



Análisis de Confiabilidad en los Alimentadores de Coque de la planta Cogeneradora de ENAP Refinería Bio Bío

Felipe Alonso Farías Viacava

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor guía:

Dr.- Ing. Cristian Canales C.

Dr.- Ing. Emilio Dufeu D.

Ingeniero Supervisor:

Eduardo Maurelia Picarte

Julio 2025

Concepción, Chile

©2025 Felipe Alonso Farías Viacava

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

Agradecimientos

Quiero agradecer este preciso momento y lugar en que estoy redactando estos agradecimientos, porque es una etapa para mirar hacia atrás y valorar el esfuerzo realizado durante estos últimos seis años. Este momento se lo debo a muchas personas que han estado presentes en distintas etapas de mi vida universitaria, quienes me impulsaron a esforzarme, creer en mí y entregar siempre lo mejor.

Primero que todo, quiero agradecer a mi familia, especialmente mis padres, mis hermanas y mi hijo. Han sido un pilar donde refugiarme en los momentos más complicados donde siempre ha habido cariño y buenos consejos. Se han asegurado siempre en brindarme un lugar cómodo y seguro donde comer y dormir sin tener que preocuparme por esas necesidades. Mi hijo Santiago me ha dado la oportunidad de ser su padre, impulsándome a madurar rápidamente, a mantener mi vida en movimiento y atreverme a trabajar y buscar la forma de resolver situaciones complejas de la vida. Él me ha dado un propósito y me ha motivado a reflexionar profundamente sobre mi vida. Todo lo mencionado es parte importante de por qué hoy estoy orgulloso y en paz conmigo mismo.

Quiero agradecer también al grupo de amigos que me acompañó durante los años de pandemia, compuesto por compañeros de diferentes carreras; sin duda, fueron imprescindibles durante esos años que considero los más difíciles de mi vida. También están mis amigos de linares: Sebastián, Osvaldo y Waripolo, quienes, junto a Nachito, de Angol, han sido compañeros en gran parte de los trabajos universitarios y han ayudado a equilibrar esa parte con los carretes, peñas y salidas al Neruda que me han servido de motivación y como distracción. Ellos no solo han estado conmigo en los malos momentos, sino que también han hecho de los buenos momentos algo aún mejor.

No puedo dejar de mencionar a mi pareja, Macarena, quien me ha acompañado estos últimos dos años de universidad, quien ha traído paz, orden y valentía a mi vida. Ella no solo me ha acompañado y apoyado incondicionalmente, sino que también me ha ayudado a reencontrarme conmigo mismo y me ha motivado a mejorar cada día, incentivando hábitos como el cuidado personal y la lectura, que se ha convertido en una de mis grandes pasiones.

Por último, quisiera agradecer al personal de mantención de ENAP y a los integrantes de la División de Ingeniería de Mantención, quienes siempre han tenido muy buena disposición para enseñarme y me brindaron la oportunidad de desarrollar la memoria de título junto a ellos. En especial, quiero agradecer a mi supervisor Eduardo Maurelia, a quien estimo mucho, por su capacidad para resaltar lo positivo de cada avance, por su capacidad de análisis y perspectiva frente a los problemas relacionados con el desarrollo de la tesis, por haberme ofrecido siempre múltiples opciones en lugar de una respuesta directa y por sus múltiples consejos que me servirán en mi vida profesional. Sin duda, esta última etapa ha contribuido significativamente a mi desarrollo profesional, permitiéndome observar con mayor profundidad el problema investigado y valorar adecuadamente el tiempo y dedicación que requiere cada etapa del proceso de investigación.

Resumen

El sistema de alimentación de coque de la caldera de la planta cogeneradora de ENAP Refinería Bio Bío se soporta en tres alimentadores operando en paralelo. Aunque la demanda de coque puede satisfacerse con solo dos de ellos, esta configuración provoca pérdida de eficiencia térmica y un aumento en las emisiones de dióxido de azufre (SO₂). Entre julio de 2022 y junio de 2025, los tres alimentadores registraron un total de 79 fallas y, en 14 ocasiones, solo uno permaneció operativo, dando lugar a un estado de riesgo operacional. Si llegaran a fallar los tres alimentadores simultáneamente, la planta cogeneradora se detendría y activaría un plan de emergencia que reduce la carga y paraliza parcialmente otras unidades de la refinería. El objetivo general de la memoria de título consiste en identificar las causas raíz de los modos de falla más frecuentes y las brechas en la estrategia de mantenimiento vigente de los alimentadores de coque de la planta cogeneradora de ENAP Refinería Bio Bío, con el propósito de proponer mejoras que reduzcan o prevengan la recurrencia de dichos modos de falla.

Se realizó un Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) para desglosar el sistema de alimentación de coque en subsistemas y focalizar el estudio en aquellos subsistemas cuya falla impacta directamente en la función principal de los alimentadores. Después, se caracterizaron los eventos de falla conforme a la norma ISO 14224:2016, integrando datos operativos extraídos de AVEVA PI Vision, registros de SAP y anotaciones de la bitácora de operaciones. Finalmente, se construyó un árbol lógico de fallas (FTA) centrado en los modos de falla que representan más del 80% de las fallas con el objetivo de identificar las causas raíz y sustentar las propuestas de mejora.

El análisis reveló que existe una gran cantidad de fallas tempranas en los tres alimentadores, lo que explica las 14 ocasiones en que solo uno quedó en operación. De los 79 eventos registrados, cinco modos de falla concentraron el 81% de las interrupciones; al profundizar en ellos, se identificaron cuatro mecanismos de daño no cubiertos por la estrategia actual de mantenimiento. En respuesta, se formularon tres propuestas de mejora, cada una con su frecuencia y lista de actividades asociadas. La robustez de la metodología quedó de manifiesto al lograr asignar un modo de falla al 91% de los eventos, y validar el FMEA, los FTA y las propuestas de mejora con personal de mantención.

El análisis de causas raíz de los modos de falla más frecuentes permitió identificar brechas en la estrategia de mantenimiento vigente, validando la hipótesis planteada. Asimismo, se concluyó que el enfoque correctivo aplicado hasta fines de 2024 no fue suficiente para garantizar el correcto funcionamiento de los alimentadores. Las propuestas de mejora, basadas en un plan preventivo focalizado en los mecanismos de daño críticos, ofrecen un esquema sólido para reducir la cantidad de fallas y mitigar las condiciones de riesgo operacional. Como trabajo futuro, se sugiere implementar las propuestas de mejora, monitorear la evolución de los modos de falla y ajustar periódicamente la frecuencia del plan de mantenimiento preventivo en función de los resultados obtenidos. También se recomienda realizar un análisis de los modos de falla que generan mayor indisponibilidad.

Abstract

The coke feeding system for the boiler at the ENAP Refinería Bio Bío cogeneration plant is supported by three feeders operating in parallel. Although the coke demand can be met using only two of these feeders, this configuration results in reduced thermal efficiency and increased sulfur dioxide (SO₂) emissions. Between July 2022 and June 2025, the three feeders recorded a total of 79 failures, and on 14 occasions, only one feeder remained operational, leading to an operational risk condition. If all three feeders were to fail simultaneously, the cogeneration plant would shut down, triggering an emergency plan involving load reduction and partial shutdown of other refinery units. The primary objective of this thesis is to identify the root causes of the most frequent failure modes and gaps in the current maintenance strategy for the coke feeders at ENAP Refinería Bio Bío's cogeneration plant, aiming to propose improvements that reduce or prevent the recurrence of these failures.

A Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) was conducted to break down the coke feeding system into subsystems, focusing the study on those subsystems whose failure directly impacts the feeders' primary function. Subsequently, the failure events were characterized according to ISO 14224:2016 standards, integrating operational data from AVEVA PI Vision, SAP records, and entries from the operation logbook. Finally, a Fault Tree Analysis (FTA) was developed, centered on the failure modes accounting for more than 80% of the recorded events, to identify root causes and substantiate improvement proposals.

The analysis revealed a significant occurrence of early failures across all three feeders, explaining the 14 instances where only one feeder remained operational. Of the 79 recorded events, five failure modes accounted for 81% of interruptions; a detailed examination of these modes identified four damage mechanisms not covered by the current maintenance strategy. In response, three improvement proposals were formulated, each including specific maintenance activities and their frequencies. The robustness of the methodology was demonstrated by successfully associating a failure mode with 91% of the events and validating the FMEA, FTA, and improvement proposals with maintenance personnel.

The root cause analysis of the most frequent failure modes highlighted gaps in the existing maintenance strategy, validating the hypothesis. It was also concluded that the corrective maintenance approach used until the end of 2024 was insufficient to ensure the reliable operation of the feeders. The proposed improvements, based on a preventive maintenance plan targeting critical damage mechanisms, offer a solid framework to reduce failures and mitigate operational risk conditions. For future work, it is recommended to implement the proposed improvements, monitor the evolution of failure modes, and periodically adjust the frequency of the preventive maintenance plan based on obtained results. Additionally, conducting an analysis of the failure modes causing the greatest unavailability is also recommended.

Contenidos

Lista de Figuras	1
Lista de Tablas.....	2
Nomenclatura	3
1 Introducción	4
1.1 Contexto Empresa Nacional del Petróleo (ENAP)	4
1.1.1 ENAP Refinería Biobío	4
1.1.2 Contexto operacional de la planta Cogeneradora.....	4
1.1.3 División de Ingeniería de Mantenimiento (DIM)	5
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Metodología.....	7
2 Estado del arte	10
2.1 Estado del arte.....	10
2.1.1 Términos y definiciones	10
2.1.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	11
2.1.3 Análisis de Causa Raíz (ACR)	11
2.1.4 Norma Norsok	11
2.2 Marco teórico	12
2.2.1 Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)	12
2.2.2 Análisis del Árbol de Fallas (FTA)	12
2.2.3 Cinco Porqués	12
2.2.4 Criterio de Pareto	13
2.2.5 AVEVA PI VISION	13
2.2.6 SAP	13
2.2.7 Normas medioambientales en Chile	13
2.2.8 Confiabilidad	14
2.2.9 Disponibilidad	15
2.2.10 Norma ISO 14224:2016	15
2.2.11 Fuente de información disponible	19
2.2.12 Funcionamiento de los alimentadores	21
3 Resultados.....	23
3.1 Contexto operacional de los alimentadores	23
3.2 Desarrollo del FMEA	25

3.3	Diagnóstico de falla.....	28
3.4	Propuesta de mejora	33
4	<i>Discusión</i>	41
5	<i>Conclusiones</i>	44
	<i>Referencias</i>	45
	<i>Anexos</i>	46

Lista de Figuras

Figura 1. Alimentadores de coque de la caldera de cogeneración de ENAP Refinería Bio Bío. (Fuente: ENAP).	7
Figura 2. Nivel de alcance ordenado de forma piramidal. (Fuente: norma ISO-14224:2016).	16
Figura 3. Ejemplo de límite de batería de una bomba. (Fuente: norma ISO-14224:2016).17	
Figura 4. Tiempos de mantenimiento. (Fuente: norma ISO 14224:2016).	18
Figura 5. Flujo de aire y coque hacia los alimentadores y la caldera. (Fuente: elaboración propia).	22
Figura 6. Sistema global del transporte de coque desde el silo de coque hasta la caldera. (Fuente: Elaboración propia).	26
Figura 7. Distribución de causa de detención en los alimentadores de coque. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	29
Figura 8. Evolución semestral de las fallas de los alimentadores de coque. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	29
Figura 9. Distribución de fallas por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	30
Figura 10. Tiempo de indisponibilidad (en horas) por fallas por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	30
Figura 11. Disponibilidad operacional por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	31
Figura 12. Confiabilidad por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	31
Figura 13. Distribución de los tiempos hasta la falla. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	32
Figura 14. Frecuencia de cada modo de falla. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).	34
Figura 15. Árbol de falla del modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).	35
Figura 16. Árbol de falla del segundo modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).	36
Figura 17. Árbol de falla del tercer modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).	37
Figura 18. Árbol de falla del cuarto modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).	38
Figura 19. Árbol de falla del quinto modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).	38
Figura 20. Guía en "V" de los polines y rodillos desalineados. (Fuente: ENAP).	40
Figura 21. Estado del polín motriz una vez retirado. (Fuente: ENAP)	40

Lista de Tablas

Tabla 1. Límites máximos permisibles de NO ₂ , SO ₂ y CO	14
Tabla 2. Datos que se deben recopilar para identificar el sistema estudiado.....	18
Tabla 3. Datos que se deben recopilar sobre la falla.	19
Tabla 4. Datos que se deben recopilar sobre las actividades de mantención.	19
Tabla 5. Tareas de mantención del plan de mantenimiento preventivo actual de los alimentadores de coque.....	20
Tabla 6. Datos específicos sobre los alimentadores de coque de la planta cogeneradora.	23
Tabla 7. Parámetros de diseño del alimentador y sus equipos auxiliares.	24
Tabla 8. Comportamiento histórico de las variables estudiadas.	24
Tabla 9. Componentes de cada subsistema.....	26
Tabla 10. Funciones de cada subsistema.	27
Tabla 11. Parámetros de las curvas de confiabilidad.....	32
Tabla 12. Eventos donde solo un alimentador quedó en funcionamiento.	33
Tabla 13. Propuestas de mejora.	39

Nomenclatura

ACR	: Análisis de Causa Raíz
DIM	: División de Ingeniería de Mantenición
ENAP	: Empresa Nacional del Petróleo
FD	: Feeder
FMEA	: Análisis de Modos de Falla y Efectos
FTA	: Análisis del Árbol de Fallas
IQR	: Rango intercuartílico
ISO	: Organización Internacional de Normalización
RCM	: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
UT	: Tiempo de actividad o disponibilidad
DT	: Tiempo de inactividad o indisponibilidad
β	: Parámetro de forma de la distribución de Weibull
η	: Parámetro de escala de la distribución de Weibull

1 Introducción

1.1 Contexto Empresa Nacional del Petróleo (ENAP)

La Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) es una compañía pública perteneciente al estado de Chile. ENAP cuenta con tres filiales: la filial de Exploración y Producción, la filial de Gas y Energía y la filial de Refinación y Comercialización. Las filiales tienen operaciones en Chile, Argentina, Ecuador y Egipto.

La filial de Refinación y Comercialización está orientada a la exploración, producción, refinación y comercialización de hidrocarburos y sus derivados. Esta filial fue fundada en 2004 tras la fusión de las refinerías de Concón y Petrox, ubicadas en las regiones de Valparaíso y del Bio Bío, respectivamente. En conjunto, ambas refinerías poseen una capacidad de destilación de aproximadamente 218.000 barriles por día, logrando cubrir más del 80% de la demanda nacional de combustibles.

1.1.1 ENAP Refinería Biobío

ENAP Refinería Biobío, antes llamada Petrox, opera desde 1966 y se ubica en Hualpén, Región del Biobío. Cuenta con una capacidad de procesamiento de 116.000 barriles por día. Las principales plantas de la refinería son las plantas de Topping y Vacío I, Visbreaking, Cracking Catalítico, Coquización Retarda (Coker) y la planta Cogeneradora, entre otras. Gracias a estas instalaciones, del crudo se obtienen productos como etileno, propileno, propano, butano, gasolinas, combustibles de aviación, queroseno, diésel, pitch asfáltico, coque y azufre. Además, se encarga de la gestión de la infraestructura logística para el transporte y almacenamiento de estos y su posterior venta a las compañías distribuidoras del mercado nacional.

1.1.2 Contexto operacional de la planta Cogeneradora

La planta cogeneradora pasó a formar parte de ENAP en el año 2016, tras la compra del 85% de la propiedad que pertenecía a la empresa de Petropower Energía.

Desde un punto de vista operativo, la planta cogeneradora está compuesta por los siguientes sistemas: un sistema de alimentación de caliza y de coque, una caldera, un turbogenerador, un sistema de condensado y agua de alimentación, y un sistema de manejo de ceniza y extracción de gases. Esta planta tiene como finalidad abastecer con energía eléctrica a toda la refinería y también proporcionar vapor requerido por los diferentes procesos dentro de las instalaciones.

La caldera utilizada en esta planta es de tipo acuotubular con tecnología de lecho fluidizado, que utiliza una mezcla de coque y caliza como combustible. En esta mezcla, el coque proporciona la energía térmica para obtener temperaturas elevadas en el proceso de combustión, mientras que la caliza cumple la función de reaccionar con el azufre presente, evitando así la emisión de dióxido de azufre (SO_2) en los gases de combustión.

El coque y la caliza son introducidos en la caldera mediante dos sistemas independientes, mezclándose en el hogar de la caldera, formando el lecho fluidizado donde ocurre la combustión.

1.1.3 División de Ingeniería de Mantenimiento (DIM)

El proyecto de memoria de título se desarrolló en la División de Ingeniería de Mantenimiento (DIM), perteneciente al Departamento de Mantenimiento de ENAP Refinería Bio Bío. La DIM es la unidad responsable de diseñar, planificar y supervisar las estrategias de mantenimiento enfocadas en garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos críticos de la planta, utilizando herramientas de confiabilidad como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Análisis de Causa Raíz (ACR) y la planificación de Inspección Basada en el Riesgo (RBI). Esta división también implementa metodologías de mantenimiento predictiva, basadas en el monitoreo continuo de variables operacionales como las vibraciones. Gracias a estas prácticas, la DIM contribuye a optimizar costos, mejorar la seguridad operacional y reducir tiempos de paro no planificados, aportando de manera significativa al rendimiento global de la refinería.

1.2 Planteamiento del problema

En la planta cogeneradora, los equipos encargados de proporcionar un flujo continuo y controlado de coque hacia la caldera son los alimentadores de coque, también conocidos como feeders. Un alimentador de coque es una cinta transportadora ubicada al interior de un almacén de acero presurizado e instrumentalizado. En la Figura 1 se pueden observar los tres alimentadores de coque analizados en este trabajo, los cuales tienen los siguientes identificadores: FD-201A, FD-201B y FD-201C. Los tres alimentadores de coque operan en paralelo y dejan caer el combustible en el hogar de la caldera.

La demanda de la caldera se puede satisfacer con dos alimentadores; sin embargo, cuando esto ocurre, el lecho del hogar no se distribuye de forma homogénea con la caliza, provocando una disminución de la eficiencia de la caldera y aumentando las emisiones de azufre (SO₂), lo que puede implicar incumplimientos a las normas medioambientales. La falla simultánea de dos alimentadores, además de tener graves consecuencias medioambientales, requiere reducir la carga de producción, dado que un único alimentador no es capaz de satisfacer las necesidades operativas de la caldera. Esta situación genera una condición de riesgo operacional crítica, ya que la detención simultánea de los tres alimentadores provocaría la detención de la planta cogeneradora.

Hasta ahora, gracias a las acciones inmediatas del equipo de mantenimiento cuando se presentan fallas, no ha ocurrido una detención de la planta atribuible a la falla simultánea de los tres alimentadores. Sin embargo, entre julio de 2022 y junio de 2025, se han registrado un total de 79 fallas y en 14 ocasiones solo uno permaneció operativo, lo que obliga a reducir la carga productiva. Esta reducción en la carga se traduce en pérdidas económicas para la empresa al tener que consumir energía de la red. Además, una eventual detención de la planta cogeneradora afectaría gravemente la operación del resto de la refinería debido a su dependencia del vapor generado, lo que activaría un plan de emergencia, el cual consiste en disminuir la carga y detener parcialmente algunas plantas de la refinería.

Es importante destacar que, entre los dos insumos producidos por la planta cogeneradora (electricidad y vapor), el vapor es el más crítico debido a su uso directo en los procesos

productivos de otras instalaciones, mientras que la electricidad es un recurso que se puede obtener de la red pública.

