

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de zinc

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por

Ronald Ademir Ascencio Palacios

 [0009-0007-2670-569X](https://orcid.org/0009-0007-2670-569X)

Asesor

Dr. Danny Hernan Zambrano Carrera

 [0009-0004-5498-7741](https://orcid.org/0009-0004-5498-7741)

LIMA – PERÚ

2026

Citar/How to cite	(Ascencio, 2026)
Referencia/Reference	Ascencio, R. (2026). <i>Mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de zinc</i> . [Trabajo de Suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi esposa Candy que es la persona que me acompaña y me entrega su fuerza para afrontar la vida. A mis padres y hermanos que sin su apoyo incondicional nunca hubiera culminado mi profesión. A mis hijos que son mi motivación de querer superarme cada día.

Agradecimientos

A mi madre que es mi modelo de persona y me enseñó a entregar todo de mi en cada proyecto que realizo. A mi alma mater la Universidad Nacional de Ingeniería en donde pude desarrollar mi potencial profesional gracias al nivel de exigencia y entrega que demanda pertenecer a esta grandiosa Institución.

Resumen

La presente investigación busca proponer un plan de actividades de mantenimiento mediante la aplicación sistemática de la metodología Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA), basada en la norma de la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE) J1739:2002, para incrementar la disponibilidad a un equipo de deslaminado en una refinería de Zinc. La metodología se adaptó para aplicarse en un equipo con 13 años de antigüedad, enfocando el análisis en el nivel de componente. El estudio inicia con el análisis de los datos de parada y aplicando Pareto se identifica que subsistemas de la deslaminadora son los que más fallan. Se identificaron 6 de los 15 subsistemas de la deslaminadora que generaron el 81% de las horas de parada entre marzo y septiembre de 2019. Luego se realizó una revisión de los registros de falla y para cada evento se identificó el componente que falló, su modo y mecanismo de falla, además se agrupan los registros iguales y para cada uno de ellos se tiene la información de horas de parada y número totales de eventos de falla. De igual forma, para cada registro de este listado final se aplicó la metodología FMEA, donde se obtuvo el Numero de Prioridad de Riesgo inicial (NPRi) y se definieron acciones de mantenimiento con los cuales se redujeron los índices de ocurrencia y detección, así como se calculó un número de prioridad de riesgo final (NPRf) que debe ser menor que el NPRi. Se analizaron 190 registros de falla para identificar 38 grupos de modos de falla. La aplicación del plan propuesto usando FMEA determinó la implementación de 73 acciones de mantenimiento, los cuales fueron de los siguientes tipos: 36 acciones preventivas, 21 acciones de mejora (o modificación) y 16 acciones correctivas. Es este trabajo, una herramienta de validación destacada fue el NPR (producto de Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D)) utilizado para jerarquizar el riesgo. De los 38 modos de falla identificados, 35 se consideraron inaceptables ($NPR_i > 120$) o medianamente aceptables ($NPR_i > 75$). Con la implementación de las acciones, 33 modos de falla pasaron a la categoría de aceptables ($NPR_f < 75$), lo que demuestra la eficacia de la metodología. El valor de la disponibilidad aumentó de un promedio de **74.96% en 2019**

(un mínimo histórico) a **81.87% en 2021** y **82.19% en 2022**, superando la meta establecida del 80%. Esto representa un incremento de hasta **7.23%** comparando 2019 y 2022. La mejora de los indicadores relacionados con la confiabilidad. El Tiempo Medio Transcurrido Entre Fallas (METBF) aumentó de **14.3 horas a 19.6 horas** entre 2019 y 2022, y el Tiempo Medio de Inactividad (MDT) disminuyó de **2.8 horas a 2.2 horas**.

Palabras clave: Plan de mantenimiento, FMEA, disponibilidad, máquina deslaminadora, NPR.

Abstract

The present research aims to **propose a maintenance activity plan** through the systematic application of the **Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)** methodology, based on the **SAE J1739:2002** standard, to **increase the availability** of a delaminating machine in a Zinc refinery.

The methodology was adapted to be applied to a team with 13 years of operation, focusing the analysis at the **component level**. The study begins with the analysis of downtime data, and by applying **Pareto analysis**, the delaminator subsystems that fail the most are identified. Specifically, **6 out of the 15 subsystems** of the delaminating machine were identified as generating **81% of the downtime hours** between March and September 2019. Subsequently, a review of the failure records was conducted. For each event, the failed component, its mode, and its failure mechanism were identified. Identical records were then grouped, and for each group, the information on **downtime hours** and the **total number of failure events** was compiled. Furthermore, the FMEA methodology was applied to each record in this final list, yielding the **initial Risk Priority Number (RPNi)**. Maintenance actions were then defined, which resulted in a reduction of the occurrence and detection indices, and a **final Risk Priority Number (RPNf)** was calculated, which must be lower than the RPNi.

A total of **190 failure records** were analyzed to identify **38 groups of failure modes**. The application of the proposed plan using FMEA led to the implementation of **73 maintenance actions**, categorized as follows: **36 preventive actions, 21 improvement (or modification) actions, and 16 corrective actions**. In this work, a highlightable validation tool was the **RPN** (the product of Severity (S), Occurrence (O), and Detection (D)) used to prioritize risk.

Of the **38 identified failure modes**, 35 were considered either unacceptable (**RPNi > 120**) or moderately acceptable (**RPNi > 75**). Following the implementation of the actions, **33**

failure modes transitioned to the acceptable category (**RPNf < 75**), demonstrating the effectiveness of the methodology.

The machine's availability value increased from an average of **74.96% in 2019** (a historical minimum) to **81.87% in 2021** and **82.19% in 2022**, thereby **exceeding the established goal of 80%**. This represents an increase of up to **7.23%** when comparing 2019 and 2022.

The indicators related to **reliability** also improved: the **Mean Time Between Failures (MTBF)** increased from **14.3 hours to 19.6 hours** between 2019 and 2022, and the **Mean Down Time (MDT)** decreased from **2.8 hours to 2.2 hours**.

Keywords: Maintenance plan, FMEA, Availability, Delaminating machine, RPN

Tabla de Contenido

Resumen.....	v
Abstract	vii
Introducción	xii
Capítulo I. Generalidades	1
1.1 Antecedentes de la Investigación.....	1
1.2 Identificación y Descripción del problema de Estudio.....	2
1.3 Formulación del Problema	5
1.3.1 Problema general.....	5
1.4 Justificación e Importancia	5
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo General	7
1.6 Hipótesis	7
1.6.1 Hipótesis General	7
1.7 Variables y Operacionalización de Variables.....	7
1.7.1 Operacionalización de Variables	7
1.8 Metodología de la Investigación	9
1.8.1 Unidad de análisis.....	9
1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de Investigación	9
1.8.3 Diseño de la investigación	9
1.8.4 Fuentes de información	10
1.8.5 Población y Muestra	10
1.8.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	10
1.8.7 Análisis y procesamiento de datos	11
Capítulo II. Marco teórico y Marco Conceptual.....	12
2.1 Marco Teórico	12
2.1.1 Mantenimiento.....	12

2.1.2	Tipos de mantenimiento	12
2.1.3	Disponibilidad	13
2.1.4	Tiempo medio de actividad (MUT)	14
2.1.5	Tiempo medio de inactividad (MDT).....	15
2.1.6	Tiempo medio transcurrido entre fallas (METBF)	15
2.1.7	Metodología de Análisis y Modos de Efectos de Falla (FMEA).....	16
2.1.7.1.	Referencias Normativas:.....	16
2.1.7.2.	Beneficios del FMEA:.....	16
2.1.7.3.	Definiciones de términos fundamentales para el FMEA:	17
2.1.7.4.	Pasos para la aplicación de la metodología FMEA:.....	22
2.1.8	Deslaminadora de cátodos.....	25
2.2	Marco Conceptual.....	31
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		33
3.1.	Situación inicial de la Deslaminadora	33
3.1.1	Cálculo de la Disponibilidad.....	33
3.1.2	Cálculo de MUT, MDT y METBF	33
3.1.3	Definición del Alcance del Análisis	34
3.2	Desarrollo de la metodología.....	35
3.2.1	Taxonomía del Sistema	35
3.2.2	Identificación del componente, modo de falla y mecanismo de falla.....	35
3.2.3	Identificación del efecto de la falla y la severidad (S)	37
3.2.4	Identificación de la causa de falla y la ocurrencia (O).....	38
3.2.5	Identificación de los controles actuales y la detección (D)	39
3.2.6	Calculo del NPR inicial y determinación de las acciones de mantenimiento	40
3.2.7	Calculo del NRP final	40
3.3	Indicadores luego de implementación.....	44
3.3.1	Cálculo de la Disponibilidad.....	44

3.3.2 Cálculo de MUT, MDT y METBF	44
Capítulo IV. Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión de	
Resultados	46
4.1 Resultados	46
4.2 Contrastación de Hipótesis.....	50
4.3 Discusión de Resultados	51
Conclusiones	54
Recomendaciones.....	55
Referencias	57
Anexos	60

Lista de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de las variables dependiente e independiente.....	8
Tabla 2 Criterios Propuestos para determinar la severidad de la falla	20
Tabla 3 Criterios Propuestos para determinar la ocurrencia de la falla.....	21
Tabla 4 Criterios Propuestos para determinar la detección de la falla	21
Tabla 5 Pasos para la aplicación del FMEA.....	22
Tabla 6 Pasos para la aplicación del FMEA en sistema con varios años de operación ...	23
Tabla 7 Listado de subsistemas de la deslaminadora de sección 73-Refinería Cajamarquilla	26
Tabla 8 Disponibilidad de la deslaminadora entre enero 2018 y setiembre 2019.....	33
Tabla 9 MUT, MDT y METBF de la deslaminadora entre enero 2018 y setiembre 2019 .	34
Tabla 10 Distribución de Horas de Falla por subsistema.....	35
Tabla 11 División de los subsistemas en componentes	35
Tabla 12 Identificación de componente, modos y mecanismos de falla para 16 registros de parada.....	36
Tabla 13 Identificación de 7 grupos de modos de falla.....	37
Tabla 14 Identificación de los efectos y la severidad para los 7 grupos mostrados en la tabla 13	37
Tabla 15 Identificación de la causa y la ocurrencia para los 7 grupos mostrados en la tabla 13	38
Tabla 16 Identificación de la causa y la ocurrencia para los 7 grupos mostrados en la tabla 13	39
Tabla 17 Comparación del NPR inicial y el final para los 7 grupos mostrados en la tabla 13	41
Tabla 18 NPR y Acciones propuestas para los 7 grupos de componente, modos y mecanismos de falla mostrados en la tabla 13.....	42
Tabla 19 Disponibilidad de la deslaminadora entre enero 2021 y diciembre 2022.....	44

Tabla 20 MUT, MDT y METBF de la deslaminadora entre enero 2021 y diciembre 2022 44

Tabla 21 Acciones de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de la deslaminadora 46

Tabla 22 Valores de MUT, MDT y METBF anuales años 2018,2019, 2021 y 2022 50

Tabla 23 Valores de disponibilidad años 2018,2019, 2021 y 2022 50

Lista de Figuras

Figura 1 Etapas de proceso productivo del zinc Refinado	3
Figura 2 Disponibilidad Deslaminadora entre 2018 y 2019	4
Figura 3 % de Horas de parada por Falla por Subsistema Deslaminadora marzo-setiembre 2019	5
Figura 4 Estructura de tipos de mantenimiento	13
Figura 5 Primer nivel de la deslaminadora	26
Figura 6 Fallas en el arrancador vertical	27
Figura 7 Tubería y manguera hidráulica de alimentación	28
Figura 8 Fallas en la unidad de cepillado y lavado	29
Figura 9 Rotura de cardan del cepillo	29
Figura 10 Fallas de la unidad de transferencia lateral	30
Figura 11 Unidad hidráulica y sus componentes principales	30
Figura 12 Disponibilidad Deslaminadora entre 2018,2019,2021 y 2022	49

Introducción

En la Refinería de Zinc Cajamarquilla, la deslaminadora, que es esencial en el proceso de producción de láminas de Zinc, experimentó una alta incidencia de fallas en 2019, lo que se tradujo en una disminución alarmante de su disponibilidad operacional.

Las paradas continuas y prolongadas interrumpen el flujo de producción de Zinc y tienen consecuencias graves, como el incumplimiento del plan de producción diario, la pérdida de producción, y un riesgo de seguridad para los operadores que deben realizar el deslaminado manual.

La presente investigación, titulada “Mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de falla para aumentar la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de zinc”, fue desarrollada con el objetivo de proponer acciones de mantenimiento que permitan aumentar la disponibilidad operacional de una deslaminadora, con la finalidad de obtener la cantidad de producción diaria necesaria para cumplir los compromisos comerciales de la empresa, la deslaminadora opera dentro del proceso de producción de láminas de Zinc, las cuales se utilizan para formar barras de Zinc de altísima pureza.

Para cumplir con el objetivo de la investigación se desarrolló un proceso estructurado de análisis basada en la metodología FMEA presentada en la norma SAE J1739:2002. El proceso desarrollado tuvo como punto de partida el estudio del registro de fallas de la deslaminadora, pasando por la identificación causas de falla y concluyendo con el planteamiento de acciones que controlen las causas de falla identificadas. Para entender el proceso desarrollado la investigación se presenta estructurada en 4 capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo I “Generalidades”, se describen los antecedentes del estudio, la identificación y descripción del problema que expone el impacto que están generando las fallas en la disponibilidad de la deslaminadora, la formulación del problema general, la justificación e importancia de la investigación, el objetivo y la hipótesis general, así como las variables y su operacionalización, además de la unidad de análisis y la metodología de

la investigación en donde se expone que la presente investigación es del tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, un nivel descriptivo correlacional y un diseño no experimental transversal.

En el capítulo II “Marco teórico y conceptual”, se describen los conceptos más relevantes de mantenimiento que se utilizan en el desarrollo de la investigación, asimismo se presenta las fórmulas de cálculo de los indicadores como el MUT y MDT, también se explica cada uno de los conceptos a utilizar en el desarrollo de la metodología FMEA y se describe el paso a paso de la metodología original de la norma y el paso a paso de la metodología modificada que se desarrolló exclusivamente para aplicarse a equipos que tienen años de operación y han recopilado historial.

En el capítulo III “Desarrollo del trabajo de investigación”, empieza con la obtención de los valores la disponibilidad de la deslaminadora entre los meses de marzo a setiembre del 2019, en este periodo se observa una caída en el valor de disponibilidad 9% por lo que se realiza un revisión del registro de paradas y aplicando Pareto se determina los subsistemas que más impactaran en disminución de la disponibilidad, luego se analiza en detalle registro de fallas de estos subsistemas y se determina los componentes, modos y mecanismos de falla para cada registro. Posteriormente se identifican los efectos y la severidad, las causas y la ocurrencia, los controles actuales y la detección, además se calcula el NPR inicial, se definen acciones de mantenimiento las cuales tendrán efecto en los índices de ocurrencia y detección, se calcula el NPR final el cual debe ser menor que el NPR inicial para considerar que la acción de mantenimiento es adecuada y por último se calcula el indicador de disponibilidad posterior a la implementación de las acciones de mantenimiento definidas en el FMEA.

