

Propuesta de implementación de una metodología basada en el análisis de fallas para la optimización de la programación de ventanas de mantenimiento en una línea de envasado de una cervecería

Carlos Andrés Monsalvo Zea

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Favio Eduardo Solano Perez

MSc. En ingeniería – Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Primero que todo a Dios, quien iluminó mi camino para llegar hasta este punto y he visto la manifestación de su poder a pesar de las dificultades.

A mi hijo, Juan Francisco, quien, gracias a su discapacidad, me ha enseñado que no existen barreras para triunfar y alcanzar todo aquello que uno se propone. En un mundo lleno de sonidos, él transita por unas pocas notas, y yo lo acompaño de la mano en ese hermoso viaje.

A mi esposa, Yuliana Isabel, quien sé que comparte la alegría de este logro, pues siempre ha deseado verme avanzar y crecer. Este momento es también suyo, porque juntos celebramos el honor de ser parte de tan prestigiosa universidad.

Carlos Andrés Monsalvo Zea

Agradecimientos

Agradezco al ingeniero Favio Solano, quien, además de ser un profesional de alto nivel, ha demostrado ser un compañero de trabajo ejemplar. Su disciplina y liderazgo han sido un referente que me permitió avanzar con firmeza en el desarrollo de este trabajo, logrando que los conceptos aprendidos trasciendan la teoría y se conviertan en herramientas aplicables al ejercicio profesional en el ámbito de la gerencia de mantenimiento.

Extiendo mi gratitud al equipo administrativo y logístico de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por su constante disposición y compromiso en garantizar la correcta ejecución de los programas académicos. Su apoyo oportuno y eficiente facilitó el cumplimiento de cada una de las etapas de este proceso formativo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo general.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Justificación	17
3. Materiales y métodos	18
4. Marco teórico	19
4.1 Indicadores clave de mantenimiento.....	19
4.1.1 MTBF (Mean Time Between Failures).El MTBF (.....	19
4.1.2 MTTR (Mean Time To Repair).	20
4.2 Gestión de Mantenimiento y Planeación de Ventanas.....	20
4.2.1 Diagrama de Gantt	20
4.3 Análisis de falla y herramientas de diagnóstico.....	22
4.3.1 Falla.....	22
4.3.2 Análisis de criticidad.....	23
4.3.3 FMEA	23
4.3.4 FMECA.....	24
4.3.5 Curva en V	24
5. Resultados	26
5.1 identificación y caracterización de equipos	26

5.1.1 Depaletizadora	26
5.1.2 Desempacadora	28
5.1.3 Lavadora de botellas	29
5.1.4 Inspector de botellas Lineal	30
5.1.5 Llenadora de botellas	31
5.1.6 Pasteurizador tipo túnel.....	32
5.1.7 Etiquetadora	33
5.1.8 Empacadora.....	34
5.1.9 Paletizadora.....	35
5.2 Identificación de fallas	36
5.3 Implementación de Gantt	38
6. Conclusiones	38
7. Recomendaciones	39
Referencias Bibliográficas	41

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Equipos con mayor afectación de acuerdo a análisis AMEF.....	36

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Análisis 52 – 12 - 4.....	18
Figura 2. Diagrama de Gantt.....	21
Figura 3. Curva de falla o “curva de la bañera”.....	22
Figura 4. Curva en v línea de envasado	26
Figura 5. Depaletizadora tipo pedestal.....	27
Figura 6. Desempacadora.....	28
Figura 7. Lavadora de botellas.....	29
Figura 8. Inspector Lineal	30
Figura 9. Llenadora de botellas.....	31
Figura 10. Pasteurizador	32
Figura 11. Etiquetadora.....	33
Figura 12. Empacadora	34
Figura 13- Paletizadora.....	35

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Listado de fallas registradas en el periodo 1 de enero del 2024 al 1 de enero 2025

Apéndice B. plantilla AMEF diligenciada con los modos de fallas obtenidos del listado de fallas

Apéndice C. Diagrama de GANTT

Glosario

AMEF (Análisis Modal de Efectos y Fallas): Metodología sistemática que permite identificar, evaluar y jerarquizar los modos de falla potenciales de un equipo o proceso, con base en su severidad, frecuencia y detectabilidad.

Confiabilidad: Probabilidad de que un equipo o sistema desempeñe su función requerida bajo condiciones específicas durante un periodo de tiempo determinado, sin fallas.

Curva en V: Modelo aplicado a procesos productivos en el que se identifica a la máquina de mayor criticidad o cuello de botella (por lo general la llenadora en una línea de envasado) como el punto más bajo de la curva. Desde esta máquina se balancea el flujo de entrada y salida de equipos auxiliares, asegurando estabilidad, sincronización y optimización de la línea.

Diagrama de Gantt: Herramienta de gestión visual que representa en forma de barras horizontales la programación de actividades, indicando tareas, responsables, secuencia, duración y dependencias.

Disponibilidad: Proporción de tiempo en que un equipo se encuentra operativo y apto para producir, considerando tanto la frecuencia de fallas como la rapidez de reparación.

Falla: Pérdida total o parcial de la capacidad de un activo físico, sistema o componente para cumplir con la función para la cual fue diseñado, dentro de los parámetros de desempeño establecidos.

GLY (Global Line Yield): Indicador de desempeño global de la línea de envasado que mide la proporción de producto conforme obtenido respecto al total producido, integrando eficiencia, calidad y disponibilidad.

LEF (Line Efficiency Factor): Factor que representa la eficiencia real de una línea de producción en comparación con su capacidad teórica o nominal, considerando pérdidas por paradas, microparadas y velocidad reducida.

MTBF (Mean Time Between Failures): Indicador de confiabilidad que mide el tiempo promedio de operación que transcurre entre dos fallas consecutivas de un equipo o sistema.

MTTR (Mean Time To Repair): Indicador de mantenibilidad que mide el tiempo promedio requerido para reparar un equipo o sistema y devolverlo a condiciones operativas después de una falla.