El problema principal abordado en este estudio radica en la alta tasa de fallas en los alimentadores, lo que provoca repetidas condiciones críticas de riesgo operacional. Un problema secundario identificado, aunque también relevante, es que esta alta tasa de fallas obliga a realizar intervenciones urgentes de forma frecuente, desestabilizando el plan semanal de mantenimiento de las divisiones del departamento de mantención. Esto genera un uso ineficiente de recursos, la necesidad de personal adicional y gastos imprevistos, además de retrasar tareas de mantenimiento programadas para otros equipos, afectando la eficiencia global del área.

Para abordar estos problemas se pueden aplicar diferentes metodologías. Una de ellas consiste en realizar un análisis global de los alimentadores, evaluando la posibilidad de reemplazarlos por unos nuevos con una mayor confiabilidad operacional. Otra posibilidad es realizar un análisis en la estrategia de mantenimiento, en la gestión de repuestos, en el modo de uso de los alimentadores y/o en el plan de lubricación con el objetivo de identificar oportunidades de mejora. Asimismo, es posible desarrollar una estrategia de mantenimiento basada en los costos o bien una estrategia de mantenimiento fundamentada en un estudio de confiabilidad. Otra alternativa consiste en identificar los componentes que fallan más en el alimentador y llevar a cabo un análisis riguroso en estos componentes, ya sea para detectar condiciones de diseño que no se cumplan o para implementar un sistema de monitoreo de condición durante la operación, que permita agilizar la detección y diagnóstico de fallas.

En la literatura, problemas similares al planteado se resuelven de formas diferentes. Por un lado, se monitorea la condición del equipo para alimentar un modelo de aprendizaje automático que agiliza el diagnóstico y la detección de fallas [1], [2]. Por otro lado, se ha implementado la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para definir un listado de tareas de Mantenimiento Preventivo (PM) junto a sus periodicidades. Posteriormente, al agrupar las tareas de PM, se ha logrado optimizar la cantidad de detenciones del equipo mediante un programa lineal entero mixto en Python [3]. En otros casos, también se ha implementado la metodología RCM, pero optimizando la estrategia de mantención en función de los costos generados por la realización de actividades de mantenimiento mientras el equipo está en operación, durante su detención, o al hacer coincidir las mantenciones generales de la planta con las del equipo, o incluso con la estrategia de operar hasta la falla [4]. También, se ha implementado la metodología de Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) para identificar qué subsistema del sistema global presenta el índice de riesgo más alto. Luego, se analizan los modos y efectos de falla de este subsistema, así como sus causas, para proponer las acciones de mantención correctivas o preventivas que, al ser aplicadas, previenen la ocurrencia de los modos de falla detectados [5].

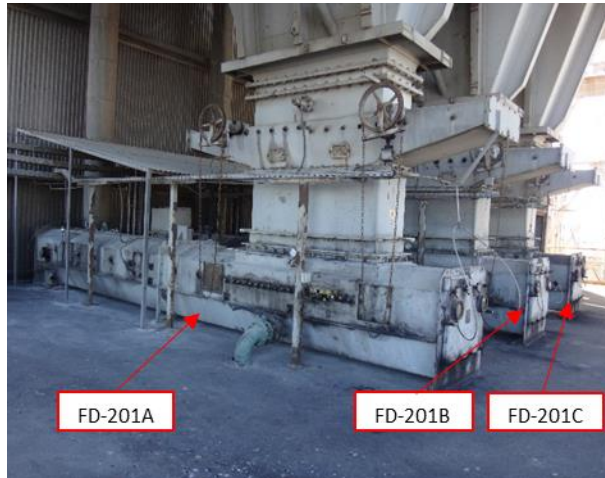


Figura 1. Alimentadores de coque de la caldera de cogeneración de ENAP Refinería Bio Bío. (Fuente: ENAP).

1.3 Hipótesis

La identificación de las causas raíz de los modos de fallas con mayor ocurrencia y las brechas en la estrategia de mantención actual de los alimentadores, permitirá proponer oportunidades de mejora, disminuyendo significativamente la frecuencia de falla, lo que se traduce en un incremento en la confiabilidad operativa. Esto, a su vez, evitará la recurrencia de la condición crítica de riesgo operacional identificada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Identificar la causa raíz de los modos de falla más frecuentes y las brechas en la estrategia de mantención de los alimentadores de coque, para proponer mejoras que reduzcan su ocurrencia.

1.4.2 Objetivos específicos

OE1: Caracterizar el comportamiento de los alimentadores hasta la falla mediante análisis del historial de fallas y datos operativos.

OE2: Evaluar la estrategia de mantenimiento para identificar brechas y oportunidades de mejora.

1.5 Metodología

Actividad 1: Estudio de las especificaciones técnicas del alimentador y sus componentes (OE1)

En esta etapa se empleará la norma ISO 14224:2016 para una correcta identificación de los alimentadores. Luego, se analizarán las especificaciones técnicas del alimentador para conocer el funcionamiento del equipo, conocer la instrumentalización empleada y los componentes y equipos auxiliares asociados, tales como motores y cajas reductoras.

Además, se identificarán las condiciones operativas del alimentador y los equipos auxiliares, incluyendo parámetros de velocidad, temperatura, presión y el tipo de lubricante utilizado.

Actividad 2: Análisis del contexto operacional y el modo de uso de los alimentadores (OE1)

A partir de diagramas P&D de la planta cogeneradora, se estudiará el contexto operacional de los alimentadores. Luego, con el programa AVEVA PI VISION, se extraerá el detalle de los flujos de ingreso y salida de coque de los alimentadores y otras variables de interés para llevar a cabo un análisis del modo de uso histórico de estos equipos.

Actividad 3: Cuantificación de la tasa de falla de los alimentadores y sus componentes (OE1)

A partir de los resultados obtenidos en la Actividad 2, se identificará todos los periodos de indisponibilidad de los alimentadores. Luego, con información extraída del programa SAP, como avisos, órdenes de trabajo y el detalle de los eventos de la bitácora de operaciones, se clasificará cada detención, según su origen: "Detención de planta", "Mantenimiento", "Falla externa" o "Falla". Con estos datos se calcularán indicadores de desempeño, como la confiabilidad y la disponibilidad de los alimentadores, lo que permitirá obtener un diagnóstico del historial de fallas de los alimentadores.

Actividad 4: Análisis de los modos de falla de los componentes críticos (OE1)

En esta etapa se define el alcance del estudio, subdividiendo el sistema global del alimentador en subsistemas con funciones específicas que son necesarias para el buen funcionamiento del sistema global. Para cada subsistema identificado, se realizará un Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) simplificado, centrado en la identificación de los modos de falla y sus efectos, sin incluir la evaluación de criticidad. De esta manera, se logrará entender de qué forma pueden fallar los alimentadores.

Actividad 5: Caracterización de los eventos de falla (OE1)

Al inicio de esta etapa se le asociará a cada evento de falla un modo de falla identificado en la Actividad 4. Para una buena caracterización de los eventos de falla, se utilizará la norma ISO 14224:2016. Luego, aplicando el criterio de Pareto, según la frecuencia, se analizará los modos de falla responsables del 80% de las detenciones de los alimentadores en conjunto con personal de operación y mantenimiento, aplicando la técnica del Árbol de Fallas (FTA) y la técnica de los Cinco Porqués, con el objetivo de identificar los eventos causales y los mecanismos de daño.

Actividad 6: Evaluación de la estrategia actual de mantenimiento (OE2)

Se revisará la estrategia de mantenimiento actual, comparándola con las recomendaciones del fabricante, las prácticas de las empresas anteriores y las sugerencias del personal de operaciones. Se analizarán las tareas de mantenimiento, sus frecuencias y su alineación con las causas raíz identificadas en la Actividad 5. De este modo, se determinarán las brechas en la estrategia actual y oportunidades de mejora.

Actividad 7: Diseño de tareas de mantenimiento (OE2)

A partir de los hallazgos de la Actividad 6, se propondrán nuevas actividades de mantenimiento o ajustes en la programación de tareas existentes junto a su periodicidad. Esta actividad finaliza una vez que personal de operaciones y de mantenimiento valide la nueva estrategia de mantenimiento.

2 Estado del arte

2.1 Estado del arte

En esta sección se mencionan y definen algunos términos y conceptos básicos que se utilizan en el tópico de confiabilidad. Además, se presentan las principales técnicas y herramientas de confiabilidad que se emplean hoy en día en la industria para mejorar la gestión y el desempeño de los procesos y equipos industriales. Junto a la descripción de algunas de las diferentes técnicas y herramientas de confiabilidad, se menciona la o las normas internacionales que establecen los puntos mínimos a cumplir para emplear bien la técnica respectiva.

2.1.1 Términos y definiciones

- Activo: Elemento físico o conjunto de elementos que tienen un valor económico y operacional para una organización, utilizado para cumplir funciones específicas dentro de un proceso productivo o de servicio.
- Mantenimiento: El conjunto de acciones realizadas para conservar o restaurar la función de un activo, dicho de otro modo, asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan [6]. En la industria se aplican los siguientes métodos:
 - 1 Mantenimiento correctivo: Acciones de mantenimiento que se ejecutan cuando ya ocurrió la falla.
 - 2 Mantenimiento preventivo: Acciones de mantenimiento realizadas periódicamente para prevenir la ocurrencia de la falla.
 - 3 Mantenimiento predictivo: Acciones de mantenimiento que se ejecutan luego de predecir la falla a partir de la condición del activo.
 - 4 Mantenimiento proactivo: Actividades que corrigen la causa raíz de fallas recurrentes.
- Estrategia de mantenimiento: Planificación estructurada de actividades de mantenimiento enfocadas a maximizar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los activos.
- Función: Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema [7].
- Función primaria: La función que constituye la razón principal por la que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario [7].
- Funciones secundarias: Las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir aparte de su(s) función(es) primaria(s), tales como aquellas que se necesitan para cumplir con los requerimientos regulatorios y aquellas a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural [7].
- Falla funcional: Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado [7].
- Modo de falla: Un evento único, que causa una falla funcional [7].
- Efecto de falla: Lo que pasa cuando ocurre un modo de falla [7].

- Consecuencias de falla: Los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple [7].
- Mantenibilidad: Capacidad de un equipo para ser restaurado rápidamente después de una falla.
- Tiempo promedio entre fallas (MTBF): Tiempo promedio entre fallas consecutivas de un equipo.
- Tiempo promedio para reparar (MTTR): Tiempo promedio requerido para reparar un equipo y restaurarlo a condiciones operativas.

2.1.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El RCM es una metodología para diseñar la estrategia de mantenimiento adecuada, basándose en la criticidad y el desempeño requerido de un sistema o un activo. Para una correcta implementación de la metodología RCM, se pueden aplicar las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, que exigen que, luego de seleccionar el alcance del sistema, se debe de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas en la secuencia que se muestra:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional?
- ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones?
- ¿Qué causa cada falla funcional?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
- ¿De qué manera afecta cada falla?
- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible?

2.1.3 Análisis de Causa Raíz (ACR)

El ACR es una técnica utilizada para investigar las causas de algún evento en concreto, con el fin de prevenir su recurrencia, identificando las causas raíz y estableciendo acciones correctivas eficaces. Los pasos clave para su implementación consisten en: definir el alcance o propósito para el análisis, la recopilación de datos, definir el problema, identificar y analizar las causas empleando técnicas como los Cinco Porqués, el diagrama de Ishikawa o el Análisis de Árbol de Fallas (FTA), por último, proponer acciones para evitar la recurrencia de las causas raíz. Para emplear bien esta técnica, se puede seguir la norma IEC 62740.

2.1.4 Norma Norsok

Las normas Norsok son desarrolladas por la industria petrolera noruega para garantizar la seguridad adecuada, el valor añadido y la rentabilidad de los desarrollos y operaciones de la industria petrolera. Estas normas se basan en normas reconocidas internacionalmente como las normas ISO, ASME o API, según el tipo de equipo, línea o soporte que se esté analizando. Se emplea esta norma para evaluar la extensión de vida de un equipo, línea o soporte. En un principio se deben definir las premisas del funcionamiento e identificar las nuevas amenazas para el sistema; luego se evalúa la integridad del sistema. Como

resultado se puede concluir que la integridad del sistema es aceptable hasta el final de la vida útil. En caso contrario, se deben considerar las modificaciones junto a la viabilidad de toda la ampliación de la vida útil.

2.2 Marco teórico

En este capítulo se mencionan algunos conceptos y herramientas que se utilizan a lo largo del estudio, también se entrega información clave sobre las características de los activos que se analizan para una buena comprensión de la memoria de título.

2.2.1 Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)

El FMEA es una técnica que permite actualizar la estrategia de mantenimiento en un activo o proceso al identificar y priorizar los modos de falla con mayor riesgo. Los principales pasos para lograrlo consisten en: identificar las funciones del sistema o activo, identificar los modos de falla, calcular el Número Prioritario de Riesgo (RPN) según las consecuencias de falla y se finaliza con la definición e implementación de acciones.

El FMEA realizado en el documento actual corresponde a un FMEA simplificado o incompleto, ya que no se calcula el RPN. Se aborda de esta manera con el objetivo de identificar las formas en que el equipo puede fallar.

2.2.2 Análisis del Árbol de Fallas (FTA)

El FTA es una técnica que está normada por la norma IEC 61025:2006, que entrega una definición de los términos y conceptos básicos, y explica el método correcto para construir el árbol de fallas. El árbol de fallas puede tener un enfoque cualitativo, que no aborda la probabilidad de los sucesos y sus factores contribuyentes; y un enfoque cuantitativo donde se calcula la probabilidad de ocurrencia mediante análisis o pruebas. El primer paso para crear un árbol de fallas consiste en definir el evento o suceso no deseado (evento top); luego, mediante puertas lógicas (Y, O), se enlaza el evento superior (evento intermedio) con los eventos causales, y se repite este procedimiento hasta que se llegue a acontecimientos o estados que no puedan desarrollarse más (evento básico). En el Anexo 1 se puede observar un ejemplo de un árbol de fallas. Si se realiza un FTA cuantitativo, se le debe de asignar datos de probabilidad a cada evento básico y calcular la probabilidad del evento top.

2.2.3 Cinco Porqués

La técnica de los Cinco Porqués se menciona en la norma IEC 62740:2015, que corresponde a la norma de la técnica RCA, ya que los Cinco Porqués es una metodología que recomiendan emplear dentro del RCA. Para aplicar esta técnica se debe primero definir claramente el problema principal y luego, repetitivamente, preguntarse cuál es la causa del evento o paso anterior. Se debe de verificar con evidencias o datos que cada Porqué refleja un hecho y no una suposición. Luego, a cada causa identificada, especialmente a la causa raíz, se le debe asociar una acción correctiva, mencionando quién será el responsable de ejecutarla y la frecuencia.

2.2.4 Criterio de Pareto

El criterio de Pareto se menciona tanto en la norma ISO 10019:2012 como en la norma ISO 9001:2015, que establecen técnicas, recomendaciones y requisitos para un sistema de gestión de calidad en una organización. El criterio de Pareto establece que el 20% de las causas generan alrededor del 80% del impacto. En el marco de la confiabilidad y la mantenibilidad de los activos, se puede utilizar el criterio de Pareto con tres enfoques diferentes, según la frecuencia de los eventos de falla, el costo de mantención y el tiempo de indisponibilidad o reparación. Para aplicar el método de Pareto se debe primero escoger el o los enfoques a utilizar; luego de recopilar la información se deben ordenar los datos en forma decreciente y calcular una suma acumulada para seleccionar los eventos que concentren el 80% de las frecuencias, o costos, o tiempo, según sea el caso.

2.2.5 AVEVA PI VISION

AVEVA PI VISION es una plataforma que permite la visualización de datos en tiempo real de los diferentes procesos industriales y las condiciones de operación de los equipos a partir de los sistemas de adquisición de datos que estén instalados. Además de permitir visualizar los datos en tiempo real, este programa almacena los datos. Los datos almacenados se pueden extraer en forma de un gráfico, pudiendo así observar el comportamiento histórico de las variables de interés, según el año, mes, día y hora. Este programa tiene diferentes usos, pero los principales vendrían siendo el monitoreo de desempeño de equipos industriales, análisis de procesos y soporte para la toma de decisiones operativas y de mantenimiento.

2.2.6 SAP

SAP es un programa que permite la gestión de las diferentes áreas de una empresa, como finanzas, logística, recursos humanos, mantenimiento, etc. El módulo SAP PM es con el cual se lleva a cabo la gestión de mantenimiento de los activos físicos de las empresas. El personal puede cargar y extraer los planes de mantenimiento, las órdenes de trabajo, los avisos de mantenimiento, la gestión de repuestos y los costos. ENAP Refinería utiliza esta herramienta, lo que permite entonces extraer y analizar las actividades de mantenimiento que han llevado a cabo en los diferentes equipos de la refinería.

2.2.7 Normas medioambientales en Chile

En el marco medioambiental, Chile posee normas primarias de calidad del aire en las fuentes emisoras. Existen normas que establecen los límites máximos permisibles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂), de dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y de material particulado, entre otros. Aquellas comunas de las regiones de Chile que tienen una concentración de contaminantes superior al 80% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental poseen un plan de descontaminación, que define medidas y acciones específicas para controlar la concentración de dichos contaminantes.

La comuna de Hualpén, donde se encuentra la Refinería Bio Bío, desde el año 2018, tiene un plan de prevención y descontaminación para controlar las concentraciones de material particulado fino respirable (MP 2,5). Sin embargo, la planta cogeneradora no emite MP 2,5,

entonces, no debe tomar medidas específicas por el plan de prevención y descontaminación de la superintendencia del medio ambiente.

En la planta cogeneradora se miden y controlan las emisiones de NO₂, SO₂ y CO de la caldera. Las normas medioambientales que establecen los límites máximos permisibles para NO₂, SO₂ y CO son las normas DS N°40:2024, DS N°104:2018 y DS N°115:2002, respectivamente. En la Tabla 1 se resumen los límites máximos permisibles según la concentración en el rango de tiempo especificado, los cuales se establecen en las normas mencionadas.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de NO₂, SO₂ y CO

Contaminante	Promedio anual	Promedio 24 h	Promedio 1 h	Promedio 8 h
NO ₂	40 µg/Nm ³	100 µg/Nm ³	200 µg/Nm ³	-
SO ₂	60 µg/Nm ³	150 µg/Nm ³	350 µg/Nm ³	-
CO	-	-	30 mg/Nm ³	10 mg/Nm ³

(Fuente: DS N°40:2024, DS N°104:2018 y DS N°115:2002).

2.2.8 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo opere sin fallas durante un período específico y bajo condiciones definidas [7]. La confiabilidad puede modelarse mediante diferentes distribuciones estadísticas, como la distribución exponencial y la distribución de Weibull.

- Distribución exponencial: Se utiliza principalmente cuando la tasa de falla de un activo es constante en el tiempo. Es adecuada para representar sistemas o componentes en los que no existe envejecimiento significativo, es decir, donde la probabilidad de falla permanece constante independientemente del tiempo transcurrido desde la última falla.
- Distribución de Weibull: Es ampliamente utilizada en análisis de confiabilidad debido a su flexibilidad para modelar diversos tipos de comportamiento en la tasa de fallas, ya sean decrecientes, constantes o crecientes. La distribución de Weibull está definida por dos parámetros clave:
 1. Parámetro de forma (β): Define cómo varía la tasa de fallas con el tiempo.
 - Si $\beta < 1$, la tasa de falla disminuye con el tiempo, indicando fallas tempranas o periodo de "mortalidad infantil".
 - Si $\beta = 1$, la tasa de falla es constante, y la distribución se reduce a una exponencial.
 - Si $\beta > 1$, la tasa de falla aumenta con el tiempo, indicando un desgaste o envejecimiento del activo.