En el capítulo IV “Resultados, Contratación de Hipótesis y Discusión de Resultados”, se muestra comparación de la disponibilidad antes y después de la implementación del FMEA, de igual manera se realizó la validación de la hipótesis y se discutieron los aspectos positivos de la investigación respecto a sus antecedentes.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones, se incluyen las referencias bibliográficas y anexos en donde se muestra el desarrollo completo del FMEA.

Capítulo I. Generalidades

1.1 Antecedentes de la Investigación

Moreno (2014)¹ propuso un plan de mejora utilizando la metodología análisis de modos y efectos de falla (FMEA) basado en la norma SAE J1739, el autor aplicó la metodología en el proceso de fabricación de tubos de PVC en una fábrica ubicada en la ciudad de Chiapas, México y tuvo como objetivo aumentar la confiabilidad del proceso mediante la disminución de las fallas. La investigación se basó en un estudio del registro histórico de no conformidades, encuestas estructuradas para el personal de operación y mantenimiento, así como información resultante del grupo de trabajo formado entre las jefaturas y otros empleados relacionados a las áreas de mantenimiento y operaciones. El autor expuso que con la aplicación de la metodología FMEA es posible obtener de forma detallada los efectos y causas de cada modo de falla y establecer las acciones preventivas y correctivas dependiendo del número de prioridad de riesgo (NPR), también propuso la aplicación de otras que resultan como solución a las causas identificadas en el FMEA tales como el mantenimiento autónomo, sistemas *poka-yoke* y aplicación de las 5S. El autor concluyó que se deben priorizar las actividades de acuerdo con el NPR más elevado calculado.

Cusi (2024)² propuso un cambio en el plan de mantenimiento utilizando el proceso análisis de modos y efectos de falla como parte de la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), el autor realizó el estudio aplicándolo al sistema de bombeo de relaves de una mina en la ciudad del Cusco y evaluó su impacto en la disponibilidad, el tiempo medio actividad (MUT) y el tiempo medio de inactividad (MDT). La investigación realizada fue del tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, un nivel descriptivo correlacional y un diseño no experimental transversal. Con la implementación del plan de mantenimiento el autor concluyó que la disponibilidad del sistema de bombeo se incrementó en 4.21% entre los años 2019 y 2021, mientras que el MUT se incrementó de 109.24 a 1014.35 horas y el MDT se redujo de 12.43 a 7.31 horas, también que se logró

¹ Moreno Herrera S. (2014) Plan de mejora para aumentar la confiabilidad del proceso de fabricación de tubos de PVC en la empresa Durman Esquivel S.A de C.V., basado en el AMEF

disminuir los gastos del mantenimiento correctivo de las bombas en 22.9 millones de dólares.

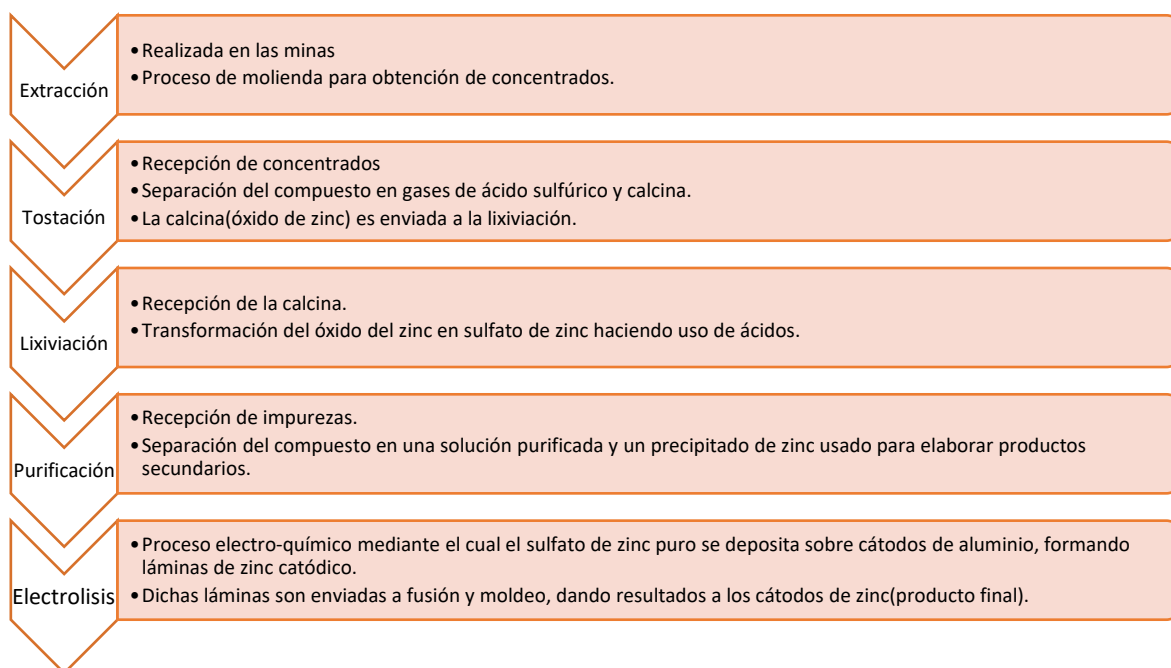
Gonzales (2024)³ en su trabajo de investigación propuso un plan de mantenimiento utilizando la metodología de análisis de modos y efectos de falla (FMEA), el autor resaltó la importancia de aplicar la metodología FMEA a los modos de falla más críticos según la evaluación del riesgo que se define con el número de prioridad de riesgo (NPR), para determinar el NPR el autor evaluó y definió un índice para la severidad, ocurrencia y detención de cada modo de falla tratado y multiplicó los índices definidos. La investigación fue realizada para las bombas del sistema de reinyección de agua de un lote petrolero y fue del tipo aplicada, con un enfoque mixto, un nivel descriptivo y un diseño no experimental. El autor concluyó que con la aplicación de FMEA a los 3 subsistemas críticos de las bombas de inyección de agua se identificaron 43 modos de falla y que la clasificación jerárquica de estos aplicando en NPR determinó un total de 10 modos de falla inaceptable (44%), 14 modos de fallas medianamente aceptable (34.3%) y 19 modos de falla aceptables (21.7%), estos resultados permitieron definir un plan de mantenimiento adecuado con tareas específicas del tipo preventivo, predictivo y basada en condición con determinadas frecuencia según el riesgo de cada modo de falla.

1.2 Identificación y Descripción del problema de Estudio

El refinado del zinc inicia con la recepción del concentrado en la refinera, luego el concentrado atraviesa por las etapas de tostación, lixiviación y purificación, por ende, como resultado de estos procesos, se obtiene una solución rica en sulfato de zinc la cual es mezclada con la solución agotada y enviada a las celdas de electrólisis, donde, mediante la aplicación de altas corrientes eléctricas (en el rango de 150 a 230 KA) se lleva a cabo la separación del zinc metálico y deposición en placas de aluminio que funcionan como cátodos, formándose láminas de zinc metálico de alta pureza. La Figura 1 muestra las etapas del proceso productivo del zinc refinado. Una vez finalizada la electrólisis, es necesario separar las láminas de zinc de los cátodos, por lo que este procedimiento se realiza en la etapa de deslaminado, utilizando equipos denominados deslaminadoras.

Figura 1

Etapas de proceso productivo del zinc Refinado

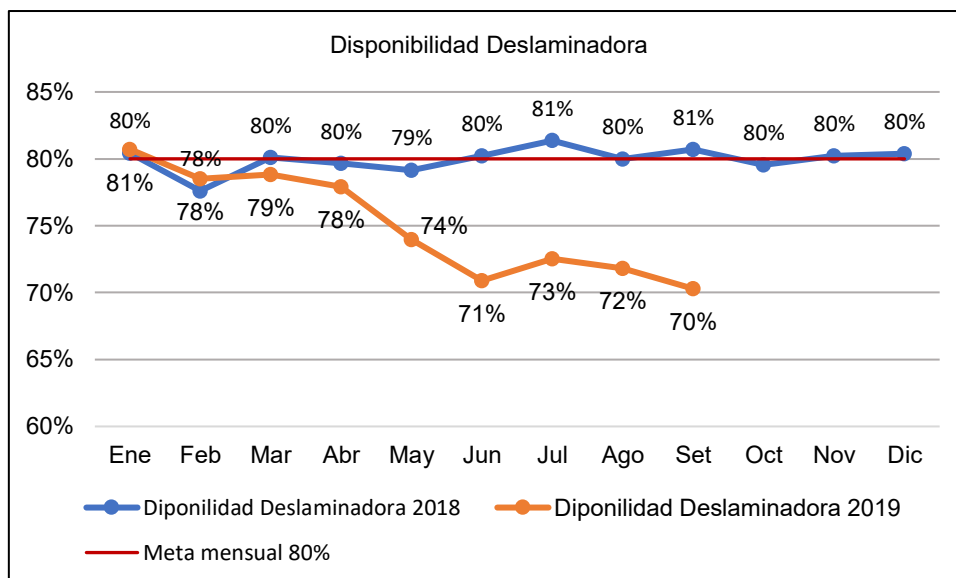


Nota: Revista Moneda BCRP edición 179, setiembre de 2019

En 2019 una de las deslaminadoras (10% de la producción) presentó una alta incidencia de fallas lo que se reflejó en la disminución de su disponibilidad mecánica. Al detenerse la deslaminadora los cátodos deben permanecer más tiempo sumergidos en las celdas de electrólisis por lo que el espesor y el peso de las láminas de zinc que se forman aumenta. La consecuencia inmediata es el incumplimiento del plan de producción diario, si la parada llega a las 48 horas, el peso de las láminas alcanza un valor límite y el proceso de electrólisis debe detenerse teniendo como consecuencia la pérdida de producción. La figura 2 muestra los valores de la disponibilidad para deslaminadora entre 2018 y 2019, también el valor de su meta mensual definida para ese periodo, por lo que del gráfico se puede observar que la disponibilidad disminuye de forma alarmante entre los meses de marzo a setiembre del 2019.

Figura 2

Disponibilidad Deslaminadora entre 2018 y 2019

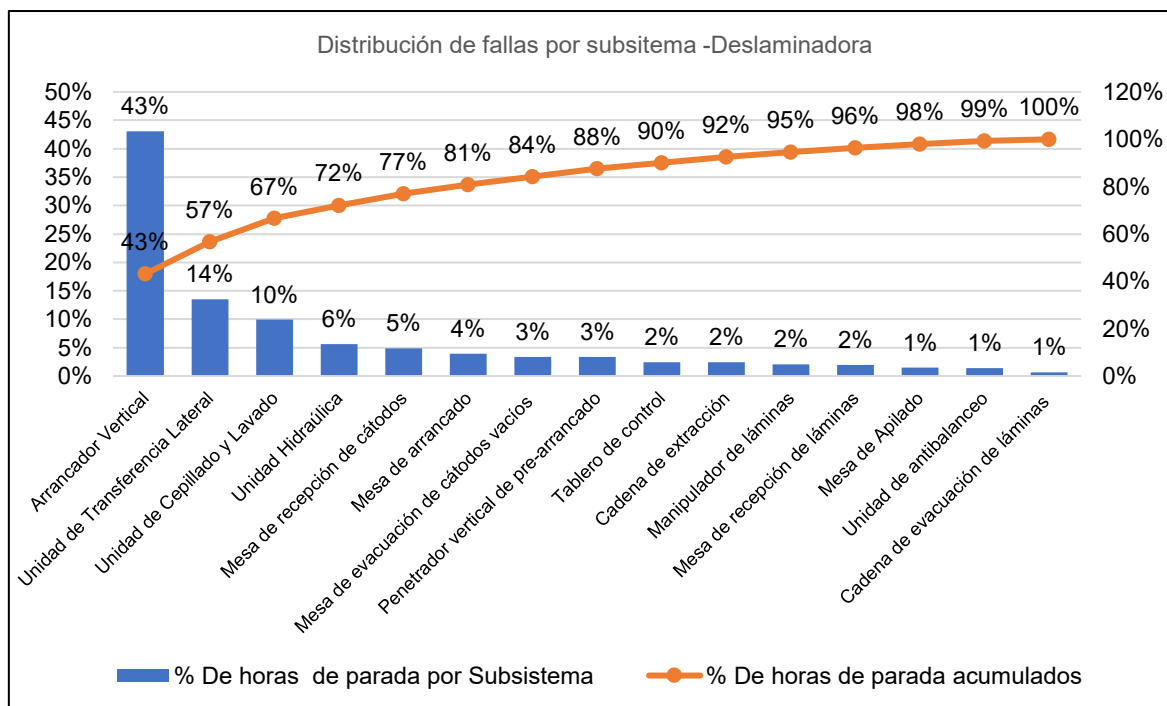


Nota: La tabla muestra la disponibilidad de la deslaminadora del año 2018 y hasta setiembre 2019, a partir de marzo del 2019 se observa una tendencia a disminuir su valor.

La figura 3 muestra el Pareto de horas de parada por subsistema de la deslaminadora, expresado en porcentaje, el rango de análisis se extiende entre los meses de marzo a setiembre del 2019. En la figura se observa que el subsistema de arrancado vertical es el que ha generado más horas de parada por fallas, siendo el 43% del total, de igual forma se observa que la suma de las horas de parada por fallas de los 6 primeros subsistemas representa el 81% de las horas de parada por fallas totales, lo que significa que las fallas de estos 6 subsistemas que son arrancado vertical, unidad de transferencia lateral, unidad de cepillado y lavado, unidad hidráulica, la mesa de recepción de cátodos y la mesa de arrancado tienen mayor impacto en la caída del valor de la disponibilidad de la deslaminadora que entre marzo y setiembre fue de 9%.

Figura 3

% de Horas de parada por Falla por Subsistema Deslaminadora marzo-setiembre 2019



Nota: La tabla muestra el % de horas de parada de deslaminadora agrupado por subsistema, se observa que en los 6 primeros subsistemas se tiene el 81% de las horas de parada entre marzo y setiembre del 2019.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema general

¿De qué manera se mejora la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de Zinc?

1.4 Justificación e Importancia

La presente investigación busca aumentar la disponibilidad operacional de la deslaminadora mediante la disminución de las horas de parada producido por las fallas de sus componentes. Las plantas de electrólisis para obtener Zinc a nivel global están formadas por celdas perfectamente alineadas y ordenadas en filas. Cada fila tiene una única deslaminadora perfectamente alineada con las celdas de manera que, el grupo de cátodos con láminas adheridas son recogidos de las celdas, trasladados y depositados en la deslaminadora para que esta realice la separación de láminas. Luego el grupo de cátodos es recogido, trasladado y depositado nuevamente en las celdas para continuar con

el proceso de electrólisis. Este flujo debe realizarse para cada celda que conforma la fila y de forma continua, la indisponibilidad de la deslaminadora interrumpe el flujo indicado afectando inmediatamente a los cátodos que ya tienen las láminas formadas con el peso nominal ya que estos se quedan depositados en las celdas aumentando de peso durante el tiempo que demore reponer la operación del equipo. Las paradas continuas y/o prolongadas de la deslaminadora tiene 2 consecuencias principales, primero se interrumpe la acumulación de láminas de zinc que se requiere para llenar los hornos, fundir y moldear las barras de zinc, que es el producto final; la segunda consecuencia es la disminución de la corriente eléctrica que fluye en las celdas, esto ocurre cuando el peso de las láminas formados llega a su límite establecido. El aumento de peso de las láminas sobre su valor nominal está directamente relacionado al tiempo de indisponibilidad de la deslaminadora, cada 1000 Amperios que se deja inyectar en un tiempo es producción de zinc metálico irrecuperable.