NPR (Número de Prioridad de Riesgo): Índice cuantitativo obtenido en el AMEF que resulta de multiplicar severidad, ocurrencia y detección; permite priorizar las acciones de mantenimiento en función del riesgo.

Ventanas de mantenimiento: Espacios de tiempo planificados dentro del programa de producción, destinados a la ejecución de intervenciones de mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo.

Resumen

Título: Propuesta de implementación de una metodología basada en el análisis de fallas para la optimización de la programación de ventanas de mantenimiento en una línea de envasado de una cervecería*

Autor: Carlos Andrés Monsalvo Zea**

Palabras Clave: Confiabilidad, Disponibilidad, AMEF, Ventanas de mantenimiento, MTBF, MTTR, GLY, LEF, NPR, Curva en V

Descripción

La investigación se ha desarrollado en el marco de la mejora continua del sector cervecero, con el objetivo de optimizar la programación de ventanas de mantenimiento en el salón de envasado de botellas de vidrio de gran volumen. El propósito central ha sido incrementar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, reduciendo los tiempos de inactividad no programados. Para alcanzar este fin, se han caracterizado las máquinas del proceso y se han recopilado los registros de fallas ocurridas entre el 1 de enero de 2024 y el 1 de enero de 2025. La información se ha procesado mediante la metodología AMEF, lo que permitió priorizar los modos de falla críticos y calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR). A partir de los resultados, se emitieron avisos de mantenimiento que sustentaron la creación de órdenes de trabajo y, cuando fue necesario, la gestión de repuestos, garantizando así la atención de las anomalías con oportunidad y precisión.

De manera complementaria, se implementó un diagrama de Gantt para estructurar la programación de la ventana de mantenimiento, definiendo tareas, responsables y tiempos de ejecución. Esta herramienta fortaleció el control y seguimiento de las actividades, optimizando los recursos disponibles. En consecuencia, el proyecto estableció lineamientos técnicos orientados a reducir fallas recurrentes, incrementar la eficiencia mecánica por encima del 95% y garantizar la sostenibilidad del sistema productivo, aportando valor tanto a la operación como a la estrategia de mantenimiento organizacional.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento Director: Favio Eduardo Solano Perez MSc. En ingeniería – Ingeniero Mecánico

Abstract

Title: Proposal for the Implementation of a Methodology Based on Failure Analysis for the Optimization of Maintenance Window Scheduling in a Packaging Line*

Author: Carlos Andrés Monsalvo Zea**

Keywords: Reliability, Availability, FMEA, Maintenance windows, MTBF, MTTR, GLY, LEF, NPR, V-curve

Description:

The research has been developed within the framework of continuous improvement in the brewing sector, with the objective of optimizing the scheduling of maintenance windows in the glass bottle packaging hall of high-volume production. The central purpose has been to increase equipment reliability and availability while reducing unplanned downtime. To achieve this goal, the machines in the process were characterized, and failure records occurring between January 1, 2024, and January 1, 2025, were collected. The information was processed using the FMEA methodology, which made it possible to prioritize critical failure modes and calculate the Risk Priority Number (RPN). Based on these results, maintenance notifications were issued to support the creation of work orders and, when required, spare parts management, thus ensuring timely and precise attention to anomalies.

Additionally, a Gantt chart was implemented to structure the scheduling of the maintenance window, specifying tasks, assigned responsibilities, and estimated execution times. This tool strengthened the control and monitoring of activities while optimizing the available resources. Consequently, the project established technical guidelines aimed at reducing recurrent failures, increasing mechanical efficiency above 95%, and ensuring the sustainability of the production system, thereby adding value to both operations and the organization's maintenance strategy.

* Work of grade

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento Director: Favio Eduardo Solano Perez MSc. En ingeniería – Ingeniero Mecánico

Introducción

En el marco de la mejora continua, las grandes multinacionales del sector de alimentos han adoptado diversas metodologías orientadas a cumplir sus metas estratégicas, especialmente en las áreas productivas. Uno de los objetivos prioritarios ha sido el incremento de la confiabilidad de los equipos, sin comprometer aspectos fundamentales como la calidad del producto, la seguridad de los trabajadores, el impacto ambiental y otras variables definidas por la estrategia corporativa.

La industria cervecera nacional, como parte del sector alimentos, tiene como propósito la producción y comercialización de bebidas alcohólicas, a partir de cuatro ingredientes básicos: agua, malta, lúpulo y levadura. En este contexto, las plantas cerveceras se estructuran en cuatro áreas principales: servicios industriales, elaboración, logística y salón de envasado. Este proyecto se enfocará en esta última, dada su relevancia en el cumplimiento de dos indicadores estratégicos: el GLY (Gross Line Yield) y el LEF (Line Efficiency), siendo este último el indicador clave a mejorar en el desarrollo de la monografía.

La línea de producción seleccionada para el estudio corresponde al envasado de botellas de vidrio de gran volumen, ubicada en el salón de envasado de una cervecería. En esta área, se recopilarán los datos y se ejecutarán las acciones necesarias para proponer mejoras en la eficiencia operativa. Actualmente, el equipo de mantenimiento enfrenta dificultades en la planificación de sus actividades, debido a cambios constantes en los compromisos de producción, lo que limita la disponibilidad de espacios fijos para ejecutar mantenimientos de forma efectiva.

Esta situación ha impedido alcanzar el objetivo de eficiencia mecánica igual o superior al 95%, considerado como estándar de desempeño para la operación. En respuesta a este desafío, se

plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es viable implementar una metodología que permita planificar de manera efectiva las ventanas de mantenimiento en una línea de envasado de una cervecería, con el fin de incrementar el indicador de eficiencia mecánica mediante una adecuada planificación y aprovechamiento de los recursos disponibles?

El propósito de este proyecto es proponer una metodología que permita mejorar la gestión del mantenimiento en la línea de envasado, mediante una planificación más eficiente de las ventanas de intervención. Con ello, se busca contribuir al incremento del indicador de eficiencia mecánica y, en consecuencia, a la mejora integral de los resultados operativos de la planta.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de implementación de una metodología basada en el análisis de fallas para optimizar la programación de ventanas de mantenimiento, con el fin de mejorar la disponibilidad operativa y reducir los tiempos de inactividad en una línea de envasado de una cervecería.