2. Parámetro de escala (η): Representa el periodo característico en que aproximadamente el 63,2% de los activos fallarán. Este parámetro puede entenderse como una vida típica o tiempo hasta la falla para un conjunto específico de condiciones operativas.
3. Parámetro de localización (γ): Es el tiempo transcurrido desde la última intervención del equipo. El punto de observación es el momento en el cual se decide hacerle un seguimiento al equipo para estimaciones de vida y confiabilidad.
 - Si $\gamma > 0$, es el tiempo desde el funcionamiento del equipo hasta el punto de observación.
 - Si $\gamma = 0$, es equivalente a que el origen del tiempo es el mismo de las observaciones.

Para estimar los parámetros de la distribución de Weibull, usualmente se utilizan métodos estadísticos como el método gráfico, máxima verosimilitud o mínimos cuadrados. Una vez determinados estos parámetros, es posible realizar predicciones sobre la confiabilidad futura del activo, permitiendo la implementación de estrategias proactivas de mantenimiento.

2.2.9 Disponibilidad

La disponibilidad es la proporción del tiempo en que un equipo se encuentra operativo o disponible para su uso. Existen diferentes tipos de disponibilidad.

- Disponibilidad inherente: Capacidad de un equipo para estar disponible considerando únicamente el tiempo promedio entre fallas (MTBF) y el tiempo promedio de reparación (MTTR), excluyendo factores externos como logística o tiempos administrativos.
- Disponibilidad lograda: Incluye todos los tiempos de inactividad programados o no programados, considerando tiempos de espera por repuestos, logística y reparaciones reales.
- Disponibilidad operacional: Es la disponibilidad real experimentada en la operación diaria del equipo, considerando todos los factores que afectan su operatividad, tales como tiempos administrativos, tiempos logísticos, tiempos de espera de recursos y tiempos de mantenimiento, tanto preventivos como correctivos.

La disponibilidad operacional es el indicador más relevante para la gestión del mantenimiento y operación de activos, ya que proporciona una imagen realista del rendimiento del equipo en su contexto operativo específico. La mejora de la disponibilidad operacional implica gestionar eficientemente los recursos, reducir tiempos logísticos, mejorar la planificación del mantenimiento preventivo y predictivo, y optimizar la gestión del inventario de repuestos.

2.2.10 Norma ISO 14224:2016

La norma ISO 14224:2016 es una norma europea que proporciona una base sobre la recopilación de datos para la confiabilidad y el mantenimiento de los equipos en las instalaciones y operaciones de la industria del petróleo, el gas natural y la petroquímica.

Esta norma entrega un estándar de los datos que se deben recopilar para la identificación de los activos, los datos que se deben recopilar sobre una falla y los datos que se deben recopilar sobre las actividades de mantenimiento. Para una correcta recolección de datos, la norma entrega ejemplos de diagramas de equipos y sistemas que sirven para definir el alcance del estudio, según el nivel de detalle que se quiere abordar. El nivel de detalle depende del piso donde uno sitúa el estudio en el orden jerárquico que se puede observar en la Figura 2, pudiendo ser evaluado de forma global como una instalación o planta, o pudiendo ser evaluado de forma rigurosa como equipo o componentes mantenibles. En la Figura 3, se puede observar un ejemplo de diagrama, o límite de batería de una bomba. La bomba la subdivide en siete subsistemas, de los cuales el “starting system”, el “driver” y los elementos auxiliares como las válvulas de ingreso y salida se dejan fuera del análisis de ese estudio.

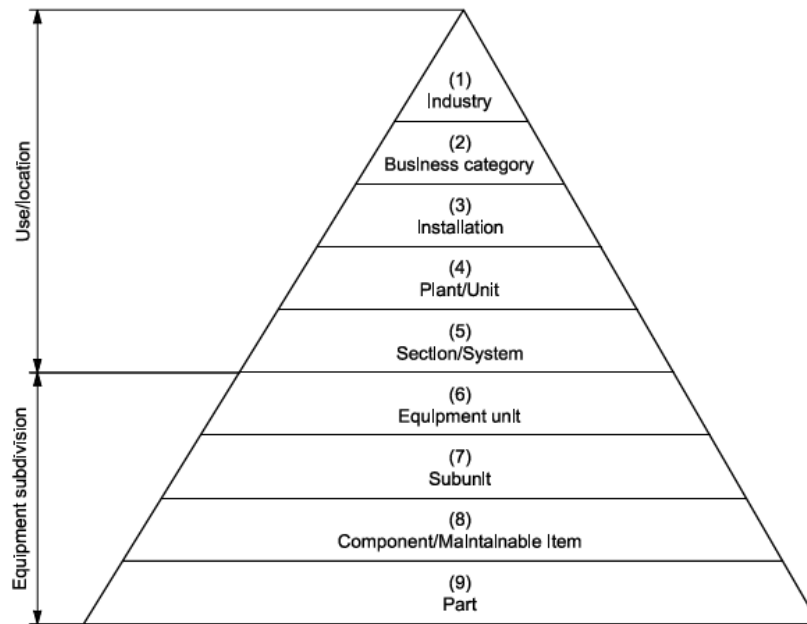


Figura 2. Nivel de alcance ordenado de forma piramidal. (Fuente: norma ISO-14224:2016).

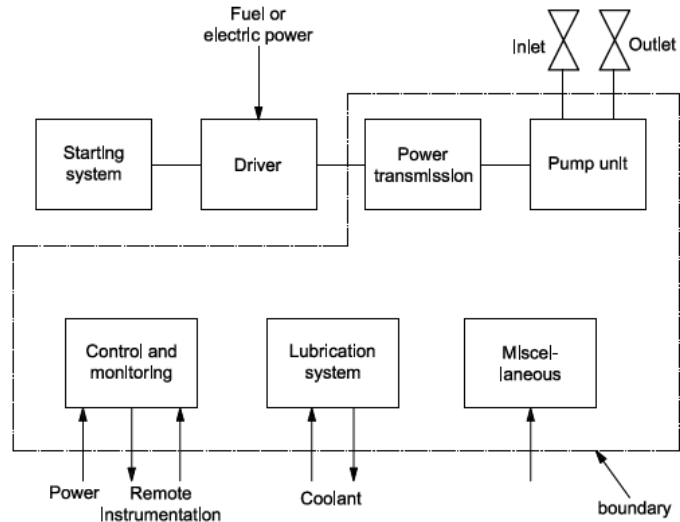


Figura 3. Ejemplo de límite de batería de una bomba. (Fuente: norma ISO-14224:2016).

La Figura 4 es un gráfico del estado de operación del sistema en función del tiempo; se puede observar que se divide en dos tramos principales, el “Up-time” (UT) y el “Down-time” (DT), que corresponden al rango de tiempo donde el sistema estuvo disponible e indisponible, respectivamente. A su vez, el UT se divide en un período de “run-down”, “start-up” y en un tercer período que se le puede llamar “running”. Mientras que el DT se divide en “Preparation and/or delay”, “Active repair time” y “Waiting and/or delay”. A continuación, se entrega una definición de cada una de estas condiciones de operación:

- Run-down: Cuando el activo disminuye gradualmente su funcionamiento hasta detenerse completamente.
- Start-up: Cuando el activo pasa de estar detenido a operar a rango de operación nominal.
- Running: Cuando el activo opera dentro de su rango de operación nominal.
- Preparation and/or delay: Cuando el activo está detenido y aún no ha sido mantenido.
- Active repair time: Cuando el activo está siendo reparado.
- Waiting and/or delay: Cuando el equipo está disponible para operar, pero sigue estando detenido.

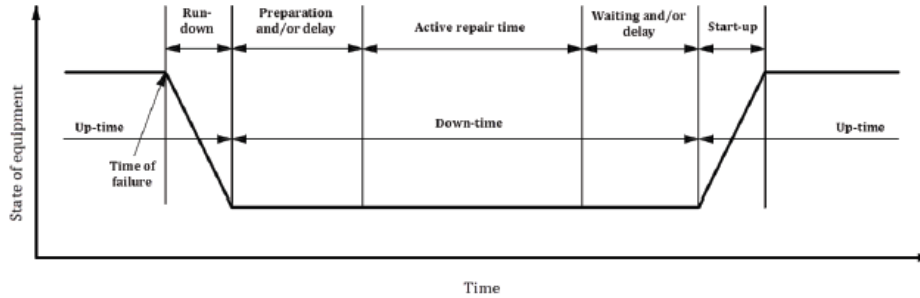


Figura 4. Tiempos de mantenimiento. (Fuente: norma ISO 14224:2016).

En la Tabla 2, se resumen los datos que se deben recopilar como mínimo para una correcta identificación del sistema o activo estudiado. Por otro lado, la Tabla 3 y la Tabla 4 resumen los puntos mínimos a ser recopilados, según la norma, para identificar los eventos de falla y las actividades de mantención, respectivamente.

Tabla 2. Datos que se deben recopilar para identificar el sistema estudiado.

Datos	Ejemplo
Categoría empresarial	Petroquímica
Código o nombre de la instalación	Delta Chemical
Categoría de la planta o la unidad	Craqueador de etileno
Código o nombre de la planta o unidad	EC 1
Sección o sistema	Sistema de reacción
Clase de activo	Heater
Tipo de activo	Fired
Identificación del equipo	H-1
Nombre del fabricante	Anderson
Estado normal de operación	Running
Fecha de inicio de servicio	2003-02-01
Tiempo de vigilancia (calculado en horas)	26.300
Número de pruebas periódicas solicitadas durante el tiempo de servicio, según corresponda	4
Número de solicitudes operativas durante el período de vigilancia según corresponda	3

(Fuente: norma ISO 14224:2016).

Tabla 3. Datos que se deben recopilar sobre la falla.

Datos	Descripción
Identificador de falla	Identificación única de falla
Identificación del equipo	Por ejemplo, número de etiqueta (TAG)
Fecha de la falla	Fecha de la falla (año/mes/día)
Modo de falla	Normalmente, a nivel de unidad de equipo
Impacto de la falla en el funcionamiento del equipo	Efecto sobre el funcionamiento del equipo: fallo crítico, degradado o incipiente
Condiciones de operación en el momento de la falla	Run-down, start-up, running, hot standby, idle, cold standby, testing

(Fuente: norma ISO 14224:2016).

Tabla 4. Datos que se deben recopilar sobre las actividades de mantenimiento.

Datos	Descripción
Identificador de mantenimiento	Identificación única de mantenimiento
Identificación/ubicación del equipo	Por ejemplo, número de etiqueta (TAG)
Identificador de la falla correspondiente	Identificación única de falla
Fecha de mantenimiento	Fecha de mantenimiento (año/mes/día)
Tipo de mantenimiento	Categoría de mantenimiento (correctiva, preventiva)
Tiempo de mantenimiento activo	Duración de los trabajos de mantenimiento
Tiempo de inactividad	Tiempo de indisponibilidad del equipo

(Fuente: norma ISO 14224:2016).

2.2.11 Fuente de información disponible

En esta sección se mencionan las diferentes fuentes de donde se obtiene información que se utiliza para el desarrollo del estudio. Se debe antes mencionar quiénes han atendido los alimentadores de coque de la planta cogeneradora, y en base a eso, entender cuánta información se tiene disponible.

La primera empresa a cargo de la planta cogeneradora, y entonces de los alimentadores, fue Petro Power y Foster Wheeler, luego, la empresa responsable fue WOOD, y después la empresa AMEC Foster Wheeler. Si bien la planta cogeneradora pasa a ser de ENAP Refinería Bio Bío en diciembre de 2016, recién en el año 2019, el departamento de mantención se hace cargo de la mantención de los alimentadores de coque.

Se desconoce gran parte de las intervenciones que se realizaron en los alimentadores previo a ser recibido por ENAP. No obstante, el equipo actual cuenta con un profesional que ha trabajado de forma continua en todas las empresas gestoras de la cogeneradora y, hasta la fecha, lidera las actividades de mantenimiento de los alimentadores. Este experto ha participado en reuniones periódicas durante el desarrollo de este estudio, proporcionando información cualitativa y validando los datos recopilados. Las principales fuentes documentales son:

- Manuales de fabricante (1997): Instrucciones originales para la instalación, operación y mantenimiento de los alimentadores.
- Procedimiento de calibración (2006): Documento técnico del fabricante que describe el método de calibración de un equipo similar la instalado.
- Checklist de inspección (AMEC Foster Wheeler, 2018): Formato utilizado para las inspecciones de rutina previas a la transferencia a ENAP-

Desde 2019 hasta diciembre de 2024 ENAP aplicó exclusivamente un enfoque correctivo sobre los alimentadores. A partir de enero de 2025 se implementó un plan de mantenimiento preventivo mensual, ejecutado de forma escalonada: cada semana se interviene uno de los tres alimentadores, rotando de modo que en cuatro semanas todos reciben atención y el ciclo se repite. Las tareas específicas de este programa, detalladas en la Tabla 5, son llevadas a cabo por contratistas especializados y por los distintos equipos técnicos de la División de Ingeniería de Mantenimiento.

Tabla 5. Tareas de mantención del plan de mantenimiento preventivo actual de los alimentadores de coque.

Coordinar con operaciones para vaciar alimentador
Instalar candados de bloqueo según corresponda
Apertura de puertas
Inspección de sellos de tapas y puertas. Cambio sfn
Inspección de pernos y tuercas de tapas laterales.
Revisión de descansos cinta lado reductor e interior de alimentador, revisar sellos sueltos o exceso de grasa, realizar limpieza.
Revisión de soportes polines y rodillos, revisar sellos sueltos o exceso de grasa, realizar limpieza
Revisión de sensores de desplazamiento lateral, apoyo BELINS.
Revisión de polines y funcionamiento
Revisión de rodillos y funcionamiento
Lubricación de descansos y/o soportes si fuese necesario y verificar aceite cajas reductoras (BMECLUB)

Tabla 5. (continuación).

Inspección retenes cajas reductoras
Revisión estado de cinta y su guía central y Guarderas.
Revisión de rastra, eslabones, pasadores, atizadores cadena, ejes y sprockets.
Revisión de alineamiento cinta.
Revisión de líneas de lubricación al interior de descansos cinta y rastra.
Revisión fondo (piso) de alimentador por posibles roturas por roce de rastra
Limpieza de visores de puertas delantera y trasera.
Revisión sistema de aire de limpieza visores.
Revisión de sistema de iluminación interior (ver que estén encendidas)
Revisión contador de vueltas (que no esté suelto)
Verificar estado de raspador de goma de cinta en tambor de cola.
Verificar chapaleta de indicador de carga (ubicada al interior del alimentador en parte posterior) debe girar suave. Apoyo BELINST
Verificar existencia fugas de aire por puertas o tapas laterales.

(Fuente: ENAP).

Desde el programa SAP se puede extraer todas las actividades de mantenimiento que se han realizado en los alimentadores. En el programa AVEVA PI VISION, desde julio de 2022 hasta el día de hoy, se tiene un registro de la tasa de alimentación de coque de los alimentadores y de la caldera, lo que permite identificar el estado operativo de los equipos. Asimismo, los operadores mantienen una bitácora de intervenciones y eventos críticos (con fecha y hora) accesible desde el 1 de julio de 2022 hasta el 10 de junio de 2025. Además, se tiene a disposición material digital como planos geográficos de las plantas, fotografías de los alimentadores, de sus componentes y diagramas de flujo de la planta cogeneradora.

El desarrollo de este estudio considera el rango de tiempo desde el primero de julio de 2022 hasta el día 10 de junio de 2025, dado que la tasa de alimentación de los alimentadores, extraída en el programa AVEVA PI VISION, permite identificar el estado operativo de los alimentadores.

2.2.12 Funcionamiento de los alimentadores

Cada uno de los alimentadores recibe un flujo de aire y un flujo de coque que provienen de un ventilador primario y del silo de coque, respectivamente (Figura 5). El flujo de aire permite presurizar el interior del alimentador, y el flujo de coque cae por efecto de la gravedad al interior de los alimentadores para satisfacer la demanda de la caldera. El flujo desde el silo de coque a los alimentadores se controla con la apertura y cierre de una guillotina manual, en el estudio se apodará “guillotina del silo”. El interior de los alimentadores está compuesto

por una cinta transportadora que desplaza el combustible sobre unos rodillos planos y lo deja caer a la caldera. El movimiento de la cinta se produce con la rotación de un polín motriz, que está conectado a una caja reductora, que es accionada por un motor eléctrico, que, a su vez, varía su velocidad de forma controlada gracias a un variador de frecuencia. La cinta se mantiene tensada entre el polín motriz, que está fijo, y el polín conducido, que se ajusta a partir de unos tornillos de tensado.

En la parte inferior del alimentador existe un sistema de limpieza accionado por un motor eléctrico, una caja reductora y un sprocket motriz, que mueven una cadena limpiante, llamada rastra, para empujar el coque que se deposita en la parte inferior del alimentador. Entre la descarga del alimentador y la caldera, el coque pasa a través de una guillotina, una junta de expansión y un sello de aire. Esta guillotina en el estudio se llamará “guillotina de descarga”, tiene la función de cerrarse de forma automática cuando el alimentador deja de funcionar y también tiene la función de abrirse cuando el alimentador está operativo. La junta de expansión tiene la función de absorber los esfuerzos. El sello de aire evita que el coque se devuelva al alimentador e impulsa el coque hasta la caldera.

Cada alimentador posee un gabinete eléctrico llamado “Máster de Combustible” (MC), que permite a los operadores en terreno monitorear y controlar las variables como la velocidad del motor, la demanda de coque y la cantidad de coque entregado en cada uno de los equipos. Conectado al motor eléctrico de la cinta hay un tacómetro que mide la velocidad de rotación, por otro lado, en una sección de la cinta está instalado un instrumento que mide el peso del material que transporta la cinta, es el pesómetro. Según los datos de salida de ambos instrumentos, el variador de frecuencia ajusta la velocidad del motor eléctrico para que la tasa de alimentación entregada por el alimentador coincida con la tasa de alimentación que se demanda. El MC también es capaz de registrar los errores del funcionamiento del equipo y detenerlo si alguno de los switches se activa, como el switch de desalineamiento, el switch de presencia de material sobre la cinta o el switch de acumulación de material a la salida del feeder. Para la mantención de los componentes internos del alimentador, existen tapas de acceso en diferentes partes del armazón del alimentador, el cuerpo del alimentador también posee mirillas e iluminación interna para realizar inspección visual del interior del feeder cuando está presurizado y en funcionamiento.

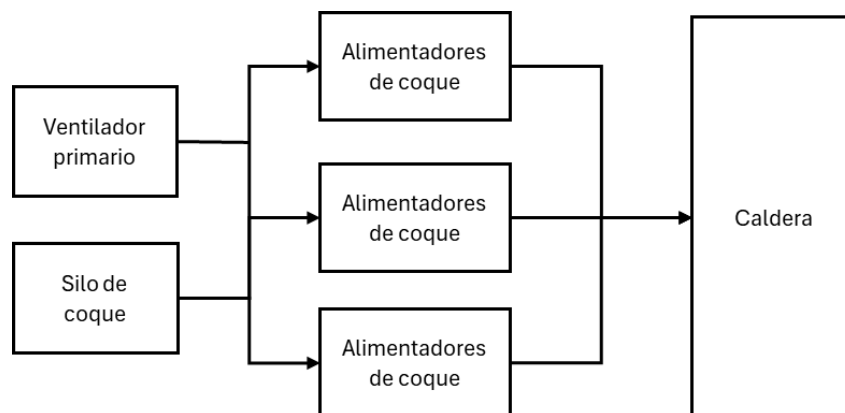


Figura 5. Flujo de aire y coque hacia los alimentadores y la caldera. (Fuente: elaboración propia).

