicamente las intervenciones de máquinas, con el fin de inspeccionar, reparar y/o reemplazar componentes. También intenta anticipar o prever las fallas para evitar daños y paros imprevistos. Las intervenciones se realizan aun cuando la máquina está operando

satisfactoriamente. Programa el mantenimiento basándose en estimaciones de vida útil o tiempo entre fallas esperadas.

#### **4.2.1.2.2 Mantenimiento predictivo**

También conocido como “Mantenimiento Basado en Condiciones CBM”, monitorea y detecta parámetros operativos de los sistemas, máquinas y equipos. Realiza un seguimiento del desgaste de los mismos para determinar o predecir el punto exacto de cambio o reparación. Busca determinar el punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, es decir, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle y asuma valores indeseables y programa el mantenimiento basado en el pronóstico de ocurrencia de fallas o vida remanente.

Análisis de Vibraciones: Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones. Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración, aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo, cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo.<sup>26</sup>

Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomarán las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio.

El Analizador de Vibraciones es un equipo especializado que muestra en su pantalla el espectro de la vibración y la medida de algunos de sus parámetros. Las vibraciones pueden analizarse midiendo su amplitud o descomponiéndolas de acuerdo a su frecuencia, así cuando la amplitud de la vibración sobrepasa los límites permisibles o cuando el

espectro de vibración varía a través del tiempo, significa que algo malo está sucediendo y que el equipo debe ser revisado. Los problemas que se pueden detectar por medio de esta técnica, son:

- Desalineamiento
- Desbalance
- Resonancia
- Solturas mecánicas
- Rodamientos dañados
- Problemas en bombas
- Anormalidades en engranes
- Problemas eléctricos asociados con motores
- Problemas de bandas

**Termografía:** La Termografía es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta. La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que, a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, es necesario utilizar un instrumento que transforme esta energía en un espectro visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía el instrumento para realizar estas actividades se denomina Cámara Termográfica. Gracias a las imágenes térmicas que proporcionan las cámaras termográficas, se pueden analizar los cambios de temperatura. Un incremento de esta variable, por lo general representa un

Página 24 de 66

problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina. Las áreas en que se utilizan las Cámaras termográficas son las siguientes:

- Instalaciones Eléctricas
- Equipamientos Mecánicos
- Estructuras Refractarias

(Malagon, 2016)

#### **4.2.1.2.3 Mantenimiento correctivo**

También llamado “mantenimiento reactivo”, consiste en dejar a los equipos que operen sin ningún servicio o control del estado de los mismos, hasta que se produzca una falla en su funcionamiento en la mayoría de las ocasiones hasta que llegue a detenerse. El mantenimiento correctivo tiene costo nulo en función del tiempo, hasta que la unidad falla, y hay que repararla sorpresivamente y de urgencia, sin posibilidades de planificación y programación. Se caracteriza por generar lucros cesantes y daños que representan costos de gran magnitud.

#### **4.2.1.2.4 Mantenimiento proactivo**

El mantenimiento proactivo se lleva a cabo antes que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Abarca lo que comúnmente se denomina mantenimiento “predictivo” y “preventivo”. (Moubray, 2004)

### **4.2.2 RCM**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad también conocido como RCM por sus siglas en inglés Reliability Centred Maintenance, es una metodología muy poderosa que, cuando se aplica correctamente, puede generar mejoras significativas en la confiabilidad del

equipo y el rendimiento de la planta y, al mismo tiempo, garantizar que se optimice el dinero que se gasta en programas de mantenimiento predictivo y preventivo.

El propósito de la norma SAE JA1011, publicada en 1999, es establecer los criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado "RCM". El documento de doce páginas, revisado en agosto de 2009, describe los requerimientos mínimos para que un proceso se considere un método en conformidad con RCM. La norma proporciona los criterios para establecer si un proceso dado sigue los credos de RCM como se propuso originalmente. También puede servir como una guía para las organizaciones que buscan capacitación, facilitación y consultoría de RCM.

RCM es un proceso estructurado que hace secuencialmente las siguientes siete preguntas sobre el activo o sistema bajo revisión:

- Funciones: ¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operativo actual?
- Fallos funcionales: ¿de qué forma no cumple con sus funciones?
- Modos de falla: ¿qué causa cada falla funcional?
- Efectos de las fallas: ¿qué sucede cuando ocurre cada falla?
- Consecuencias de las fallas: ¿de qué manera importa cada falla?
- Tareas proactivas: ¿qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?
- Acciones predeterminadas: ¿qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada? (Martinez, 2022)

#### **4.2.2.1 Historia del RCM**

Al final de 1.950, la aviación comercial en el mundo estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues, lo cual sería equivalente a dos accidentes diarios

actualmente. Dos tercios de los accidentes ocurridos en 1.950 eran causados por fallas en los equipos, el hecho de que una cifra tan alta de accidentes fuera provocada por fallas en los equipos implicaba que al menos inicialmente, se debía que hacerse énfasis en la seguridad de los equipos.

La concepción que se tenía era que los motores y otras partes importantes se deterioraran después de cierto tiempo, esto condujo a creer que las reparaciones periódicas impedirían que las piezas de gastaran y así prevenir fallas, por lo que en esos días el mantenimiento significaba hacer reparaciones periódicas, cuando se dieron cuenta que esta concepción era errónea, plantearon que el intervalo de tiempo entre reparaciones debía ser menor ya que el desgaste de las piezas ya había iniciado, a pesar de que recortaron este tiempo las fallas no se disminuyeron sino que al contrario presentaron un aumento. De esta manera el RCM tiene sus inicios a principios de 1.960.

El trabajo del desarrollo inicial fue realizado por la industria de Aviación Civil Norteamericana y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento no eran solo costosas sino también altamente peligrosas. Esto inspiro a la industria a evaluar una serie de grupos de dirección de mantenimiento para reexaminar todo lo que ellos estaban haciendo para mantener todos sus aviones funcionando. Estos grupos estaban conformados por representante de los fabricantes de aviones, las aerolíneas y la fuerza aérea americana.

La historia de transformación del mantenimiento en la aviación comercial ha pasado por un cumulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación la forma más segura para viajar. El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas.

A mediados de 1.970, el gobierno norteamericano quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves, y solicitaron un reporte sobre este a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de Unit Airlines, este informe fue titulado como REALIABILITY CENTERED MAINTENANCE (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) y publicado en 1.975, y aun hoy sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos. El informe desarrollado por Nowlan y Heap represento un avance en la filosofía MSG – 2 y fue usado como base para el MSG-3, el cual fue difundido en 1980 como: Documento para la Planeación del Programa de Mantenimiento para Fabricantes/ Aerolíneas. El MSG-3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978), este ha sido revisado tres veces, la primera en 1988, de nuevo en 1993 y la tercera en el 2001, hasta el presente es usado para desarrollar programas de mantenimiento prioritarios al servicio para nuevos tipos de aeronaves incluyendo el reciente Boeing 777.

El departamento de Defensa de los Estados Unidos aprendió que la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para programar el mantenimiento y busco beneficiarse de esta experiencia. Una vez que el departamento de Defensa publicó el libro de Nowlan y Heap, el ejército americano se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: uno para el ejército, uno para la fuerza área y otro para la armada.

Otra aplicación del RCM se dio a principios de 1.980, el instituto para la investigación de la energía eléctrica, un grupo de investigación comercial para las compañías generadoras de energía en Norteamérica realizó dos pruebas de RCM en la industria de la energía nuclear americana. Su interés se dio debido a la creencia de que esta industria estaba logrando niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero se hacía demasiado mantenimiento a sus equipos, lo cual significaba que su propósito era reducir costos de mantenimiento en vez de mejorar la confiabilidad, y el proceso RCM era modificado consecuentemente por lo que modificaron significativamente el proceso planteado por Nowlan y Heap. Este proceso modificado fue adoptado sobre una base amplia por la

industria de la energía nuclear americana en 1987, y se implementaron variaciones de su enfoque por otras compañías de energía, alguna de otra rama de la generación eléctrica, distribución industrial y la industria petrolera.

En la década de 1990 el concepto RCM se hizo más popular y empezaron a aparecer varias metodologías de mantenimiento que sus autores también llamaban RCM, pero estos métodos eran muy distantes al originalmente propuesto, así que surgió la necesidad de sacar una normatividad que definiera cuando una metodología podía llamarse RCM. En 1.996 la SAE empezó a trabajar en un modelo afín con el RCM, invitando a un grupo de representantes de la aviación, de la armada estadounidense y comunidades de naves para que le ayudaran a desarrollar una norma para programas de mantenimiento planeados. Estos representantes de la armada se habían estado reunido previamente, por cerca de un año, para desarrollar un proceso RCM que pudiera ser común a la aviación y los buques. Es así como ellos previamente habían hecho una considerable cantidad de trabajo antes de empezar a reunirse bajo el auspicio de la SAE.

A finales de 1.997, se unió a este grupo un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria. En esta ocasión, se dieron cuenta de que era mejor enfocarse enteramente en el RCM. Entonces el grupo encontró un mejor enfoque para esta norma en 1.999, presentándola a la SAE para ser sometida a votación. La norma aprobada por la SAE6 no representa un proceso RCM estándar, su título es “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM”, si los criterios no lo satisfacen, no debía llamarse, “Proceso RCM”, esto no necesariamente significa que los procesos que no cumplan con la norma SAE no sean procesos RCM válidos para la formación de estrategias de mantenimiento, simplemente significa que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos. (Rincón, 2008)

#### **4.2.2.2 Ventajas de implementar RCM:**

el principal objetivo de implementar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en una organización es aumentar la disponibilidad de los equipos y, en consecuencia, optimizar la productividad. Finalmente, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad genera ganancias significativas en otras áreas de la empresa. Al extrapolar el análisis de resultados luego de implementar la metodología, es posible notar, en el mediano y largo plazo:

- Mayor confiabilidad;
- Mayor seguridad;
- Mejora de la calidad del producto;
- Ausencia de daños al medio ambiente;
- Mayor rentabilidad (cuando se asegura, mediante prácticas correctas de mantenimiento, que el capital invertido tiene la mejor rentabilidad).

#### **4.2.2.3 RCM 7 preguntas básicas**

El RCM se centra en la relación entre una organización y los activos físicos que posee y opera. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, es necesario saber qué tipo de activos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de aplicación de RCM. En la mayoría de los casos, esto significa que debe realizarse un inventario de activos completo si aún no existe.

Más adelante, RCM hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los activos seleccionados, así:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?

- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Importa si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué se puede hacer si no puede prevenirse o predecirse la falla?

#### **4.2.2.3.1 Fallas funcionales**

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada activo hayan sido definidos, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada activo en relación a sus funciones. Este proceso lleva al concepto de falla funcional, que se define como la incapacidad de un activo o componente de satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

#### **4.2.2.3.2 Efectos de falla**

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse, un efecto en otras palabras es lo que pasaría si ocurriera el modo de falla analizado. Este paso permite visualizar la importancia de cada falla y, por lo tanto, decidir qué nivel de intervención (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas genera oportunidades sorprendentes y, a menudo, muy importantes para mejorar el funcionamiento y la seguridad, y para eliminar errores. También mejora enormemente los niveles de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos

#### **4.2.2.3.3 Consecuencias de falla**

Una vez se han determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos del activo analizado, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar

cómo y cuánto importa cada falla. La razón de esto es, porque las consecuencias de cada falla definen si es necesario intervenirlos de manera proactiva. Si la respuesta es positiva, también sugiere con qué nivel de esfuerzo deben analizarse las fallas. (Moubray, Reliability Centered Maintenance, 1997).