1.2 Objetivos Específicos

Caracterizar el proceso de envasado y los equipos que lo componen, mediante el levantamiento de información técnica y operativa, con el fin de identificar los principales modos y tipos de falla que inciden en su desempeño y confiabilidad.

Analizar los tiempos perdidos asociados a fallas en la línea de envasado, a través del procesamiento y evaluación de registros históricos de mantenimiento, para determinar su impacto en la disponibilidad operativa y priorizar oportunidades de mejora.

Aplicar la metodología de Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF/FMEA) sobre los equipos identificados como críticos, con el propósito de jerarquizar los modos de falla en función de su severidad, frecuencia y detectabilidad, facilitando así la toma de decisiones en mantenimiento.

Diseñar una propuesta de programación de ventanas de mantenimiento planificadas, sustentada en los hallazgos del análisis de fallas y enfocada en mitigar los paros no programados, con el objetivo de mejorar la confiabilidad y eficiencia operativa del sistema de envasado.

2. Justificación

La presente investigación tiene como propósito proponer una metodología que optimice la planificación de ventanas de mantenimiento en una línea de envasado de una planta cervecera que opera con dos líneas de producción de botella de vidrio. La línea objeto de estudio cuenta con capacidad para procesar formatos de 1000 cc, 750 cc y 330 cc, los cuales se adaptan de acuerdo con el plan de producción. Actualmente, la compañía dispone de un software propio en el que, de manera manual, se registran datos de producción, tiempos perdidos por fallas en máquinas y paradas de origen operativo o logístico.

La alta frecuencia de cambios de formato, sumada al tiempo limitado asignado a labores de mantenimiento, hace necesario establecer una estrategia de priorización que permita gestionar de manera eficiente las intervenciones. El desarrollo de esta metodología responde a la necesidad de reducir paradas no programadas, optimizar los recursos disponibles, mejorar el control de inventarios y evitar compras innecesarias de repuestos.

El impacto esperado se traduce en un aumento de la confiabilidad operativa de los equipos, una disminución de la carga de trabajo y de los riesgos para el personal, así como en beneficios sociales al fomentar la estabilidad laboral y la eficiencia productiva. Para alcanzar dichos

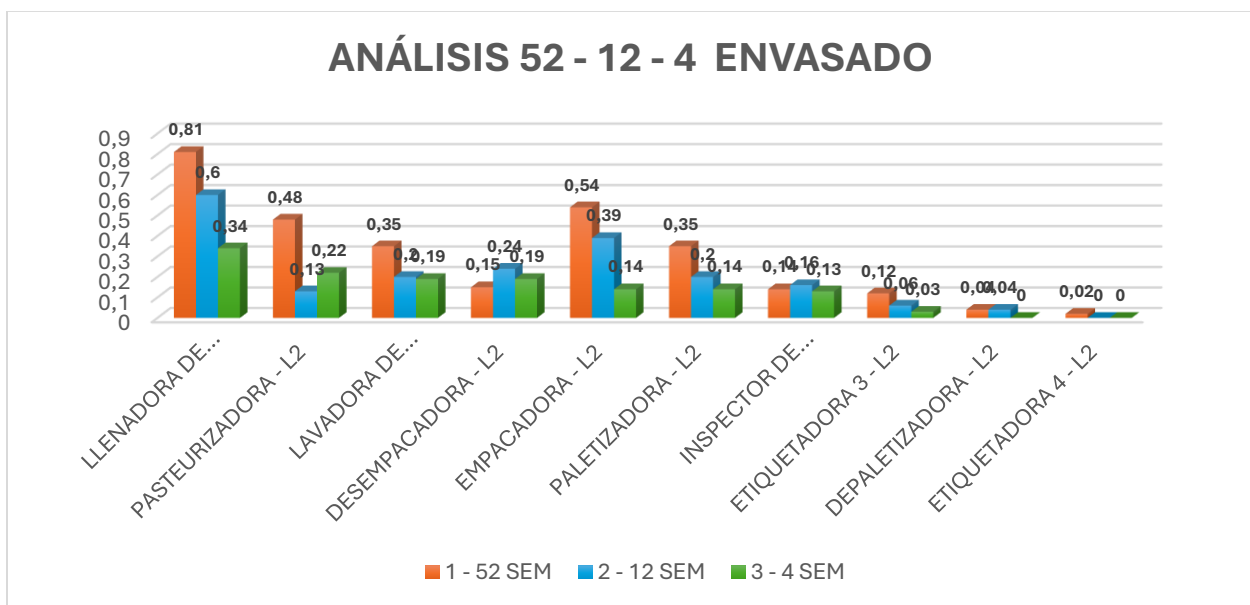
objetivos, se adopta un enfoque basado en el análisis de datos y en prácticas de gestión del mantenimiento, orientado a ofrecer soluciones prácticas, sostenibles y replicables en entornos similares.

3. Materiales y métodos

Los datos iniciales se obtienen del software corporativo SUITE360, a partir del cual se realiza el análisis 52/12/4 de la línea de envasado correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero de 2024 y el 1 de enero de 2025, con el fin de identificar y evaluar la afectación en la operación durante el horizonte temporal establecido.

Figura 1.

Análisis 52 – 12 - 4



La metodología seleccionada para el desarrollo del estudio es el Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF), herramienta ampliamente utilizada en la gestión de mantenimiento para identificar, evaluar y priorizar los modos de falla potenciales en equipos y procesos. Para su aplicación, se empleará una plantilla estandarizada que permita estructurar de manera sistemática la información recopilada, incorporando variables críticas como el modo de falla, sus causas, efectos, frecuencia de ocurrencia, severidad e índice de detección. Esta organización de los datos facilita el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) y garantiza la obtención de resultados confiables, que servirán como base para establecer planes de acción orientados a la reducción de riesgos, la optimización de la disponibilidad de los equipos y la mejora continua de la planificación de las intervenciones de mantenimiento.