3 Resultados

3.1 Contexto operacional de los alimentadores

A partir de la documentación existente, se realizó la identificación de los alimentadores según la norma ISO 14224:2016. El resultado obtenido se puede observar en la Tabla 6. Entre los datos más importantes de la Tabla 6 están la empresa que los diseñó, la empresa que los fabricó, el año donde se comenzó a operar los alimentadores, su estado normal de operación y desde cuándo se monitorea el equipo. Este último dato corresponde al tiempo de vigilancia, que se mide en la cantidad de horas transcurridas entre el 1 de julio de 2022 hasta el 10 de junio de 2025.

Tabla 6. Datos específicos sobre los alimentadores de coque de la planta cogeneradora.

Datos	Descripción
Categoría Empresarial	Planta de energía
Nombre de la instalación	ENAP Refinería Bio Bío
Categoría de la planta	Planta cogeneradora
Nombre o código de la planta	COG
Sistema	Alimentación de la caldera
Clase de equipo	Alimentador/Feeder
Tipo de equipo	LOW PRESSURE GRAVIMETRIC FEEDER
Identificación del equipo	FD-201A; FD-201B; FD-201C
Nombre del licenciante	Foster Wheeler Energía, SA
Nombre del fabricante	Stock Equipment Company
Modelo	LPG24 LOW PRESSURE GRAVIMETRIC FEEDER
Estado operativo normal	Running
Fecha de inicio de operación	1996
Tiempo de vigilancia, h	25.800

(Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por ENAP).

Los datos más relevantes que se extrajeron sobre los parámetros de diseño para el buen funcionamiento de los alimentadores y sus equipos auxiliares se resumen en la Tabla 7.

Con estos datos se puede chequear que tanto el alimentador, el variador de frecuencia o los motores están operando dentro o fuera de su rango de operación.

Tabla 7. Parámetros de diseño del alimentador y sus equipos auxiliares.

Parámetro	Magnitud	Unidad
Capacidad de flujo de coque de los alimentadores	Min: 1,8	t/h
	Max: 18,14	t/h
Rango de velocidades del motor de la correa transportadora	Min: 133	rpm
	Max: 1898	rpm
Rango de frecuencia entregado por el variador de frecuencia	Min: 1,8	Hz
	Max: 18,14	Hz
Potencia y velocidad del motor del sistema de limpieza	0,246	kW
	0,6	m/s
Rango de temperatura del aire para alimentar los alimentadores y el sello de aire	Min: 4,4	°C
	Max: 65,5	°C

(Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por ENAP).

A partir de la información almacenada en el programa AVEVA PI Vision, se logró identificar el valor promedio, el rango de tendencia y los valores mínimos y máximos de las variables que se relacionan con los flujos de ingreso y salida en los alimentadores de coque (Anexo 2, Anexo 3 y Anexo 4). Estos resultados se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Comportamiento histórico de las variables estudiadas.

Variable	Valor promedio	Rango de tendencia	Min.	Max.
Temperatura del aire que va al sello [°C]	34	30-40	5,8	105,6
Porcentaje de llenado de coque del silo de coque [%]	-	40-95	10	98
Feed Rate de descarga de coque del FD-201A [t/h]	6,4	7-8	0	18,3

Tabla 8. (continuación).

Feed Rate de descarga de coque del FD-201B [t/h]	5,9	7-8	0	18,5
Feed Rate de descarga de coque del FD-201C [t/h]	6,2	7-8	0	18,2
Feed Rate de ingreso de coque de la caldera la planta cogeneradora [t/h]	19	20-24	0	30,0

(Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por ENAP).

3.2 Desarrollo del FMEA

El nivel de alcance que se considera en el estudio es el de “equipment unit”, como se muestra en la Figura 2. Se incluyen dentro del estudio aquellos equipos y componentes que interactúan de forma directa con los alimentadores de coque, y que, en caso de no estar operativos, impiden de forma inmediata que se ejecute la función principal de los alimentadores, como las guillotinas, la junta de expansión y el sello de aire. Se consideró que la función principal de los feeders es desplazar el coque desde el silo de coque hasta la caldera de forma controlada según la demanda de la caldera. Para entender de mejor manera la forma en que el sistema pierde su función, al alimentador de coque se lo subdivide en subsistemas, mientras que los equipos externos se incluyen dentro de uno de los subsistemas. Como resultado se obtienen seis subsistemas que se pueden observar en la Figura 6, donde también se puede observar el silo de coque, el ventilador primario y la caldera, los cuales se dejan fuera del análisis de este estudio.

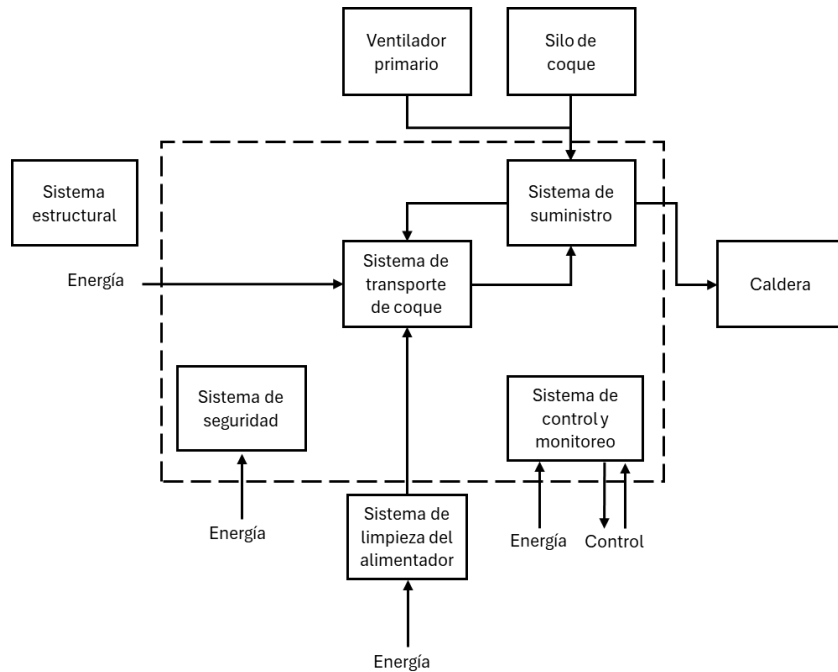


Figura 6. Sistema global del transporte de coque desde el silo de coque hasta la caldera. (Fuente: Elaboración propia).

Los componentes que se consideraron en cada subsistema se pueden observar en la Tabla 9. Cada uno de los subsistemas cumplen con una o más de una función principal o secundaria del alimentador, y cada una de ellas es intrínsecamente necesaria para poder operar el equipo, las funciones que se identificaron para cada subsistema se resumen en la Tabla 10.

Tabla 9. Componentes de cada subsistema.

Subsistema	Componentes
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico de la cinta • Caja reductora de la cinta • Polea motriz y polea conducida • Polines • Cinta transportadora • Variador de frecuencia
Sistema de limpieza del alimentador	<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico limpieza • Caja reductora limpieza • Sprocket motriz y conducido • Rastra (cadena) • Faldones

Tabla 9. (continuación).

Sistema de control y monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> • Panel de control • Tacómetro • Grupo de pesaje • Visores • Iluminación interna
Sistema de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Switch de presencia de material • Switch de acumulación de material • Switch de desalineamiento • Switch de presión • Switch de temperatura • Switch de velocidad
Sistema estructural	<ul style="list-style-type: none"> • Armazón • Junta de expansión
Sistema de suministro	<ul style="list-style-type: none"> • Guillotina del silo • Guillotina de descarga • Sello de aire

(Fuente: elaboración propia).

Tabla 10. Funciones de cada subsistema.

Subsistema	Funciones
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar el coque desde el silo hasta la descarga del alimentador en forma controlada según la demanda de la caldera.
Sistema de limpieza del alimentador	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la acumulación de coque en el fondo del alimentador.
Sistema de control y monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar y monitorear el estado del alimentador. • Permitir verificar la funcionalidad de los componentes internos del alimentador a través de inspección visual.
Sistema de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.

Tabla 10. (continuación).

Sistema estructural	<ul style="list-style-type: none"> • Absorber impactos internos y externos del alimentador asegurando la hermeticidad del alimentador.
Sistema de suministro	<ul style="list-style-type: none"> • Dar las condiciones en forma manual de alimentar coque para puesta en servicio o para bloquear en mantenimiento del alimentador. • Permitir dar las condiciones del alimentador para su funcionamiento.

(Fuente: elaboración propia)

Para cada función de los subsistemas se identificaron las posibles fallas funcionales, junto a los modos de falla, el efecto o consecuencia y el puesto de trabajo responsable de realizar la mantención. Cabe mencionar que los modos de falla identificados no se abordan de forma rigurosa, ya que se analizan como una subunidad según la Figura 2. El FMEA que se obtuvo, luego de ser validado por personal de mantención, se puede observar en el Anexo 5. Como resultado se identificaron 32 modos de falla diferentes, de los cuales solo se considerarán los 24 modos de falla que, en caso de ocurrir, tienen como consecuencia la pérdida total de la función principal del alimentador de forma inmediata. Por esa razón, tanto el sistema estructural como el sistema de limpieza del alimentador se dejan fuera del límite de batería de la Figura 6.

3.3 Diagnóstico de falla

Entre julio de 2022 y junio de 2025 se identifican 152 rangos de tiempo donde los alimentadores se encuentran indisponibles, de los cuales, según la Figura 7, el 52% de los eventos corresponden a fallas. En el desarrollo del estudio se trabajará solo con los eventos de falla.

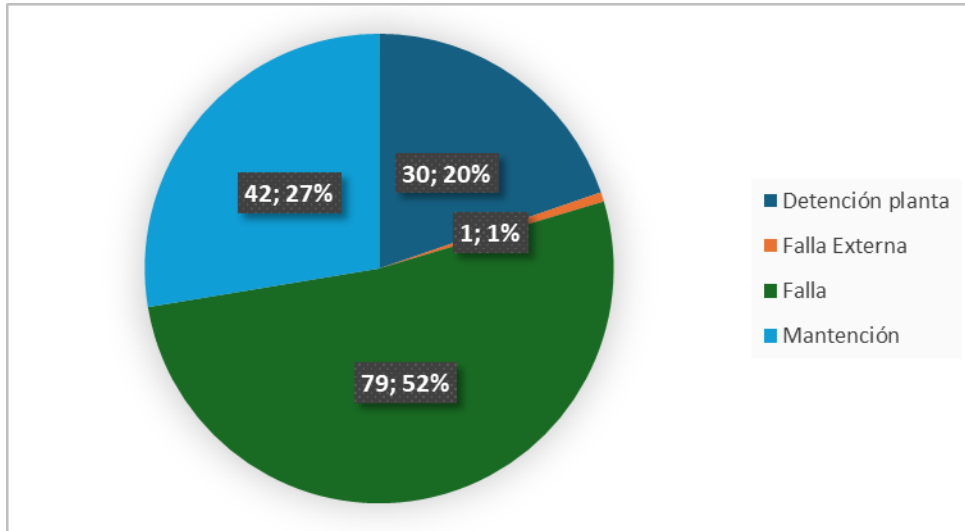


Figura 7. Distribución de causa de detención en los alimentadores de coque. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

Para analizar la cantidad de fallas que han ocurrido entre 2022 y 2025, se grafica la cantidad de fallas que ocurren de forma semestral, es decir, cada 6 meses. El resultado se puede observar en la Figura 8.

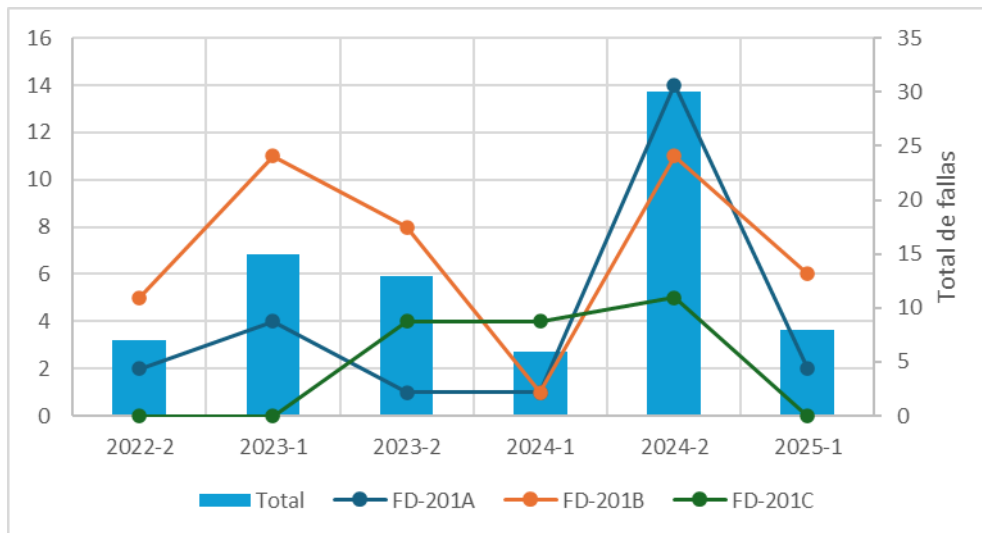


Figura 8. Evolución semestral de las fallas de los alimentadores de coque. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

En la Figura 9 se puede observar la cantidad de fallas por cada alimentador, mientras que, en la Figura 10 se observa la distribución del tiempo que cada alimentador quedo indisponible por los eventos de falla.

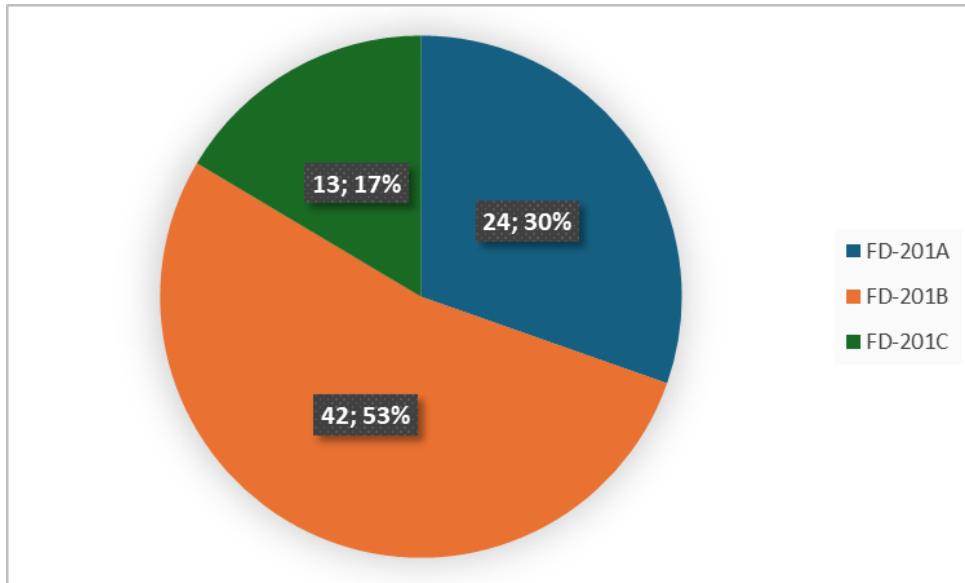


Figura 9. Distribución de fallas por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

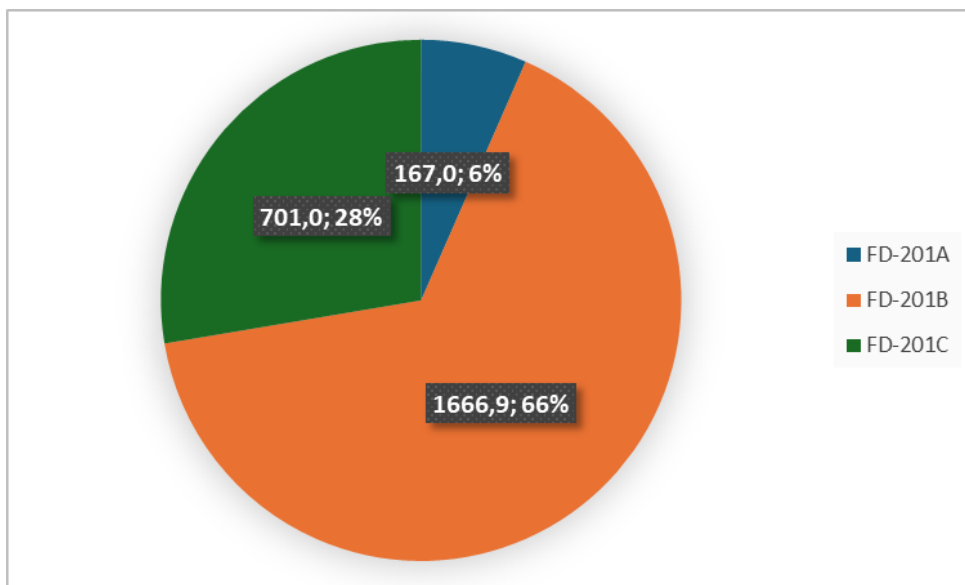


Figura 10. Tiempo de indisponibilidad (en horas) por fallas por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

La disponibilidad operacional de los tres alimentadores que se obtuvo considerando los tiempos de mantención y los tiempos de detención de planta se puede observar en la Figura 11.

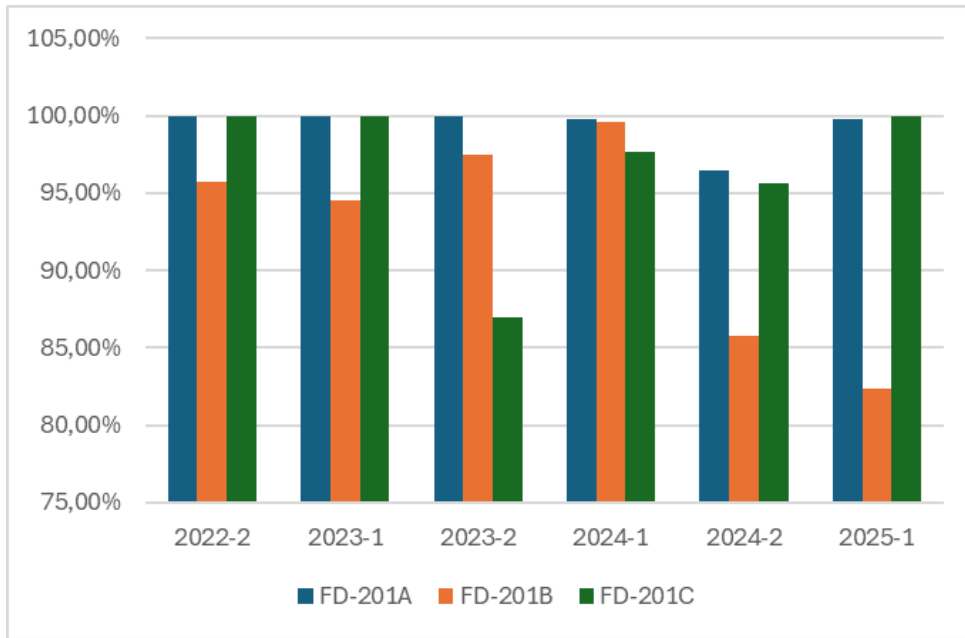


Figura 11. Disponibilidad operacional por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

La confiabilidad de los alimentadores con la distribución de Weibull se puede observar en la Figura 12, mientras que los parámetros obtenidos de la curva se pueden observar en la Tabla 11.