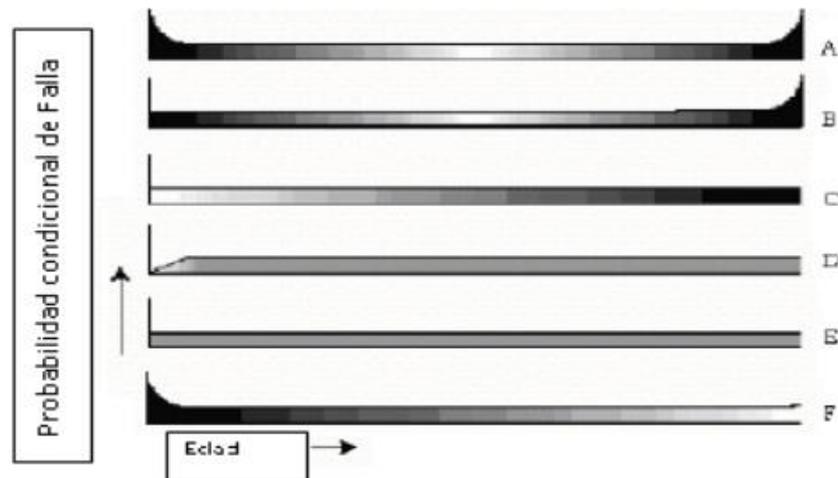
#### **4.2.2.3.4 Patrones de falla**

Al considerar las causas de las fallas se debe considerar los patrones relacionados con la edad, aleatoriedad y mortalidad infantil. Estas relaciones se describen en 6 tipos de patrones de falla. Los primeros tres patrones de falla elementos simples o equipos complejos que están en contacto directo con el producto. Estos patrones de falla se asocian con la fatiga, la corrosión, evaporación y abrasión. Estos patrones de falla se encuentran asociados con fallas cíclicas en las que existe una zona de desgaste en un tiempo determinado.

Los últimos tres patrones de falla corresponden a equipos complejos de electrónica, hidráulica y neumática. Estos patrones de falla se asocian a fallas aleatorias, donde no se conoce un periodo de vida útil de los componentes. La falla aleatoria puede ser súbita o progresiva. De ser súbita, no existe una manera de prevenirla y debe ser mitigada. En el caso de que la falla sea aleatoria y progresiva, se pueden monitorear las condiciones de operación para determinar un periodo adecuado para tratar un modo de falla.

Figura 1

Probabilidad condicional de falla



Se muestran los nuevos modos de falla correspondiente a la actualización del mantenimiento centrado en confiabilidad con sus respectivas explicaciones. (Moubray, 2004)

### **Modelo A**

También se conoce como la curva de la bañera. Comienza con una alta incidencia de la falla (conocida como mortalidad infantil o desgaste de funcionamiento) seguida por una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o constante, y luego por una zona de desgaste.

### **Modelo B**

Muestra una probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste.

### **Modelo C**

Muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable.

**Modelo D**

Muestra una probabilidad de falla baja cuando el componente es nuevo o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante.

**Modelo E**

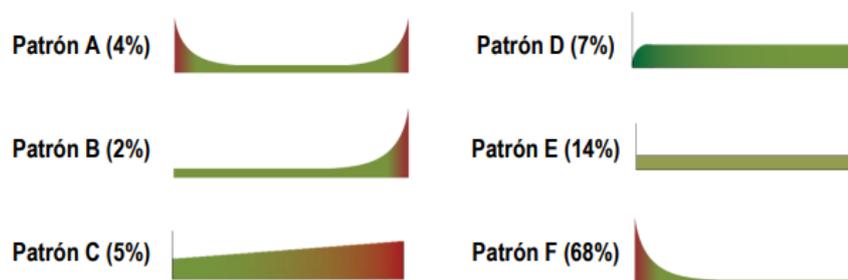
Muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (falla aleatoria).

**Modelo F**

Comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de falla que aumenta despacio o que es constante. (Moubray, 2004)

Figura 2

Patrones de falla



Estos indican cómo una anomalía se extiende a través de un sistema hasta que resulta en una falla. En otras palabras, estos eventos se comprenden como similares en forma y ocurren de manera consistente. Al llamar a esta información "patrones de fallo", podemos analizar y diseñar sistemas confiables. Además, al llegar a esta conclusión, tomar decisiones sobre estrategias de mantenimiento de activos será más precisa. (Jaramillo, 2021)

Los estudios hechos en la aviación civil demostraron que el 4% de las piezas está de acuerdo con el modelo A, el 2% con el B, el 5% con el C, el 7% con el D, el 14% con el E y no menos del 68% con el modelo F. En general, los modelos de las fallas dependen de la

complejidad de los elementos. Aclarando que el número de veces que ocurren estos modelos en la aviación no es necesariamente el mismo que en la industria, pero hay una relación que entre más complejo sean los equipos más veces se encontrarán los modelos de falla E y F.

Estos hallazgos contradijeron la creencia de que siempre hay una conexión entre el desempeño y la edad operacional (o las horas de funcionamiento). Fue esta creencia la que llevó a la idea de que cuanto más a menudo se intervenía un activo, menor era la probabilidad de falla. Hoy en día, esto es raramente verdad y las tareas con frecuencias asociadas a la edad no hacen nada, o muy poco, para mejorar el desempeño de un equipo complejo. De hecho, las intervenciones periódicas pueden aumentar la frecuencia de fallas en general, al introducir la mortalidad infantil en sistemas que de otra forma serían estables.

#### **4.2.3 Norma SAE JA1011**

La Norma SAE JA1011 sobre Criterios de Evaluación para el Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) tiene un trasfondo interesante que incluye historias tanto decepcionantes como exitosas antes de que sus principios fueran concebidos e incorporados eventualmente a un estándar internacional de ingeniería.

La industria de la aviación enfrentó problemas de confiabilidad, seguridad e ineffectividad de costos en los años 50. Los regímenes de tareas de mantenimiento basados en el tiempo no fueron capaces de garantizar operaciones sostenibles y la industria de la aviación comercial estaba a punto de sufrir una crisis importante. Los profesionales de mantenimiento y confiabilidad no pudieron encontrar una relación clara entre las horas de tareas programadas y la confiabilidad de los equipos. Además, algunos mantenedores experimentaron que aplicar menos horas de tareas programadas a intervalos de tiempo más largos, dio como resultado una mayor confiabilidad. Las compañías de aviación necesitaban cumplir con ciertos planes de mantenimiento para conservar sus certificaciones de aeronavegabilidad. Casi todas las tareas de mantenimiento recomendadas consistieron en

la sustitución o reparación mayor de componentes, antes de que alcanzaran su vida útil expresada en horas de operación. El hecho de que la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos (FAA por sus siglas en inglés) negara el permiso para fabricar la aeronave modelo 747 a Boeing, planteó una alarma importante en la industria de la aviación. Se pensó que un avión de mayor tamaño con tres veces la capacidad de pasajeros requeriría mucho más mantenimiento y costos de operación que sus predecesores. Este rechazo del nuevo diseño, junto con un historial de seguridad de casi 60 accidentes por cada 1,000,000 de despegues y altos costos operativos exigió nuevas perspectivas de diseño, operación y mantenimiento de aeronaves que condujeron a la creación del RCM.

Los esfuerzos para comprender los patrones de falla de los componentes no estructurales de los aviones llevaron a Stanley Nowlan y Howard Heap, ambos de United Airlines, a desarrollar un nuevo enfoque hacia el mantenimiento. Documentaron su metodología para el desarrollo de políticas de gestión de consecuencias de fallas en un informe publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en 1978. Su proceso fue llamado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y se basó en un procedimiento basado en el sentido común con un diagrama de decisión para la creación de estrategias de mantenimiento para proteger las funciones de los activos. RCM se define como un proceso para determinar qué debe hacerse para mantener los activos físicos funcionando de acuerdo a lo que sus operadores quieren que éstos hagan en su contexto operacional actual. Desde sus orígenes, el RCM ha sido utilizado en muchas industrias y en casi todos los países industrializados en el mundo. Ha habido muchas interpretaciones individuales del informe de Nowlan y Heap que condujeron a la creación de una variedad de métodos que difieren ampliamente del proceso original.

El propósito de la norma SAE JA1011, publicada en 1999, es establecer los criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado "RCM". El documento de doce páginas, revisado en agosto de 2009, describe los requerimientos mínimos para que un

proceso se considere un método en conformidad con RCM. La norma proporciona los criterios para establecer si un proceso dado sigue los credos de RCM como se propuso originalmente. También puede servir como una guía para las organizaciones que buscan capacitación, facilitación y consultoría de RCM.

La norma SAE JA1011, de AGO 2009, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación:

- 1) Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).
- 2) Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).
- 3) Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
- 4) Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
- 5) Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
- 6) Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).
- 7) Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez). (Sifonte, 2017)

#### **4.2.4 Norma ISO 14224**

El estándar ISO 14224 está asociado a la recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipo relacionados a la industria del petróleo y gas

natural. La misma será utilizada en este documento como soporte central para el desarrollo de cada uno de los elementos que conformarán el futuro catálogo de fallas.

Es importante que el Equipo Natural de Trabajo se apoye con toda la información técnica que exista tales como ISO 14224, OREDA, SAE JA 1012, a fin de poder tener a la mano toda la experiencia acumulada y actualizada, al final toda la información debe ser filtrada y complementada por la experiencia de equipo de trabajo responsable de desarrollar el catálogo.

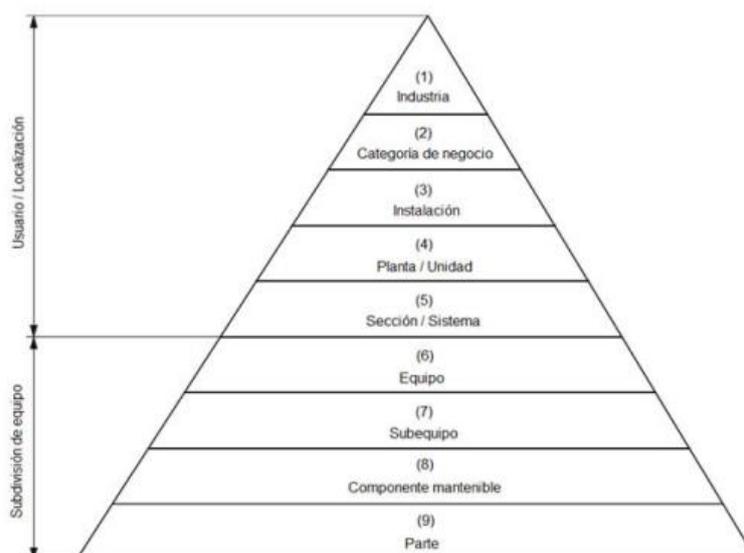
La taxonomía es la ciencia que estudia los principios, métodos y fines de la clasificación. Los conceptos de taxonomía aplicados a instalaciones permiten clasificar los activos de una instalación para agruparlos en entidades de jerarquía superior. Esto hace que se tenga una visión estructurada de todos los activos que componen la planta, y gracias ella, un mejor control sobre ellos. La norma ISO 14224 da una serie de pautas para estructurar los activos de una instalación, que son compatibles con lo indicado en este capítulo. Relacionado con la implantación de la metodología RCM, esta clasificación permite estructurar como se va a llevar a cabo el estudio, comenzando generalmente por los niveles jerárquicos más bajos (equipos) para acabar con los más altos (áreas e incluso la planta en su totalidad). (Ramirez, 2017)

#### **4.2.5 Taxonomía**

La norma ISO 14224 define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se observa en la Fig. 3 y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización. Para realizar el RCM, se puede utilizar como insumo la taxonomía. (ISO, 2021)

Figura 3

Pirámide jerárquica



La norma ISO 14224 proporciona una estructura jerárquica de clasificación taxonómica que consta de 9 niveles. El nivel superior, que es el nivel 1, abarca el tipo de industria, mientras que el nivel inferior, el nivel 9, se refiere a una parte o componente específico. (Warrendale, 2009)

#### 4.2.6 Matriz de criticidad

Las técnicas de análisis de riesgo son empleadas en la búsqueda y evaluación de escenarios que pueden representar un impacto adverso para una instalación o planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones de recomendación tendientes a minimizar el mismo. El principio de cualquier estudio de riesgo, está basado en encontrar respuesta a tres interrogantes: 1) ¿Qué puede salir mal? 2) ¿Qué tan frecuente es? y 3) ¿Cuáles son sus efectos? Analizando y entendiendo la respuesta a estas preguntas, podemos entender los riesgos y diseñar mejores acciones para la prevención y control. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las acciones recomendadas

se quedan así, en recomendaciones las cuales, en la mayoría de los casos no son implementadas o si lo son, no se les da seguimiento para validar el impacto real en la disminución del riesgo.