4. Marco teórico

4.1 Indicadores clave de mantenimiento.

4.1.1 MTBF (Mean Time Between Failures).El MTBF (

Mean Time Between Failures o Tiempo Medio Entre Fallas) es un indicador clave en la gestión del mantenimiento industrial que mide el intervalo promedio de operación que transcurre entre dos fallas consecutivas de un equipo o sistema. El MTBF permite priorizar intervenciones,

optimizar planes de mantenimiento preventivo y predictivo, y tomar decisiones basadas en datos, contribuyendo a reducir costos operativos y mejorar la eficiencia de los procesos productivos

4.1.2 MTTR (Mean Time To Repair).

El MTTR (Mean Time To Repair o Tiempo Medio de Reparación) es un indicador de desempeño que mide el tiempo promedio requerido para restaurar la funcionalidad de un equipo o sistema después de una falla. Incluye las actividades de diagnóstico, acceso, reparación, reemplazo de componentes, pruebas y puesta en marcha, este indicador es clave para evaluar la capacidad de respuesta de los equipos técnicos y la eficiencia de los procesos de soporte. Un MTTR bajo implica mayor disponibilidad y menor impacto en la producción, optimizando recursos y mejorando la confiabilidad operativa

4.2 Gestión de Mantenimiento y Planeación de Ventanas

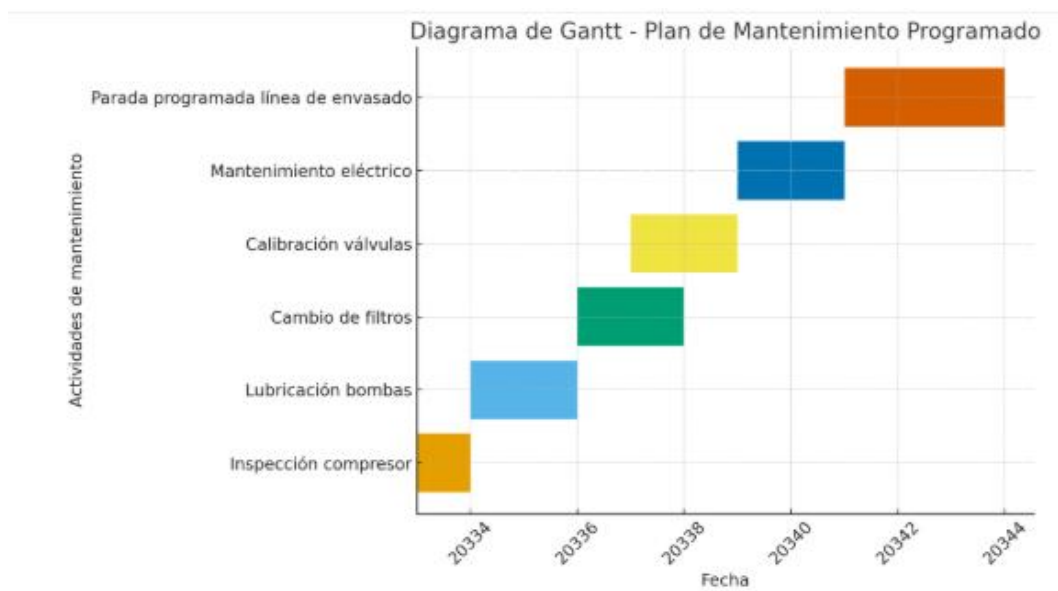
4.2.1 Diagrama de Gantt

es una herramienta de gestión visual que permite programar, coordinar y monitorear de manera estructurada las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo en un horizonte de tiempo definido. Mediante la representación gráfica en barras horizontales, el Gantt establece la secuencia, duración y dependencias de cada tarea, facilitando la asignación eficiente de recursos técnicos, humanos y materiales.

En el contexto de mantenimiento industrial, su uso permite optimizar la programación de ventanas de intervención, reducir tiempos de inactividad no planificados y garantizar la disponibilidad de equipos críticos. Además, proporciona una visión integral del plan maestro de mantenimiento, permitiendo identificar cuellos de botella, priorizar intervenciones de acuerdo con la criticidad de los activos y asegurar la alineación con los objetivos de confiabilidad y productividad de la planta.

Figura 2.

Diagrama de Gantt



Nota. Tomado de: Kardec, A., & Nascif, J. (2009). *Gestión estratégica y técnicas de mantenimiento industrial*. Editorial McGraw-Hill.

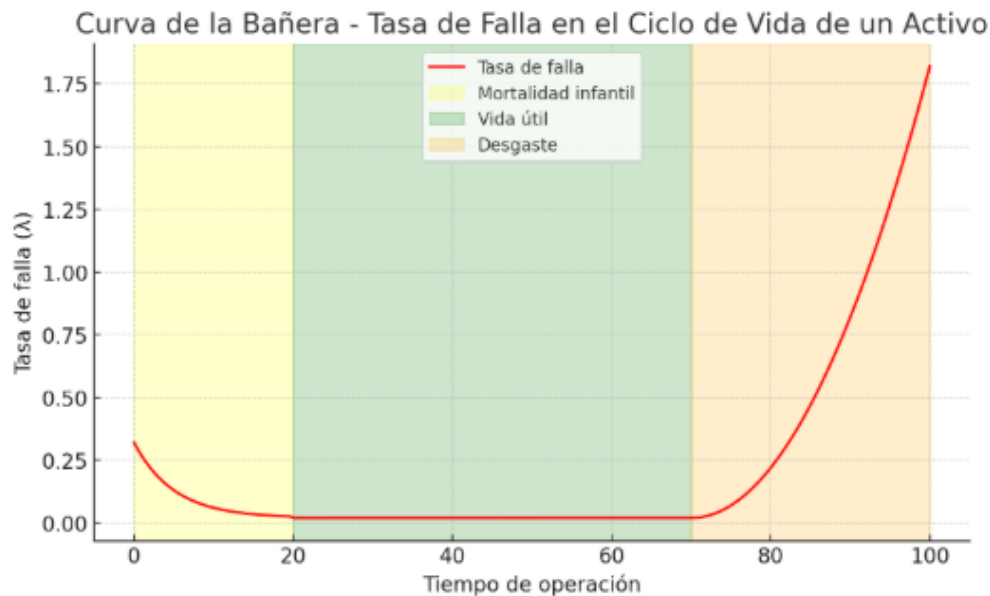
4.3 Análisis de falla y herramientas de diagnóstico