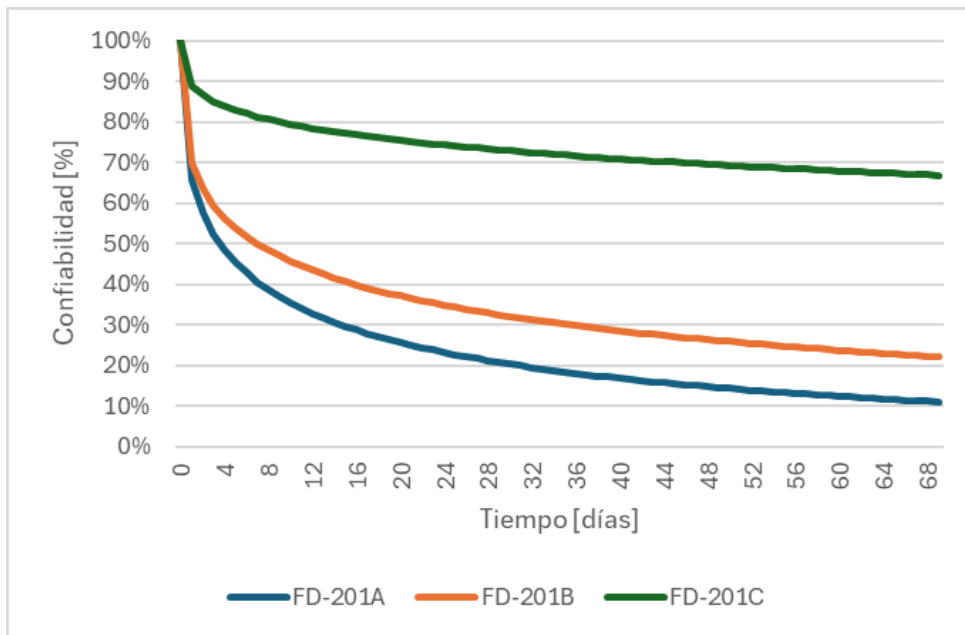


Figura 12. Confiabilidad por alimentador. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

Tabla 11. Parámetros de las curvas de confiabilidad.

Parámetro	FD-201A	FD-201B	FD-201C
Coficiente de determinación, R^2	0,935	0,905	0,913
Parámetro de forma, β	0,389	0,339	0,290
Parámetro de escala, η	218	491	38100

(Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

La distribución de los datos que se utilizaron para obtener la curva de confiabilidad de los alimentadores, que en este caso se trata de los tiempos hasta la falla, se puede observar en la Figura 13 en forma de un diagrama de caja.

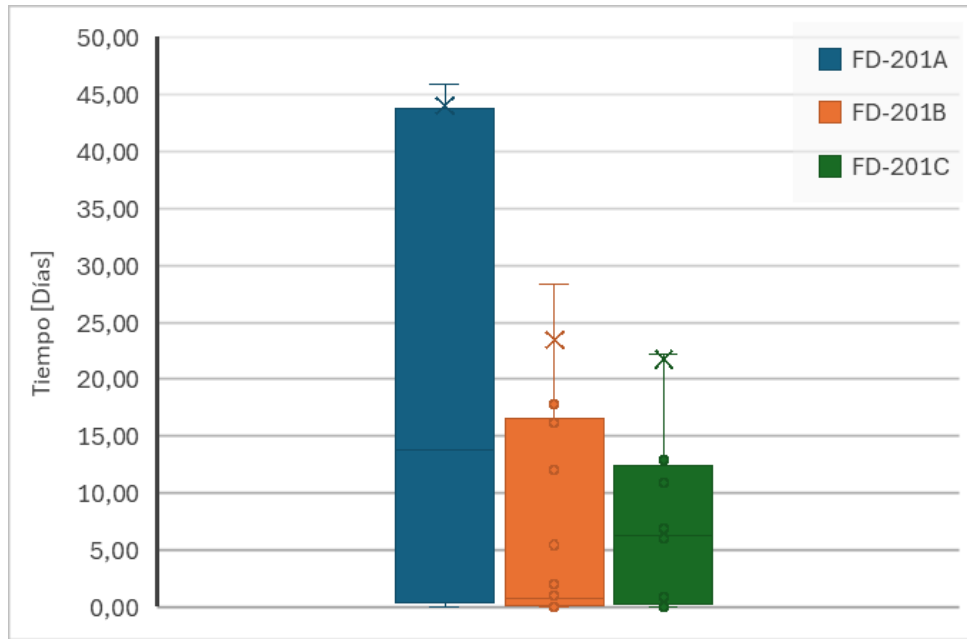


Figura 13. Distribución de los tiempos hasta la falla. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

En la Tabla 12 se pueden observar los eventos donde hubo solo un alimentador en funcionamiento. En la Tabla 12 se incluye el rango de tiempo donde se operó con solo un alimentador, el alimentador que estuvo en servicio (E/S), el modo de falla o mantención de los otros dos alimentadores y la condición de operación cuando ocurrió el evento de falla o la mantención.

Tabla 12. Eventos donde solo un alimentador quedó en funcionamiento.

Id evento	Inicio	Fin	T [h]	Alimentador E/S	Id Falla 1	Alimentador F/S	Modo de falla alimentador 1	Condición de operación	Id Falla 2	Alimentador F/S	Modo de falla alimentador 2	Condición de operación
1	22-11-2023 17:59	22-11-2023 18:39	0,7	FD-201A	26	FD-201C	Guillotina de descarga de coque no abre.	Start-up	27	FD-201B	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Running
2	18-07-2024 13:07	18-07-2024 16:03	2,9	FD-201B	-	FD-201C	Mantenimiento - Limpieza del interior.	Running	46	FD-201A	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Running
3	27-10-2024 13:27	27-10-2024 14:42	1,2	FD-201C	54	FD-201B	Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.	Running	55	FD-201A	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Running
4	27-10-2024 23:09	27-10-2024 23:47	0,6	FD-201C	54	FD-201B	Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.	Running	56	FD-201A	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Running
5	29-10-2024 0:43	29-10-2024 1:40	1,0	FD-201C	57	FD-201B	Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.	Start-up	58	FD-201A	Cinta patina sobre la polea motriz y activa el switch de alarma velocidad.	Running
6	29-10-2024 17:40	29-10-2024 18:25	0,7	FD-201C	57	FD-201B	Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.	Start-up	-	FD-201A	Mantenimiento - Limpieza del interior.	Running
7	30-10-2024 1:59	30-10-2024 3:19	1,3	FD-201C	57	FD-201B	Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.	Start-up	59	FD-201A	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Running
8	14-11-2024 9:20	14-11-2024 18:21	9,0	FD-201C	65	FD-201B	Cinta esta trabada y activa el switch de alarma de velocidad.	Running	-	FD-201A	Mantenimiento. Limpieza del interior. Se cambian rodamientos motrices.	Running
9	14-11-2024 20:00	14-11-2024 21:22	1,4	FD-201C	65	FD-201B	Cinta esta trabada y activa el switch de alarma de velocidad.	Running	66	FD-201A	Modo de falla no identificado	Running
10	14-11-2024 22:24	14-11-2024 22:56	0,5	FD-201C	65	FD-201B	Cinta esta trabada y activa el switch de alarma de velocidad.	Running	67	FD-201A	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Running
11	14-11-2024 23:34	14-11-2024 23:37	0,0	FD-201C	65	FD-201B	Cinta esta trabada y activa el switch de alarma de velocidad.	Running	-	FD-201A	Mantenimiento - Normalización switch de desalineamiento.	Start-up
12	16-11-2024 15:43	16-11-2024 16:17	0,6	FD-201C	65	FD-201B	Cinta esta trabada y activa el switch de alarma de velocidad.	Running	68	FD-201A	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Running
13	26-11-2024 15:12	26-11-2024 15:20	0,1	FD-201A	-	FD-201B	Mantenimiento - Limpieza del interior.	Running	-	FD-201C	Mantenimiento - Limpieza del interior.	Running
14	11-12-2024 10:00	11-12-2024 12:19	2,3	FD-201C	70	FD-201B	Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.	Running	-	FD-201A	Mantenimiento - Limpieza del interior.	Running

(Fuente: elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

3.4 Propuesta de mejora

Al 91% de los eventos de falla se les pudo asociar uno de los 24 modos de falla, los resultados de la etapa de caracterización de los eventos se pueden observar en el Anexo 6. En la Figura 14 se grafica la frecuencia de cada modo de falla junto a la frecuencia acumulada, se puede observar que los 5 modos de falla con mayor frecuencia se asocian al 81% de las fallas. Los primeros 11 modos de falla que se asocian a un evento de falla según la Figura 14, desde el número 1 en adelante, son los siguientes:

1. Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.
2. Cinta patina sobre el polín motriz y activa el switch de alarma de velocidad.
3. Polín motriz, polín conducido y/o rodillos trabados y activan el switch de alarma de velocidad.
4. Falla switch de presencia de material en la cinta.
5. Guillotina de descarga de coque no abre.
6. Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.
7. Cinta está trabada y activa el switch de alarma de velocidad.
8. Falla en el sello de aire/damper.
9. Falla panel de control local.
10. Falla en las celdas de carga.
11. Falla switch acumulación de material en la descarga del alimentador.

Se seleccionan los primeros 5 modos de falla para ser analizados. Como resultado, se obtienen 5 árboles de falla cuantitativos, los cuales fueron validados por personal de mantenimiento.

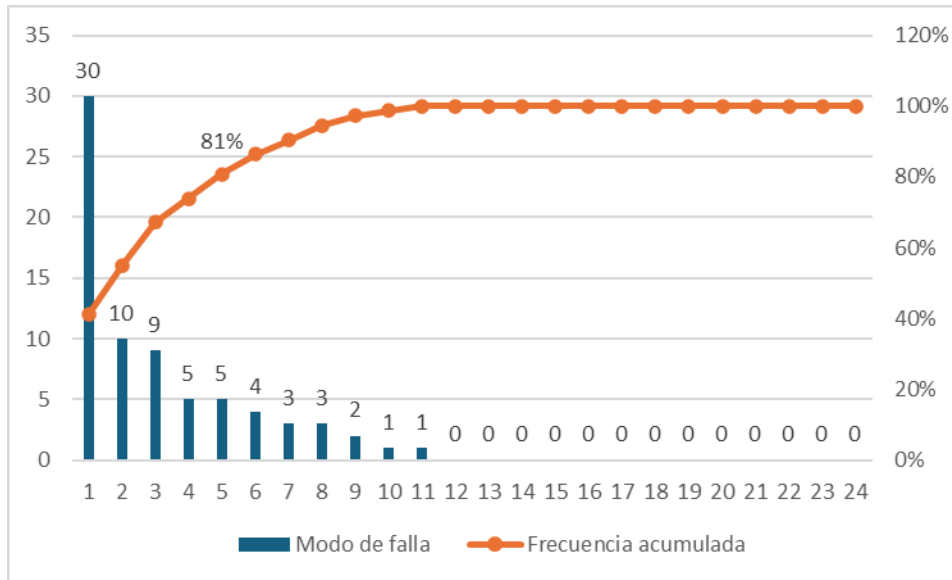


Figura 14. Frecuencia de cada modo de falla. (Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

La Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18 y Figura 19, corresponden a los árboles de falla de los 5 modos de falla con mayor frecuencia. Las flechas de color negro son las líneas de eventos causales que están siendo abordadas por alguna actividad de mantenimiento. Por el contrario, las flechas de color rojo corresponden a la línea de eventos causales con condiciones o mecanismos de daño que no están siendo abordados por alguna de las actividades del plan de mantenimiento preventivo que se ejecutan actualmente. Es importante mencionar que los árboles de falla que se obtuvieron fueron validados por operadores. Según las brechas de la estrategia de mantenimiento actual, se obtienen las propuestas de mejora que se pueden observar en la Tabla 13, las cuales fueron validadas por personal de mantención.

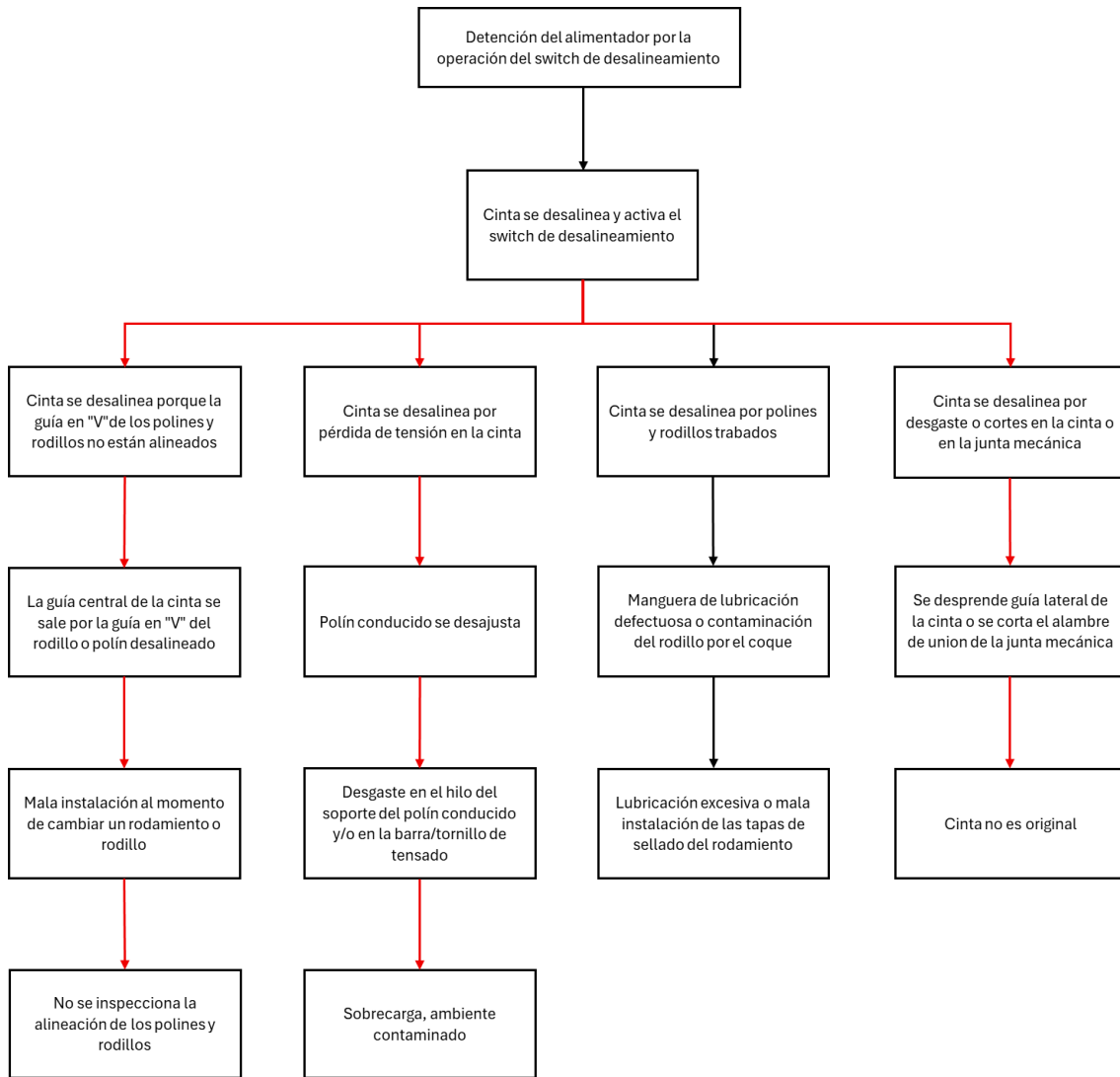


Figura 15. Árbol de falla del modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).

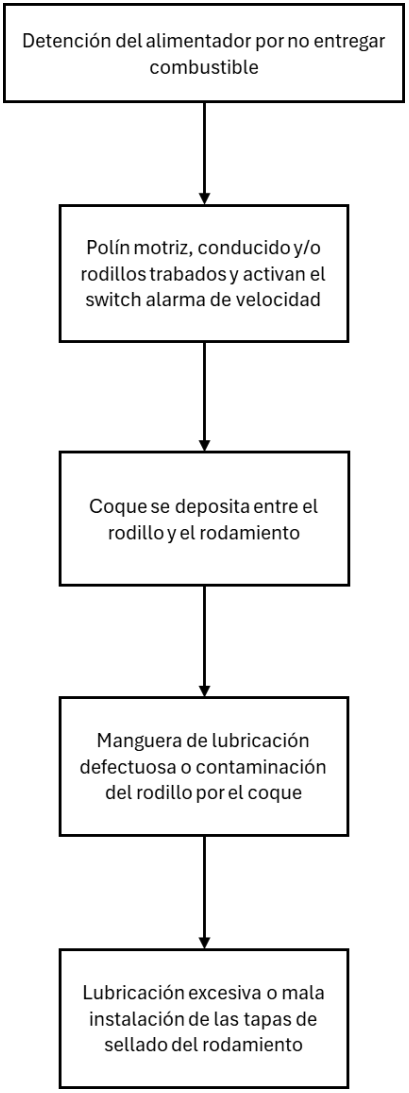


Figura 16. Árbol de falla del segundo modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).

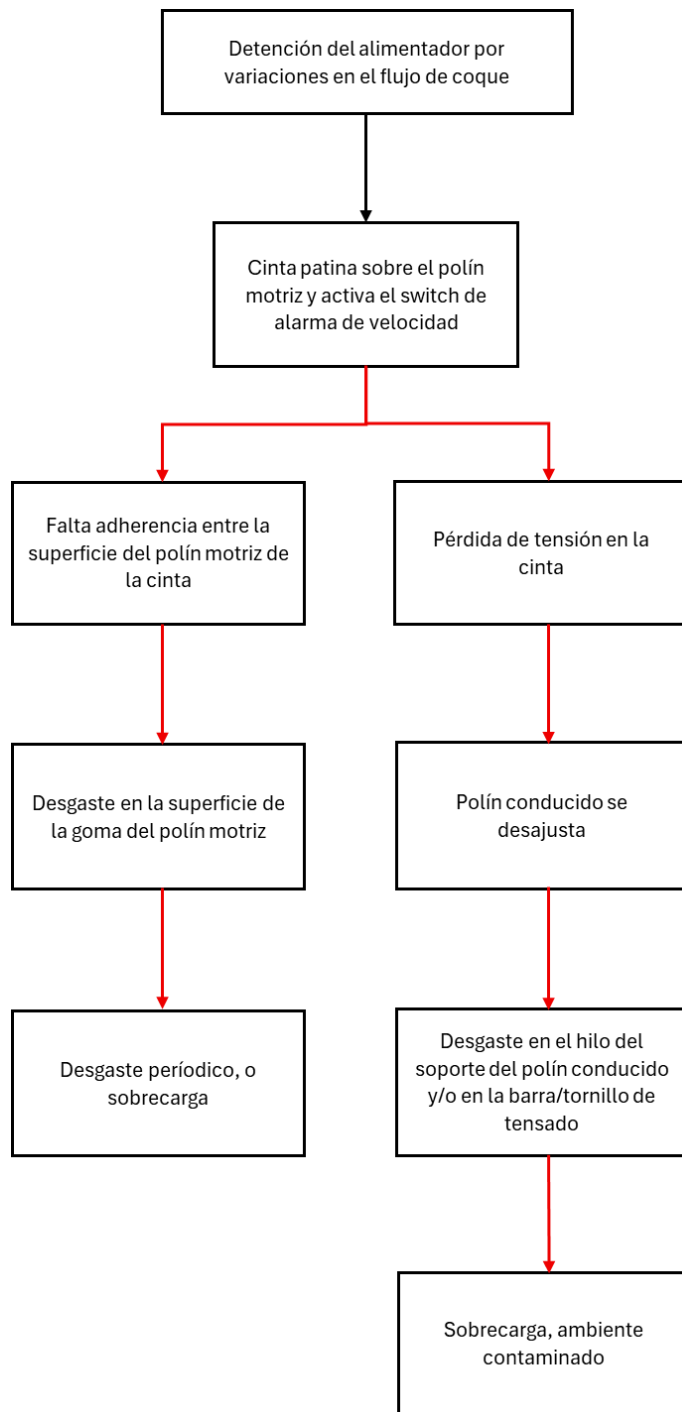


Figura 17. Árbol de falla del tercer modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).