Consiste en conocer y entender la filosofía de operación de la planta o proceso, a fin de poder identificar claramente las condiciones bajo las cuales se opera, considerando tanto su diseño como las necesidades del usuario. El desarrollo de esta actividad nos permite saber la forma en que se operan los activos, siendo este el nivel de detalle requerido en la descripción. La definición deberá de contener parámetros de operación, los equipos involucrados, rutas de proceso, parámetros de control, entre otros atributos. Para el análisis de modos de falla y sus efectos, AMFE (FMEA), la definición de la intención de diseño del sistema o equipo en análisis es altamente recomendable, ya que para poder entender como falla un activo, primero es necesario conocer cómo opera. Cabe mencionar que es en esta etapa inicial donde personal que participa en la metodología, debe asimilar el proceso que se lleva a cabo en la instalación que se está analizando, ya que es común, que tanto la gente del grupo de mantenimiento, como los facilitadores de la metodología, estén poco familiarizados con la instalación en cuestión.

Identificar los subsistemas que componen la línea para poder realizar una clasificación; basada en los cuatro factores fundamentales de criticidad en la estrategia de mantenimiento, con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

1. Factor de producción (Fp)
2. Factor de costos operativos (Fc)
3. Factor de tiempos de parada (Ftmr)
4. Factor de calidad, medio ambiente y seguridad (Fmassq)

Ecuación de criticidad de equipos para analizar la tarea 1.2

$$Ce = (Fp + Fc) \times F_{tmpr} + F_{massq}$$

Ecuación 1. (Reliabilityweb, 2010)

**Ce:** Criticidad de los equipos

**Fp:** Factor de costos operativos: Indica si en los costos operativos se gasta mucho dinero, entre un rango o poco.

**Fc:** Factor de costos: indica el rango de costos operativos en un periodo de tiempo asociado a mantenimiento

**Ftmr:** Indica si una reparación toma mucho tiempo, entre un rango o poco tiempo.

**Fmassq:** Indica un bajo riesgo en calidad, medio ambiente y seguridad, si es medio o alto.

#### 4.2.6.1 Indicadores de gestión de mantenimiento y eficiencia

Tal como se define en la norma europea EN 13306:2011 (CEN, 2011), la moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que: determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento), las estrategias (definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir esas metas u objetivos), y las responsabilidades en la gestión. Lo anterior permitirá luego, en el día a día, implementar estas estrategias planificando, programando y controlando la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora, teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización.

Se puede demostrar (Crespo, 2007), que, para la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento, es posible conseguir los anteriores puntos entendiendo bien los dos siguientes aspectos:

a) El proceso de gestión de mantenimiento, que tiene un curso de acción, es decir una serie de pasos a seguir y;

b) El marco general de referencia para la gestión, es decir la estructura básica de soporte constituida por una serie de herramientas que conforman un sistema básico, que es necesario para una gestión avanzada del mantenimiento.

Proceso de gestión de mantenimiento: El proceso de gestión de mantenimiento podemos dividirlo en dos partes principales:

i) La definición de la estrategia de mantenimiento; ii) La implementación de la estrategia de mantenimiento.

La primera de estas partes, el proceso de definición de la estrategia de mantenimiento, requiere la definición de los objetivos de mantenimiento como "input" del mismo. Obviamente, los objetivos de mantenimiento dimanar directamente del plan de negocio de la organización en cuestión. Diseñar estrategias de mantenimiento que estén alineadas con los planes de negocio es un aspecto clave y condiciona la consecución de los objetivos del mantenimiento y en última estancia los reseñados en el plan de negocio de la organización.

Para conseguir que los miembros que intervienen dentro del BSC para cumplir con los "Indicadores Clave de Desempeño" o key Performance indicator (KPI's), el diálogo, la retroalimentación con resultados y comunicación por cualquier método juega un papel importante para lograr la alienación de la organización con la estrategia; por tanto, el primer paso para generar motivación entre los empleados es comunicar la misión, valores, visión y la estrategia definida. El dialogo entre las áreas que involucran las perspectivas a todo nivel

de la organización propicia el desarrollo de la cultura y ambiente organizacional, donde se abre un espacio donde se puede expresar el DOFA (Debilidades Oportunidades Fortalezas y Amenazas), beneficios o problemas que se crean producto a los nuevos retos de la organización. Es importante crear un plan de seguimientos periódicos que recoja todos los elementos importantes que permitan la alienación de toda la organización con la estrategia establecida. (Segura, 2017)

#### **4.2.7 Planes de mantenimiento preventivo y predictivo**

##### **Plan De Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo (MP) es un enfoque proactivo para mantener y mejorar el estado operativo de los activos, las ubicaciones y los sistemas de edificio. Gastar recursos en el mantenimiento preventivo evita reparaciones mayores y más costosas a lo largo del tiempo.

Registros de mantenimiento preventivo:

Los registros de mantenimiento preventivo incluyen planes de trabajo y planificaciones PM. El plan de trabajo identifica los elementos que deben ser atendidos, la organización responsable, y la organización de servicio para el mantenimiento. El plan de trabajo contiene las planificaciones PM, que pueden basarse en planificaciones o lecturas.

Configuración de planes de trabajo:

Un plan de trabajo le proporciona acceso a todo el mantenimiento que está asociado con activos, ubicaciones o sistemas de edificio.

Establecimiento de planificaciones PM:

Una planificación de mantenimiento preventivo (MP) está contenida en un plan de trabajo y está asociada a una clasificación de solicitud. La planificación MP utiliza reglas empresariales e información del plan de trabajo, la clasificación de solicitud y el plan de servicios asociado.

## **Plan De Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo, (PdM por sus siglas en inglés: Predictive Maintenance) es el mantenimiento que monitorea el rendimiento y el estado del equipo durante el funcionamiento normal para reducir la probabilidad de fallas. También conocido como mantenimiento basado en condiciones, el mantenimiento predictivo se ha utilizado en el mundo industrial desde la década de 1990.

El objetivo del mantenimiento predictivo es la capacidad de predecir primero cuándo podría ocurrir una falla del equipo (en función de ciertos factores), seguido de la prevención de la falla mediante un mantenimiento correctivo y programado regularmente.

- Tecnologías de mantenimiento predictivo:
- Termografía infrarroja
- Monitoreo acústico
- Análisis de vibraciones
- Análisis de aceite

## **5 Marco metodológico de la investigación**

### **5.1 tipos de investigación**

#### **Tipo de investigación mixta (cualitativo y cuantitativo)**

En primer lugar, la matriz de criticidad utiliza enfoques cuantitativos al incorporar datos tangibles y medibles, como la probabilidad de fallo y el impacto potencial de una falla. Estos datos cuantitativos permiten una evaluación precisa de la criticidad de los elementos y brindan una base sólida para tomar decisiones informadas. Estos aspectos numéricos proporcionan una medida objetiva y estructurada para comparar y clasificar los elementos en términos de su importancia.

Por otro lado, la matriz de criticidad también incluye elementos cualitativos al considerar factores subjetivos que no se pueden cuantificar fácilmente. Por ejemplo, la opinión de expertos en el campo puede influir en la evaluación de la criticidad de un elemento, así como también se pueden tener en cuenta aspectos que afecten la reputación de la empresa, lo cual tiene un carácter subjetivo. Estos aspectos cualitativos pueden añadir una dimensión adicional a la evaluación de la importancia de los elementos, capturando aspectos que no se reflejan en los datos cuantitativos.

Una matriz de criticidad es una herramienta que se utiliza para analizar y evaluar la importancia de diferentes elementos o componentes en un sistema o proceso. Esta herramienta se utiliza comúnmente en campos como la ingeniería, la gestión de proyectos y la gestión de riesgos para identificar los elementos críticos que pueden tener un impacto significativo en el rendimiento o la seguridad del sistema.

En cuanto a su naturaleza como investigación mixta, esto se debe a que implica tanto el uso de métodos cuantitativos como cualitativos en su diseño y análisis. Por un lado, la matriz de criticidad utiliza datos cuantitativos para evaluar la importancia de los diferentes elementos del sistema, como la probabilidad de falla y el impacto potencial de una falla. Por otro lado, también se utiliza información cualitativa para identificar y evaluar factores subjetivos que pueden afectar la importancia de los diferentes elementos, como la opinión de expertos o el impacto en la reputación de la empresa.

Por lo tanto, la matriz de criticidad se considera una investigación mixta porque combina tantos datos cuantitativos como cualitativos en su diseño y análisis para proporcionar una evaluación integral de los elementos críticos en un sistema o proceso.

## **5.2 Fuentes de información**

### **5.2.1 Fuente de información primaria**

Como fuente de información primaria para la realización de este proyecto, se utilizaron artículos científicos, descargados directamente desde la base de datos de la biblioteca de la universidad ECCI. Adicional de información obtenida de Google academic donde encontramos artículos científicos que permitieron el correcto desarrollo del análisis de criticidad para la línea de envasado con baja eficiencia.

### **5.2.2 Fuente de información secundaria**

Como fuente de información secundaria para este proyecto se utilizaron paginas web adicional de la información suministrada por la compañía sobre los equipos de la línea de envasado, adicional a ello la información recopilada basada en la experiencia técnica de los operadores y técnicos de la línea.

### **5.3 Cronograma**

### **5.4 Diseño metodológico**

A continuación, se presentará la estructura del proyecto que consta de tres fases; donde su primera fase es la creación de la taxonomía de la línea, posteriormente se encontrara una segunda fase referente a la clasificación de criticidad de los equipos y finalmente se encontrara una tercera fase que relacionara la presentación de los resultados obtenidos.

Con la herramienta de gestión, ERP (Herramienta de planificación de recursos empresariales) de Manufactura se extraerá la información de tiempos de parada de la línea y subsistemas de la misma, los cuales se identifican en la Tabla 1, ya sea por fallas no programadas (tiempos de correctivo) o paros programados (tiempos de preventivo o predictivo); durante el último año utilizando el módulo de mantenimiento de SAP.

También se extraerá la información real de los subsistemas como:

- Ubicación de los equipos

- Tiempo mano de obra registrada (Horas/Hombre)

Para el análisis de la Información se tendrán en cuenta los siguientes pasos para que sea de manera sistemática

Se establecerá una métrica para el análisis de la información a través de indicadores claves como MTTR y MTBF, los cuales permitirán la gestión de activos y la toma de decisiones en cuanto a qué equipo o activo requiere mayor mantenimiento o si es necesario reemplazarlo.

Esta información será exportada a una hoja de cálculo para realizar una base de datos en donde se pueda analizar las tendencias de fallas pareto de los subsistemas correspondientes a la línea de estudio.

Línea de producción envasado de bebidas carbonatadas

A continuación, se especifica cada uno de los KPI's ya mencionados:

**Mttr:**

es el tiempo medio en que se tarda en la reparación del equipo, el objetivo es que este indicador sea lo más pequeño posible. introducir un equipo nuevo y finalmente, su puesta en servicio de nuevo.