El aumento de la disponibilidad de la deslaminadora contribuirá a la automatización de todo el proceso de obtención de láminas desde el recojo de los cátodos en las celdas hasta volver a depositarlos en estas mismas, el trabajo continuo y correcto de la deslaminadora es crucial para eliminar la intervención humana. La investigación también permitirá revisar si los componentes de los circuitos hidráulicos y/o sensores en algún subsistema requieran alguna actualización para mejorar su performance.

El aumento de la disponibilidad de la deslaminadora contribuirá con el cumplimiento de las metas de producción evitando costos adicionales por sobretiempos al personal operativo, costos adicionales de energía eléctrica por producir a máxima carga dentro de la hora punta (el consumo en esta casa de celdas es de 20MWh). También esta reducción contribuirá a reducir las pérdidas de producción por bajar carga fuera de la hora punta, cada hora con baja corriente en esta casa de celdas representa 5 toneladas de zinc de pérdida lo que equivale a 15000 dólares en ventas.

Cuando la deslaminadora está indisponible por falla, el personal de operaciones realiza el deslaminado de forma manual para esto utiliza una lanza metálica de 1.2 m que

la introduce por los filos laterales que se forman entre el cátodo y las láminas y realiza la acción de palanca para separarlo para que el operador pueda realizar la palanca los cátodos deben estar suspendida mediante una grúa puente, este proceso es lento y peligroso dado que el operador se posiciona muy cerca a la carga suspendida. El aumento de la disponibilidad de la deslaminadora contribuirá a disminuir el riesgo de accidente por exposición a la carga suspendida y el riesgo de adquirir una enfermedad disergonómica por movimientos repetitivos forzados.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Proponer actividades de mantenimiento basadas en el análisis de modos y efectos de falla (FMEA), para mejorar la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de Zinc.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

El mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) mejora la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de Zinc.

1.7 Variables y Operacionalización de Variables

- **Variable independiente:** Mantenimiento Basado en el FMEA
- **Variable dependiente:** Mejora de la Disponibilidad

1.7.1 Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de las variables dependiente e independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
VI: Mantenimiento Basado en FMEA	Estrategia de mantenimiento basada en una metodología que permite identificar, evaluar y priorizar las fallas y tiene como objetivo prevenir, mitigar o eliminar sus efectos y consecuencias antes que ocurran.	Proceso sistemático aplicado a la deslaminadora para identificar las causas de las fallas ocurridas durante el periodo de estudio y definir las mejores acciones de mantenimiento que permitan reducir o eliminar sus consecuencias	1.Análisis de modos y efectos de falla 2.Definir prioridad de riesgo de la falla 3.Estrategia de solución	1. Frecuencia de falla y Listado de causas de Falla 2. NPR 3. Listado de acciones de modificación de diseño, acciones correctivas y acciones de modificación del plan preventivo y de Monitoreo de condición
VD: Mejora de la Disponibilidad	Es el porcentaje de tiempo que la deslaminadora se encuentra en la capacidad de cumplir su función respecto al tiempo total disponible para operar.	Es el porcentaje de tiempo que la deslaminadora puede operar sin fallar, respecto al tiempo total de disponible para ejecutar.	1.Tiempo de Parada 2.Tiempo de operación 3.Numero de eventos de falla	1. % de disponibilidad. 2. Tiempo medio de actividad (MUT). 3. Tiempo medio de inactividad (MDT).

Nota: La tabla muestra la operacionalización de las variables independiente o VI y la variable dependiente VD.

1.8 Metodología de la Investigación

1.8.1 Unidad de análisis

La unidad de análisis en la presente Investigación es una Deslaminadora que opera en la sección 73 de la Refinería de Zinc Cajamarquilla de la empresa Nexa Resources, ubicada en el distrito de Lurigancho/Chosica en Lima, Perú, y accesible por la carretera.

1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de Investigación

Tipo de Investigación: La presente investigación es de tipo aplicada ya que su fin es resolver un problema real dentro de las instalaciones de la refinería Cajamarquilla, esta se realizará utilizando como base una metodología estandarizada en la norma Análisis de modos y efectos de fallos potenciales en el diseño (FMEA de diseño), análisis de modos y efectos de fallos potenciales en procesos de fabricación y ensamblaje (FMEA de proceso) y análisis de modos y efectos de fallos potenciales para maquinaria (FMEA de maquinaria), SAE J1739:2002.

Enfoque de Investigación: La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se realiza un tratamiento en los datos de fallas para calcular las horas de parada y la disponibilidad, además se obtiene la frecuencia de fallas para calcular el tiempo medio entre falla y el de reparación.

Nivel de Investigación: La presente investigación es de nivel descriptivo y correlacional. Es descriptivo por que se ha requerido recopilar toda la información que se relaciona con las paradas por falla de la deslaminadora como la información técnica: información sobre estrategia de mantenimiento actual, el registro de detenciones por fallas con información detallada, análisis de causa raíz anteriores e historial de mantenimiento de SAP_PM. Por otro lado, es correlacional por que tiene como fin demostrar que la gestión de mantenimiento basada en la metodología FMEA incrementara la disponibilidad de deslaminadora, es decir demostrar la relación entre las variables.

1.8.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental transversal, esto es porque está basada en el análisis de falla que ya ocurrieron y que dejaron un registro de datos

como es horas de parada, mecanismo de falla, efectos en los sistemas y otros que no se pueden modificar o alterar, además la información que se recopila y analiza es de un periodo definido.

1.8.4 Fuentes de información

- Registro de fallas en Excel por operaciones
- Historial de mantenimiento cargado en SAP-PM
- Plan de mantenimiento cargado en SAP-PM
- Informe de Análisis Causa Raíz emitidos por el área de confiabilidad de la empresa
- Norma FMEA Saje J1739 del año 2010
- Juicio de expertos

1.8.5 Población y Muestra

- Población: Activos físicos de la Refinería Cajamarquilla.
- Muestra: 1 deslaminadora de la Refinería Cajamarquilla.

1.8.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo de la presente investigación se usó una combinación de técnicas e instrumentos para recolectar los datos, tales como:

- **Observación:** Se observó el estado del equipo y las consecuencias que dejaron las fallas ocurridas y las que continuaron ocurriendo durante el periodo de investigación.
- **Documentos y registros:** Se recopiló el registro de fallas de operaciones y el revisado por confiabilidad, el historial de mantenimiento de SAP y los planes de mantenimiento cargados, los análisis de causa raíz desarrollados anteriormente y los análisis de desvío de meta realizados mensualmente.
- **Entrevistas:** Se conversó con el personal operador de máquina y el técnico de guardia de mantenimiento para entender y complementar su reporte de fallas.
- **Grupos focales:** Se realizó entrevista a los técnicos especialistas de mantenimiento agrupados por disciplina electro-instrumentistas y mecánicos para

evaluar y definir las causas de falla y las acciones que permitan eliminarlas o mitigarlas. En este paso se realizaron 2 preguntas básicas:

¿De acuerdo con su experiencia cual son las causas de falla del mecanismo de falla identificados?

¿Cuáles son las acciones de mantenimiento que realizo para eliminar o mitigar las causas falla?

- **Técnica Delfhi:** Se realizó entrevistas a expertos en algunos temas específicos como por ejemplo especialistas en hidráulica para definir las soluciones precisas y tecnológicas.

1.8.7 *Análisis y procesamiento de datos*

La primera información que se procesa y analiza es el registro de fallas de la deslaminadora, se lee cada reporte y se identifica el componente, modo y mecanismo de falla, luego se realiza el Pareto de fallas y se determina los subsistemas y componentes de mayor impacto y a los componentes de mayor impacto se les realiza el análisis de modos de falla. Para definir las causas de falla se arman hipótesis empezando con el propio expertis del investigador, que utiliza los registros, la observación del equipo y valida, descarta o aumenta las hipótesis con la información que resulta de las entrevistas de los especialistas de mantenimiento y otros expertos, así como con los informes de análisis de falla anteriores. El resultado son causas identificadas con alto grado de certeza, y en base a estas causas se definen acciones de mantenimiento algunas correctivas, otras preventivas para modificar y/o crear en SAP-PM y otras acciones de cambios y/o reforzamientos en el diseño, por tanto, las acciones de mantenimiento se van a ejecutar según la prioridad definida en la metodología con el número de prioridad de riesgo.

Capítulo II. Marco teórico y Marco Conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 *Mantenimiento*

Jezdimir Knezevic (1996) define el mantenimiento como “el conjunto de tareas de mantenimiento realizadas por el usuario para mantener la funcionalidad del sistema durante su vida operativa” (pp.19, 17). Además, el autor menciona que las tareas de mantenimiento más comunes son limpieza, ajuste, comprobación, inspección, lubricación, pintura, calibración, sustitución, reparación, restauración, renovación.

B.S.Dhillon (2002) define mantenimiento como todas las acciones apropiadas para conservar un artículo, pieza o equipo en una condición determinada o restaurarlo a ella (p.15).

2.1.2 *Tipos de mantenimiento*

La norma ISO14224:2016 agrupa los tipos de mantenimiento según el momento de la falla:

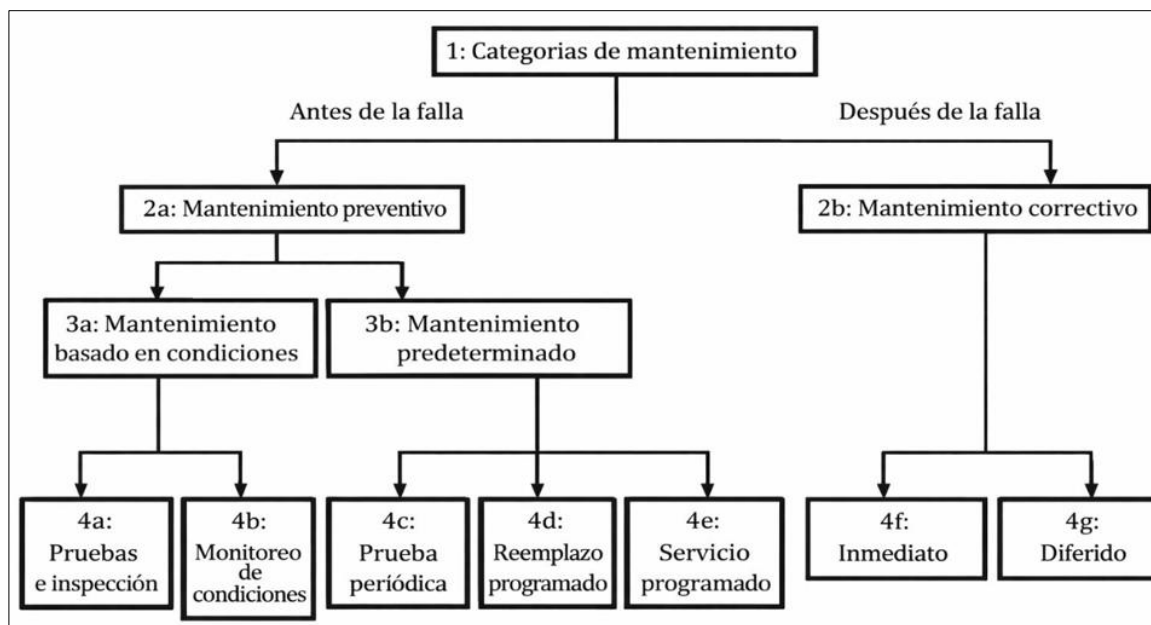
El que se realiza para corregir un elemento después de la falla (mantenimiento correctivo) y el que se realiza para prevenir fallas (mantenimiento preventivo); parte de este puede consistir simplemente en comprobaciones (inspecciones, pruebas) para verificar el estado y el rendimiento del equipo y así decidir si se requiere o no mantenimiento preventivo. (Organismo Internacional de Estandarización [ISO], 2016, p.42)

Según ISO 14224:2016 la modificación no se define como un tipo de mantenimiento, pero es una tarea que suele realizar el departamento de mantenimiento y puede influir en la confiabilidad y el rendimiento de un elemento. (ISO, 2016, p.42)

La figura 4 muestra los tipos de mantenimiento agrupados en 2 ramas; el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo, una clasificación adecuada permitirá mejorar la gestión de los indicadores de planeamiento, programación y la distribución de recursos de mantenimiento.

Figura 4

Estructura de tipos de mantenimiento



Nota: La figura muestra los tipos de mantenimiento clasificados en 2 ramas antes y después de la falla, la prueba periódica se realiza para detectar fallas ocultas, el servicio programado es para actividades menores o mayores que prolonguen la vida útil del equipo, el mantenimiento correctivo diferido abarco el mantenimiento correctivo planeado. Fuente: Norma ISO 14224: 2016

2.1.3 Disponibilidad

Escobar (2024) define la disponibilidad como “la capacidad de los equipos de funcionar correctamente y listos para su uso en cualquier momento que se necesiten”. La disponibilidad también es un indicador que se utiliza a menudo en las industrias para medir la performance del equipo y “puede ser afectado por diferentes circunstancias como el mantenimiento adecuado, la durabilidad de los componentes, la accesibilidad a piezas de repuesto, entre otros” (p. 9-10).

Según ISO 14224:2016 en mantenimiento generalmente se utiliza 2 tipos de disponibilidad; la operacional y la intrínseca, la diferencia principal es que la operacional depende de la combinación de aspectos que implican el entorno del equipo como la instalación, los procedimientos, la política de mantenimiento, el rendimiento del soporte de mantenimiento, el rendimiento de los técnicos, entre otros; por lo tanto, no es una propiedad intrínseca del equipo en sí (ISO ,2016, p. 212).

Para la investigación utilizaremos la disponibilidad operacional y según ISO 14224 se calculará como un % utilizando como denominador el tiempo de horas calendario y el numerador será el tiempo calendario restado de las horas de mantenimiento planificado y las horas de paradas por fallas (ISO ,2016, p. 213).

$$D = \left(\frac{t - tp - tc}{t} \right) \times 100\%$$

Donde:

D: Disponibilidad en %.

t: Horas calendario.

tp: Horas de parada por mantenimiento planificado

tc: Horas de parada por falla.

2.1.4 Tiempo medio de actividad (MUT)

ISO 14224 :2016 define el MUT como el tiempo medio de actividad del sistema estimado utilizando el tiempo de actividad real observado en el campo (ISO, 2016, p. 212)

El MUT se obtiene de dividir, la suma total de horas de operación entre el número de fallas (Tavares, 2000, p. 53). Las horas de operación resulta de restar al tiempo en horas calendario, las horas de mantenimiento planificado y las horas de parada por falla.

$$MUT = \left(\frac{t - tp - tc}{f} \right)$$

Donde:

MUT: Tiempo medio de actividad en Horas.

t: Horas calendario.

tp: Horas de parada por mantenimiento planificado

tc: Horas de parada por falla.

f: Numero de eventos de falla durante el periodo "t"

2.1.5 Tiempo medio de inactividad (MDT)

ISO 14224:2016 define el MDT como el tiempo medio durante el cual el sistema permanece inactivo, es decir cuando no puede funcionar como se requiere debido a una falla interna, esto incluye todos los retrasos entre la falla y la restauración del funcionamiento del sistema: detección de la falla, disponibilidad repuestos, política de mantenimiento, seguridad, etc. El MDT no es un parámetro intrínseco a diferencia del tiempo medio de reparación o MTTR, ya que depende del contexto en el que se utiliza el sistema (ISO, 2016, p. 223).