4.3.1 Falla

En el ámbito industrial, una falla se define como la pérdida total o parcial de la capacidad de un activo físico, sistema o componente para cumplir con la función para la cual fue diseñado, dentro de parámetros de desempeño previamente establecidos. Desde un enfoque técnico, la falla no solo se limita a la interrupción absoluta de la operación, sino que también incluye degradaciones en la confiabilidad, disponibilidad, calidad del producto, eficiencia energética o seguridad operacional.

Figura 3.

Curva de falla o “curva de la bañera”



Nota. Tomado de: Moubray, J. (1997). Reliability-Centered Maintenance (RCM II): The New Illustrated Guide to Reliability-Centered Maintenance. Butterworth-Heinemann.

4.3.2 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología utilizada en gestión de activos y mantenimiento industrial que permite evaluar, clasificar y priorizar los equipos, sistemas o componentes de una planta con base en el impacto que tendría su falla sobre la seguridad, la producción, la calidad, los costos y el medio ambiente.

Desde un enfoque técnico, este análisis integra criterios como la frecuencia de falla, tiempo medio de reparación (MTTR), tiempo medio entre fallas (MTBF), costos asociados, redundancia, disponibilidad de repuestos y consecuencias operativas. El resultado es una jerarquización de activos (alta, media o baja criticidad) que orienta la asignación eficiente de recursos, la planificación de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo o correctivo) y la definición de inventarios estratégicos.

4.3.3 FMEA

El FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), o Análisis de Modos y Efectos de Falla, es una metodología estructurada utilizada en la ingeniería de confiabilidad y mantenimiento para identificar, evaluar y prevenir fallas potenciales en equipos, procesos o sistemas antes de que ocurran.

Su propósito principal es analizar de forma sistemática los modos de falla posibles (la manera en que un componente puede fallar), los efectos asociados (consecuencias en la operación, seguridad, calidad o medio ambiente) y las causas probables que originan dichos modos. A cada riesgo identificado se le asignan valores de severidad, ocurrencia y detección, lo que permite

calcular el Número de Prioridad de Riesgo (RPN) y así priorizar acciones correctivas o preventivas.

4.3.4 FMECA

El FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) es una metodología de análisis sistemático que amplía el enfoque del FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), incorporando la valoración cuantitativa de la criticidad de cada modo de falla. En el contexto de una parada de planta, esta herramienta se utiliza para identificar de manera anticipada los posibles modos de falla en equipos y sistemas críticos, evaluando no solo sus efectos sobre la seguridad, el ambiente, la calidad y la producción, sino también la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias durante la intervención.

Su aplicación en una parada programada permite priorizar los trabajos de mantenimiento, asignar recursos de manera eficiente y definir actividades preventivas o correctivas con mayor impacto en la confiabilidad del proceso.

4.3.5 Curva en V

La curva en V es un concepto utilizado en la planificación y balanceo de líneas de envasado, que representa gráficamente la relación de capacidad y acumulación de las máquinas antes y después de la máquina central. En este caso, la llenadora de botellas es el equipo crítico y de mayor relevancia dentro de la línea, ya que define el ritmo de producción y determina la eficiencia global del proceso.

La forma de “V” se explica porque:

- Las máquinas previas a la llenadora (despaletizadora, lavadora, inspector, etc.) están configuradas con mayor capacidad nominal que la llenadora. Esto permite garantizar un flujo constante de botellas limpias y listas para ser llenadas, compensando paradas cortas y evitando el riesgo de desabastecimiento.
- Las máquinas posteriores a la llenadora (tapadora, pasteurizadora, etiquetadora, empacadora, paletizadora) también se dimensionan con mayor capacidad que la llenadora, de manera que puedan absorber y evacuar rápidamente el producto ya lleno, evitando acumulación excesiva o bloqueos.
- En el punto más bajo de la curva (el vértice de la V) se encuentra la llenadora, que es la máquina limitante y reguladora del rendimiento de la línea.

El propósito de esta configuración es:

- Asegurar que la llenadora nunca se quede sin botellas de entrada ni se bloquee por exceso de producto en la salida.
- Permitir que la línea absorba microparadas y variaciones en la operación de otras máquinas, manteniendo la continuidad.
- Facilitar la sincronización de capacidades y la gestión de acumuladores intermedios, que funcionan como amortiguadores para compensar desbalances.

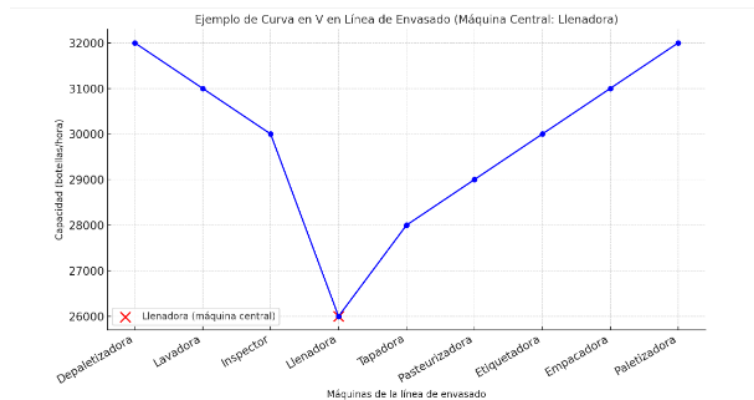
En la práctica, la curva en V aplicada a una línea de envasado de cerveza muestra que:

- La llenadora es la máquina cuello de botella y punto crítico de control.
- Las demás máquinas deben trabajar a una capacidad mayor, garantizando que cualquier detención breve no impacte inmediatamente el rendimiento global.