**Mtbf:**

tiempo medio entre fallos, nos indicará cual es la previsión que se tiene de cada cuanto el sistema fallará. Es decir, cada cuanta hora pueden pasar para que aparezca un fallo en el sistema. (Motadata.com, 2021)

Ecuación de criticidad de equipos para analizar la tarea 1.2

$$Ce = (Fp + Fc) \times F_{tmpr} + F_{massq}$$

**Ce:** Criticidad de los equipos

**Fp:** Factor de costos operativos: Indica si en los costos operativos se gasta mucho dinero, entre un rango o poco.

**Fc:** Factor de tiempo de parada: Indica si en una reparación toma mucho tiempo, entre un rango o poco tiempo.

**Ftmr:** Indica si una reparación toma mucho tiempo, entre un rango o poco tiempo.

**Fmassq:** Indica un bajo riesgo en calidad, medio ambiente y seguridad, si es medio o alto.

Con la base de datos de la fase N°1 se tomará el promedio de costos asociados al presupuesto de cada equipo, para poder determinar la criticidad del equipo y tomar acciones de mejora.

Los costos se extraerán de la herramienta ERP (SAP), asociados a los gastos representativos al periodo a evaluar.

Con la información recolectada y análisis de las fases 1 y 2, se obtendrán algunos resultados iniciales que permitirá la creación de la matriz de criticidad que servirá como base para mejorar los planes de mantenimiento existentes.

## 6 Propuesta de solución

### 7.1 Creación de la taxonomía de la línea

Para el desarrollo del presente objetivo es necesario identificar los subsistemas que componen la línea para poder realizar una clasificación; basada en los cuatro factores fundamentales de criticidad en la estrategia de mantenimiento.

1. Factor de producción (Fp)
2. Factor de costos operativos (Fc)
3. Factor de tiempos de parada (Ftmr)
4. Factor de calidad, medio ambiente y seguridad (Fmassq)

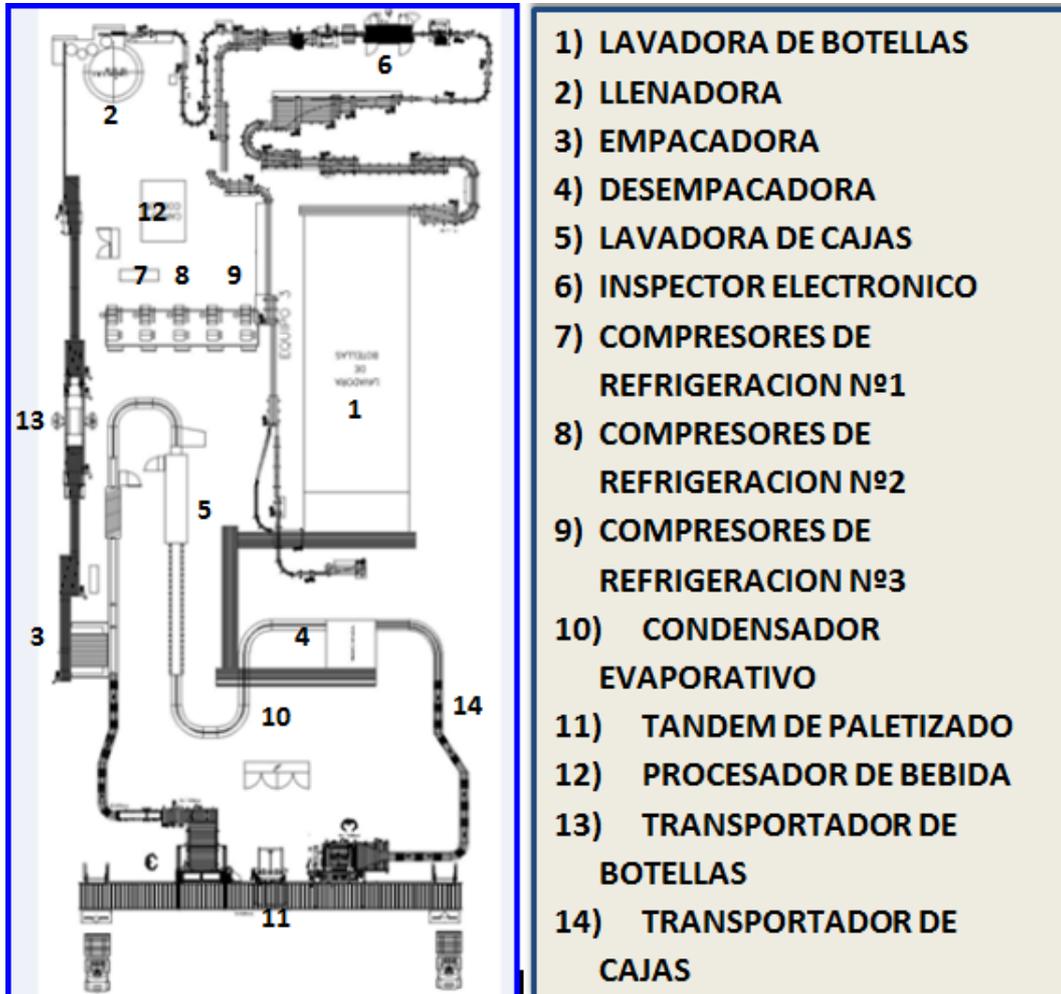
**Tareas:**

1. Recolectar información de los equipos.
2. Análisis de la información descargada de SAP (Sistema informático integrado de gestión empresarial).

**Layout Línea 3 (Tarea 1.1)**

Figura 3

Layout línea 3



Nota. Plano línea de producción tres

Los subsistemas a analizar se detallan a continuación: en la tabla N°1, tarea 1.1.

Tabla 1

Descripción de equipos de layout de la línea

Línea 3	Descripción
1. Lavadora De Botellas	Marca maper de 40 bolsillos, 21 golpes x min. Se encarga de realizar el lavado del envase mediante inmersión en soda cáustica y posteriormente un enjuague con agua tratada
2. Llenadora	Marca KHS de 72 válvulas de llenado, con 16 cabezales de tapado, se encarga

	de llenar el envase vacío con el respectivo sabor y posteriormente taparlo
<b>3. Empacadora</b>	Marca KHS dividido en 3 cabezales por 30 cavidades cada uno, velocidad 11 GPM, se encarga de recoger el envase lleno de la mesa de acumulación, con sus membranas y llevarlo a las cajas plásticas de embalaje
<b>4. Desempacadora</b>	Marca KHS dividido en 3 cabezales por 30 cavidades cada uno, velocidad 11 GPM, se encarga de recoger el envase vacío con sus membranas y llevarlo a los transportadores que van hacia la lavadora de botellas.
<b>5. Lavadora De Cajas</b>	Marca MAPER, de tres niveles de lavado, se encarga de lavar las cajas plásticas luego de que la desempacadora recoge el envase vacío
<b>6. Inspector Electrónico</b>	Marca HEUFT, se encarga de inspeccionar el envase vacío luego de que sale de la lavadora de botellas, para rechazar envase que contenga residuales de líquido y cuerpos extraños
<b>7. Compresores De Refrigeración N°1</b>	Marca Vilter, compresor de pistón de 100 HP, se encarga de comprimir el amoniaco gaseoso y llevarlo hacia el condensador evaporativo
<b>8. Compresores De Refrigeración N°2</b>	Marca vilter, compresor de pistón de 100 HP, se encarga de comprimir el amoniaco gaseoso y llevarlo hacia el condensador evaporativo
<b>9. Compresores De Refrigeración N°3</b>	Marca vilter, compresor de pistón de 100 HP, se encarga de comprimir el amoniaco gaseoso y llevarlo hacia el condensador evaporativo
<b>10. Condensador Evaporativo</b>	Marca BALTIMORE, se encarga de recibir el amoniaco de alta (gaseoso), pasarlo por un intercambiador y llevarlo a estado líquido nuevamente.
<b>11. Tandem De Paletizado</b>	Marca AUTOPACK, Se encarga de despaletizar y paletizar las cajas con envase vacío y lleno, apilarlas en capas de nueve cajas por cinco niveles.
<b>12. Procesador De Bebida</b>	Marca KRONES AG 30/2 30000 Lt/h, se encarga de realizar la mezcla de agua, jarabe, CO2 para posteriormente enviarla hacia la llenadora de botellas.
<b>13. Transportador De Botellas</b>	sistema compuesto por cadenas inoxidable marca tabletop con sus respectivos piñones en ejes conductores y conducidos, se encarga de trasladar los envases vacíos y llenos a la siguiente etapa de producción

<b>14. Transportador De Cajas</b>	sistema compuesto por cadenas inoxidable marca tabletop con sus respectivos piñones en ejes conductores y conducidos, se encarga de trasladar las cajas vacías y llenas a la siguiente etapa de producción
<b>15. Extractor De Pitillos</b>	Equipo utilizado con el fin de realizar una extracción rápida de los pitillos depositados en las botellas mientras van en cajas que circulan por la banda.
<b>16. Elevador De Tapa</b>	Marca Bertolaso, Se encarga de llevar por medio de una banda magnética la tapa corona hacia la tolva de la coronadora o tapadora.
<b>17. Codificador De Botellas</b>	Marca videojet, se encarga de realizar la codificación con la respectiva fecha de vencimiento y lote de cada botella llena a la salida de la llenadora.

*Nota.* Se describen detalles específicos como: marca y calidad de los subequipos de la línea de envasado. Fuente propia

Tabla 2

Hoja de vida de los equipos línea tres

Ubicac.técnica	Denominación	Equipo	Denominación	Fabricante	Activo fijo	Tamaño/Dimens.	Año construc.	Fabr. N°-serie	Denomin.tipo
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	508180	LAVADORA DE BOTELLAS	AUSTRAL SAN MARTIN	152000002329	CAP. 800 BPM	2009	2291-80	MS-40-330-B4/1
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	518625	LLENADORA REPOTENCIADA	HOLSTEIN UND KAPPERT gmbh		750 BPM		2390	VF-7216
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	548745	EMPACADORA	HOLSTEIN UND KAPPERT gmbh	152000002341	CAP: 33 CPM	1979	975	VEM III 1351-501
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	558042	DESEMPACADORA	HOLSTEIN UND KAPPERT gmbh	152000002346	CAP: 33 CPM	1978	805	VAM III 1351-501
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	560033	LAVADORA DE CAJAS	MAPER	152000031489		2011	LC-5255	SL2TI
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	599563	INSPECTOR ELECTRONICO	HEUFT	152000018101	1000 BPM	2008	2VG028971	HBBIRT164
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	628908	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 1	VILTER MILWAUKEE USA	152000002354	CAP: 90 TON			VMC 440
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	628909	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 2	VILTER MILWAUKEE USA	152000002355	CAP: 90 TON			VMC 440
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	629034	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 3	VILTER MILWAUKEE USA	152000002356	CAP: 90 TON		22612	VMC 440
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	638552	CONDENSADOR EVAPORATIVO	YORK FRICK		CAP: 150 TON-REF	2006	50491-100	XLC-220 RH
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	820030	TANDEM DE PALETIZADO	AUTOPACK	152000042342	1800 CPH	2013	TGS APL03-2013	TREVISO BOX
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	828996	PROCESADOR DE BEBIDA	KRONES AG			2009	M7490290316	CONTIFLOW KB40184
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	829603	TRANSPORTADOR DE BOTELLAS	NACIONAL	152000002498	CAP. 800 BPM			
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	829803	TRANSPORTADOR DE CAJAS	NACIONAL	152000004367				
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	50818001	EXTRACTOR DE PITILLOS	AUTOPACK		CAP. 800 BPM	2010	DP APL-35-10	TRENTO
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	51859401	ELEVADOR DE TAPA	BERTOLASO	152000018491	1000 TAPAS/MIN	2009	PAMS010012	AD1000
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	82960403	CODIFICADOR BOTELLAS	MARKEM IMAJE	152000052907	CAPACIDAD: 1.000 B		FR14430035	9232
0011-LINEA 3	LINEA DE ENVASADO 12 onzas	90005504	CODIFICADOR	VIDEOJET	152000058608	CAP: 60.000 BPH	2008	080241010WD	XL 170 i UHS AF