El MDT se obtiene de dividir, la suma total de horas de parada por falla entre el número de fallas (Tavares, 2000, p.53).

$$MDT = \frac{tc}{f}$$

Donde:

MDT: Tiempo medio de inactividad en Horas.

tc: Horas de parada por falla.

2.1.6 Tiempo medio transcurrido entre fallas (METBF)

La norma ISO 14224: 2016 define el METBF como el tiempo transcurrido esperado entre fallas sucesivas de un sistema reparable (ISO, 2016, p.12).

Según ISO 14224: 2016 el METBF se obtiene de sumar el MUT y el MDT (ISO, 2016, p. 223).

$$METBF = MUT + MDT$$

Donde:

METBF : Tiempo medio transcurrido entre fallas en Horas.

MUT : Tiempo medio de actividad en Horas.

MDT : Tiempo medio de inactividad en Horas.

2.1.7 Metodología de Análisis y Modos de Efectos de Falla (FMEA)

Es una metodología que analiza las fallas que podrían ocurrir durante el diseño, fabricación u operación de un equipo, identificando sus efectos y causas, estableciendo acciones para eliminarlos o controlarlos.

2.1.7.1. Referencias Normativas:

De acuerdo a lo señalado en las notas técnicas de prevención NPT 679, la metodología FMEA fue aplicada por primera vez en la industria aéreo espacial en los años 60 lo que fue una especificación en la norma militar americana MIL-STD-16291 denominada Procedimientos para la Realización de Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad, posteriormente fue utilizada por la empresa Ford en la década del 70 para luego expandirse a toda la industria automotriz, actualmente es utilizada como una herramienta de confiabilidad en la industria en general (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], 2004, p.1).

Posteriormente fueron creadas diversas directrices y normas que describen como realizar la metodología, ofrecen una plantilla modelo y describen el paso a paso a detalle, actualmente los estándares más conocidos son:

- IEC 60812:2018 Análisis de modos de fallo y efectos (FMEA y FMECA) de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).
- SAE J1739:2021 Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR complementario y FMEA de proceso de la Sociedad de Ingenieros Automoción (SAE).
- SAE ARP5580:2020 Prácticas recomendadas de análisis de modos de falla y efectos (FMEA) para aplicaciones no automotrices.
- FMEA AIAG & VDA Análisis de Modos y Efectos de Fallas primera edición del 2019 estándar armonizado de Grupo de Acción de la Industria Automotriz (AIAG) y La Asociación Alemana de la Industria Automotriz (VDA).

2.1.7.2. Beneficios del FMEA:

Aunque inicialmente el FMEA fue creado para analizar un producto en su fase inicial

de diseño NTP 679 nos indica:

Este método es válido para cualquier tipo de proceso o situación, entendiendo que los procesos se encuentran en todos los ámbitos de la empresa, desde el diseño y montaje hasta la fabricación, comercialización y la propia organización en todas las áreas funcionales de la empresa. Evidentemente, este método a pesar de su enorme sencillez es usualmente aplicado a elementos o procesos clave en donde los fallos que pueden acontecer, por sus consecuencias puedan tener repercusiones importantes en los resultados esperados. El principal interés del FMEA es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctoras) para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias (INSST, 2004, p.1).

La metodología FMEA aplicada a mantenimiento presenta diversos beneficios entre los que tenemos:

- Debido a que se puede implementar en cualquier etapa de la vida del sistema, su uso durante la etapa de operación permite enfocarse en analizar las fallas registradas, volviendo una herramienta de mejora continua de rápida aplicación.
- Debido a su enfoque en el componente permite que las acciones resultantes sean de fácil gestión para el área de mantenimiento.
- Su aplicación permite la estandarización el registro de fallas lo que sirve como entrada para otros análisis de confiabilidad.
- Permite reducir el tiempo de aplicación para equipos que tiene varios años de operación, al ser equipos conocidos por mantenimiento su división en componentes, identificación de los modos, efectos y causas de falla es más precisa y rápida esta forma no requiere determinar funciones específicas en los componentes.

2.1.7.3. Definiciones de términos fundamentales para el FMEA:

A continuación, se presentan los conceptos principales correspondientes al FMEA:

- a) Componente:** Puede ser una pieza o un conjunto de piezas enfocado al análisis, en este nivel se debe tener el registro de falla.
- b) Función:** Según SAE J1739:2002 describe el propósito del componente analizado en la forma más concisa posible, incluyendo información sobre el diseño (métricas / medibles) que describe el componente (Sociedad de Ingenieros Automoción [SAE], 2002, p.30).
- c) Modo de falla:** Según SAE J1739:2002 es la manera en el componente no entrega la función deseada (SAE, 2002, p.31). Según ISO 14224:2016 el modo de falla es la manera en que se manifiesta la falla y puede direccionarse en los diversos niveles de profundidad de la jerarquía de sistema según el análisis a realizar (ISO, 2016, p.7 y 32).
- d) Efecto de Falla:** Según NPT 679 es la forma como se manifiesta el modo de falla para el operador y como repercute en el sistema. Se trata de describir las consecuencias no deseadas del fallo que se puede observar o detectar (INSST, 2004, p.3).
- e) Mecanismo de falla:** Para ISO 14224:2016 es el proceso físico, químico, lógico o una combinación de estos que produce la de falla del componente (ISO, 2016, p.7).
- f) Causa de falla:** Para SAE J1739:2002 se define como una indicación de una debilidad de diseño, cuya consecuencia es el modo de falla (SAE, 2002, p.33).
Para ISO 14224:2016 la causa de falla es el conjunto de circunstancias que provocan una falla y puede originarse durante la especificación, el diseño, la fabricación, la instalación, la operación o el mantenimiento de un elemento. Se requiere el debido cuidado para no confundir el mecanismo de falla (que describe la causa aparente y observada de la falla) con la causa de la falla (que describe la causa subyacente o “raíz” de una falla) (ISO ,2016, pp.6, 181).
- g) Controles actuales de la Sistema:** Según NPT 679 son las actividades existentes actualmente para prevenir las causas de falla y detectar el efecto resultante. (INSST, 2004, p. 4).

Según SAE J1739: 2002 hay 2 tipos de controles a considerar, el de prevención que sirve para que el mecanismo o causa de falla no se produzca, o para reducir su incidencia y el de detección que sirve para la causa, mecanismo o modo de falla ya sea por métodos analíticos o físicos (SAE, 2002, p. 34).

- h) **Numero de prioridad de riesgo (NPR):** Juarez (2019) menciona que el NPR es una representación del producto de la gravedad de un grupo de efectos (Severidad), la probabilidad que la causa provocara la falla asociada con esos efectos (ocurrencia) y la habilidad de detectar la falla antes que esta llegue al sistema (detección) el autor precisa que el número resultante es utilizado para ayudar a identificar los riesgos más críticos y conducir a la acción a correctiva. (p. 39)

$$NPR = S \times O \times D$$

Donde:

NPR : Número de Prioridad de Riesgo.

S : Severidad

D : Detección

O : Ocurrencia

Gonzales (2024) menciona un rango numérico de NPR y se define 3 niveles, si el NPR es mayor a 120 es inaceptable requiere alguna acción, si es menor de 75 es aceptable no requiere acciones, el resto de los valores indica que es mediamente aceptable, pero tiene oportunidad de mejora. (p.104)

- i) **Severidad (S):** De acuerdo con SAE J1739:2002 es el rango asociado con el efecto más grave para un modo de falla determinado, es una clasificación relativa dentro del alcance individual del FMEA. La reducción del índice de clasificación de severidad solo es posible si existe alguna modificación en el diseño del componente analizado (SAE, 2002, p. 32). La tabla 3 muestra los criterios para determinar la

severidad, es una clasificación semi cuantitativa basada en las escalas indicadas en SAE J1739:2002.

- j) **Ocurrencia (S):** De acuerdo con SAE J1739:2002 es el rango asociado a la probabilidad de que un mecanismo de falla o causa de falla se produjese en un plazo de tiempo específico, la reducción del índice de clasificación de la ocurrencia está asociada a cambios de diseño y/o modificaciones de los controles de prevención del componente analizado (SAE, 2002, pp. 33, 34). La tabla 4 muestra los criterios para determinar la ocurrencia, es una clasificación cuantitativa basada en las escalas indicadas en SAE J1739:2002, utiliza el número de eventos relacionados con el mecanismo o causa de falla del componente analizado en un periodo de tiempo definido.

Tabla 2

Criterios Propuestos para determinar la severidad de la falla

Efectos	Severidad del Efecto	Clasificación
Peligrosos - Sin advertencia	Rango de muy alta gravedad - Afecta al operador, planta o personal de mantenimiento, seguridad y/o afecta el incumplimiento de las regulaciones gubernamentales, sin advertencia. Tiempo de inactividad de operación mayor o igual a 48 horas	10
Peligrosos, con advertencias	De alto rango de gravedad - Afecta al operador, planta o personal de mantenimiento, seguridad y/o afecta el incumplimiento de las regulaciones gubernamentales, con advertencia. Tiempo de inactividad entre 24 y 48 horas	9
Muy alto	Tiempo de inactividad de la operación desde las 8 y hasta las 24 horas	8
Alto	Tiempo de inactividad de la operación entre 4 y 8 horas.	7
Moderado	Tiempo de inactividad de la operación desde 2 y hasta las 4 horas.	6
Bajo	Tiempo de inactividad de la operación entre 1 y 2 horas.	5
Muy bajo	Tiempo de inactividad de la operación desde 30 y hasta 60 minutos.	4
Menor	Tiempo de inactividad menor a 30 minutos.	3
Muy menor	Variación de los parámetros de proceso fuera de los límites de especificación. Durante la producción deben realizarse ajustes u otro tipo de controles del proceso. No hay tiempo de inactividad ni producción de piezas defectuosas.	2

Efectos	Severidad del Efecto	Clasificación
Ninguno	Variación de los parámetros de proceso dentro de los límites de especificación. Ajustes u otro tipo de controles de proceso se puede realizar durante el mantenimiento normal.	1

Nota: La tabla muestra los criterios para evaluar los efectos del modo de falla asociado con el componente analizado y clasificarlos mediante un valor. Fuente: SAE J1739: 2002.

k) Detección (S): De acuerdo con SAE J1739 es el rango asociado con el mejor control de detección actual en el sistema para identificar el modo de falla, mecanismo de falla o causa de falla del componente analizado (SAE, 2002, p. 35). La tabla 5 muestra los criterios para determinar la detección, la clasificación está basada en las escalas indicadas en SAE J1739:2002.

Tabla 3

Criterios Propuestos para determinar la ocurrencia de la falla

Criterio: Posible número de fallas dentro de las horas de operación	Clasificación
1 en 1	10
1 en 8	9
1 en 24	8
1 en 80	7
1 en 350	6
1 en 1000	5
1 en 2500	4
1 en 5000	3
1 en 10000	2
1 en 25000	1

Nota: La tabla muestra los criterios para evaluar la ocurrencia basándose en el número eventos de falla y clasificarlos mediante un valor. Fuente: SAE J1739: 2002.

Tabla 4

Criterios Propuestos para determinar la detección de la falla

Detección	Criterio: Probabilidad de detección de diseño y/o control de maquinaria	Clasificación
Casi imposible	El control establecido no puede detectar la causa de falla o mecanismo, no existen controles.	10
Muy remota	Muy remota posibilidad que el control establecido pueda detectar la causa o mecanismo de falla.	9
Remota	Remota posibilidad que el control establecido pueda detectar la causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo proporciona la indicación de falla.	8

Detección	Criterio: Probabilidad de detección de diseño y/o control de maquinaria	Clasificación
Muy baja	Muy baja posibilidad que el control establecido puede detectar la causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo va a aislar la falla después de que ocurra.	7
Baja	Baja posibilidad que el control establecido pueda detectar la causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo dará indicación de la falla inminente.	6
Medio	Posibilidad media que el control establecido pueda detectar la causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo evita la falla inminente.	5
Moderadamente alto	Moderadamente alta posibilidad que el control establecido pueda detectar la causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo evita la falla inminente.	4
Alto	Alta posibilidad que el control establecido pueda detectar la causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo evita la falla inminente y aísla la causa de falla.	3
Muy alto	Muy alta posibilidad que el control establecido pueda detectar la causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo no es activado.	2
Casi con certeza	El control establecido detecta casi con certeza una posible causa o mecanismo de falla. El sistema de control del equipo no es activado.	1

Nota: La tabla muestra los criterios para determinar la detección de la falla del componente se evalúa el mejor control actual y clasificarlos mediante un valor. Fuente: SAE J1739: 2002.

2.1.7.4. Pasos para la aplicación de la metodología FMEA: La metodología FMEA tiene una estructura general de 12 pasos, una descripción detallada de cada paso se puede encontrar en las normas mencionas en dicho subcapítulo. La tabla 6 muestra un listado de los pasos de forma general, estos pasos pueden aplicarse para ejecutar un análisis FMEA no solo en mantenimiento si no a cualquier área de la industria (diseño, desarrollo y rediseño de productos y procesos).

Tabla 5

Pasos para la aplicación del FMEA

Paso	Descripción	Detalle
1	Definir el elemento a evaluar.	Se define a que nivel del sistema se enfocará la evaluación.
2	Definir la función del elemento y sus requisitos de funcionamiento.	Se define la función del elemento acompañado de estándares de rendimiento.
3	Identificar los modos de falla que podrían ocurrir	Se describen como podría manifestarse la pérdida de función del elemento analizado.
4	Identificar los efectos de falla que podrían ocurrir	Se describe el impacto que se genera en el sistema si ocurriese el modo de falla del elemento analizado.

Paso	Descripción	Detalle
5	Calcular el valor de clasificación de la severidad. (S)	Se obtiene de la tabla de severidad, esta debe ser previamente ajustada para la realidad del sistema.
6	Identificar las mecanismos y causas de falla que podrían ocurrir.	Se describen las posibles causas físicas, humanas o latentes de cada modo de falla que podría ocurrir.
7	Calcular el valor de clasificación de la ocurrencia. (O)	Se obtiene de la tabla de ocurrencia, la cual debe ser previamente ajustada para la realidad del sistema.
8	Identificar los controles actuales del elemento.	Se describen los controles de detección y prevención existentes relacionados con cada modo de falla, mecanismo o causa de falla que podría ocurrir.
9	Calcular el valor clasificación de la detección. (D)	Se obtiene de la tabla de detección, la que debe ser previamente ajustada para la realidad del sistema.
10	Calcular el valor del Número de Prioridad de Riesgo inicial (NPR)	Se obtiene del producto S, O y D definidos anteriormente que se utilizan para jerarquizar la importancia de las acciones definidas.
11	Definir los nuevos controles y/o modificaciones de diseño	Se describen las acciones que permitirán la disminución en la clasificación de alguno de los índices S, O y D esta acción está orientada al elemento de analizado.
12	Calcular el Número de Prioridad de Riesgo Final (NPR)	Se obtiene del producto de los nuevos valores S, O y D, los valores se determinan proyectando el impacto que tendría la implementación de las acciones definidas en el análisis..

Nota: La tabla muestra los pasos a seguir en orden para aplicar la metodología FMEA el método puede ser aplicado a cualquier área de una fuente: SAE J1739:2002, Sociedad de Ingenieros Automoción, 2002.