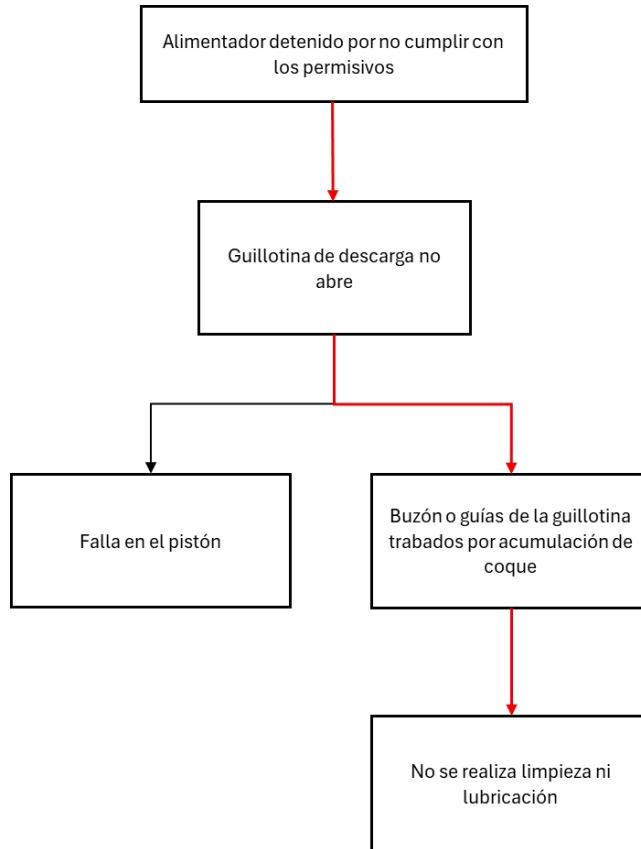


Figura 18. Árbol de falla del cuarto modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).

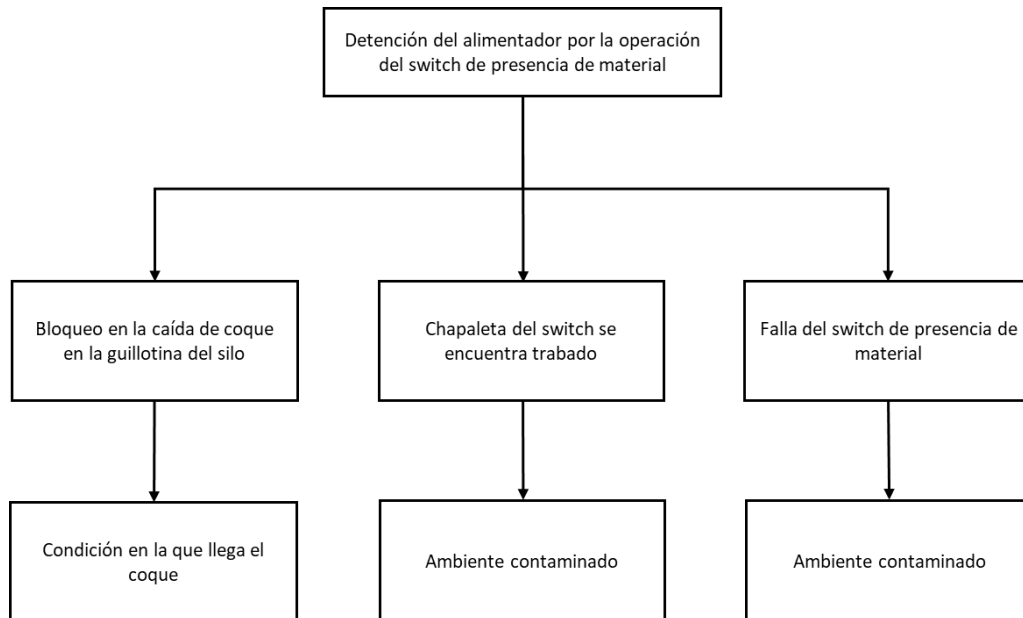


Figura 19. Árbol de falla del quinto modo de falla con mayor frecuencia. (Fuente: elaboración propia).

Tabla 13. Propuestas de mejora.

Propuesta	Equipo	Descripción	Actividades	Limite Aceptable	Pto trabajo	Frecuencia	Estado alimentador
1	FD-201A/B/C	Alimentador	Añadir actividades al mantenimiento preventivo	-	-	1 Mes	Detenido
	-	-	-
	-	-	Revisión estado hilo soporte polín conducido	Hilo sin desgaste	Mecánica	1 Mes	-
	-	-	Revisión estado hilo barra de tensado	Hilo sin desgaste	Mecánica	1 Mes	-
	-	-	Chequear el tensado de la cinta 15/30/45 minutos después de operar la cinta con carga	Cinta no patina en el polín motriz	Mecánica	1 Mes	-
2	FD-201A/B/C	Componentes Internos del alimentador	Inspección de los elementos internos	-	-	4 Años	Detenido (Detención cogeneradora) (Sin cinta)
	-	-	Verificar la linealidad de guía en "V" de polines y rodillos	Guía central alineada	Mecánica	-	-
	-	-	Revisión estado de la goma del polín motriz	Dimensiones OK	Mecánica	-	-
	-	-	Revisión estado de polín conducido	Dimensiones OK	Mecánica	-	-
	-	-	Revisión estado de rodillos	Dimensiones OK	Mecánica	-	-
	-	-	Revisión estado guarderas y cambio en caso de estar visualmente desgastadas	Guarderas instaladas	Mecánica	-	-
3	FV-213/4/5	Válvula de descarga	Mantenimiento Preventivo	-	-	1 Año	Detenido (Detención cogeneradora)
	-	-	Verificar Funcionalidad	Recorrido sin indicaciones	Instrumentos	-	-
	-	-	Limpieza Guías/Buzón	Guías/Buzón limpios	Mecánica	-	-
	-	-	Lubricación	Recorrido lubricado	Lubricación	-	-

(Fuente: elaboración propia).

La Figura 20 y la Figura 21 fueron tomadas por un operador mientras se realizaban actividades de mantención en el alimentador FD-201B en abril de 2025. Como hallazgo se verificó con un puntero láser que la guía en "V" de los polines y rodillos no estaba alineada y que la goma del polín motriz estaba desgastada. En esa oportunidad se realizó el alineamiento de la guía de los polines y rodillos y se reparó e instaló el polín motriz.



Figura 20. Guía en "V" de los polines y rodillos desalineados. (Fuente: ENAP).



Figura 21. Estado del polín motriz una vez retirado. (Fuente: ENAP)

4 Discusión

Dentro del alcance del estudio se excluyeron aquellos sistemas o equipos que no han interferido con el correcto funcionamiento de los alimentadores de coque, como el ventilador primario y el sistema de correas transportadoras que alimentan el silo de coque. En la Tabla 8 se confirma que el porcentaje de llenado del silo de coque nunca ha sido inferior al 10% y que las variaciones en la temperatura del flujo de aire al sello coinciden únicamente con las detenciones de planta, tal como muestran los gráficos extraídos de AVEVA PI Vision (ver Anexo).

Al comparar los datos de la Tabla 6 y la Tabla 7, se verifica que tanto la temperatura del aire suministrado a los sellos de aire como el rango de operación de los tres alimentadores se han mantenido siempre dentro del rango operacional permitido. Aunque AVEVA PI Vision no registra ni almacena la velocidad de los motores ni la presión y temperatura internas de los feeders, las entrevistas con los operadores han confirmado que estas variables permanecen dentro de los rangos establecidos que se especifican en la Tabla 6. Por tanto, se puede demostrar que los alimentadores operan bajo las condiciones de diseño.

En la Figura 8 se observa que el alimentador FD-201A mantuvo un comportamiento estable en 2022-2 y 2024-1, pero aumentó de forma drástica la cantidad de fallas en 2024-2, con un total de 14 fallas. Por otro lado, se puede observar que el alimentador FD-201B registra una evolución errática, concentrando sus máximos de falla en 2023-1 y 2024-2. El FD-201C no falla en sus dos primeros semestres, suma cuatro fallas en los siguientes dos semestres y cinco fallas en 2024-2; en 2025-1 no registra eventos de falla. El segundo semestre de 2024 es el único período de tiempo donde los tres alimentadores aumentan de forma drástica la cantidad de fallas, esto tiene un gran impacto, ya que en ese semestre se duplica la cantidad de fallas que ocurrieron en 2023-1, que corresponde al período con más fallas entre 2022-2 y 2024-1. Por otro lado, los tres alimentadores reducen la cantidad de fallas en 2025-1 con respecto al semestre anterior. La notable reducción de eventos en 2025-1 podría atribuirse a la implementación del plan de mantenimiento preventivo iniciado en diciembre de 2024, aunque se requeriría un horizonte de datos más amplio para confirmarlo.

Aun cuando los tres alimentadores son idénticos en modelo, antigüedad y condiciones de operación, presentan patrones de falla distintos. Durante las reuniones con personal de mantención se identificó que algunos repuestos originales han sido reemplazados por componentes obsoletos o impropios, lo que corrobora que la estrategia correctiva empleada hasta 2024 no fue adecuada. El cambio de enfoque hacia un plan preventivo en 2025-1 parece justificado por la reducción de incidentes en dicho período.

Se aprecia en la Figura 9 que el feeder B concentra la mitad de todos los eventos de falla, y de acuerdo con la Figura 10, acumula el mayor tiempo de indisponibilidad. El FD-201C, con 13 eventos, ha permanecido detenido el doble de horas que el FD-201A. Al calcular la razón de horas de detención por evento, se obtiene que el FD-201A se detiene en promedio 39,7 h/falla, el FD-201B se detiene en promedio 39,7 h/falla y el FD-201C se detiene en promedio 53,9 h/falla, de modo que cada falla en el FD-201C genera en promedio 8 horas más de detención respecto al FD-201B y casi 47 horas más que el FD-201A.

Los resultados se pueden ver reflejados en la Figura 11, que corresponde a la disponibilidad operacional de los alimentadores para cada rango de tiempo. El FD-201A mantiene casi el 100 % en todos los semestres salvo en 2024-2 (97 %), debido a sus bajos tiempos de paro. Por el contrario, la disponibilidad del FD-201B desciende del 95 % en 2022-1 al 82 % en 2025-1, debido al alto número de fallas y los tiempos de indisponibilidad que provoca cada uno de ellos. En el caso del FD-201C, muestra caídas significativas en los periodos con fallas de larga duración.

Entonces, se puede señalar que es relevante analizar el tiempo de indisponibilidad que asociado a cada evento de falla. Sin embargo, este aspecto no será abordado en el presente estudio, ya que la hipótesis y el objetivo general se enfocan específicamente en los modos de falla más frecuentes. Esta decisión responde al enfoque propio de la DIM, que prioriza el análisis de la confiabilidad y la optimización de las estrategias de mantenimiento por sobre la gestión directa de las tareas de mantenimiento.

En la Figura 12 se aprecia que las curvas de confiabilidad del FD-201A y del FD-201B decaen más rápido que la del FD-201C, lo que indica mayor probabilidad de fallo a igual tiempo de operación. Este resultado no puede explicarse únicamente por el número de fallas, pues la confiabilidad también considera los intervalos de tiempo transcurrido entre cada evento. Para comprenderlo mejor, se analiza el diagrama de bloques de la Figura 13, que representa la dispersión de los datos de tiempo hasta la falla utilizados para calcular la confiabilidad.

Se puede observar que la mediana del FD-201A y el tercer cuartil de los FD-201B y FD-201C, rondan los 15 días, lo que significa que la mayoría de las fallas ocurren antes de cumplido ese plazo tras entrar en operación. Otra observación que se puede hacer es que el rango intercuartílico (IQR) del FD-201A es el más amplio, entre 0 a 44 días, lo que se traduce en un comportamiento aleatorio e impredecible. En el caso del FD-201B, la mediana se sitúa cerca de 1 día, evidenciando numerosas fallas tempranas, pues transcurre menos de un día desde el inicio de la operación hasta la detención.

En la Tabla 12 se registran 14 eventos en los que solo un alimentador permaneció en funcionamiento. De estos, en tres ocasiones, durante la indisponibilidad del FD-201B, el FD-201A experimentó múltiples detenciones. Al analizar las tres fallas del FD-201B, con duraciones de 1,8, 3,1 y 3,8 días, respectivamente, se produjeron 2, 3 y 5 fallas en el FD-201A. De ello se deduce que, en promedio, por cada día de detención del FD-201B, el FD-201A falla 1,14 veces, lo que puede dejar un único alimentador en operación y conllevar un estado de riesgo operacional.

Según el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante, que sugiere detener los alimentadores cada seis meses, se puede decir que los tres alimentadores tienen una gran cantidad de fallas tempranas, lo que se ve reflejado en una baja confiabilidad de los alimentadores y demuestra la importancia de realizar un análisis con un enfoque en la frecuencia de los eventos de falla. Cabe destacar que, en la etapa de caracterización, el 91% de los eventos se asoció a uno de los 24 modos de falla seleccionados, lo que valida el alcance del estudio.

En la Figura 16 y en la Figura 19, todas las líneas de eventos causales están de color negro porque, dentro del plan de mantenimiento preventivo descrito en la Tabla 5, se incluyen actividades de lubricación, de verificación del estado de las mangueras de lubricación y de verificación del estado de presencia de material. Estos dos modos de falla figuran entre los cinco más frecuentes al considerar datos desde el segundo semestre de 2022 hasta el primer semestre de 2025.

Los modos de falla de la Figura 15 y de la Figura 17 comparten como evento causal la pérdida de tensión en la cinta por un desgaste en el hilo del soporte del polín y/o de la barra de tensado.

Como propuesta de mejora 1 de la Tabla 13, se recomienda añadir al plan preventivo la verificación del estado del hilo del soporte del polín conducido y de la barra de tensado. Además, se recogió del plan de mantenimiento propuesto por el fabricante chequear el tensado 3 veces, cada 15 minutos, luego de operar la cinta con carga. La frecuencia del chequeo del tensado de la cinta se valida por el hecho de que existe una gran cantidad de fallas tempranas.

Según el árbol de fallas de la Figura 15, el plan de mantenimiento actual no tiene alguna actividad donde se verifique la linealidad de la guía en “V” de los polines y rodillos, ya que para chequear esta condición se debe de retirar la correa transportadora, y para retirar la cinta se necesita al menos un día de intervención. Como en el plan de mantenimiento se destina como máximo un día de intervención en el alimentador, se opta por no añadir la actividad de la linealidad de guía en “V” de polines y rodillos en el plan de mantenimiento preventivo actual. Por ello, la propuesta 2 de la Tabla 13 sugiere inspeccionar esta condición en las paradas de planta, que se ejecutan cada cuatro años, ya que estas detenciones son de larga duración. Considerando que la cinta será retirada, se propone como mantenimiento de oportunidad revisar el estado de los rodillos, del polín conducido y del polín motriz. Asimismo, se recomienda verificar el estado de la goma tras evidenciar en abril de 2025 desgaste en el polín motriz del FD-201B, ya que esto puede provocar que la cinta patine sobre el polín motriz. Se recomienda en la misma propuesta, reemplazar las guarderas en caso de ser necesario, ya que esta tarea no se alcanza a realizar en el actual plan de mantenimiento.

El cuarto modo de falla más frecuente corresponde a la guillotina de descarga, cuya válvula carece de un plan de limpieza y lubricación preventivos y sólo puede hacerse con la planta detenida. Dado que existen dos paradas anuales de la planta cogeneradora, la propuesta 3 de la Tabla 13, plantea ejecutar dichas tareas una vez al año a partir de la opinión de personal de mantención.

En resumen, a partir de la identificación de los modos de falla y sus causas raíz, se detectaron brechas en la estrategia de mantenimiento actual, confirmando la hipótesis inicial. En trabajos futuros, una vez implementadas las propuestas de mejora, se recomienda hacer un seguimiento de la evolución de las fallas en los alimentadores de coque y ajustar la frecuencia del plan preventivo según los resultados obtenidos.

5 Conclusiones

Del estudio se concluye que, mediante el análisis de los modos más recurrentes, fue posible identificar oportunidades para mejorar la estrategia actual de mantenimiento de los alimentadores de coque, validando así la hipótesis inicial.

Además, este estudio valida la importancia de realizar análisis de causas raíz de los eventos de falla, destacando que esta práctica permite actualizar la estrategia de mantenimiento de activos críticos en entornos industriales. También evidencia la importancia de monitorear indicadores de desempeño operacional, tales como la confiabilidad y disponibilidad para evaluar la eficacia de las estrategias de mantenimiento implementadas.

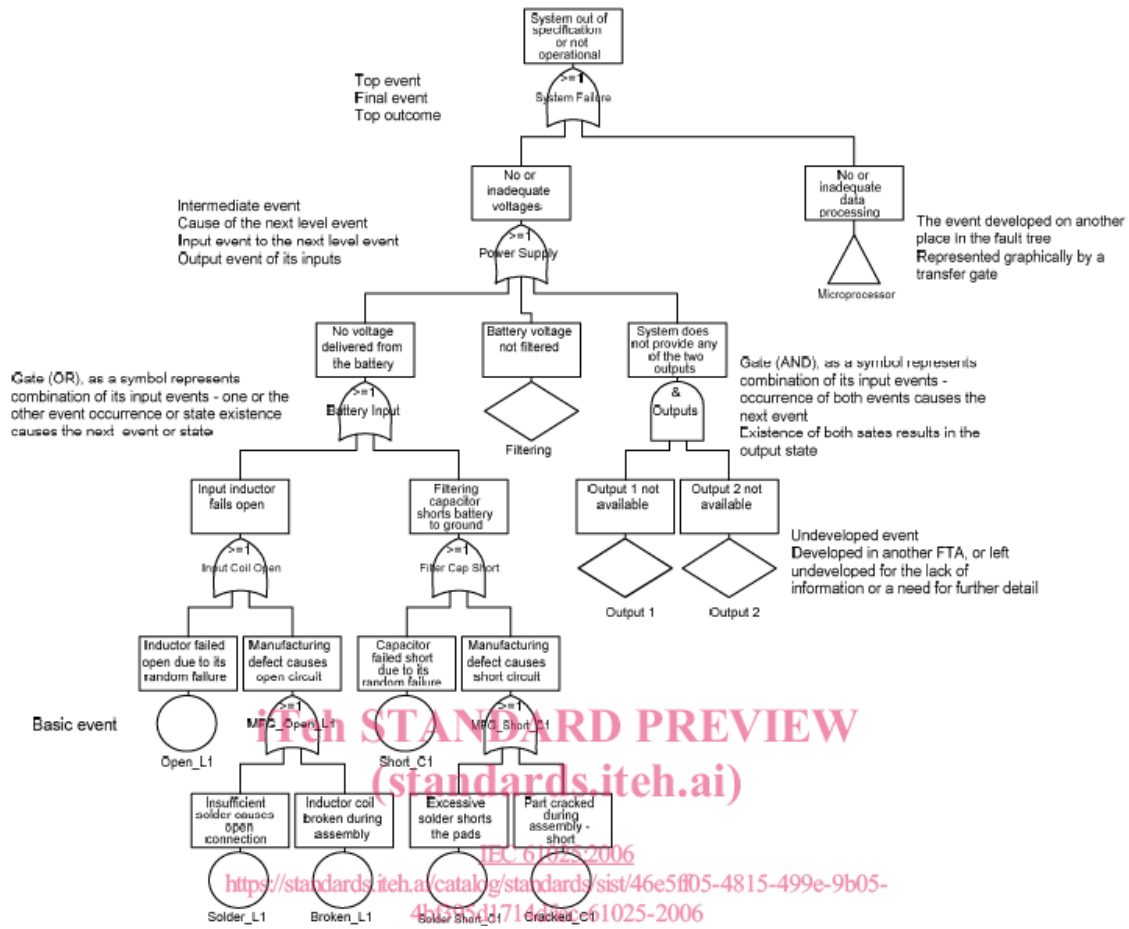
Como recomendaciones para futuras investigaciones, se plantea implementar las mejoras propuestas y realizar un seguimiento sistemático de la evolución de los modos de falla. Según los resultados obtenidos, se sugiere reevaluar la frecuencia y las actividades incluidas en el plan preventivo, para asegurar un funcionamiento continuo de los alimentadores. Por otro lado, se recomienda investigar los modos de falla que generan mayor tiempo de indisponibilidad, pudiendo implementar un análisis causa raíz, con el fin de identificar oportunidades de mejora relacionadas con la ejecución de las tareas de mantenimiento, la puesta en marcha de los alimentadores o en la estrategia en la gestión de repuestos.