*Nota.* Esta tabla hace parte de la tabla número 1 hace referencia a la hoja de vida de los equipos mencionados anteriormente en el layout de la línea 3, corresponde a los

fabricantes, activos fijos, tamaño o dimensiones del equipo, número de serie, y modelo respectivo del equipo. Fuente SAP compañía

**Tarea 1.2**

Tabla 3

Costos representativos asociados en la matriz de criticidad

Ubicac.técnica	Equipo	Denominación	8_21	9_21	10_21	11_21	12_21	1_22
0011-LINEA 3	508180	LAVADORA DE BOTELLAS		\$ 30,102.97	\$ 259,780.00	\$ 786,520.00	\$ 358,967.93	\$ 3,282,209.97
0011-LINEA 3	518594	LLENADORA DESMONTADA	\$ 886,846.17	\$ 371,223.64	\$ 540,810.77	\$ 356,431.09		
0011-LINEA 3	518625	LLENADORA REPOTENCIADA				\$ 94,960.55		\$ 465,697.57
0011-LINEA 3	548745	EMPACADORA	\$ 2,813,150.32	\$ 10,455,519.64	\$ 442,000.00	\$ 2,368,166.00	\$ 311,930.00	
0011-LINEA 3	558042	DESEMPACADORA	\$ 264,500.00	\$ 123,623.65		\$ 233,625.00		\$ 2,935,240.99
0011-LINEA 3	560033	LAVADORA DE CAJAS		\$ 33,000.00	\$ 42,000.00	\$ 136,000.00	\$ 3,465,000.00	\$ 377,600.00
0011-LINEA 3	599563	INSPECTOR ELECTRONICO		\$ 90,315.40	\$ 16,712,984.42	\$ 19,033,227.80	\$ 1,092,139.50	
0011-LINEA 3	628908	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 1		\$ 589,736.26	\$ 446,579.34	\$ 613,155.90		
0011-LINEA 3	628909	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 2		\$ 589,736.26	\$ 293,840.00	\$ 178,810.45		
0011-LINEA 3	629034	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 3		\$ 510,027.46	\$ 293,840.00	\$ 511,070.00		
0011-LINEA 3	638552	CONDENSADOR EVAPORATIVO		\$ 81,101.00		\$ 13,162.49	\$ 1,733,332.00	-\$ 529,724.00
0011-LINEA 3	820030	TANDEM DE PALETIZADO	\$ 4,261,526.00	\$ 1,149,600.02				\$ 119,852.49
0011-LINEA 3	828996	PROCESADOR DE BEBIDA					\$ 1,226,787.00	\$ 12,217,177.61
0011-LINEA 3	829603	TRANSPORTADOR DE BOTELLAS		\$ 535,000.00	\$ 108,000.00	\$ 204,800.00	\$ 1,482,754.70	\$ 724,693.76
0011-LINEA 3	829803	TRANSPORTADOR DE CAJAS		\$ 3,136,200.00	\$ 68,900.00			
0011-LINEA 3	50818001	EXTRACTOR DE PITILLOS						
0011-LINEA 3	51859401	ELEVADOR DE TAPA						
0011-LINEA 3	82960403	CODIFICADOR BOTELLAS						
0011-LINEA 3	90005504	CODIFICADOR					\$ 146,695.14	
	820049	SOPLADORA ENVASES PET 18M						\$ 436,225.35
	70960912	FILTRO DE CARBON # 2				\$ 51,000.00	\$ 350,000.00	
<b>Total general</b>			\$ 8,226,022.49	\$ 17,695,186.30	\$ 19,208,734.53	\$ 24,580,929.28	\$ 10,167,606.27	20028973.74

Nota. En las siguientes tablas, tabla 3 y tabla 4. Se observará los costos representativos para los meses comprendidos entre agosto del año 2021 a julio del 2022 para el respectivo análisis y ponderación en la matriz de criticidad. Fuente SAP compañía

Tabla 4

Costos representativos asociados en la matriz de criticidad

Ubicac.técnica	Equipo	Denominación	2_22	3_22	4_22	5_22	6_22	7_22	Total (año)
0011-LINEA 3	508180	LAVADORA DE BOTELLAS	\$ 8,503,536.44	\$ 2,322,459.80	\$ 4,525,886.00	\$ 6,286,057.50	\$ 4,628,346.75	\$ 220,155.61	\$ 31,204,022.97
0011-LINEA 3	518594	LLENADORA DESMONTADA							\$ 2,155,311.67
0011-LINEA 3	518625	LLENADORA REPOTENCIADA	\$ 1,570,860.94	\$ 365,683.37	\$ 1,175,685.11	\$ 3,426,085.45	\$ 6,730,928.01	\$ 12,586,633.57	\$ 26,416,534.57
0011-LINEA 3	548745	EMPACADORA	\$ 366,250.00	\$ 304,568.38	\$ 849,650.00		\$ 1,516,280.00	\$ 315,540.00	\$ 19,743,054.34
0011-LINEA 3	558042	DESEMPACADORA	\$ 228,000.00		\$ 1,820,000.00				\$ 5,604,989.64
0011-LINEA 3	560033	LAVADORA DE CAJAS				\$ 369,800.00		\$ 650,566.00	\$ 5,073,966.00
0011-LINEA 3	599563	INSPECTOR ELECTRONICO	\$ 3,004,028.09	\$ 237,000.00	\$ 13,066,946.70			\$ 18,945.82	\$ 53,255,587.73
0011-LINEA 3	628908	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 1	\$ 168,000.00						\$ 1,817,471.50
0011-LINEA 3	628909	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 2	\$ 59,901.50			\$ 122,600.00	\$ 1,790,424.00		\$ 3,035,312.21
0011-LINEA 3	629034	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 3	\$ 1,905,395.18	\$ 918,421.02			\$ 299,507.51		\$ 4,438,261.17
0011-LINEA 3	638552	CONDENSADOR EVAPORATIVO			\$ 1,283,900.00				\$ 2,581,771.49
0011-LINEA 3	820030	TANDEM DE PALETIZADO		\$ 19,445.77	\$ 1,256,354.00		\$ 13,573.77	\$ 19,032.97	\$ 6,839,385.02
0011-LINEA 3	828996	PROCESADOR DE BEBIDA	\$ 3,400,000.00	\$ 3,326,000.68	\$ 24,610,096.06	\$ 2,623,500.00	\$ 2,952,060.00	\$ 685,201.00	\$ 51,040,822.35
0011-LINEA 3	829603	TRANSPORTADOR DE BOTELLAS		\$ 859,510.50	\$ 549,050.00	\$ 155,900.00	\$ 498,541.36		\$ 5,118,250.32
0011-LINEA 3	829803	TRANSPORTADOR DE CAJAS			\$ 2,230,000.00	\$ 114,900.00	\$ 711,442.20	\$ 13,162.50	\$ 6,274,604.70
0011-LINEA 3	50818001	EXTRACTOR DE PITILLOS							\$ -
0011-LINEA 3	51859401	ELEVADOR DE TAPA							\$ -
0011-LINEA 3	82960403	CODIFICADOR BOTELLAS						\$ 7,382,771.03	\$ 7,382,771.03
0011-LINEA 3	90005504	CODIFICADOR							\$ 146,695.14
	820049	SOPLADORA ENVASES PET 18M							\$ 436,225.35
	70960912	FILTRO DE CARBON # 2							\$ 401,000.00
<b>Total general</b>			\$ 19,205,972.15	\$ 8,353,089.52	\$ 51,367,567.87	\$ 13,098,842.95	\$ 19,141,103.60	\$ 21,892,008.50	232966037.2

Nota. Se observará los costos representativos para los meses comprendidos entre agosto del año 2021 a julio del 2022 para el respectivo análisis y ponderación en la matriz de criticidad. Fuente SAP compañía

Tabla 5

Pareto de tiempos representativos línea tres

MOTIVO	MIN	HORAS	% PART.	PARETO
LLENADORA – TAPADORA	217	3.62	18.2%	18.2%
EXPLOSION DE ENVASE	168	2.80	14.1%	32.3%
CAMBIO DE SABOR	162	2.70	13.6%	45.9%
INSPECTOR DE ENVASE VACIO	82	1.37	6.9%	52.8%
LAVADORA BOTELLAS	78	1.30	6.5%	59.3%
CONVERSION DE EQUIPOS	75	1.25	6.3%	65.6%
ENVASE REVUELTO	65	1.09	5.5%	71.1%
EMPACADORA	51	0.85	4.3%	75.4%
CORONADORA	50	0.84	4.2%	79.6%
TRANSPORTADORES DE ENVASE VACIO	47	0.78	3.9%	83.5%
<b>Total</b>	<b>996</b>	<b>19.9</b>	<b>100.0%</b>	

Nota. Se observa el pareto y los tiempos más representativos para el respectivo análisis de los tiempos medio de falla y los tiempos medio entre la reparación, tomando como ejemplo el mes de febrero del año 2022.

Tabla 6

Descripción de avisos o modos de falla equipos línea tres.

Res	Fecha	Horas	Descripción	Detalle	Min
LLENAD 3	01/02/2022	0.37	TRANSPORTADORES DE ENVASE VACIO	FALLAN SEÑALES VARIADOR TRANSPORTADORES	22.2
LLENAD 3	01/02/2022	0.12	INSPECCION DE CALIDAD	PRUEBAS DE CALIDAD	7.2
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.17	CODIFICADOR DE BOTELLAS	Ajuste de laser	10.2
LLENAD 3	01/02/2022	0.17	LLENADORA - TAPADORA	Cambio de centrador # 69	10.2
LLENAD 3	01/02/2022	0.13	TRANSPORTADORES DE ENVASE VACIO	Se dispara variador transportador entrad	7.8
LLENAD 3	01/02/2022	0.20	CODIFICADOR DE BOTELLAS	Ajuste de cabezal y chorro de impresión	12.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	Explosion de envase	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.08	EMPACADORA	Cambio de bastago # 13	4.8
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EMPACADORA	Se estrella envase en guias, ajuste de g	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.08	TRANSPORTADORES DE ENVASE VACIO	Envase esrellado en transportador enfila	4.8
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	Explosion de envase	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.17	ENVASE REVUELTO	Envase revuelto	10.2
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	explosion de envase	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.08	CAMBIO DE SABOR	Baja velocidad cambio de sabor	4.8
LLENAD 3	01/02/2022	0.20	CAMBIO DE SABOR	Cambio de sabor de seven a pepsi	12.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.25	Conversión coronadora	Conversion coornadora	15.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.07	EMPACADORA	CaAjuste de grilla y guias	4.2
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	Explosion de envase	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.03	CAMBIO DE SABOR	Baja velocidad fin de producción	1.8
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.07	CORONADORA	TAPA ATASCADA EN DISCO TOLVA	4.2
LLENAD 3	01/02/2022	0.08	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	4.8
LLENAD 3	01/02/2022	0.08	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	4.8
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.10	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	6.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	01/02/2022	0.17	CAMBIO DE LINEA	CAMBIO DE LINEA 3 A 4	10.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	4.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.07	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	AJUSTE PARAMETROS INSPECTOR ENVASE	4.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.33	LAVADORA BOTELLAS	SALTA GUARDAMOTOR DE LA BOMBA ENJ FINAL	19.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.07	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	4.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	AJUSTE PARAMETROS INSPECTOR ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.07	LAVADORA BOTELLAS	SE ESTRELLA ENVASE ENTRADA LAVADORA	4.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.03	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	1.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.03	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	1.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	AJUSTE PARAMETROS INSPECTOR ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	TRANSPORTADORES DE ENVASE VACIO	CAIDA ENVASE TRANSPORTADOR	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	LAVADORA BOTELLAS	ENVASE SE ESTRELLA ENTRADA LAVADORA	3.0