La metodología aplicada a un problema mantenimiento puede ser ajustada dependiendo la etapa de la vida en la que se encuentra el sistema, para un sistema que tiene años de funcionamiento se debe realizar el análisis a nivel componente y no es necesario describir las funciones de estos componentes, con una revisión detallada del registro de falla podemos obtener los modos de falla potenciales, el efecto directo en el sistema (horas de parada) y el número de eventos de falla en el periodo analizado. La tabla 7 muestra los pasos de la metodología FMEA que utilizaría el área de mantenimiento cuando aplique la metodología a un sistema con varios años de operación.

Tabla 6

Pasos para la aplicación del FMEA en sistema con varios años de operación

Paso	Descripción	Detalle
1	Realizar la subdivisión del Sistema hasta el nivel componente	El análisis se realizará a nivel de componente

Paso	Descripción	Detalle
2	Identificar los modos de falla	Se listarán los modos de falla del componente identificados en el historial de mantenimiento y/o registro de fallas. Se describe el impacto que se genera en el sistema asociado al modo de falla, aquí se requiere registro de paradas y/o otras herramientas como el sistema de supervisión, control y adquisición de datos para determinar las horas de parada, además de revisión con expertos de mantenimiento y operaciones para identificar el impacto relacionado a seguridad y medio ambiente.
3	Identificar los efectos de falla	
4	Calcular el valor de clasificación de la severidad. (S)	Se obtiene de la tabla de severidad, la tabla debe ser previamente ajustada para la realidad del sistema. Se utilizará el registro de fallas, los análisis de confiabilidad, el juicio de experto del personal de mantenimiento y operaciones hasta llegar a un nivel de profundidad adecuada.
5	Identificar las mecanismos y causas de falla.	
6	Calcular el valor de clasificación de la ocurrencia. (O)	Se obtiene de la tabla de ocurrencia, la tabla debe ser previamente ajustada para la realidad del sistema.
7	Identificar los controles actuales del elemento.	Se utilizará la estrategia actual de mantenimiento que está cargada en el sistema de mantenimiento.
8	Calcular el valor clasificación de la detección. (D)	Se obtiene de la tabla de detección, la tabla debe ser previamente ajustada para la realidad del sistema.
9	Calcular el valor del Número de Prioridad de Riesgo inicial (NPR)	Se obtiene del producto S, O y D definidos anteriormente que se utilizan para jerarquizar la importancia acciones definidas. Se priorizará en la medida de lo posible las modificaciones de diseño, seguido de los cambios de las rutinas de mantenimiento, inspección y monitoreo de condición, el análisis arrojará algunas acciones correctivas que deben ser programadas según lo indique el valor de NPR.
10	Definir los nuevos controles y/o modificaciones de diseño	
11	Calcular el Número de Prioridad de Riesgo Final (NPR)	Se obtiene del producto de los nuevos valores S, O y D, los valores se determinan proyectando el impacto que tendría la implementación de las acciones definidas en el análisis.

Nota: La tabla muestra los pasos a seguir en orden para aplicar la metodología FMEA en sistema de mantenimiento con varios años de operación.

Para aplicar correctamente el FMEA en mantenimiento, el Ingeniero de Mantenimiento debe conocer el sistema, sus objetivos, sus necesidades y el correcto funcionamiento, se debe asegurar de realizar una adecuada división de los subsistemas y componentes, debe definir las necesidades, reglas y restricciones en que se basa el análisis (Crespo et al., 2004, p. 126).

2.1.8 Deslaminadora de cátodos.

La deslaminadora es un sistema de arrancado de cátodos, por ello en la tabla 1 indica los criterios de diseño de la deslaminadora de la sección 73 de la Refinería Cajamarquilla, donde los cátodos son transportados por una grúa puente y son dejados en la mesa de recepción de cátodos. La mesa de recepción de cátodos mediante un avance con cilindro hidráulico entrega los cátodos a la mesa de arrancado, este posiciona al cátodo para que actúe primero en el penetrador vertical de pre arrancado y luego el arrancador vertical, la figura 5 muestra una vista del primer nivel de la deslaminadora en donde se observan la mesa de recepción y evacuación de cátodos, la unidad de cepillado y lavado y el arrancador vertical, finalmente entrega el cátodo sin láminas a la unidad de transferencia lateral, el cual entrega los cátodos a la mesa de evacuación de cátodos vacíos, y posiciona los cátodos en la unidad de cepillado y lavado de cátodos o cepilladora mediante un movimiento galopante logra ordenar los 28 cátodos para que puedan ser trasladados nuevamente por la grúa puente hacia la celda. El par de láminas que es arrancado de cada cátodo por el arrancador vertical caen por un tobogán a la mesa de recepción de láminas o Cesta, la cesta retiene las láminas y la cadena de evacuación traslada el par de láminas hacia el manipulador de láminas, quien recoge las láminas y las posiciona en la mesa de apilado, la cual va descendiendo conforme se apilan los 28 pares cuando concluye de formarse el paquete de 28 pares a la mesa apilado, desciende hasta dejar el paquete en la cadena de extracción de paquetes la cual traslada el paquete hasta posicionarlo en una zona accesible para el recojo por un montacarga.

La deslaminadora está instalada en un área aproximada de 7m x 10m en dos niveles, en el segundo nivel se encuentra el operador, en este nivel se dejan los cátodos cargados de las láminas. La operación del primer nivel se vigila con cámaras, este nivel está rodeado por un cerco con una puerta que tiene un interruptor límite de forma que al abrir la puerta se para todo el sistema. La tabla 7 lista los subsistemas y su ubicación en la deslaminadora.

Tabla 7

Listado de subsistemas de la deslaminadora de sección 73-Refinería Cajamarquilla

Descripción del subsistema	Elemento que procesa	Ubicación
Mesa de recepción de cátodos	Cátodos-Laminas	Nivel 2
Mesa de arrancado	Cátodos-Laminas	Nivel 2
Penetrador vertical de pre-arrancado	Cátodos-Laminas	Nivel 2
Arrancador vertical	Cátodos-Laminas	Nivel 2
Unidad de antibalanceo	Laminas	Nivel 2
Unidad de transferencia lateral	Cátodos	Nivel 2
Mesa de evacuación de cátodos vacíos	Cátodos	Nivel 2
Unidad de cepillado y lavado	Cátodos	Nivel 2
Mesa de recepción de láminas	Laminas	Nivel 1
Cadena de evacuación de láminas	Laminas	Nivel 1
Manipulador de láminas	Laminas	Nivel 1
Mesa de apilado	Laminas	Nivel 1
Cadena de extracción de paquetes	Laminas	Nivel 1
Unidad hidráulica	Cátodos-Laminas	Nivel 1
Tableros eléctricos fuerza y control	Cátodos-Laminas	Nivel 1

Nota: La tabla lista los todos los subsistemas que conforman la deslaminadora. Fuente: Manual de operación y mantenimiento, Zincobre Ing, 2008.

Figura 5

Primer nivel de la deslaminadora

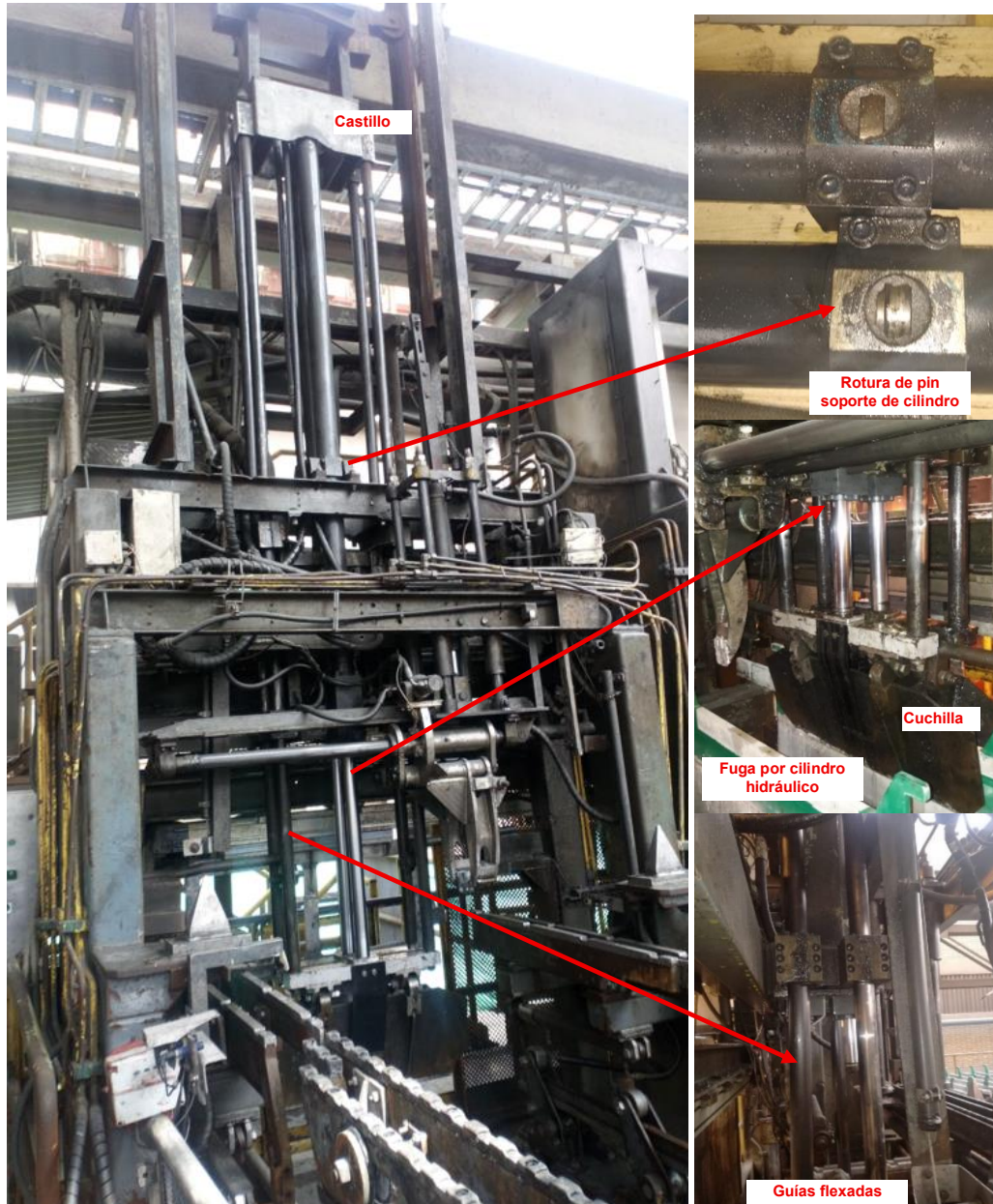


Nota: En la imagen se señalan 4 subsistemas. Primero está la mesa de recepción de cátodos donde inicia la operación con los cátodos que tienen láminas de zinc adheridas a su superficie, luego se encuentra el arrancador vertical que separa las láminas de los cátodos, posterior la unidad de cepillado y lavado que se encarga de preparar la superficie del cátodo y finalmente la mesa de evacuación de cátodos vacíos que ordena los cátodos para que sean retirados y sembrados en las celdas por la grúa puente.

La figura 6 muestra 3 fallas que han ocurrido en el arrancador vertical, primero se muestra la rotura del pin de soporte del cilindro hidráulico conocido como trunión, luego la flexión de la guías del recorrido del vástago del cilindro hidráulico y la presencia de aceite en la cuchilla debido a la fuga por el sello principal del cilindro hidráulico. Las horas de falla del arrancador vertical representan el 43% del total de horas de parada por fallas entre los meses de marzo a setiembre del 2019.

Figura 6

Fallas en el arrancador vertical



Nota: A la izquierda se muestra el arrancador vertical, a la derecha se muestran las imágenes de 3 fallas. La primera imagen muestra los cilindros hidráulicos luego de la rotura de los pines que soportan los cilindros, la segunda imagen evidencia la fuga de aceite del cilindro hidráulico y la tercera imagen muestra las guías flexadas.

En la figura 7 se muestra la tubería y manguera hidráulica que alimentan al cilindro hidráulico del arrancador vertical, la imagen superior derecha muestra el conector hidráulico que une la manguera con el cilindro y la imagen inferior derecha muestra una manguera de alimentación que presenta rotura por desgaste por fricción, esto ocurre cuando baja el castillo.

Figura 7

Tubería y manguera hidráulica de alimentación

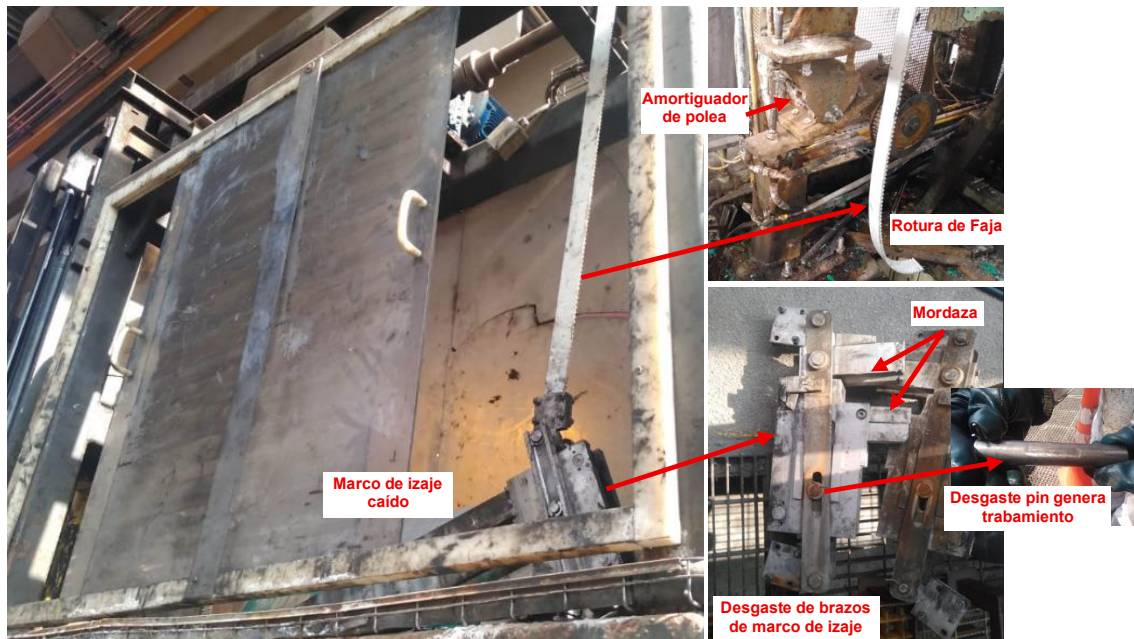


Nota: A la izquierda se muestra la tubería y manguera hidráulica que alimenta los cilindros hidráulicos del arrancador vertical, a la derecha se muestra la imagen del conector hidráulico que une el cilindro con la manguera hidráulica y la imagen de la manguera hidráulica con falla.

En la figura 8 muestra algunas fallas que ocurren en la unidad de cepillado y lavado, en la imagen de la izquierda se muestra el marco de izaje caído, a la derecha se muestra una de las fajas del marco de izaje rota, en esa misma imagen se puede observar una polea con desgaste y el amortiguador de la polea. En la parte inferior derecha se muestra los brazos del marco de izaje los cuales son un mecanismo que apertura y cierra las mordazas, de igual forma el desgaste en los brazos ocurre en sus componentes internos como son los pines y ruedas que los conforman, esto es causa de trabamiento y que las mordazas no cierren adecuadamente.