- El diseño en V asegura una producción estable, con menor tiempo de inactividad y mayor eficiencia global de la línea (OEE).

Figura 4.

Curva en v línea de envasado



Nota. Tomado de: Krones AG. (2018). *Brewing and Beverage Technology: Filling and Packaging.* Neutraubling, Germany: Krones AG

5. Resultados

5.1 identificación y caracterización de equipos

5.1.1 Depaletizadora

Máquina depaletizadora de cajas plásticas para extraer cajas de un pallet y colocarlas en la línea transportadora de producto.

Tipo: columna con brazos oscilantes; actuadores principales: servomotores que controlan el movimiento de despaletizado y posicionamiento; toma de cajas por agarre mecánico. Diseñada para tres velocidades de trabajo según formato de botella.

Capacidades nominales

- Formato 330 cc → 58.000 botellas/hora
- Formato 750 cc → 49.000 botellas/hora
- Formato 1.000 cc → 36.400 botellas/hora

Figura 5.

Depaletizadora tipo pedestal



Nota. Tomado de: KHS AG. Innopal AS H depalletizer: diseño de alta performance con doble columna, sweep carriage motorizado y capacidad de hasta 420 capas/h

5.1.2 Desempacadora

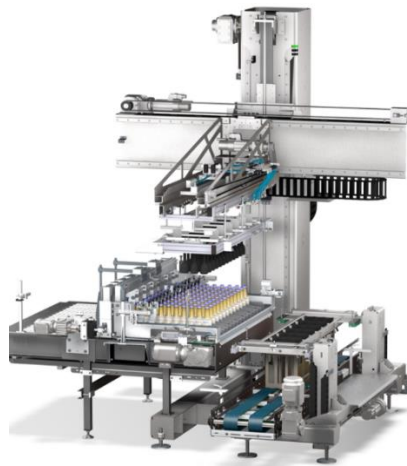
Máquina destinada a extraer las botellas para integrarlas a la línea de producción Tipo mecánico: pantógrafo oscilante que realiza movimiento de extracción y transferencia de botellas hacia un transportador. Accionamiento principal por motores asíncronos (con variadores de frecuencia para control de velocidad y aceleración).

Datos de capacidad

- Formato 330 cc → 63.000 botellas/h
- Formato 750 cc → 42.900 botellas/h
- Formato 1.000 cc → 36.400 botellas/h

Figura 6.

Desempacadora



KHS GmbH. Innopack RS2 packer and unpacker: máquina versátil de columna única para empaquetado y desempaquetado de envases de vidrio y PET; diseño compacto con alta disponibilidad y opciones de cambio de formato.

5.1.3 Lavadora de botellas

La lavadora de botellas de vidrio, retirando suciedad, residuos de tapa, etiquetas sueltas y partículas, mediante una combinación de enjuague, rotación/sacudida, inyección de agua/solución detergente y aireado final, manteniendo calidad microbiológica y adecuación para el llenado a las cadencias indicadas.

Capacidades nominales:

- Formato 1000 cc: 33.800 bot/h
- Formato 750 cc: 39.100 bot/h
- Formato 330 cc: 58.500 bot/h

Figura 7.

Lavadora de botellas



Nota. Tomado de: Making.com. (s.f.). Industrial bottle washing machine [Fotografía]. En Making.com – Equipment. Making.com

5.1.4 Inspector de botellas Lineal

El inspector lineal de botellas de vidrio es un equipo automatizado que tiene como función principal verificar la integridad y calidad de las botellas retornables o nuevas antes de su llenado, asegurando que cumplan con los requisitos de inocuidad y seguridad establecidos en la industria. Inspecciona visualmente botellas de vidrio en tránsito lineal mediante captura de imágenes multicámara y procesamiento por visión artificial, detectando defectos (partículas, incrustaciones, microgrietas, roturas, rebabas, residuo interior, cuerpos extraños, deformaciones, etiqueta mal colocada, color fuera de tolerancia) y expulsar las no conformes mediante rechazadores pusher o dedos deslizantes, garantizando que sólo envases aceptables sigan a la llenadora

Capacidades nominales

- Formato 1000 cc: 28.600 bot/h
- Formato 750 cc: 36.300 bot/h
- Formato 330 cc: 49.500 bot/h

Figura 8.

Inspector Lineal



Nota. Tomado de: Krones AG. (s.f.). Linatronic 774-C empty bottle inspector [Fotografía]. En Detection of foreign particles in bottles. Krones sitio web

5.1.5 Llenadora de botellas

La llenadora de botellas de vidrio es un equipo central en la línea de envasado cervecero, cuya función principal es dosificar y llenar de manera precisa y controlada el producto en botellas de vidrio, Realiza el llenado preciso, garantizando volumen nominal y condiciones higiénicas, manteniendo el ritmo de la línea y minimizando pérdidas por derrame, espuma o subllenado.

Capacidades nominales:

- Formato 1000 cc: 26.000 bot/h
- Formato 750 cc: 33.000 bot/h
- Formato 330 cc: 45.000 bot/h

Figura 9.

Llenadora de botellas



Nota. Tomado de: Krones AG. (s.f). Modulfill HES beer filler machine [Fotografía]. En Krones – Precision Filling Systems. sitio web de Krones.

5.1.6 *Pasteurizador tipo túnel*

La pasteurizadora tipo túnel es un equipo esencial en el proceso de envasado cervecero, cuya función principal es asegurar la estabilidad microbiológica del producto ya envasado mediante la aplicación controlada de calor. Este tratamiento térmico permite inactivar microorganismos potencialmente dañinos y prolongar la vida útil de la cerveza, manteniendo sus características organolépticas originales.

Capacidades nominales

- Formato 1000 cc: 28.600 bot/h
- Formato 750 cc: 36.300 bot/h
- Formato 330 cc: 49.500 bot/h

Figura 10.