Res	Fecha	Horas	Descripción	Detalle	Min
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	AJUSTE PARAMETROS INSPECTOR ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	TRANSPORTADORES DE ENVASE VACIO	CAIDA ENVASE TRANSPORTADOR	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	LAVADORA BOTELLAS	ENVASE SE ESTRELLA ENTRADA LAVADORA	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	4.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.25	LAVADORA BOTELLAS	SE AJUSTA ESPEJO DE VALVULA N°20	15.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.03	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 690 Bpm	1.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.13	DEMPACADORA	AJUSTE SENSOR DESEMPACADORA	7.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	CORONADORA	TAPA ATASCADA EN DISCO TOLVA	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.10	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 690 Bpm	6.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	CORONADORA	TAPA ATASCADA DISCO, BAJANTE O VOLTEADOR	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	CAMBIO DE SABOR	BAJA VELOCIDAD CAMBIO DE SABOR	4.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	CORONADORA	TAPA ATASCADA EN DISCO TOLVA	4.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.27	ENVASE REVUELTO	ENVASE VIEJO DEFECTUOSO	16.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.07	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	4.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	CAMBIO DE SABOR	BAJA VELOCIDAD FIN PRODUCCIÓN	4.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.12	ENVASE REVUELTO	ENVASE VIEJO DEFECTUOSO	7.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	CORONADORA	TAPA ATASCADA DISCO, BAJANTE O VOLTEADOR	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.07	EMPACADORA	SE ESTRELLA BEBIDA ENTRADA EMPACADORA	4.2
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	LAVADORA BOTELLAS	SE ESTRELLA ENVASE ENTRADA LAVADORA	4.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.00	LAVADORA BOTELLAS	SE ESTRELLA ENVASE ENTRADA LAVADORA	0.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	ENVASE REVUELTO	ENVASE VIEJO DEFECTUOSO	4.8
LLENAD 3	02/02/2022	0.05	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 700 Bpm	3.0
LLENAD 3	02/02/2022	0.08	LAVADORA BOTELLAS	SE ESTRELLA ENVASE ENTRADA LAVADORA	4.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.22	FALLA HUMANA PRODUCCION ELABORACION	F.H. OPERARIO INSPECTOR	13.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.27	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	CONVERSIÓN INSPECTOR A 250	16.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.18	EMPACADORA	AJUSTE DE GUIA EMPACADORA	10.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.07	CORONADORA	TAPA ATASCADA DISCO, BAJANTE O VOLTEADOR	4.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.08	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	FALLA RECHAZO EN EL INSPECTOR	4.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.13	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	7.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.13	LLENADORA - TAPADORA	AJUSTE SALIDA LLENADORA	7.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.12	ENVASE REVUELTO	ENVASE REVUELTO	7.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.12	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 720BPM	7.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.25	CAMBIO DE SABOR	CAMBIO DE SABOR PEPSI A COLOMBIANA	15.0
LLENAD 3	03/02/2022	0.08	LAVADORA BOTELLAS	ENVASE ESTRELLADO EN ENTRADA, EMBRAGUE	4.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.03	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	SE ESTRELLA ENVASE EN EL RECHAZADOR	1.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	03/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	03/02/2022	0.12	CORONADORA	TAPA ATASCADA DISCO, BAJANTE O VOLTEADOR	7.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.07	LAVADORA BOTELLAS	SE ESTRELLA ENVASE ENTRADA LAVADORA	4.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.07	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 720BPM	4.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	03/02/2022	0.12	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	FALLA EN LA TABLERO INSPECTOR	7.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.05	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	3.0
LLENAD 3	03/02/2022	0.12	LAVADORA BOTELLAS	FALLA DE SENSOR LAVADORA	7.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.12	LAVADORA BOTELLAS	AJUSTE DESHAIRADOR LLENADORA	7.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.08	INSPECTOR DE ENVASE VACIO	SE ESTRELLA ENVASE EN EL RECHAZADOR	4.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.07	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	4.2
LLENAD 3	03/02/2022	0.03	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 720 BPM	1.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.20	CAMBIO DE SABOR	CAMBIO DE SABOR COLOMBIANA A MANZANA	12.0
LLENAD 3	03/02/2022	0.08	EXPLOSION DE ENVASE	EXPLOSION DE ENVASE	4.8
LLENAD 3	03/02/2022	0.05	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD POR REBOSE A 720 BPM	3.0
LLENAD 3	03/02/2022	0.08	LLENADORA - TAPADORA	BAJA VELOCIDAD FIN PRODUCCIÓN	4.8

Nota. Se evidencia los modos de falla representativos. Fuente SAP compañía

## 7.2 Clasificación de criticidad de los equipos

Según la clasificación de la taxonomía en la fase 1 se procederá a asignar valores cualitativos y cuantitativos de acuerdo al análisis de la información encontrada en SAP

**Tareas**

2.1 Análisis de los indicadores asociados al mantenimiento.

2.2 Validación del control del gasto

2.3 clasificación de cada uno de los equipos

**Tarea 2.1:** Asignación de valores cualitativos y cuantitativos de acuerdo a los siguientes criterios establecidos.

**Factor de producción (fp)**

Bajo = parada de máquina (fp=1)

Medio = parada de línea (fp=5)

Alto = parada de planta (fp=7)

**Factor de costos operativos (fc)**

Bajo = costo operativo medio anual < usd5000 (fc=1)

Medio = costo operativo medio anual  $\geq$  usd5000 y  $\leq$  usd15000 (fc=2)

Alto = costo operativo medio anual > usd15000 (fc=3)

**Factor de tiempos de parada (ftmpr)**

Bajo = tiempo medio para la reparación < 1h (fc=0,5)

Medio = tiempo medio para la reparación  $\geq$  1h y  $\leq$  2h (fc=1)

Alto = tiempo medio para la reparación > 2h (fc=1,5)

**Factor de calidad, medio ambiente y seguridad (fmassq)**

- Bajo = la falla no genera ningún riesgo de calidad, seguridad o medio ambiente (fmass=1)
- Medio = la falla genera defectos de calidad en el producto, riesgo para las personas cercanas al equipo y/o un riesgo de accidente medioambiental leve (fmass=4)
- Alto = la falla provoca un riesgo de contaminación en el producto, un riesgo de seguridad inminente para la planta, un riesgo de accidente medioambiental grave y/o está ligado a requerimientos legales (fmass=7)

Teniendo en cuenta las ecuaciones de la herramienta RCM2 donde se halla el MTTR y MTTF se ejecuta una tabla en una hoja de cálculo con los valores respectivos, para hallar el MTTR y MTTF se utilizará la ecuación 1 y ecuación 2, respectivamente.

$$MTTR = \frac{\textit{tiempo total de mantenimiento}}{\textit{número de reparaciones}}$$

Ecuación 1

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Número de paradas}}$$

Ecuación 2

Tabla 7

MTTR y MTBF de los equipos de la línea tres de producción

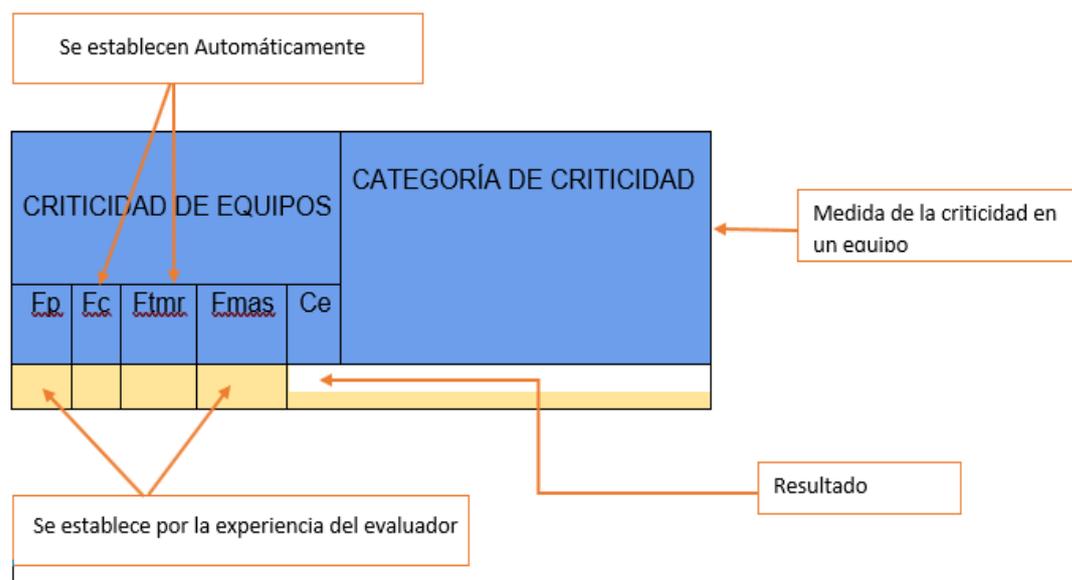
EQUIPO	Tiempo total de mto	Numero de reparaciones	Tiempo total disponible	MTTR	MTBF
TRANSPORTADORES DE ENVASE VACIO	9.66	53	265.37	0.18	4.8
TRANSPORTADORES DE BOTELLAS LLENAS	6.48	39	265.37	0.17	6.6
TAPADORA	16.02	61	265.37	0.26	4.1
TAPA DOBLADA	0.72	2	265.37	0.36	132.3
SISTEMA E RETORNO LLENADORA CALIENTE	0.08	1	265.37	0.08	265.3
RINSER BOTELLAS DE VIDRIO	1.32	7	265.37	0.19	37.7
LLENADORA	4.29	16	265.37	0.27	16.3
LAVADORA DE BOTELLAS	22.16	68	265.37	0.33	3.6
INSPECTOR INDICADOR VACIO TAPA	0.75	2	265.37	0.38	132.3
INSPECTOR DE ENVASE VACIO	2.02	12	265.37	0.17	21.9
ETIQUETADORA FULL BODY	1.13	1	265.37	1.13	264.2
ETIQUETADORA ENVOLVENTE	29.40	39	265.37	0.75	6.1
Enjuagadora / Rinse	2.46	9	265.37	0.27	29.2
EMPACADORA	2.04	6	265.37	0.34	43.9
DESEMPACADORA	4.53	4	265.37	1.13	65.2
DEPALETIZADORA	17.31	29	265.37	0.60	8.6
CORONADORA	0.32	4	265.37	0.08	66.3
COOLER	0.18	1	265.37	0.18	265.2
CODIFICADOR DE PRODUCTO	16.26	23	265.37	0.71	10.8
CAPSULADORA	2.25	9	265.37	0.25	29.2
APLICADOR DE TAPA WHITE- CAP	0.64	3	265.37	0.21	88.2

Nota. En la tabla 7 encontramos un eje de aplicación del MTTR y MTTF para los diferentes equipos de la línea de envasado tres (3)

### Tarea 2.2: Matriz de criticidad y clasificación

Figura 4

Asignación de valores para los equipos de la línea de producción



Nota. Se asignarán los valores respectivos en la matriz de criticidad, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la fase 1 y tarea 2.1. Fuente propia.