Figura 8

Fallas en la unidad de cepillado y lavado

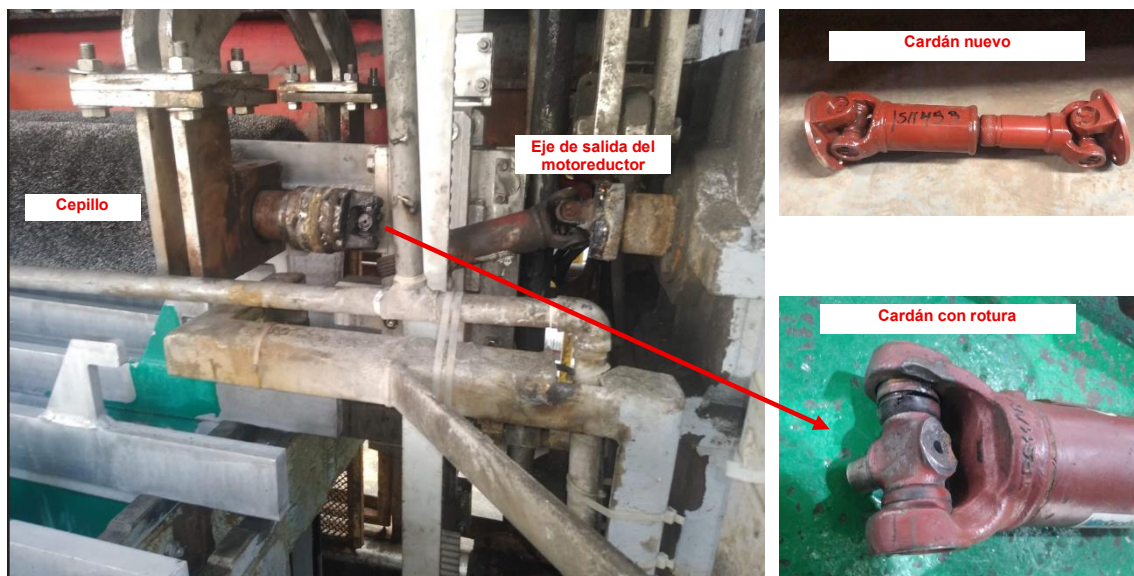


Nota: En la imagen de la izquierda se observa el marco de caído, esto es producto de la caída de un cátodo que se genera cuando la mordaza no cierra correctamente y al subir el cátodo se cae, traba al marco y se rompe la faja.

La figura 9 es una imagen de la rotura del cardán que une el eje de los cepillos con el eje de salida del motorreductor.

Figura 9

Rotura de cardan del cepillo



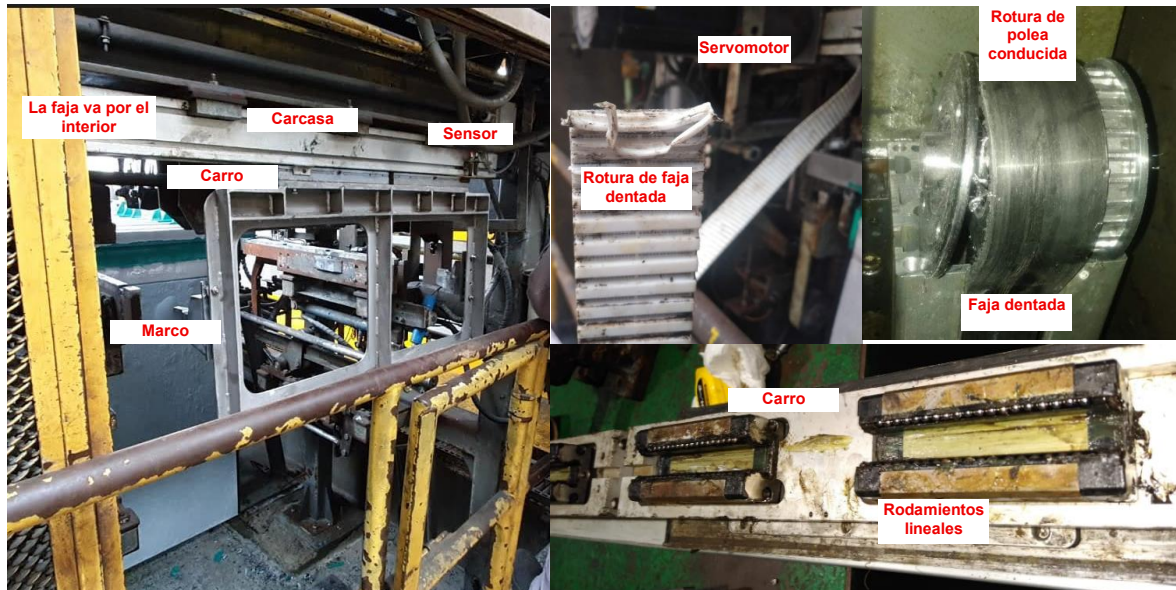
Nota: En la imagen superior derecha muestra un cardán nuevo y la inferior derecha muestra un cardán en falla.

La figura 10 muestra la unidad de transferencia lateral y se muestran 3 componentes en falla: la rotura de faja dentada, la faja que transmite el movimiento del servomotor hacia el

carro, la rotura de la polea conducida y el desgaste de los rodamientos lineales, que son componentes del carro, el cual transporta el marco que lleva el cátodo vacío.

Figura 10

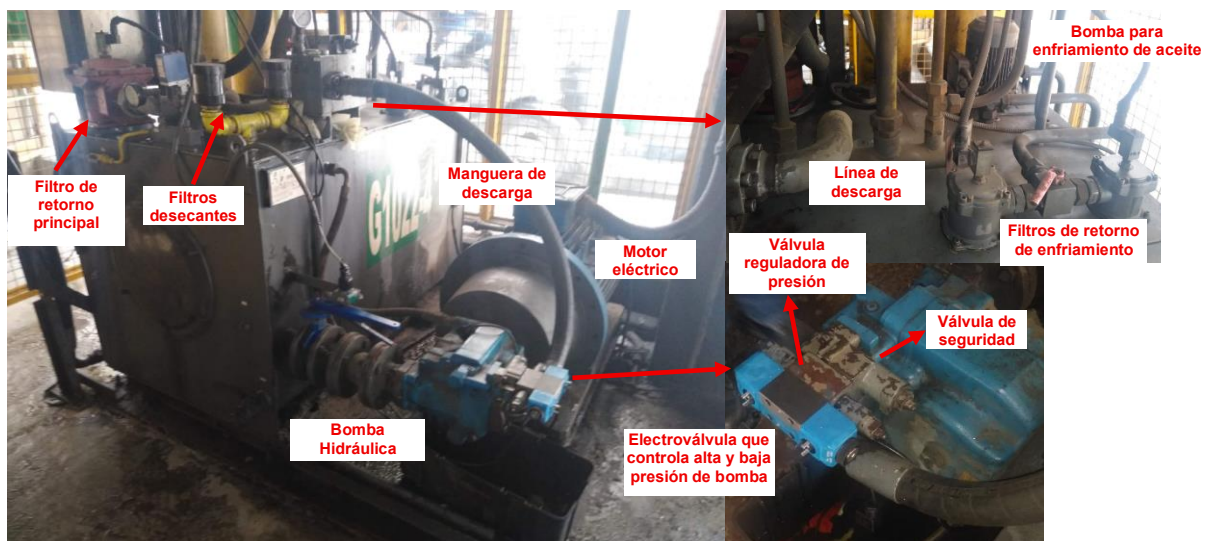
Fallas de la unidad de transferencia lateral



Nota: En la imagen a la izquierda es la unidad de transferencia lateral, a la derecha en la parte superior se muestra la faja dentada rota, la cual recorre el interior del conjunto, la polea conducida con rotura y en la imagen derecha inferior se muestra los rodamientos lineales que permiten el movimiento del carro en el interior del conjunto.

Figura 11

Unidad hidráulica y sus componentes principales



Nota: La imagen muestra a la unidad hidráulica y sus componentes principales: la bomba hidráulica que trabaja en 2 niveles de presión y es de caudal variable, la bomba de enfriamiento que trabaja con un intercambiador agua -aceite, los filtros de retorno principal y el del enfriamiento, así como las válvulas que controla la bomba hidráulica.

La figura 11 muestra la unidad hidráulica, en esta se identifican la bomba, el motor eléctrico, la electroválvula que controla el nivel de presión de la bomba, la válvula reguladora de presión, y el filtro de retorno.

2.2 Marco Conceptual

a) Análisis de Pareto

Es una metodología que se emplea para cuantificar y comparar los efectos de las diferentes causas de un problema. Se representa mediante una gráfica que ordena las causas de mayor a menor impacto, la regla fundamental que subyace al principio de Pareto es que mayoritariamente el 80% de los efectos totales proviene del 20% de las causas del problema (Escobar, 2024, p.18).

b) Acciones

Se refiere a las acciones destinadas al tratamiento de las fallas, estas pueden estar relacionadas con la modificación, el diseño un componente, con el cambio de la estrategia de mantenimiento, con la modificación de la logística de materiales, con el cambio de plan de capacitación anual del personal técnico de mantenimiento, etc.

c) Elemento

Se refiere a la parte o partes del sistema que será analizado dentro del proceso de FMEA, puede ser el mismo sistema o alguna subdivisión hasta el componente.

d) Estrategia de mantenimiento

Se refiere a los tipos de mantenimiento preventivo y/o correctivos aplicados al sistema analizado.

e) Análisis de Confiabilidad

Se refiere al proceso de utilizar métodos cualitativos o cuantitativos para evaluar un evento o eventos de falla que permitan identificar sus causas y definir acciones para eliminarlas o mitigarlas. Tradicionalmente es realizado por el área de confiabilidad dentro de la gerencia de mantenimiento.

f) Falla

Según la norma ISO14224:2016 se define como la pérdida de la capacidad del sistema para desempeñar la función requerida y de acuerdo con su desarrollo puede ser incipiente, por degradación o crítica. Es incipiente cuando inicia el proceso de la falla, por degradación cuando afecta algún requisito de funcionamiento y crítica cuando se pierde la función o afecta la seguridad, medio ambiente o la operación (ISO, 2016, p.3, 4, 6, 9).

g) Taxonomía

Según la norma ISO14224:2016 es la clasificación sistemática de elementos en grupos genéricos según factores posiblemente comunes a varios de ellos (ISO, 2016, p.17). Se utiliza para agrupar los sistemas partiendo desde un nivel superior que puede ser la línea de proceso de la planta o para subdividir los sistemas en niveles inferiores que puede ser subsistema o el componente, para facilitar la recolección de información de mantenimiento y la elaboración de los análisis de confiabilidad.

h) Sistema

Se refiere al elemento dentro de la taxonomía de una planta industrial que representa al equipo que cumple una función específica dentro del proceso. El sistema se divide en subsistemas y el subsistema en componentes. Por ejemplo, el sistema de bombeo, una faja transportadora, un tanque de proceso, etc.

i) Tiempo Medio entre fallas (MTTR):

Es una especificación de diseño que determina el tiempo que se tarda en restaurar una máquina a su estado funcional una vez que se produjo la falla. Es un valor intrínseco del sistema, es decir, no depende del contexto de la planta (Medina, 2021, p.10).

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Situación inicial de la Deslaminadora

3.1.1 Cálculo de la Disponibilidad

La tabla 8 muestra el cálculo de la disponibilidad mensual entre enero del 2018 y setiembre del 2019. Las horas de mantenimiento preventivo se obtienen de la estrategia de mantenimiento definida en SAP-PM y las horas de parada se obtienen del registro de detenciones de la deslaminadora.

Tabla 8

Disponibilidad de la deslaminadora entre enero 2018 y setiembre 2019

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
tc: Horas Calendario												
2018	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
2019	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
tp: Horas Mantenimiento Planificado												
2018	48.5	54.5	48	48.5	50.5	48	48.5	54.5	48	48.5	50.5	48
2019	48.5	54.5	48	48.5	50.5	48	48.5	54.5	48	48.5	50.5	48
tc: Horas de parada												
2018	97	96	100	98	104.8	94.3	90.2	94.3	90.9	103.8	92	98
2019	95	90	109.6	110.4	143.2	161.6	155.9	155.1	165.9			
D: Disponibilidad												
2018	80.4%	77.6%	80.1%	79.7%	79.1%	80.2%	81.4%	80.0%	80.7%	79.5%	80.2%	80.4%
2019	80.7%	78.5%	78.8%	77.9%	74.0%	70.9%	72.5%	71.8%	70.3%			

Nota. La tabla muestra los valores de Horas de mantenimiento planificado (tp) y horas de parada (tc) acumulados mensualmente

La meta de disponibilidad definida para este sistema es 80% y se observa también que la disponibilidad desde marzo del 2019 cae a mínimos históricos.

3.1.2 Cálculo de MUT, MDT y METBF

La tabla 9 muestra el cálculo de MUT, MDT y METBF mensual entre enero del 2018 y setiembre del 2019. El número de fallas se obtiene del registro de detenciones de la deslaminadora.

Tabla 9*MUT, MDT y METBF de la deslaminadora entre enero 2018 y setiembre 2019*

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
f: Número de fallas												
2018	35	34	40	41	40	42	42	37	37	42	39	38
2019	40	36	48	58	50	44	50	69	43			
MUT: Tiempo medio de actividad												
2018	17.1	15.3	14.9	14.0	14.7	13.8	14.4	16.1	15.7	14.1	14.8	15.7
2019	15.0	14.7	12.2	9.7	11.0	11.6	10.8	7.7	11.8			
MDT: Tiempo medio de inactividad												
2018	2.8	2.8	2.5	2.4	2.6	2.2	2.1	2.5	2.5	2.5	2.4	2.6
2019	2.4	2.5	2.3	1.9	2.9	3.7	3.1	2.2	3.9			
METBF: Tiempo medio transcurrido entre fallas												
2018	19.9	18.2	17.4	16.4	17.3	16.0	16.6	18.6	18.2	16.6	17.2	18.3
2019	17.4	17.2	14.5	11.6	13.9	15.3	13.9	10.0	15.6			

Nota. La tabla muestra los valores de “MUT” y “MDT” y “METBF” acumulados mensualmente

3.1.3 Definición del Alcance del Análisis

Los indicadores de disponibilidad y METBF muestran que entre los meses de marzo y setiembre del 2019 se han obtenido los valores más bajos de los últimos 21 meses con una pronunciada tendencia a continuar en descenso, mientras que en los meses anteriores los valores se encontraban dentro de la meta, esto nos indica que los eventos de falla ocurridos en este periodo será el objetivo de análisis.

La tabla 10 muestra el número de horas de parada por falla, el % de horas relativo y % acumulado de cada subsistema entre los meses de marzo y setiembre del 2019. Alineado con Pareto las fallas de 6 de los 15 subsistemas representan el 81% de las horas de parada, esto nos indica que el análisis estará enfocado en los 6 subsistemas mencionados arrancado vertical, unidad de transferencia lateral, unidad de cepillado y lavado, unidad hidráulica, mesa de recepción de cátodos y mesa de arrancado.