Referencias

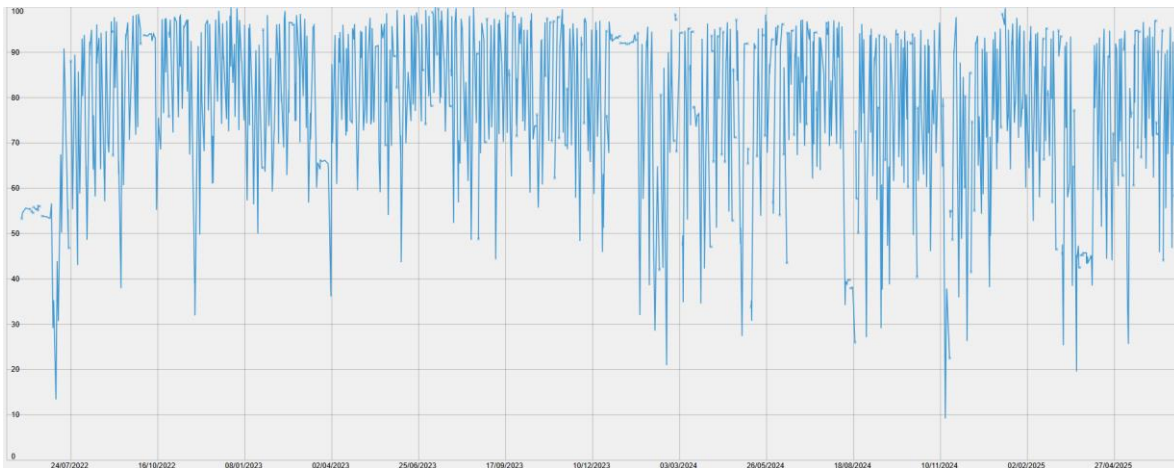
- [1] Y. Zhu, G. Li, R. Wang, S. Tang, H. Su, and K. Cao, "Intelligent fault diagnosis of hydraulic piston pump combining improved LeNet-5 and PSO hyperparameter optimization," *Applied Acoustics*, vol. 183, p. 108336, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2021.108336.
- [2] A. Mutemi and F. Bacao, "The Discriminants of Long and Short Duration Failures in Fulfillment Sortation Equipment: A Machine Learning Approach," *Journal of Engineering*, vol. 2023, pp. 1–10, Apr. 2023, doi: 10.1155/2023/8557487.
- [3] R. Mena, P. Viveros, E. Zio, and S. Campos, "An optimization framework for opportunistic planning of preventive maintenance activities," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 215, p. 107801, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ress.2021.107801.
- [4] S. Moradi-Sarvestani, M. R. Dehbozorgi, and M. Rastegar, "A three-stage reliability-centered framework for critical feeder identification, failure modes prioritization, and optimal maintenance strategy assignment in power distribution system," *Electric Power Systems Research*, vol. 230, p. 110215, May 2024, doi: 10.1016/j.epsr.2024.110215.
- [5] H. Li, H. Díaz, and C. Guedes Soares, "A failure analysis of floating offshore wind turbines using AHP-FMEA methodology," *Ocean Engineering*, vol. 234, p. 109261, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109261.
- [6] J. Moubray, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, Edición en Español. Aladon LLC, 2004.
- [7] SAE, "SAE JA1012," Jan. 2002.

Anexos

Anexo 1. Ejemplo de un árbol de fallas. (Fuente: norma IEC-61025:2006).

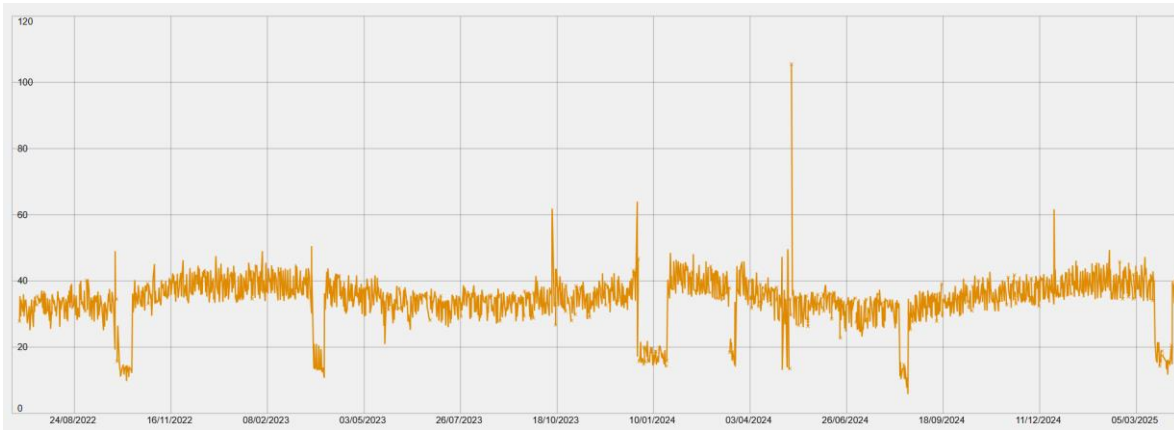


Anexo 2. Porcentaje de llenado de coque desde 01/07/2022 hasta el 10/06/2025.



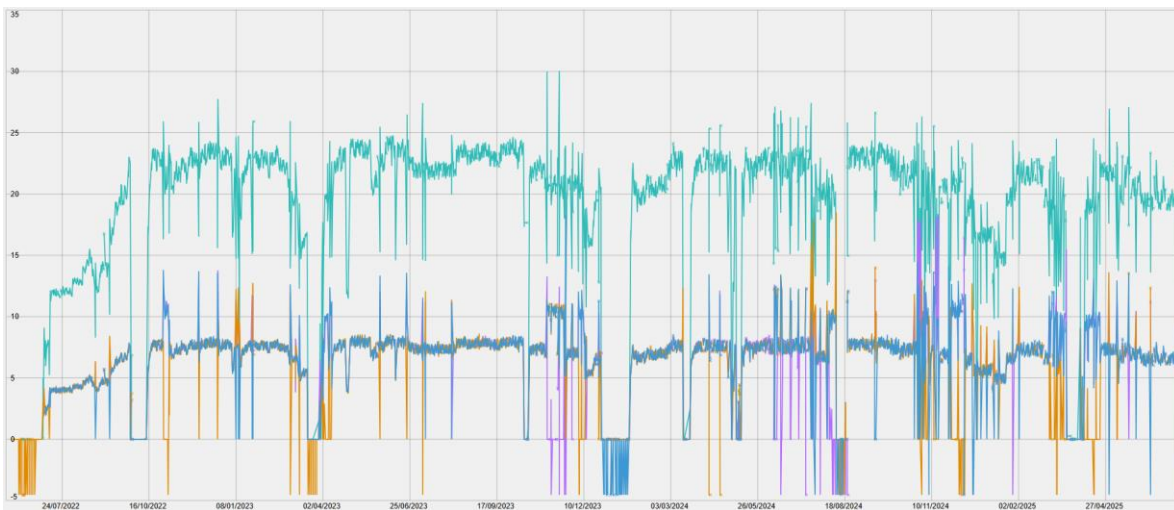
(Fuente: AVEVA PI VISION)

Anexo 3. Temperatura del aire suministrado al sello de aire desde el 01/07/2022 hasta el 01/04/2025.



(Fuente: AVEVA PI VISION)

Anexo 4. Flujo de coque de los alimentadores de coque y la caldera desde el 01/07/2022 hasta el 10/06/2025.



(Fuente: AVEVA PI VISION)

Anexo 5. FMEA validado.

Sub Sistema	Tipo de función	Pto Trab	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto/Consecuencia de falla
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el silo hasta la descarga del alimentador en forma controlada según la demanda de la caldera.	No transportar el coque.	Polin motriz, polin conducido y/o polines trabados y activan el switch de alarma de velocidad.	Se activa la alarma del switch de velocidad detectando una falla en la cinta del alimentador pudiendo provocar la detención de la cinta.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	No transportar el coque.	Sistema motor reductor motriz de la cinta trabado.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	No transportar el coque.	Cinta transportadora desalineada activa el switch de desalineamiento.	Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	No transportar el coque.	Cinta patina sobre la polea motriz y activa el switch de alarma velocidad.	Se activa la alarma del switch de velocidad detectando una falla en la cinta del alimentador pudiendo provocar la detención de la cinta.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	No transportar el coque.	Cinta esta trabada y activa el switch de alarma de velocidad.	Se activa la alarma del switch de velocidad detectando una falla en la cinta del alimentador pudiendo provocar la detención de la cinta.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	No transportar el coque.	Cinta transportadora se corta.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	No transportar el coque.	Falla el variador de frecuencia.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	Transportar el coque de forma no controlada.	Falla en el sistema motor reductor motriz de la cinta.	Diferencia entre el coque demandado y el entregado. Mala combustión en el lecho de la caldera. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	Transportar el coque de forma no controlada.	Cinta esta trabada y activa el switch de alarma de velocidad.	Diferencia entre el coque demandado y el entregado. Mala combustión en el lecho de la caldera. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque desde silo de coque	Principal	BMECARE/B MECEXT	Transportar el coque desde el ingreso hasta la descarga del alimentador de forma controlada según la demanda de la caldera.	Transportar el coque de forma no controlada.	Cinta patina sobre la polea motriz y activa el switch de alarma velocidad.	Diferencia entre el coque demandado y el entregado. Mala combustión en el lecho de la caldera. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de limpieza del alimentador	Secundaria	BMECARE/B MECEXT	Evitar la acumulación de coque en el fondo del alimentador.	No evitar la acumulación de coque.	Sistema motor reductor motriz de la rastra en falla.	La acumulación de coque puede provocar el desalineamiento y el trabado de la cinta, provocando así la activación del switch de desalineamiento.
Sistema de limpieza del alimentador	Secundaria	BMECARE/B MECEXT	Evitar la acumulación de coque en el fondo del alimentador.	No evitar la acumulación de coque.	Sprocket motriz y conducido trabado.	La acumulación de coque puede provocar el desalineamiento y el trabado de la cinta, provocando así la activación del switch de desalineamiento.
Sistema de limpieza del alimentador	Secundaria	BMECARE/B MECEXT	Evitar la acumulación de coque en el fondo del alimentador.	No evitar la acumulación de coque.	Rastra se corta.	La acumulación de coque puede provocar el desalineamiento y el trabado de la cinta, provocando así la activación del switch de desalineamiento.
Sistema de limpieza del alimentador	Secundaria	BMECARE/B MECEXT	Evitar la acumulación de coque en el fondo del alimentador.	No evitar la acumulación de coque.	Faldones desgastados.	Una mayor cantidad de coque cae desde la correa transportadora hasta el fondo del alimentador.
Sistema de control y monitoreo	Principal	BELIE/BELI ELN/BLENS	Controlar y monitorear el estado del alimentador.	Evitar el buen funcionamiento del alimentador.	Ingreso de datos incorrectos en el panel de control al realizar la calibración.	Diferencia entre el coque demandado y el entregado. Mala combustión en el lecho de la caldera. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de control y monitoreo	Principal	BELIE/BELI ELN/BLENS	Controlar y monitorear el estado del alimentador.	Evitar el buen funcionamiento del alimentador.	Ingreso de datos incorrectos en el panel de control al realizar la calibración.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque	Principal	BELINST	Controlar y monitorear el estado del alimentador.	Evitar el buen funcionamiento del alimentador.	Falla del tacómetro.	Diferencia entre el coque demandado y el entregado. Mala combustión en el lecho de la caldera. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de control y monitoreo	Principal	BELINST	Controlar y monitorear el estado del alimentador.	Evitar el buen funcionamiento del alimentador.	Falla del tacómetro.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de transporte de coque	Principal	BELINST	Controlar y monitorear el estado del alimentador.	Evitar el buen funcionamiento del alimentador.	Falla en las celdas de carga.	Diferencia entre el coque demandado y el entregado. Mala combustión en el lecho de la caldera. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de control y monitoreo	Principal	BELINST	Controlar y monitorear el estado del alimentador.	Evitar el buen funcionamiento del alimentador.	Falla en las celdas de carga.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de control y monitoreo	Principal	BELINST	Controlar y monitorear el estado del alimentador.	Evitar el buen funcionamiento del alimentador.	Falla panel control local.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de control y monitoreo	Secundaria	BELINST	Permitir verificar la funcionalidad de los componentes internos del alimentador a través de inspección visual.	No permitir inspeccionar de forma visual el interior del alimentador.	Sistema de limpieza de visores defectuoso.	No se puede inspeccionar la funcionalidad del alimentador mientras opera.
Sistema de control y monitoreo	Secundaria	BELINST	Permitir verificar la funcionalidad de los componentes internos del alimentador a través de inspección visual.	No permitir inspeccionar de forma visual el interior del alimentador.	Sistema de iluminación interna defectuoso.	No se puede inspeccionar la funcionalidad del alimentador mientras opera.
Sistema de seguridad	Principal	BELINST	Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	Detener el alimentador o generar una alarma cuando no se alcanza una condición de riesgo.	Falla switch de presencia de material en la cinta.	Habilita o deshabilita el alimentador de acuerdo a la carga de coque en la cinta. Podría detener el alimentador según la falla.
Sistema de seguridad	Principal	BELINST	Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	Detener el alimentador o generar una alarma cuando no se alcanza una condición de riesgo.	Falla switch de velocidad.	Alarmar una posible falla en el alimentador.
Sistema de seguridad	Principal	BELINST	Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	Detener el alimentador o generar una alarma cuando no se alcanza una condición de riesgo.	Falla switch acumulación de material en la descarga del alimentador.	Detiene el alimentador por alto nivel de coque en el buzo de descarga a caldera. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de seguridad	Principal	BELINST	Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	Detener el alimentador o generar una alarma cuando no se alcanza una condición de riesgo.	Falla switch de desalineamiento.	Detiene el alimentador por desplazamiento correa. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de seguridad	Principal	BELINST	Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	Detener el alimentador o generar una alarma cuando no se alcanza una condición de riesgo.	Falla switch de presión.	Detiene el alimentador por exceso de presión en el alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de seguridad	Principal	BELINST	Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	Detener el alimentador o generar una alarma cuando no se alcanza una condición de riesgo.	Falla switch de temperatura.	Detiene el alimentador por alta temperatura. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de seguridad	Principal	BELINST	Detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	No detener el alimentador o generar una alarma cuando se alcanza una condición de riesgo.	Falla de calibración o instalación de los switch.	No detiene el alimentador o no alerta sobre una condición de riesgo en el alimentador.
Sistema estructural	Secundaria	BMECARE/B MECEXT	Absorber impactos internos y externos del alimentador asegurando la hermeticidad del alimentador.	Pérdida de hermeticidad del alimentador.	Fuga de coque y pérdida de presión interior del alimentador por el armazón.	Pérdida de eficiencia en la alimentación de coque. Contaminación ambiental.
Sistema estructural	Secundaria	BMECARE/B MECEXT	Absorber impactos internos y externos del alimentador asegurando la hermeticidad del alimentador.	Pérdida de hermeticidad del alimentador.	Fuga de coque por la junta de expansión.	Pérdida de eficiencia en la alimentación de coque. Contaminación ambiental.
Sistema de suministro	Principal	BMECARE/B MECEXT	Dar las condiciones en forma manual de alimentador coque para puesta en servicio o para bloquear en mantenimiento del alimentador.	No se puedan dar las condiciones para la puesta en servicio o el bloqueo del alimentador.	Guillotina de ingreso no cierra o no abre en su totalidad.	Habilitar o deshabilitar del alimentador.
Sistema de suministro	Principal	BMECARE/B MECEXT	Permitir dar las condiciones del alimentador para su funcionamiento.	No permitir caída de coque a caldera.	Guillotina de descarga de coque no abre.	No se puede realizar la partida del alimentador.
Sistema de suministro	Principal	BMECARE/B MECEXT	Permitir dar las condiciones del alimentador para su funcionamiento.	No permitir caída de coque a caldera.	Obstrucción del material entre la guillotina y el alimentador activando el switch de presencia de material en la cinta.	Detención del alimentador. Mayor emisión de gases de combustión.
Sistema de suministro	Principal	BMECARE/B MECEXT	Permitir dar las condiciones del alimentador para su funcionamiento.	No permitir caída de coque a caldera.	Falla en el sello de aire/stamper.	No se puede realizar la partida del alimentador.
Sistema de suministro	Principal	BMECARE/B MECEXT	Permitir dar las condiciones del alimentador para su funcionamiento.	No bloquear el flujo de coque desde el alimentador hasta la caldera.	Guillotina de descarga no realiza el cierre completo.	Al no cerrar estando el alimentador detenido puede provocar una inflamación en el alimentador lo que provocaría la detención de caldera y la planta cogeneradora.

(Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

Anexo 6. Caracterización de los eventos de falla.