Tabla 8

Matriz de criticidad

No.	NÚMERO DE EQUIPO SAP	DENOMINACIÓN DEL OBJETO TÉCNICO	UBICACIÓN TÉCNICA	VALOR DEL MANTENIMIENTO ANUAL [COP]	VALOR DEL MANTENIMIENTO ANUAL [USD]	MTRR	CRITICIDAD DE EQUIPOS				
							Fp	Fc	Ftmpr	Fmass	Ce
3	508180	LAVADORA DE BOTELLAS	0011-LINEA 3	\$ 31,204,023	\$ 8,434	0.16	5	2	0.5	7	10.5
4	518625	LLENADORA REPOTENCIADA	0011-LINEA 3	\$ 28,571,846	\$ 7,722	0.17	5	2	0.5	7	10.5
9	548745	EMPACADORA	0011-LINEA 3	\$ 19,743,054	\$ 5,336	0.10	5	2	0.5	1	4.5
10	558042	DESEMPACADORA	0011-LINEA 3	\$ 5,604,990	\$ 1,515	0.29	5	1	0.5	1	4
11	560033	LAVADORA DE CAJAS	0011-LINEA 3	\$ 5,073,966	\$ 1,371	0.15	1	1	0.5	4	5
18	599563	INSPECTOR ELECTRONICO	0011-LINEA 3	\$ 53,255,588	\$ 14,393	0.10	5	2	0.5	7	10.5
24	628908	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 1	0011-LINEA 3	\$ 1,817,472	\$ 491	0.21	1	1	0.5	4	5
25	628909	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 2	0011-LINEA 3	\$ 3,035,312	\$ 820	0.21	1	1	0.5	4	5
26	629034	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 3	0011-LINEA 3	\$ 4,438,261	\$ 1,200	0.21	1	1	0.5	4	5
28	638552	CONDENSADOR EVAPORATIVO	0011-LINEA 3	\$ 2,581,771	\$ 698	0.00	5	1	0.5	7	10
91	820030	TANDEM DE PALETIZADO	0011-LINEA 3	\$ 6,839,385	\$ 1,848	0.24	5	1	0.5	1	4
106	828996	PROCESADOR DE BEBIDA	0011-LINEA 3	\$ 51,040,822	\$ 13,795	0.33	5	2	0.5	7	10.5
111	829603	TRANSPORTADOR DE BOTELLAS	0011-LINEA 3	\$ 5,118,250	\$ 1,383	0.10	5	1	0.5	1	4
115	829803	TRANSPORTADOR DE CAJAS	0011-LINEA 3	\$ 6,274,605	\$ 1,696	0.14	5	1	0.5	1	4
142	50818001	EXTRACTOR DE PITILLOS	0011-LINEA 3	\$ -	\$ -	0.00	1	1	0.5	1	2
143	51859401	ELEVADOR DE TAPA	0011-LINEA 3	\$ -	\$ -	0.19	1	1	0.5	1	2
206	82960403	CODIFICADOR BOTELLAS	0011-LINEA 3	\$ 7,382,771	\$ 1,995	0.27	1	1	0.5	7	8
211	90005504	CODIFICADOR	0011-LINEA 3	\$ 146,695	\$ 40	0.27	1	1	0.5	7	8

Nota. En la tabla 8 se encuentran asignados los valores cualitativos y cuantitativos, generando como resultado un valor de criticidad de cada equipo para generar los respectivos planes de confiabilidad basados en herramientas RCM2.

Con los resultados obtenidos de las fases 1 y 2 se clasificará cada uno de los equipos correspondientes a la línea 3, teniendo en cuenta los criterios estipulados por las organizaciones de manufactura que son: seguridad, medio ambiente, calidad, productividad, mantenibilidad y costos.

### 7.3 Propuesta de análisis de criticidad basados en herramientas de condición generando así nuevos planes de mantenimiento

#### Fase 3: Presentar propuesta:

Tareas:

#### 3.1 Propuesta de análisis de criticidad basado en herramientas de condición

#### Tarea 3.1:

Tabla 9

Asignación de planes de mantenimiento de confiabilidad con matriz de criticidad

No.	NÚMERO DE EQUIPO SAP	DENOMINACIÓN DEL OBJETO TÉCNICO	CRITICIDAD DE EQUIPOS					CATEGORIA DE CRITICIDAD	TERMOGRAFIA	ANALISIS DE VIBRACIÓN	ULTRASONIDO	MEDICION DE ESPESORES	ANALISIS DE ACEITE	MEDICIÓN CORRIENTE Y VOLTAJE	FRECUENCIA
			Fp	Fc	Ftmpr	Fmass	Ce								
3	508180	LAVADORA DE BOTELLAS	5	2	0.5	7	10.5	MEDIA	X		X		X	X	TRIMESTRAL
4	518625	LLENADORA REPOTENCIADA	5	2	0.5	7	10.5	MEDIA	X		X		X	X	TRIMESTRAL
9	548745	EMPACADORA	5	2	0.5	1	4.5	BAJA							
10	558042	DESEMPACADORA	5	1	0.5	1	4	BAJA							
11	560033	LAVADORA DE CAJAS	1	1	0.5	4	5	BAJA							
18	599563	INSPECTOR ELECTRONICO	5	2	0.5	7	10.5	MEDIA	X		X		X	X	TRIMESTRAL
24	628908	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 1	1	1	0.5	4	5	BAJA							
25	628909	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 2	1	1	0.5	4	5	BAJA							
26	629034	COMPRESOR DE REFRIGERACION No. 3	1	1	0.5	4	5	BAJA							
28	638552	CONDENSADOR EVAPORATIVO	5	1	0.5	7	10	MEDIA	X					X	TRIMESTRAL
91	820030	TANDEM DE PALETIZADO	5	1	0.5	1	4	BAJA							
106	828996	PROCESADOR DE BEBIDA	5	2	0.5	7	10.5	MEDIA	X		X			X	TRIMESTRAL
111	829603	TRANSPORTADOR DE BOTELLAS	5	1	0.5	1	4	BAJA			X				
115	829803	TRANSPORTADOR DE CAJAS	5	1	0.5	1	4	BAJA							
142	50818001	EXTRACTOR DE PITILLOS	1	1	0.5	1	2	BAJA							
143	51859401	ELEVADOR DE TAPA	1	1	0.5	1	2	BAJA							
206	82960403	CODIFICADOR BOTELLAS	1	1	0.5	7	8	BAJA							
211	90005504	CODIFICADOR	1	1	0.5	7	8	BAJA							

Nota. Con esta matriz de criticidad se podrá diseñar una escala para priorizar acciones de mantenimiento con el objetivo de garantizar el funcionamiento del equipo a su capacidad nominal

Tomando como referencia el histórico de fallos descargando de SAP y procesado por el área de producción y mantenimiento; e implementando los indicadores de Gestión (MTTF, MTTR y MTBF) se evaluará el comportamiento operacional de los equipos.

Una vez realizada esta evaluación será posible mejorar los planes de mantenimiento ya implementados en la organización, orientado a la mejora de la disponibilidad de la línea y aumentar la productividad. Fuente SAP compañía.

## 7 Resultados y/o propuesta

De acuerdo a la información suministrada por la propuesta de análisis de criticidad, se están evaluando diferentes planes de mantenimiento predictivo, basados en herramientas RCM2. Donde podemos encontrar planes de mantenimiento termográfico, de ultrasonido; como lo evidenciamos a continuación:

### Motor compresor n°1

El motor presenta una baja resistencia al aislamiento y una fuga de corriente considerable Resistencia al aislamiento: 839 k $\Omega$  Fuga de corriente: 70.9 mA





### **Motor compresor n°2**

El motor presenta una buena resistencia al aislamiento y poca fuga de corriente sin embargo es desfavorable la ausencia de la tierra y se debe de implementar la bornera para evitar empalmes con cinta. la unión del motor con las líneas de alimentación está con cinta de aislar un insumo no lo bastantemente resistente para empalmes de media tensión 400V  $\geq$  se debe de usar cinta auto soldante o auto fundente es un material ahulado que ofrece un alto aislamiento en los empalmes.

Resistencia al aislamiento: 330 M $\Omega$

Fuga de corriente: 9,18  $\mu$ A



### Motor compresor n°3

El motor presenta una alta resistencia al aislamiento y poca fuga de corriente sin embargo es desfavorable la ausencia de la tierra y se debe de implementar la bornera para evitar empalmes con cinta. la unión del motor con las líneas de alimentación está con cinta de aislar un insumo no lo bastantemente resistente para empalmes de media tensión 400V  $\geq$  se debe de usar cinta auto soldante o auto fundente es un material ahulado que ofrece un alto aislamiento.

Resistencia al aislamiento: 577 M $\Omega$

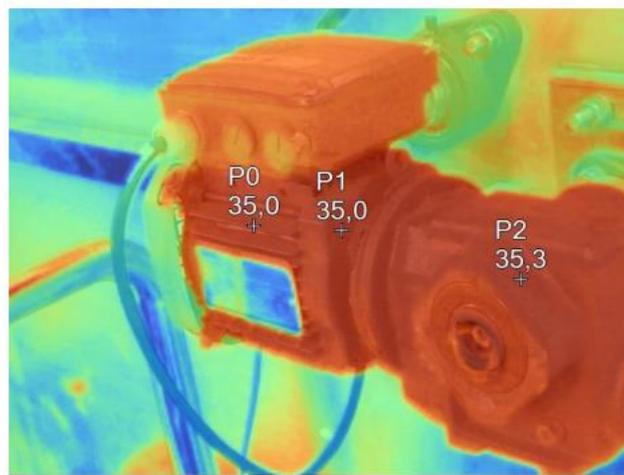
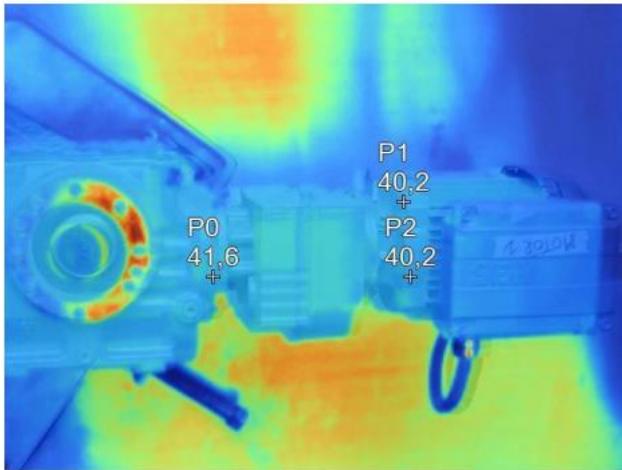
Fuga de corriente: 8,06  $\mu$ A



Se recomienda la instalación puntos de tierra de los motores 2 y 3 Realizar el cambio del aislante para empalmes del motor con líneas de potencia a cinta auto fundente y evaluar la instalación de bornera para evitar la aglomeración de cables y poder prevenir fallos de temperatura o corto circuito.



### 7.1 Prueba de termografía



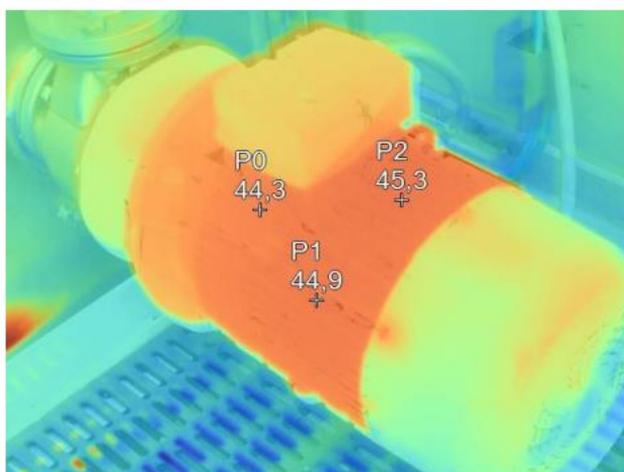
**Información de la imagen**

Modelo de cámara	TiS55+
Tamaño de sensor IR	256 x 192
Número de serie de la cámara	TiS55+-21010265
Hora de la imagen	21/09/2022 11:12:48
Distancia al objetivo	1,20m
Gravedad	No se ha detectado ningún problema

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Temperatura
P0	35,0°C
P1	35,0°C
P2	35,3°C

Resumen: motorreductor cepillo tanque prelavado superior sin anomalía térmica.