Tabla 10*Distribución de Horas de Falla por subsistema*

Subsistema	Horas de parada	% Horas Relativo	% Horas Acumulado
Arrancador Vertical	438.4	44%	44%
Unidad de Transferencia Lateral	126.6	13%	56%
Unidad de Cepillado y Lavado	99.2	10%	66%
Unidad Hidráulica	56.0	6%	72%
Mesa de recepción de cátodos	48.5	5%	77%
Mesa de arrancado	41.3	4%	81%
Mesa de evacuación de cátodos vacíos	34.0	3%	84%
Penetrador vertical de pre-arrancado	34.0	3%	88%
Tablero de control	24.3	2%	90%
Cadena de extracción	24.0	2%	92%
Manipulador de láminas	20.8	2%	95%
Mesa de recepción de láminas	19.4	2%	96%
Mesa de Apilado	14.8	1%	98%
Unidad de antibalaneo	13.6	1%	99%
Cadena de evacuación de láminas	6.8	1%	100%

Nota. Los 6 primeros subsistemas representan el 81% de las horas de parada.

3.2 Desarrollo de la metodología**3.2.1 Taxonomía del Sistema**

La tabla 11 muestra una parte taxonomía de 3 de los 6 subsistemas analizados, el nivel de profundidad es el componente, y la taxonomía completa se puede ver en el Anexo 1.

Tabla 11*División de los subsistemas en componentes*

Arrancador vertical	Unidad de Transferencia Lateral	Unidad de Cepillado y Lavado
Cilindro hidráulico	Marco	Marco de izaje
Manguera hidráulica	Faja	Cepillo
Conector hidráulico	Poleas	Cardan
Cuchilla	Servomotor	Faja
Tubería hidráulica	Carcasa	Polea
Guías	Sensor	Motoreductor de cepillo

Nota. La tabla presenta una parte de la taxonomía de 3 subsistemas.

3.2.2 Identificación del componente, modo de falla y mecanismo de falla

Se analizó en detalle cada uno de los registros de parada, donde la información de la falla es complementada con información del SAP-PM, reportes de guardia de los mantenedores y operadores, análisis de falla de ingenieros de mantenimiento y juicio de

expertos. En total, se analizaron 190 registros de falla entre los 6 subsistemas definidos en el alcance, la tabla 12 muestra el resultado del análisis de 16 registros de falla. De igual forma, el análisis de los 190 registros se puede observar en el Anexo 2.

Tabla 12

Identificación de componente, modos y mecanismos de falla para 16 registros de parada

Fecha	Hora Parada	Hora Arranque	Hxf	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
24-Mar	11:00	16:30	5.50	Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
5-Abr	02:00	05:00	3.00	Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
10-Abr	09:30	10:00	0.50	<i>Arrancador Vertical</i>	Interruptor limite	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de LS
17-Abr	00:15	05:00	4.75	Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
15-May	09:30	13:30	4.00	Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
20-May	13:30	14:00	0.50	<i>Arrancador Vertical</i>	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje
31-May	12:00	16:30	4.50	Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
8-Jun	07:30	07:30	96.0	<i>Arrancador Vertical</i>	Cilindro hidráulico	Cilindro hidráulico caído	Rotura por fatiga de pin de soporte de cilindro
19-Jun	09:00	10:00	1.50	<i>Arrancador Vertical</i>	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía
11-Jul	07:30	10:10	2.67	Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
17-Jul	09:00	12:00	3.00	Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
24-Jul	12:00	12:24	0.40	<i>Arrancador Vertical</i>	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje
24-Ago	04:30	05:00	0.50	<i>Arrancador Vertical</i>	Interruptor limite	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de LS
29-Ago	10:00	15:30	5.50	Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
22-Set	07:10	09:30	2.33	Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
29-Set	04:00	05:30	1.50	<i>Arrancador Vertical</i>	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía

Nota. Hxf es el tiempo de parada por cada falla de la deslaminadora expresado en horas.

Una vez se ha identificado el componente, modo y mecanismo de falla para cada registro se agrupan los que sean iguales y se suman las horas de parada. La tabla 13

muestra los modos de falla que se presentan en la tabla 12 resumidos en 7 grupos. Asimismo, de los 190 registros de falla se identificaron 38 grupos de modos de falla, estos se pueden observar en el Anexo 3.

Tabla 13

Identificación de 7 grupos de modos de falla

Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	N° Fallas	Horas
Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	2	193.8
Arrancador Vertical	Interruptor limite	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de LS	6	3.0
Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	4	6.0
Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	6	2.7
Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	11	50.0
Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	8	22.3
Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	12	37.7

Nota. "Horas" es la suma de las horas de parada de las fallas asociadas a ese grupo.

3.2.3 Identificación del efecto de la falla y la severidad (S)

Se realiza la evaluación para cada uno de los 38 modos de falla identificados, la tabla 14 muestra la identificación de los efectos de falla y el valor de la severidad (S) para los 7 grupos de modos de falla mostrados en la tabla 13, el listado completo se muestra en el Anexo 4.

Tabla 14

Identificación de los efectos y la severidad para los 7 grupos mostrados en la tabla 13

Subsistema	Componente	Modo falla	Efecto de falla	Severidad S
Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Daño crítico en guías, cuchilla y estructura Parada de deslaminadora por 98h Parada de electrólisis 48h	10
Arrancador Vertical	Interruptor limite	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4
Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Parada de deslaminadora por 2h	6
Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4
Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Parada de deslaminadora 5.5h	7

<i>Unidad de Cepillado y lavado</i>	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Rotura de faja Parada de deslaminadora 3.5h	6
<i>Unidad de Cepillado y lavado</i>	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Deformación de marco Daño en sistema de poleas Rotura de cátodo Parada de deslaminadora 4.75h	7

Nota. Las horas de parada de la deslaminadora se obtiene del registro que tiene mayor número de horas de parada en cada uno de los 38 grupos de registros identificados, las horas de parada de la deslaminadora sería equivalente al tiempo de inactividad que es el criterio por utilizar en la tabla 2.

3.2.4 Identificación de la causa de falla y la ocurrencia (O)

Se realiza la identificación para cada uno de los 38 grupos de modos de falla. La tabla 15 muestra la causa de falla y la ocurrencia para los 7 grupos mostrados en la tabla 13, el listado completo se muestra en el Anexo 5.

Tabla 15

Identificación de la causa y la ocurrencia para los 7 grupos mostrados en la tabla 13

Sub sistema	Compo- nente	Modo de falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	MUTxf	O
<i>Arrancador Vertical</i>	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	Impacto de castillo de las guías sobre el trunión de los cilindros hidráulicos debido a la inercia que se genera al cambiar la velocidad del cilindro.	1894	4
<i>Arrancador Vertical</i>	<i>Interruptor limite</i>	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de LS	Los pernos del LS se sueltan debido a la vibración de su soporte que se produce cuando el cilindro hidráulico cambió de velocidad.	631	5
<i>Arrancador Vertical</i>	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	La base del sensor es muy delgada y tiene un punto de fijación debilitado, está ubicado en una posición inadecuada donde las guías cuando se doblan por efecto de la dureza rozan el sensor y deforman la base	947	5
<i>Arrancador Vertical</i>	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	La dureza de las láminas, y el depósito de zinc en los filetes aumenta los esfuerzos que debe realizar la cuchilla, estos esfuerzos fatigan los pernos de fijación generando la rotura	631	5
<i>Unidad de Transferencia lateral</i>	Faja	Rotura de faja	Fatiga	La fatiga de la faja ocurre cuando el <i>transfer</i> se estrella en las posiciones extremas esto se debe al desplazamiento de la posición inicial por la falta de frenado del servomotor, la falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como controlador, este no inyectaba corriente necesaria para el frenado.	344	6
<i>Unidad de Cepillado y lavado</i>	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	Debido al desgaste por la fatiga del amortiguador del conjunto de la polea conducida	474	6

Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	El desgaste de las ruedas y pines de los brazos del marco de izaje generan que las mordazas no aprieten correctamente el cátodo y cuando ocurre el movimiento de ascenso el cátodo este se cae, la caída provoca el trabamiento del cátodo con el sistema y se da los sobre esfuerzo en la estructura del marco.	316	6
------------------------------	----------------	-------------------------------------	------------------------	--	-----	---

Nota. “MUTxf” es el tiempo medio de actividad para cada uno de los 38 grupos de falla identificados, calculado en una base de 3788 h que es el tiempo de actividad en el periodo analizado (marzo-setiembre 2019), el MUTxf sería equivalente a las horas de operación por 1 falla que es el criterio por utilizar en la tabla 3.

3.2.5 Identificación de los controles actuales y la detección (D)

La tabla 16 muestra los controles actuales y la detección para los 7 grupos mostrados en la tabla 13, el listado completo se muestra en el anexo 6.

Tabla 16

Identificación de la causa y la ocurrencia para los 7 grupos mostrados en la tabla 13

Sub sistema	Compo- nente	Modo de falla	Mecanis mo de falla	Causa de falla	Control preventivo	Control detectivo	D
Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	Impacto de castillo de las guías sobre el trunión de los cilindros hidráulicos debido a la inercia que se genera al cambiar la velocidad del cilindro.	-	-	10
Arrancador Vertical	Interruptor limite	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Aflojamie nto de pernos de LS	Los pernos del LS se sueltan debido a la vibración de su soporte que se produce cuando el cilindro hidráulico cambia de velocidad.	Revisión y ajuste mensual. No se tiene acceso seguro a los LS para realizar ajuste	-	5
Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamie nto con guía	La base del sensor es muy delgada y tiene un punto de fijación debilitado, está ubicado en una posición inadecuada donde las guías cuando se doblan por efecto de la dureza rozan el sensor y deforman la base	Revisión, limpieza y ajuste mensual	-	4
Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	La dureza de las láminas, y el depósito de zinc en los filetes aumenta los esfuerzos que debe realizar la cuchilla, estos esfuerzos fatigan los pernos de fijación generando la rotura La fatiga de la faja ocurre cuando el <i>transfer</i> se estrella en las posiciones extremas, esto se debe al desplazamiento de la posición inicial por la falta de frenado del servomotor. La falta de frenado en el servomotor se debe que se realizó a la instalación de un variador como controlador, este no inyectaba corriente necesaria para el frenado.	Reemplazo de cuchillas cada 24 semanas	Inspección 2 veces por semana	6
Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga		-	Inspección visual cada 4 semanas	6

Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	Debido al desgaste por la fatiga del amortiguador del conjunto de la polea conducida	-	Inspección semanal de la faja	8
Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	El desgaste de las ruedas y pines de los brazos del marco de izaje generan que las mordazas no aprieten correctamente el cátodo y cuando ocurre el movimiento de ascenso el cátodo este se cae, la caída provoca el trabamiento del cátodo con el sistema y los sobre esfuerzo en la estructura del marco.	-	Inspección 2 veces por semana	6

Nota. “-” significa que no existe control para causa o mecanismo de falla del componente.

3.2.6 Cálculo del NPR inicial y determinación de las acciones de mantenimiento

Se calculo el NPR inicial y se definen las acciones a implementar para los 38 grupos de modos de falla identificados, las acciones propuestas se clasifican según su naturaleza en acciones de mejora, correctivas, controles de prevención y detención.

La tabla 18 muestra el cálculo de NPR y las acciones de mantenimiento propuestas para los 7 grupos de modos de falla mostrados en la 13, el listado completo se muestra en el Anexo 7.

3.2.7 Cálculo del NPR final

Para el cálculo del NPR se utiliza la formula:

$$NPR = S \times O \times D$$

Donde:

NPR : Número de Prioridad de Riesgo.

S : Severidad

D : Detección

O : Ocurrencia

Se evalúan y definen los nuevos índices de severidad, ocurrencia y detención, las acciones de mejora, las acciones correctivas, los controles preventivos y detectivos nuevos o modificados contribuyeron a disminuir los valores de ocurrencia y detección, la severidad solo se modifica con un cambio de diseño por lo que su valor permaneció constante en los

38 grupos de modos de falla analizados. La tabla 17 muestra el valor del NPR inicial (NPRi) y NPR final (NPRf) para los 7 grupos de modos de falla mostrados en la tabla 13, el listado completo se muestra en el Anexo 8.

Tabla 17

Comparación del NPR inicial y el final para los 7 grupos mostrados en la tabla 13

Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Inicial			NPRi	Final			NPRf
				Si	Oi	Di		Sf	Of	Df	
<i>Arrancador vertical</i>	Cilindro hidráulico	Cilindro hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	10	4	10	400	10	1	4	40
	Interruptor limite	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de LS	4	5	5	100	4	2	3	24
	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	6	5	4	120	6	1	4	24
	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	4	5	6	120	4	2	4	32
<i>Unidad de Transferencia lateral</i>	Faja	Rotura de faja	Fatiga	7	6	6	252	7	1	5	35
<i>Unidad de Cepillado y lavado</i>	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	6	6	8	288	6	1	8	48
		Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	7	6	6	252	7	1	6	42

Nota. Si, Oi, Di son los valores de severidad, ocurrencia y detección iniciales antes de las acciones. Sf, Of, Df son los valores severidad, ocurrencia y detección finales que se estiman teniendo como premisa la implementación exitosa de las acciones propuestas.

Tabla 18

NPR y Acciones propuestas para los 7 grupos de componente, modos y mecanismos de falla mostrados en la tabla 13

Sub sistema	Compo-nente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	S	Causa de falla	O	Control Preventivo	Control Detectivo	D	NPR	Acciones Propuestas	Tipo
Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	Daño crítico en guías, cuchilla y estructura Parada de Deslaminadora por 98h Parada de electrólisis 48h	10	Impacto de castillo de las guías sobre el trunión de los cilindros hidráulicos debido a la inercia que se genera al cambiar la velocidad del cilindro.	4	-	-	10	400	Cambiar el modelo de la electroválvula que controla el cilindro de on/ off a proporcional (modulación de caudal). Verificar a inicio de turno que el castillo no golpee al detenerse durante el descenso del vástago.	Acción de mejora
												Cambiar la estructura soporte de LS, reducir la longitud del soporte y modificar su posición hacia el lado de la plataforma instalado sobre los tableros hidráulicos, se requerirá modificar la posición del testigo.	Control detectivo
	Interruptor Limite	Falla en regulación de LS cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de LS	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4	Los pernos del LS se sueltan debido a la vibración de su soporte que se produce cuando el cilindro hidráulico cambió de velocidad.	5	Revisión y ajuste mensual No se tiene acceso seguro a los LS para realizar ajuste	-	5	100	Incluir en el mantenimiento de cada 2 semanas el ajuste de los pernos de la base del LS	Acción de mejora
												Fabricar e instalar una nueva base del sensor la plancha debe ser de 5mm (mínimo), la instalación debe realizarse en el centro entre el cilindro y la guía.	Control preventivo
	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	Parada de deslaminadora por 2h	6	La base del sensor es muy delgada y tiene un punto de fijación debilitado, está ubicado en una posición inadecuada las guías cuando se doblan por efecto de la dureza rozan el sensor y deforman la base.	5	Revisión, limpieza y ajuste mensual	-	4	120	Verificar en una inspección a inicio de cada turno la condición de las cuchillas y los pernos de anclaje.	Acción de mejora
	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	Pérdida de ritmo de producción Parada de	4	La dureza de las láminas, el depósito de zinc en los filetes aumenta los esfuerzos que debe realizar la cuchilla, estos esfuerzos fatigan los pernos	5	Reemplazo de cuchillas cada 24 semanas	Inspección 2 veces por semana	6	120		Control detectivo

Sub sistema	Compo- nente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	S	Causa de falla	O	Control Preventivo	Control Detectivo	D	NPR	Acciones Propuestas	Tipo
Unidad de Transferencia lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	deslaminadora por 0.5h		de fijación generando la rotura.						Incluir el cambio de pernos de anclaje de cuchilla cada 2 semanas.	Control preventivo
						La fatiga de la faja ocurre cuando el transfer se estrella en las posiciones extremas esto se debe al desplazamiento de la posición inicial por la falta de frenado del servomotor, la falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como controlador, este no inyectaba corriente necesaria para el frenado.	6	-	Inspección visual cada 4 semanas	6	252	Reemplazar el servodrive actual e instalar el servodrive original modelo ultra 3000.	Acción correctiva
				Parada de deslaminadora 5.5h	7							Instalar los topes amortiguadores en los extremos del carro de transfer.	Acción de mejora
												Incluir la verificación del templado y condición de faja e inspección condición de templadores en el mantenimiento semanal.	Control detectivo
Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	Rotura de faja Parada de deslaminadora 3.5h	6	Debido al desgaste por la fatiga del amortiguador del conjunto de la polea conducida	6	-	Inspección semanal de la faja	8	288	Reemplazar los amortiguadores de los soportes de poleas. Incluir en el mantenimiento de 48 semanas el cambio de amortiguadores del conjunto de polea conducida.	Acción correctiva
		Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	Deformación de marco Daño en sistema de poleas Rotura de cátodo Parada de deslaminadora 4.75h	7	El desgaste de las ruedas y pines de los brazos del marco de izaje generan que las mordazas se traben y no aprietan correctamente el cátodo y cuando ocurre el movimiento de ascenso el cátodo este se caiga, la caída provoca el trabamiento del cátodo con el sistema y los sobre esfuerzo en la estructura del marco.	6	-	Inspección 2 veces por semana	6	252	Cambiar las ruedas y pines del mecanismo de apertura y cierre de los brazos.	Acción correctiva
												Incluir en el plan de mantenimiento el cambio de brazos del marco de izaje cada 24 semanas.	Control preventivo

Nota. El NPR para 4 modos de falla es mayor a 120 por lo que se consideran inaceptables, para los otros 3 es mayor a 75 y son considerados medianamente aceptables, con esta referencia se prioriza el orden de ejecución de las acciones propuestas.