ID Fall	Inicie	Fin	DT (h)	A DT(h)	Equipo	Tipo	Modo de falla	Efecto de la falla	Condición de operación	Detalle/Acción realizada
1	11-07-2022 19:10	12-07-2022 11:31	16,3	1d<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone
2	25-08-2022 6:18	25-08-2022 6:32	0,2	1h<	FD-201A	Falla	Falla en el sello de aire/damp	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone
3	08-09-2022 0:59	08-09-2022 1:04	0,1	1h<	FD-201A	Falla	Falla switch acumulación de	Detención del alimentador	Running	Se pone en servicio el alimentad
	28-09-2022 1:22	13-10-2022 13:48	372,4	1h<	FD-201A	Detención planta				DP
	28-09-2022 2:22	13-10-2022 12:19	369,9	1m<	FD-201C	Detención planta				DP
	28-09-2022 2:32	13-10-2022 12:31	370,0	1m<	FD-201B	Detención planta				DP
4	29-10-2022 22:50	04-11-2022 17:15	138,4	7d<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone
5	03-12-2022 2:41	03-12-2022 10:12	7,5	12h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se obser
6	21-12-2022 5:40	21-12-2022 16:01	10,4	12h<	FD-201B	Falla	Falla en el sello de aire/damp	Detención del alimentador	Running	Se pone en servicio el alimentad
7	22-12-2022 10:04	22-12-2022 11:41	1,6	12h<	FD-201B	Falla	Falla en el sello de aire/damp	Detención del alimentador	Running	Se reemplaza transmisor de flujo
8	08-01-2023 2:17	08-01-2023 2:22	0,1	1h<	FD-201A	Falla	Falla switch de presencia de	Detención del alimentador	Running	Se pone en servicio alimentador
	10-01-2023 11:05	10-01-2023 11:11	0,1	1h<	FD-201A	Mantenición				Mantenición switch de material y
	11-01-2023 10:59	11-01-2023 11:37	0,6	1h<	FD-201A	Mantenición	Falla switch de presencia de	Detención del alimentador	Running	Mantenición switch de material y
9	23-01-2023 17:48	23-01-2023 17:55	0,1	1h<	FD-201A	Falla	Falla switch de presencia de	Detención del alimentador	Running	Se pone en servicio alimentador
10	24-01-2023 8:03	24-01-2023 8:14	0,2	1h<	FD-201A	Falla	Falla switch de presencia de	Detención del alimentador	Running	Se pone en servicio alimentador
11	24-01-2023 12:18	24-01-2023 12:19	0,0	1h<	FD-201A	Falla	Falla switch de presencia de	Detención del alimentador	Running	Se pone en servicio alimentador
	01-03-2023 12:07	01-03-2023 17:09	5,0	12h<	FD-201B	Mantenición				Trabajo de inspección /levantar
	10-03-2023 10:44	10-03-2023 14:05	3,3	12h<	FD-201B	Mantenición				Mantenición - Revisar hermetico
	18-03-2023 10:45	29-03-2023 23:46	277,0	1m<	FD-201C	Detención planta				DP COG
	18-03-2023 11:05	31-03-2023 11:27	312,4	1m<	FD-201A	Detención planta				DP COG - Detencion de planta
	18-03-2023 11:33	31-03-2023 10:13	310,7	1m<	FD-201B	Detención planta				
12	31-03-2023 17:49	31-03-2023 17:59	0,2	1h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Start-up	Realineado de la cinta. Se pone
13	01-04-2023 7:45	01-04-2023 9:23	1,6	12h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone
14	01-04-2023 15:34	01-04-2023 17:43	2,2	12h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Retensado de la cinta. Se desco
15	01-04-2023 18:13	01-04-2023 18:29	0,3	1h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Retensado de la cinta. Se pone e
16	01-04-2023 19:29	01-04-2023 21:10	1,7	12h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
17	01-04-2023 22:19	01-04-2023 23:40	1,4	12h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
18	02-04-2023 0:29	02-04-2023 0:40	0,2	1h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
19	02-04-2023 1:47	06-04-2023 14:18	108,5	7d<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
	06-04-2023 14:52	06-04-2023 15:03	0,2	1h<	FD-201B	Mantenición				Repara fuga de material. Se pon
20	06-04-2023 15:43	07-04-2023 6:47	15,1	1d<	FD-201B	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Cinta no se mueve	Start-up	Retensado de la cinta. Se pone e
21	08-04-2023 18:23	10-04-2023 10:49	40,4	7d<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Se cambia cinta. Se pone en ser
22	21-06-2023 19:18	22-06-2023 8:47	13,5	1d<	FD-201B	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Detención del alimentador	Running	Retensado de la cinta. Se pone e
	07-07-2023 8:32	07-07-2023 14:31	6,0	12h<	FD-201B	Mantenición				Mantenición - Cambio rodamient
23	10-07-2023 2:39	10-07-2023 3:04	0,4	1h<	FD-201A	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Detención del alimentador	Running	Retensado de la cinta. Se pone e
	04-08-2023 11:02	04-08-2023 11:14	0,2	1h<	FD-201A	Mantenición				Mantenición - Cambio aceite a re
	04-08-2023 11:23	04-08-2023 11:40	0,3	1h<	FD-201C	Mantenición				Mantenición - Cambio aceite a re
	13-10-2023 10:26	17-10-2023 13:01	98,6	7d<	FD-201A	Detención planta				PP
	13-10-2023 11:49	17-10-2023 3:05	87,3	7d<	FD-201B	Detención planta				PP
	13-10-2023 12:08	17-10-2023 12:08	96,0	7d<	FD-201C	Detención planta				PP
24	04-11-2023 11:06	14-11-2023 14:16	243,2	1m<	FD-201C	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
25	15-11-2023 10:05	22-11-2023 17:04	175,0	1m<	FD-201C	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Se cambia cinta. Se pone en ser
26	22-11-2023 17:07	22-11-2023 18:39	1,5	12h<	FD-201C	Falla	Guillotina de descarga de co	No se puede poner en servicio alimentador	Start-up	Se destraba guillotina. Se pone e
27	22-11-2023 17:59	22-11-2023 18:41	0,7	1h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
28	22-11-2023 19:17	22-11-2023 19:18	0,0	1h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
29	28-11-2023 18:20	29-11-2023 9:57	15,6	1d<	FD-201C	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Se cambia cinta. Se pone en ser
30	04-12-2023 20:13	04-12-2023 21:00	0,8	1h<	FD-201B	Falla	Cinta patina sobre la polea m	No se mueve la cinta.	Start-up	Se detiene el alimentador e insp
31	04-12-2023 21:02	04-12-2023 21:26	0,4	1h<	FD-201B	Falla	Cinta patina sobre la polea m	No se mueve la cinta.	Start-up	Se intenta poner en servicio y fal
32	04-12-2023 21:27	07-12-2023 20:41	71,2	7d<	FD-201B	Falla	Cinta esta trabada y activa el	No se mueve la cinta.	Start-up	Se tensa cinta y esta sigue traba
33	08-12-2023 0:18	08-12-2023 10:31	10,2	12h<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Retensado de la cinta. Se pone e
	08-12-2023 15:25	11-12-2023 10:21	66,9	7d<	FD-201B	Mantenición				Se reinstala sensor de desaline
	12-12-2023 11:32	12-12-2023 17:05	5,5	12h<	FD-201C	Mantenición				Mantenición - existen variacione
34	24-12-2023 14:03	24-12-2023 14:25	0,4	1h<	FD-201B	Falla			Running	Se detiene FD-201B sin alarma y
35	24-12-2023 16:27	24-12-2023 16:29	0,0	1h<	FD-201B	Falla			Running	Se detiene FD-201B sin alarma y
	26-12-2023 19:23	23-01-2024 3:12	655,8	1m<	FD-201A	Detención planta				DNP COG TUBOS SG-201 - Mant
	26-12-2023 19:49	23-01-2024 3:33	655,7	1m<	FD-201C	Detención planta				DNP COG TUBOS SG-201 - Mant
	26-12-2023 20:32	22-01-2024 22:47	650,3	1m<	FD-201B	Detención planta				DNP
	14-03-2024 22:40	21-03-2024 14:52	160,2	7d<	FD-201A	Detención planta				DNP
	14-03-2024 23:53	21-03-2024 14:46	158,9	7d<	FD-201C	Detención planta				DNP
	15-03-2024 0:08	21-03-2024 13:44	157,6	7d<	FD-201B	Detención planta				DNP
36	09-04-2024 0:35	09-04-2024 13:55	13,3	1d<	FD-201B	Falla	Falla panel control local.	Detención del alimentador	Running	Se cambia panel control y se por
	19-04-2024 10:48	19-04-2024 15:32	4,7	12h<	FD-201B	Mantenición				Nexo realiza mantención
	30-04-2024 18:26	01-05-2024 11:11	16,7	1d<	FD-201C	Detención planta				Falla - Falta tensión cinta
	30-04-2024 18:41	01-05-2024 3:42	9,0	12h<	FD-201A	Detención planta				DNP COG TARIETA J-108
	30-04-2024 18:45	01-05-2024 13:08	18,4	1d<	FD-201B	Detención planta				Falla-Status-Guillotina de desca
	05-05-2024 4:20	10-05-2024 16:27	132,1	7d<	FD-201C	Detención planta				DNP COG DESCANSOS B-202 +
	05-05-2024 4:44	10-05-2024 16:27	131,7	7d<	FD-201B	Detención planta				DNP COG DESCANSOS B-202 +
	05-05-2024 6:39	10-05-2024 16:27	129,8	7d<	FD-201A	Detención planta				DNP COG DESCANSOS B-202 +
37	10-06-2024 10:52	11-06-2024 3:59	17,1	1d<	FD-201C	Falla		Variaciones de flujo de coque	Running	Se detiene el alimentador por flu
38	11-06-2024 5:20	11-06-2024 12:12	6,9	12h<	FD-201A	Falla	Falla panel control local.	Detención del alimentador	Running	Se realiza reapriete en las conec
39	12-06-2024 3:30	12-06-2024 17:05	13,6	1d<	FD-201C	Falla		Variaciones de flujo de coque	Running	Se detiene el alimentador por flu
40	12-06-2024 17:07	13-06-2024 18:17	25,2	7d<	FD-201C	Falla	Guillotina de descarga de co	No se puede poner en servicio alimentador	Start-up	Se destraba la guillotina. Se pon

(Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados por ENAP).

Anexo 6. (continuación).

	14-06-2024 14:38	14-06-2024 16:23	1,7	12h<	FD-201C	Mantención			Mantención - Se monta reductor	
	17-06-2024 9:14	18-06-2024 17:12	32,0	7d<	FD-201C	Mantención			Mantención - Limpieza e inspección	
	26-06-2024 9:26	26-06-2024 16:29	7,0	12h<	FD-201C	Mantención			Mantención - Limpieza e inspección	
41	26-06-2024 16:29	27-06-2024 14:58	22,5	1d<	FD-201C	Falla	Guillotina de descarga de coque	No se puede poner en servicio alimentador	Start-up	Se destraba guillotina. Se pone en servicio
42	04-07-2024 5:20	04-07-2024 18:00	12,7	1d<	FD-201C	Falla		Variaciones de flujo de coque	Running	Falla - Variaciones de carga - Limpieza
43	04-07-2024 18:15	04-07-2024 20:28	2,2	12h<	FD-201C	Falla	Guillotina de descarga de coque	No se puede poner en servicio alimentador	Start-up	Se destraba guillotina. Se pone en servicio
	11-07-2024 9:09	11-07-2024 17:20	8,2	12h<	FD-201C	Mantención				Mantención - Limpieza y retiro de coque
44	11-07-2024 17:20	11-07-2024 19:10	1,8	12h<	FD-201C	Falla	Guillotina de descarga de coque	No se puede poner en servicio alimentador	Start-up	Se destraba guillotina. Se pone en servicio
45	16-07-2024 13:24	18-07-2024 11:42	46,3	7d<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Cinta se desalinea por polines tr
46	18-07-2024 12:46	20-07-2024 17:12	52,4	7d<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Se cambia cinta. Se pone en servicio
	18-07-2024 13:07	18-07-2024 16:03	2,9	12h<	FD-201C	Mantención				Mantención - Limpieza por falla
47	20-07-2024 17:46	20-07-2024 17:58	0,2	1h<	FD-201A	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Detención del alimentador	Start-up	Retensado de la cinta. Se pone en servicio
48	20-07-2024 19:53	20-07-2024 21:59	2,1	12h<	FD-201A	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Detención del alimentador	Running	Retensado de la cinta. Se pone en servicio
	25-07-2024 8:58	25-07-2024 15:41	6,7	12h<	FD-201C	Mantención				Mantención - Limpieza por falla
49	31-07-2024 22:21	01-08-2024 1:32	3,2	12h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Switch de desalineamiento se act
	01-08-2024 10:36	01-08-2024 13:25	2,8	12h<	FD-201C	Mantención				Mantención - Limpieza por falla
50	02-08-2024 23:01	09-08-2024 22:43	167,7	7d<	FD-201C	Falla	Cinta esta trabada y activa el	Variaciones de flujo de coque	Running	Se destraba el alimentador. Se r
	09-08-2024 22:43	18-08-2024 23:48	217,1	1m<	FD-201A	Detención planta				DP COG LIMPIEZA HRA - Manten
	09-08-2024 22:43	18-08-2024 21:23	214,7	1m<	FD-201B	Detención planta				
	09-08-2024 22:43	18-08-2024 21:23	214,7	1m<	FD-201C	Detención planta				Se encuentra que hay una falla e
51	20-08-2024 18:59	20-08-2024 21:54	2,9	12h<	FD-201C	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Detención del alimentador	Start-up	Retensado de la cinta. Se pone e
52	16-09-2024 0:10	17-09-2024 15:33	39,4	7d<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	La cinta se desalinea por falla e
	24-10-2024 11:00	24-10-2024 11:39	0,7	1h<	FD-201A	Mantención				Se detiene alimentador para ins
53	26-10-2024 20:07	26-10-2024 20:22	0,3	1h<	FD-201B	Falla	Sistema motor reductor mot	Detención del alimentador	Running	
54	26-10-2024 20:49	28-10-2024 16:01	43,2	7d<	FD-201B	Falla	Sistema motor reductor mot	Detención del alimentador	Running	
55	27-10-2024 13:27	27-10-2024 14:42	1,3	12h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
56	27-10-2024 23:09	27-10-2024 23:47	0,6	1h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
57	28-10-2024 16:31	31-10-2024 18:55	74,4	7d<	FD-201B	Falla	Sistema motor reductor mot	Detención del alimentador	Start-up	
58	29-10-2024 0:43	29-10-2024 1:40	0,9	1h<	FD-201A	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Variaciones de flujo de coque	Running	Retensado de la cinta. Se pone e
	29-10-2024 17:40	29-10-2024 18:25	0,8	1h<	FD-201A	Mantención				Limpieza del interior. Entra en se
59	30-10-2024 1:59	30-10-2024 3:19	1,3	12h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
	01-11-2024 10:51	01-11-2024 11:32	0,7	1h<	FD-201B	Mantención				Motor y acoplamiento motriz a r
	01-11-2024 15:22	01-11-2024 16:31	1,2	12h<	FD-201A	Mantención				Mantención - Limpieza del interio
60	02-11-2024 18:04	03-11-2024 13:40	19,6	1d<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Se realiza mantención al polin m
61	04-11-2024 13:34	06-11-2024 14:35	49,0	7d<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Mantención del descanso del po
	07-11-2024 11:10	07-11-2024 16:25	5,3	12h<	FD-201A	Mantención				Mantención - Limpieza del interio
62	12-11-2024 0:41	12-11-2024 16:09	15,5	1d<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Se realiza prueba reductor y mot
63	12-11-2024 18:58	12-11-2024 19:03	0,1	1h<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Se destraba y se pone en servici
64	12-11-2024 22:07	12-11-2024 22:16	0,1	1h<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Se destraba y se pone en servici
65	12-11-2024 22:45	16-11-2024 16:59	90,2	7d<	FD-201B	Falla	Cinta esta trabada y activa el	Detención del alimentador	Running	Se cambia cinta. Se pone en ser
	14-11-2024 9:24	14-11-2024 18:21	8,9	12h<	FD-201A	Mantención				Mantención. Limpieza del interio
66	14-11-2024 20:05	14-11-2024 21:22	1,3	12h<	FD-201A	Falla			Running	Se pone en servicio el alimentad
67	14-11-2024 22:24	14-11-2024 22:56	0,5	1h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
	14-11-2024 23:34	14-11-2024 23:37	0,0	1h<	FD-201A	Mantención				Normalización switch desvio
68	16-11-2024 15:47	16-11-2024 16:21	0,6	1h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
	26-11-2024 15:12	26-11-2024 15:20	0,1	1h<	FD-201C	Mantención				Limpieza del interior
	26-11-2024 15:12	26-11-2024 15:13	0,0	1h<	FD-201B	Mantención				Limpieza del interior
	28-11-2024 10:23	28-11-2024 14:16	3,9	12h<	FD-201A	Mantención				Limpieza del interior
69	29-11-2024 7:12	05-12-2024 15:42	152,5	7d<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Cambio polin conducido. Realin
70	05-12-2024 18:10	12-12-2024 16:16	166,1	7d<	FD-201B	Falla	Sistema motor reductor mot	Detención del alimentador	Running	Retensado de la cinta. Se pone e
	11-12-2024 9:54	11-12-2024 12:14	2,3	12h<	FD-201A	Mantención				Limpieza del interior
	19-12-2024 5:25	20-12-2024 21:08	39,7	7d<	FD-201A	Mantención				Limpieza del interior
71	20-12-2024 21:23	20-12-2024 21:56	0,6	1h<	FD-201A	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Start-up	Cambio rodamientos polin sens
	23-12-2024 11:33	24-12-2024 2:35	15,0	1d<	FD-201B	Detención planta				
	23-12-2024 11:33	24-12-2024 2:35	15,0	1d<	FD-201C	Detención planta				
	23-12-2024 11:33	24-12-2024 2:35	15,0	1d<	FD-201A	Detención planta				
	27-12-2024 14:08	27-12-2024 15:54	1,8	12h<	FD-201A	Mantención				Cambio de aceite reducto. Limp
	02-01-2025 10:16	02-01-2025 15:54	5,6	12h<	FD-201A	Mantención				Limpieza del interior
	09-01-2025 11:19	09-01-2025 12:33	1,2	12h<	FD-201A	Mantención				Limpieza del interior
	13-01-2025 10:57	13-01-2025 16:47	5,8	12h<	FD-201A	Mantención				Limpieza del interior. Entra en se
	13-01-2025 20:36	13-01-2025 21:30	0,9	1h<	FD-201B	Elemento externo		Detención del alimentador		Trip MCCB
	27-01-2025 10:06	27-01-2025 11:31	1,4	12h<	FD-201C	Mantención				Inspección correa
72	02-02-2025 16:31	02-02-2025 22:51	6,3	12h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e
73	03-03-2025 17:54	06-03-2025 14:20	68,4	7d<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Se cambia cinta. Se pone en ser
74	08-03-2025 4:29	11-03-2025 16:03	83,6	7d<	FD-201B	Falla	Polin motriz, polin conducida	Detención del alimentador	Running	Mantención reductor motriz, le f
	12-03-2025 13:54	12-03-2025 16:51	2,9	12h<	FD-201B	Mantención				Se calibra y se pone en servicio e
	14-03-2025 7:52	14-03-2025 18:39	10,8	12h<	FD-201B	Mantención				Se calibra y se pone en servicio e
	14-03-2025 8:42	17-03-2025 11:58	75,3	7d<	FD-201B	Mantención				Se inspecciona el alimentador. S
75	17-03-2025 13:26	20-03-2025 9:43	68,3	7d<	FD-201B	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Start-up	Se observa que el polin de la cet
	20-03-2025 7:12	06-04-2025 4:08	404,9	1m<	FD-201A	Detención planta				DP COG LIMPIEZA HRA
	20-03-2025 9:43	06-04-2025 3:55	402,2	1m<	FD-201B	Detención planta				DP - Se repone el rodillo de la ce
	20-03-2025 9:43	06-04-2025 4:08	402,4	1m<	FD-201C	Detención planta				DP
76	06-04-2025 4:08	21-04-2025 10:54	366,8	1m<	FD-201B	Falla	Falta en las celdas de carga.	Variaciones de flujo de coque	Start-up	No se puede realizar calibración
77	21-04-2025 11:25	21-04-2025 16:21	4,9	12h<	FD-201B	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Detención del alimentador	Start-up	Retensado de la cinta. Se pone e
	30-04-2025 6:17	30-04-2025 17:49	11,5	12h<	FD-201A	Mantención				Se deja en servicio rastra de lim
78	08-05-2025 2:33	08-05-2025 10:11	7,6	12h<	FD-201B	Falla	Cinta patina sobre la polea m	Variaciones de flujo de coque	Running	Retensado de la cinta. Se pone e
	19-05-2025 9:46	19-05-2025 15:36	5,8	12h<	FD-201C	Mantención				Se calibra y se pone en servicio e
	26-05-2025 10:30	26-05-2025 17:06	6,6	12h<	FD-201A	Mantención				Se inspecciona y se normaliza la
	09-06-2025 9:16	09-06-2025 15:50	6,6	12h<	FD-201A	Mantención				Se cambio descanso lado libre p
79	09-06-2025 16:36	09-06-2025 18:35	2,0	12h<	FD-201A	Falla	Cinta transportadora desalin	Detención del alimentador	Running	Realineado de la cinta. Se pone e