Pasteurizador



Nota. Tomado de: Comac. (2023). *Pasteurizador túnel* [Imagen]. Comac Italia. página web de Comac: “Túnel y flash pasteurizadores: qué son y cómo funcionan”

5.1.7 Etiquetadora

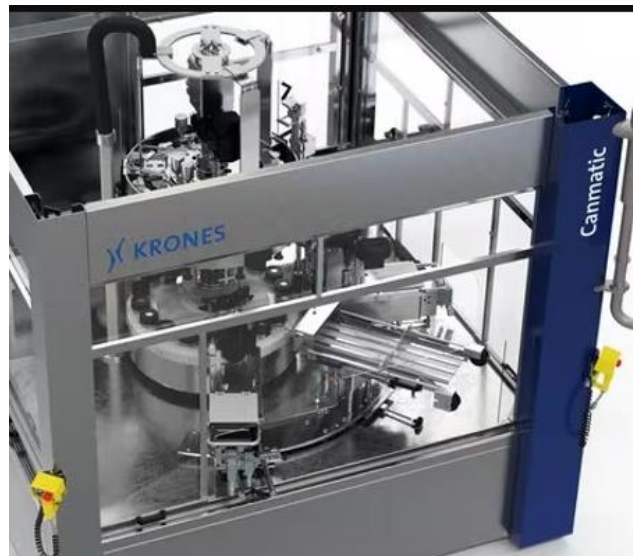
Aplicar etiquetas de papel en envases de vidrio mediante un sistema de carrusel rotativo, asegurando precisión en la colocación, adhesión uniforme y continuidad en el proceso de envasado de cerveza.

Capacidades nominales

- Formato 1000 cc: 16.900 bot/h
- Formato 750 cc: 18.900 bot/h
- Formato 330 cc: 29.300 bot/h

Figura 11.

Etiquetadora



Nota. Tomado de: Krones AG. (s.f.). Contiroll wrap-around labelling machine [Imagen]. página web de Krones: *Wrap-around & reel-fed labelling*

5.1.8 Empacadora

Máquina destinada a encanastar las botellas para integrarlas a la línea de producción Tipo mecánico: pantógrafo oscilante que realiza movimiento de extracción y transferencia de botellas hacia las cajas y posteriormente estas se desplazan por el transportador. Accionamiento principal por motores asíncronos (con variadores de frecuencia para control de velocidad y aceleración).

Datos de capacidad

- Formato 330 cc → 63.000 botellas/h
- Formato 750 cc → 42.900 botellas/h
- Formato 1.000 cc → 36.400 botellas/h

Figura 12.

Empacadora



Nota. Tomado de: Maspack. (s.f.). Accupack 2-4 vertical case packing machine for bottles into cartons or plastic crates [Imagen]. Recuperado del sitio web de Maspack

5.1.9 Paletizadora

Máquina paletizadora de cajas plásticas para extraer cajas de un pallet y colocarlas en la línea transportadora de producto. Tipo: columna con brazos oscilantes; actuadores principales: servomotores que controlan el movimiento de paletizado y posicionamiento; toma de cajas por agarre mecánico. Diseñada para tres velocidades de trabajo según formato de botella.

Capacidades nominales

- Formato 330 cc → 58.000 botellas/hora
- Formato 750 cc → 49.000 botellas/hora
- Formato 1.000 cc → 36.400 botellas/hora

Figura 13-

Paletizadora



Nota. Tomado de: Sidel. (s.f.). *PalRoboKombi & PalVite robótica paletizadora para cajas plásticas y botellas* [Imagen]. Recuperado de Sidel: solución PalRoboKombi & PalVite

5.2 Identificación de fallas

Del (Apendice A) se extrajeron los registros de fallas ocurridas en el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2024 y el 1 de enero de 2025. Esta información fue analizada mediante la aplicación de la metodología AMEF (Apendice B), lo que permitió identificar los equipos con mayor recurrencia de fallas y con mayor impacto en la operación. Los resultados obtenidos constituyen la base para priorizar y focalizar la programación de las ventanas de mantenimiento, orientando la gestión hacia la reducción de tiempos improductivos y el incremento de la disponibilidad de los activos críticos del salón de envasado.

Tabla 1.

Equipos con mayor afectación de acuerdo a análisis AMEF

Equipo/ Sistema	Subconjunto/ Función	Modo de Falla	Severidad (S, 1-10)	Ocurrencia (O, 1-10)	Detección (D, 1-10)	RPN (S*O*D)
Lavadora de botellas	Descarga	Falla servo 11 descarga	10	7	5	350
Lavadora de botellas	Sistema extraccion etiqueta	Falla extractores de etiqueta	10	7	10	700
Lavadora de botellas	Transmision/accionamiento principal	Falla reductor número	5	5	10	250
Llenadora de botellas	Conjunto taponador/tapadora	Botella sin tapa ingresada	5	11	10	550
Llenadora de botellas	Conjunto taponador/tapadora	Atasco en bajante tapas	10	70	5	3500
Llenadora de botellas	Manejo botellas(sin fin/ estrellas entrada salida)	Rotura botella en entrada	10	12	8	960

Equipo/ Sistema	Subconjunto/ Función	Modo de Falla	Severidad (S, 1-10)	Ocurrencia (O, 1-10)	Detección (D, 1-10)	RPN (S*O*D)
Llenadora de botellas	Sistema /valvulas de llenado	Botella subllenada en salida	5	18	3	270
Llenadora de botellas	Sistema electrico/control	Apagado tablero control llenadora	2	43	2	172
Llenadora de botellas	sistemas apertura y cierre valvulas	Falla válvula AVS 202	2	15	8	240
Pasteurizadora	Bombas de agua	Caída riego pasteurizadora salida	10	6	5	300
Pasteurizadora	Sistema de transmision/accionamiento	Rotura platina y tensor	10	28	10	2800
Pasteurizadora	Sistema electrico/control	Desajuste sensores de avance	2	16	10	320
Pasteurizadora	Sistema hidraulico	Pérdida ciclo por electroválvula	2	20	5	200
Pasteurizadora	Transporte de botellas	Desalineación transporte en entrada	10	3	10	300
Pasteurizadora	Transporte paso peregrino/emparillado	Salida parrillas emparillado pasteurizadora	10	26	10	2600
Etiquetadora	Manejo botellas(sin fin/ estrellas entrada salida)	Desplazamiento estrella de corte	10	2	10	200
Etiquetadora	Manejo etiquet cillo	Descalibración cilindro de transferencia	10	22	10	2200
Empacadora	Accionamiento principal	Soltura paneles con desgaste	10	50	10	5000
Empacadora	Transportador de acomodo de cajas	Suelta tope parada cajas	5	15	10	750