**IR\_00410.IS2**  
21/09/2022 11:13:07



**Imagen de luz visible**

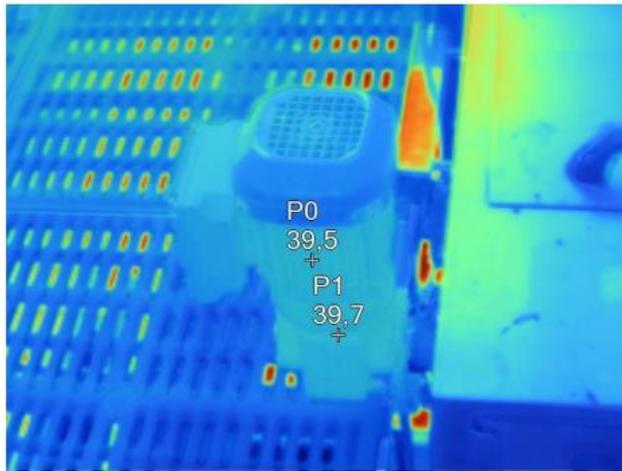
**Información de la imagen**

Modelo de cámara	TiS55+
Tamaño de sensor IR	256 x 192
Número de serie de la cámara	TiS55+-21010265
Hora de la imagen	21/09/2022 11:13:07
Distancia al objetivo	1,20m
Gravedad	No se ha detectado ningún problema

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Temperatura
P0	44,3°C
P1	44,9°C
P2	45,3°C

Resumen: motor bomba tanque prelavado externo superior sin anomalía térmica.



IR\_00411.IS2  
21/09/2022 11:15:05



Imagen de luz visible

## 8 Conclusiones y recomendaciones

- El adecuado control del mantenimiento ha demostrado proporcionar una mayor disponibilidad de los equipos utilizados y la capacidad de prever futuras fallas. Durante el análisis de las condiciones actuales de la línea de envasado número tres (3) de bebidas carbonatadas no alcohólicas, se identificaron las fallas más comunes en los equipos, revelando un estado de deterioro en ciertas partes, falta de lubricación, y fatiga excesiva de material, entre otras causas. Estos problemas surgieron debido a la falta de implementación de mantenimiento preventivo y predictivo.

En consecuencia, se determinó la necesidad de llevar a cabo un análisis exhaustivo de los tipos de fallas presentes en la línea de producción, donde se evidenció que los rodamientos son los componentes más susceptibles a presentar fallas o desgaste severo. El manual del fabricante proporcionó información crucial al identificar corrosión y falta de lubricación en las partes móviles, lo cual resalta la importancia de enfocar actividades de mantenimiento para abordar estos problemas.

En la siguiente etapa, al desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos, se llegó a la conclusión de que el diseño de la estructura organizativa para el

departamento de mantenimiento sería esencial. Esta estructura permitirá una adecuada delegación y distribución de responsabilidades, asegurando una ejecución efectiva de las actividades de mantenimiento, tanto presentes como futuras, en toda la empresa.

- El mantenimiento se ha convertido en un elemento clave en un mundo en el que la competitividad de las empresas es constante y en el que la pura productividad ya no basta. Abarca una gran variedad de funciones y varía mucho según el sector. Para ser eficaz, el departamento de mantenimiento debe apoyarse en un software de gestión para gestionar una amplia gama de datos e interacciones entre departamentos, así como con el mundo exterior. SAP ha adaptado su módulo SAP Plant Maintenance para dar respuesta a esta nueva visión del mantenimiento en las industrias conectadas

Pone en consideración el comportamiento histórico de los equipos, a través de los registros que se llevan en SAP

- Basados en el tipo de investigación cualitativa y cuantitativa que utilizamos en el desarrollo de la matriz de criticidad podemos concluir, que son métodos investigativos que nos llevaron a resultados exactos, con el fin de proponer soluciones definitivas a los modos de falla de los diferentes equipos de la línea de envasado 3
- La matriz de criticidad permite establecer planes de acción, en aquellos equipos que puedan representar un riesgo de falla para la continuidad de la operación. La matriz es una herramienta que fortalece el mantenimiento predictivo y complementa la planificación del mismo a corto y mediano plazo

Es de suma importancia que el plan de mantenimiento estructurado en el desarrollo de este trabajo, se cumpla a cabalidad, de lo contrario el estudio RCM realizado no atacara los modos de falla existentes en los equipos, ni los futuros fallos posibles en la línea de envasado 3

- En conclusión, el presente trabajo ha abordado la propuesta exitosa de una matriz de criticidad para la línea de producción tres de bebidas carbonatadas no alcohólicas. Mediante esta herramienta, se logró identificar y jerarquizar los activos más críticos en el proceso productivo, permitiendo una visión clara y objetiva de aquellos elementos que requieren una atención prioritaria en términos de mantenimiento y gestión de activos.

La matriz de criticidad ha demostrado ser una herramienta efectiva para evaluar la importancia y el impacto de los eventos de fallos en la línea de producción. Al considerar factores como frecuencia de fallos y consecuencias asociadas, se ha obtenido una perspectiva cuantitativa y estructurada, facilitando una toma de decisiones informada y eficiente para la asignación de recursos y estrategias de mantenimiento.

En consecuencia, la aplicación de esta matriz ha permitido optimizar la gestión de activos en la línea de producción tres de bebidas carbonatadas no alcohólicas, garantizando así un funcionamiento más confiable y una mayor eficiencia operativa. Como resultado, se espera que esta herramienta continúe siendo una aliada valiosa en la mejora continua de los procesos de producción y en la obtención de altos estándares de calidad y rendimiento en la industria de bebidas carbonatadas no alcohólicas.

## 9 Referencias bibliográficas

### Bibliografía

Alfonso, Y., Garcia, E., & Diaz, A. (2017). *Análisis de criticidad en los sistemas mecánicos de los grupos electrógenos* .

Ambriz, R., Tapia Briseño, J., Avila Pedroza, S., Ceja Cazares, H., Carillo Gutierrez, T., & Arredondo Soto. (2016). *Propuesta de plan de mantenimiento preventivo de los vehículos de transporte en una empresa pública de servicios de agua*. *Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada*. Obtenido de <http://fcqi.tij.uabc.mx/usuarios/revistaaristas/numeros/N6/N6.pdf>

- Barbara, M., Brito, M., & Del castillo, M. (2012). *Análisis de criticidad de grupos electrogénos*.
- Barros, J., Valencia, G., & Vargas, L. (2014). *Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo*. EBSCO.
- Correa, A., & Franco, J. (2021). • *Metodología para Mejorar el Comisionamiento de Plantas Nuevas Integrando las Normas ISO 55000:2014 y ISO 14224:2016, Caso de Estudio: Plantas de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica y Eólica*. EBSCO.
- Del olmo, J. (2014). *Gestión de activos y matriz de criticidad*.
- Diaz, A. (2012). *Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos*.
- Diaz, A., Alfonso, A., & Guillen, J. (2021). *Analysis of a maintenance strategy to be implemented in electric transmission companies*.
- Diaz, A., Toledo, G., & Del castillo, A. (2015). *Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoelectrica*. EBSCO.
- Enriques, A., Diaz, A., & Alfonso, A. (2019). *Tecnología para el análisis de criticidad de los sistemas tecnológicos en empresas biofarmaceuticas*.
- estupiñan, E., & Cordero, O. (2019). *Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización de la estrategia de mantenimiento*. EBSCO.
- Fedemetal. (1991). *Manual de mantenimiento*. Bogota. Obtenido de [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal\\_manual\\_mantenimiento/#](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal_manual_mantenimiento/#)
- Gonzalez, J., Myer, R., & Pachon Muñoz, W. (2017). *Revista Científica General José María Cordova*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo. oa?id=476255361012>
- Hernandez Gomez, A., Escobar Toledo, C., & Noriega Morales. (s.f.). *redalyc*. Obtenido de <http:// dx.doi.org/10.1016/j.cya.2015.08.005>.
- Hernandez, M. (2019). *Asociación de indicadores antropométricos para evaluar el estado nutricional y el riesgo cardio metabólico en adolescentes*.
- Hernandez, p., & Montes, J. (2009). *Optimización del mantenimiento preventivo*.
- Herrea Galan, M. (2017). *Aplicación de la gestión de riesgo a equipos y sistemas productivos*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo. oa?id=49655539028>
- ISO, G. (2021). International Organization for Standardization, ISO 14224. *International standard*.
- Jaramillo, P. (03 de diciembre de 2021). Patrones de falla industria aeronáutica. *Sistemas de informacion soporte y compañía*. Colombia.
- Jose alfredo Carazo, M. M. (2017). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACTUALIZACIÓN RCM*. EBSCO.

Malagon, D. (2016). PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO A MAQUINA DE PRUEBAS. 22-24.

Martinez, J. I. (2022). *researchgate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/358431984\\_Analisis\\_de\\_criticidad\\_aplicado\\_a\\_sistemas\\_productivos\\_en\\_la\\_industria\\_procesadora\\_de\\_alimentos\\_basado\\_en\\_el\\_modelo\\_Semi-Cuantitativo\\_MCR\\_Matriz\\_de\\_Criticidad\\_por\\_Riesgo\\_Sector\\_ind](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/358431984_Analisis_de_criticidad_aplicado_a_sistemas_productivos_en_la_industria_procesadora_de_alimentos_basado_en_el_modelo_Semi-Cuantitativo_MCR_Matriz_de_Criticidad_por_Riesgo_Sector_ind)

Mateus, C. (2015). *Cuadernos Latinoamericanos de administracion*. Obtenido de redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409640743004>

Mateus, C. (2015). *Cuadernos Latinoamericanos de administracion*. Obtenido de redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409640743004>

Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance* (Vol. second). Industrial Press.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Reino unido.

Moubray, John. (s.f.). Soporte y compañía. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. (E. Sueiro, Trad.) Recuperado el 2004, de [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/661/digital\\_18399.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/661/digital_18399.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Napoles Villa, Silva Ricardo, A., & Marrero Formais. (2016). *Análisis Modal de Fallo y sus Efectos de las Normas de Competencias*. *Revista Ciencias Holguín*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181545579001>

Olarte, W. (abril de 2010). *Redalyc*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316066.pdf>

Parra, C., Crespo, A., Parra, J., Viveros, P., & Gonzales, V. (2019). *Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo*.

Ramirez, J. (2017). *udistrital*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7854/MorenoRobayoHugoFernando2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rincón, A. (2008). Aplicacion del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a equipos de mineria a cielo abierto tomando como piloto la flota de taladros de voladura.

Rivera, F., Ochoa, E., & Cano, C. (2016). *Revista de aplicaciones de la ingenieria*. Obtenido de [http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones\\_de\\_la\\_Ingenieria/vol3num8/Revista\\_Aplicaciones\\_de\\_la\\_Ingenieria\\_V3\\_N8\\_10.pdf](http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones_de_la_Ingenieria/vol3num8/Revista_Aplicaciones_de_la_Ingenieria_V3_N8_10.pdf)

Sanchez, I., Garitano, J., & Goti, A. (2014). *Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado*. EBSCO.

Segura, F. (2017). BALANCED SCORECARD, ¿RETOS U OBSTÁCULOS? 7.

Sifonte, J. (2017). *HomeTech*. Obtenido de <https://pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>

Vazques Valencia, A., Perea Perez, B., Gonzalez, L., & Albarran, J. (s.f.). *Utilidad de análisis modal de fallos y efectos para mejorar la seguridad en la movilización del paciente crítico intubado*. *Revista Colombiana de Anestesiología*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/pdf/rca/v46n1/es\\_0120-3347-rca-46-01-00003.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/rca/v46n1/es_0120-3347-rca-46-01-00003.pdf)

Warrendale. (2009). *International Organization for Standardization, ISO 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries Collection and exchange of reliability and maintenance* (3 Ed ed.). Ginebra.