Equipo/ Sistema	Subconjunto/ Función	Modo de Falla	Severidad (S, 1-10)	Ocurrencia (O, 1-10)	Detección (D, 1-10)	RPN (S*O*D)
Empacadora	Mesa de entrada	Desgaste lengüetas en transferencia	10	26	10	2600
Paletizadora	Ingreso de cajas/paquetes	Falla transmisión paletizadora servo	3	28	5	420

5.3 Implementación de Gantt

Una vez identificadas las máquinas de mayor criticidad y los modos de falla asociados, se procederá con la emisión de avisos de mantenimiento específicos, orientados a la atención de dichas anomalías. Estos avisos constituirán la base para la creación de órdenes de trabajo y, cuando sea necesario, para la gestión de solicitudes de repuestos, garantizando una respuesta oportuna y alineada con las necesidades operativas. Adicionalmente, se implementará un diagrama de Gantt (Apendice C), que permitirá detallar la programación de la ventana de mantenimiento, especificando las tareas a ejecutar, los responsables asignados y la duración estimada de cada actividad. Esto facilitará el control, el seguimiento y la optimización de los recursos involucrados.

6. Conclusiones

Se concluye que la propuesta de implementar el análisis AMEF como punto de partida para la planeación de ventanas de mantenimiento resulta viable y pertinente, en tanto permite identificar

de manera cuantitativa los modos de falla y los equipos de mayor impacto en la operación. No obstante, se evidenció la necesidad de establecer criterios más precisos para la delimitación de los valores del NPR, ya que en algunos casos los resultados obtenidos no superaron el umbral de criticidad definido, a pesar de presentar una frecuencia de ocurrencia significativa. Este hallazgo resalta la importancia de ajustar la metodología a las particularidades del proceso y de complementar el análisis con indicadores adicionales de confiabilidad y disponibilidad.

Asimismo, se comprobó que los resultados obtenidos guardan coherencia con el comportamiento representado en la gráfica 52-12-4, lo cual otorga validez a los hallazgos y refuerza la utilidad del enfoque adoptado. En consecuencia, se puede afirmar que el análisis AMEF constituye una herramienta sólida para sustentar la toma de decisiones estratégicas en mantenimiento, favoreciendo la optimización de recursos, la reducción de tiempos improductivos y la mejora de la eficiencia global del sistema de envasado.

7. Recomendaciones

Se recomienda repetir el análisis con periodicidad semestral, trimestral y mensual, de manera que sea posible comparar los resultados obtenidos y establecer una tendencia histórica de los modos de falla, así como la recurrencia de las anomalías en los equipos con mayor criticidad. Este ejercicio permitirá contar con información actualizada y confiable para orientar la planeación de actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.

Adicionalmente, se sugiere redefinir los valores de la escala del NPR, con el propósito de establecer nuevos umbrales de alarma que amplíen la cobertura de los modos de falla y de los equipos que impactan de forma significativa el desempeño global del salón de envasado. Este ajuste facilitará una priorización más precisa y una mejor asignación de recursos técnicos y económicos.

Finalmente, se recomienda contrastar de manera sistemática los resultados del AMEF con la gráfica 52–12–4, dado que ambas herramientas son complementarias y permiten una evaluación integral del riesgo operativo. La combinación de estas metodologías fortalece el proceso de análisis, ofreciendo una base más sólida para la toma de decisiones estratégicas orientadas a incrementar la eficiencia, confiabilidad y disponibilidad de los activos.

Referencias Bibliográficas

- Llanes, A. A.; Granela Martín, A. & Hernández Pascual, K. (2008). Propuesta de procedimiento para determinar la política de mantenimiento a partir de análisis de criticidad del equipamiento productivo de los centrales azucareros. *Centro Azúcar*, 35(1).
- Martínez Rodríguez, O. & Dorrbercker Drake, S. A. (2012). Determinación de las Prioridades de Mantenimiento en Turbogeneradores “Elektrosila TBΦ-100-3600-T3” a partir del Comportamiento de sus Fallos; Determination of Maintenance Priorities in Turbogenerators “Elektrosila TBΦ- 100-3600-T3” Based on their Failure. *Ingeniería Energética*, 33(3), 250–262.
- Fernandez Galvis, L. F., & Garavito Hernandez, A. L. (2017). *Modelo de gestión de mantenimiento predictivo en el área de elaboración de la cervecería de Barranquilla, Bavaria S.A.* Universidad Industrial de Santander.
- Pinto Carrion, L. F., & Quintero Tafur, M. (2016). *Propuesta de la metodología análisis causa raíz de falla (RCA) para asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de embotellado en Coca-Cola Femsa Tocancipá.* Universidad Industrial de Santander.
- Almanza Correa, J. J. (2022). Oportunidades de mejora en la planeación del mantenimiento mayor en plantas de refinación de crudo. *Ontare (Online)*, 10(1). <https://doi.org/10.21158/23823399.v10.n1.2022.3579>
- Teran Quintanilla, S. H., & Russi Laiton, E. J. (2016). *Diseño, implementación y sistematización de un sistema de mantenimiento preventivo basado en análisis de criticidad (ca) y análisis de modos y efectos de falla y su criticidad (fmeca). para la empresa metalmecánica Industrias Teherán.* Universidad Industrial de Santander

Jaimés Fernández, M. A., & López Florez, F. E. (2011). *Modelo de auditoría para evaluar el grado de implementación de la estrategia de mantenimiento en la superintendencia de operaciones central soc de Ecopetrol*. Universidad Industrial de Santander.