3.3 Indicadores luego de implementación

3.3.1 Cálculo de la Disponibilidad

La tabla 19 muestra el cálculo de la disponibilidad mensual entre enero del 2021 y diciembre del 2022, las horas de mantenimiento preventivo se obtienen de la estrategia de mantenimiento definida SAP-PM y las horas de parada se obtienen del registro de detenciones de la deslaminadora. En el año 2020 se realizó la implementación además se afectó la operación por la pandemia.

Tabla 19

Disponibilidad de la deslaminadora entre enero 2021 y diciembre 2022

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
Horas Calendario												
2021	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
2022	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
tp: Horas Mantenimiento Planificado												
2021	54.5	59.5	56	54.5	55.5	48	54.5	59.5	48	54.5	55.5	48
2022	54.5	59.5	56	54.5	55.5	48	54.5	59.5	48	54.5	55.5	48
tc: Horas de parada												
2021	75.7	68.6	74.0	75.4	86.1	81.2	76.0	77.5	84.0	72.6	81.5	88.0
2022	69.1	63.7	81.1	82.2	66.8	84.8	75.3	81.4	83.5	74.0	76.1	74.4
D: Disponibilidad												
2021	82.5%	80.9%	82.5%	82.0%	81.0%	82.1%	82.5%	81.6%	81.7%	82.9%	81.0%	81.7%
2022	83.4%	81.7%	81.6%	81.0%	83.6%	81.6%	82.6%	81.1%	81.7%	82.7%	81.7%	83.5%

Nota: La tabla muestra los valores de Horas de mantenimiento planificado (tp) y horas de parada (tc) acumulados mensualmente.

La disponibilidad promedio en 2021 fue 81.87% y el año 2022 fue 82.19% esto es mayor que la meta establecida de 80%.

3.3.2 Cálculo de MUT, MDT y METBF

La tabla 20 muestra el cálculo de MUT, MDT y METBF mensual entre enero 2021 y diciembre 2022, el número de fallas se obtiene del registro de detenciones de la deslaminadora.

Tabla 20

MUT, MDT y METBF de la deslaminadora entre enero 2021 y diciembre 2022

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
f: Numero de fallas												
2021	36	36	38	34	37	35	32	31	39	41	36	35
2022	35	33	39	37	34	38	36	32	34	32	30	34

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
<i>MUT: Tiempo medio de actividad</i>												
2021	17.1	15.1	16.2	17.4	16.3	16.9	19.2	19.6	15.1	15.0	16.2	17.4
2022	17.7	16.6	15.6	15.8	18.3	15.5	17.1	18.8	17.3	19.2	19.6	18.3
<i>MDT: Tiempo medio de inactividad</i>												
2021	2.1	1.9	1.9	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.2	1.8	2.3	2.5
2022	2.0	1.9	2.1	2.2	2.0	2.2	2.1	2.5	2.5	2.3	2.5	2.2
<i>METBF: Tiempo medio transcurrido entre fallas</i>												
2021	19.2	17.0	18.1	19.6	18.6	19.2	21.5	22.1	17.2	16.8	18.5	19.9
2022	19.7	18.6	17.6	18.0	20.3	17.7	19.2	21.4	19.8	21.5	22.2	20.5

Nota: La tabla muestra los valores de “MUT” y “MDT” y “METBF” acumulados mensualmente

Capítulo IV. Resultados, Contrastación de Hipótesis y

Discusión de Resultados

4.1 Resultados

La aplicación de la metodología FMEA a los 38 modos de falla identificados determinó la implementación de un total de 73 acciones de mantenimiento.

El alcance de la investigación incluye más que solo mantenimiento preventivo, según su naturaleza podemos agrupar en los siguientes tipos: 36 acciones del tipo preventivas (incluyendo Preventivo Predeterminado, Inspección Periódica y Prueba Periódica), 21 acciones del tipo mejora (Modificación y Gestión), 16 acciones del tipo correctivas (Correctivo Diferido).

Alineado con el objetivo de la investigación la tabla 21 muestra las 73 acciones de mantenimiento definidas del análisis de los modos y efectos de falla de la deslaminadora para mejorar su disponibilidad.

Tabla 21

Acciones de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de la deslaminadora

N° de Acción	Descripción	Tipo
1	Cambiar el modelo de la electroválvula que controla el cilindro de on/off a proporcional (modulación de caudal).	Modificación
2	Verificar a inicio de turno que el castillo no golpee al detenerse durante el descenso.	Inspección periódica
3	Incluir en el mantenimiento semanal la verificación del paralelismo y verticalidad de las guías y el cilindro, la distancia entre los ejes en los 4 puntos de apoyo dados, soporte, portacuchilla y castillo debe ser 560mm.	Inspección periódica
4	Incluir en el plan de mantenimiento preventivo el cambio de los cilindros hidráulicos cada 8 semanas.	Preventivo Predeterminado
5	Cambiar el ancho de los soportes de los cilindros (donde se monta los pines de trunión), fabricarlos con el doble de ancho del actual para que permita instalar un juego de pernos de fijación adicional.	Modificación
6	Incluir en el mantenimiento semanal la inspección de la deformación de las guías en la zona de unión con el portacuchilla.	Inspección periódica
7	Incluir en el mantenimiento semanal (3 veces por semana) ajustar las tuercas de fijación de las guías al portacuchilla.	Preventivo Predeterminado
8	Incluir en el plan de mantenimiento preventivo el cambio de las 4 guías cada 24 semanas	Preventivo Predeterminado
9	Realizar la actualización de los diagramas unifilares y actualizar el rotulado de las borneras en los tableros de control y fuerza de la deslaminadora, cada tablero debe tener el diagrama unifilar en físico.	Gestión
10	Cambiar la estructura soporte de LS, reducir la longitud del soporte y modificar su posición hacia el lado de la plataforma instalado sobre los tableros hidráulicos, se requerirá modificar la posición del testigo.	Modificación
11	Incluir en el mantenimiento de cada 2 semanas el ajuste de los pernos de la base del LS	Preventivo Predeterminado

N° de Acción	Descripción	Tipo
12	Reemplazar las tuberías hidráulicas con tuberías hidráulicas con chaqueta de protección termo contraíble antiácida, migrar a conexiones JIC.	Modificación
13	Incluir en el mantenimiento mensual la inspección de la condición de las tuberías hidráulicas.	Inspección periódica
14	Cambiar parte del recorrido de las mangueras hidráulicas por tuberías de 3/4" adosadas a los cilindros de forma que se minimice la longitud de las mangueras hidráulicas	Modificación
15	Incluir en el mantenimiento semanal la inspección de la presencia de fugas en los conectores de los cilindros	Inspección periódica
16	Adquirir conectores para las conexiones cilindro-manguera (BSP-METRICO) e instalarlos en los cilindros de reserva modificar el procedimiento de cambio de cilindro: cada cilindro que instalado debe tener conectores nuevos	Modificación
17	Fabricar e instalar una nueva base del sensor, la plancha debe ser de 5mm (mínimo), y la instalación debe realizarse en el centro entre el cilindro y la guía.	Modificación
18	Incluir en el mantenimiento de cada 2 semanas la inspección de la condición y el ajuste de las tapas porta bocinas y el ajuste de los pernos que sujetan el portabocinas y la estructura.	Preventivo Predeterminado
19	Incluir en el mantenimiento semanal la verificación del paralelismo y verticalidad de las guías y el cilindro, la distancia entre los ejes en los 4 puntos de apoyo dados, soporte, portacuchilla y castillo debe ser 560mm.	Inspección periódica
20	Incluir el cambio de ballestas en el mantenimiento semanal.	Preventivo Predeterminado
21	Fabricar y reemplazar los asientos entre el vástago del cilindro y el portacuchilla	Correctivo diferido
22	Incluir en mantenimiento mensual la inspección del asiento ubicado entre el vástago del cilindro y el portacuchilla.	Inspección periódica
23	Incluir el cambio de asiento entre el vástago del cilindro y el portacuchilla cada 48 semanas.	Preventivo Predeterminado
24	Verificar en una inspección a inicio de cada turno la condición de las cuchillas y los pernos de anclaje.	Inspección periódica
25	Incluir el cambio de pernos de anclaje de cuchilla cada 2 semanas.	Preventivo Predeterminado
26	Reemplazar el servodrive actual e instalar el servodrive original modelo ultra 3000.	Correctivo diferido
27	Instalar los topes amortiguadores en los extremos del carro de transfer.	Modificación
28	Incluir la verificación del templado y condición de faja e inspección condición de templadores en el mantenimiento semanal.	Inspección periódica
29	Reubicar la posición de la caja de paso eléctrica ubicado entre el indexing y el outlet.	Modificación
30	Reemplazar el servodrive actual e instalar el servodrive original modelo ultra 3000.	Correctivo diferido
31	Reemplazar el transfer completo, el transfer instalado debe tener base del carro nueva.	Correctivo diferido
32	Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la revisión de la base del carro transfer.	Inspección periódica
33	Incluir en el plan de mantenimiento el cambio de transfer completo cada 24 semanas, modificar el procedimiento de reparación de transfer en este se debe incluir la instalación de una base nueva o como nueva.	Preventivo Predeterminado
34	Modificar la estrategia de atención de servomotores, estos serán componentes no reparables.	Gestión
35	Modificar la estrategia de reposición de servomotores de almacén aumentando el punto de pedido a 6 y el punto de reposición 3 considerando que existen 3 deslaminadoras con el mismo servomotor.	Gestión
36	Incluir en el mantenimiento mensual el ajuste de los pernos de acople (media luna) entre el servomotor y el reductor del transfer.	Preventivo Predeterminado
37	Reemplazar el marco de transfer completo.	Correctivo diferido
38	Realizar la verificación diaria a inicio de cada turno de la regulación de las garras, verificar con operador que no golpee con las vigas o los cátodos, ajustar pernos o poner arandelas de ser necesario.	Preventivo Predeterminado
39	Incluir en el mantenimiento mensual la inspección de la cruceta y el ajuste de pernos de la base del cardan.	Inspección periódica
40	Realizar el reemplazo de la tubería de agua de lavado.	Correctivo diferido
41	Incluir en el mantenimiento mensual la inspección de la tubería y cambiar toberas de inyección según condición.	Inspección periódica
42	Reemplazar los amortiguadores de los soportes de poleas.	Correctivo diferido
43	Incluir en el mantenimiento de 48 semanas el cambio de amortiguadores del conjunto de polea conducida.	Preventivo Predeterminado
44	Enderezar base de la mordaza y asegurar que exista agarre entre el cátodo y la cuña.	Correctivo diferido
45	Incluir en el plan de mantenimiento mensual el enderezado de la base de la mordaza del marco de izaje.	Preventivo Predeterminado

N° de Acción	Descripción	Tipo
46	Cambiar las ruedas y pines del mecanismo de apertura y cierre de los brazos.	Correctivo diferido
47	Incluir en el plan de mantenimiento el cambio de brazos del marco de izaje cada 24 semanas.	Preventivo Predeterminado
48	Cambiar las ruedas y pines del mecanismo de apertura y cierre de los brazos.	Correctivo diferido
49	Incluir en el plan de mantenimiento el cambio de brazos del marco de izaje cada 24 semanas.	Preventivo Predeterminado
50	Despejar la zona de la plataforma superior para dar mayor acceso a los mantenedores y permitir una regulación rápida. Para despejar la zona se requiere mover los soportes de la tubería HPD a un costado para retirarlos de la plataforma.	Modificación
51	Fijar soporte base principal de LS, el soporte es largo por lo que se requiere fijarlo con travesaños adicionales.	Modificación
52	Incluir la regulación y fijación de los LS en el mantenimiento semanal.	Preventivo Predeterminado
53	Reposición de sistema de control automático de temperatura sensor, controlador y enlazarlo con el motor de recirculación y el enfriador.	Correctivo diferido
54	Realizar la inspección y contrastación del sensor de temperatura con frecuencia cada 8 semanas.	Inspección periódica
55	Realizar la inspección y prueba del sistema de enfriamiento automático cada 8 semanas.	Prueba Periódica
56	Modificar la catalogación de la electroválvula de control de presión, esta debe ser de reposición automática.	Gestión
57	Realizar el cambio de electroválvula por una nueva en el mantenimiento de 48 semanas.	Preventivo Predeterminado
58	Instalar fuelles protectores de vástago de cilindros hidráulicas, el fuelle debe ser de material antiácido.	Modificación
59	Instalar chaquetas antiácidas de protección al cuerpo del cilindro hidráulicos.	Modificación
60	Realizar el cambio de ruedas en el mantenimiento de 12 semanas.	Preventivo Predeterminado
61	Instalar protector de mangueras de material antiácido a las mangueras de alimentación a cilindros.	Modificación
62	Fabricar y reemplazar el soporte de la viga móvil en donde se aloja el pin del cilindro.	Correctivo diferido
63	Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la inspección del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.	Inspección periódica
64	Realizar el levantamiento del diámetro, longitud, forma de las tuberías y conectores de las tuberías hidráulicas que alimentan los cilindros de avance y retroceso desde el tablero hidráulico.	Gestión
65	Realizar la inspección de la condición de las tuberías hidráulicas existentes, definir tramos a reemplazar.	Correctivo diferido
66	Fabricar las tuberías identificadas en mal estado y reemplazar los tramos que actualmente son mangueras.	Correctivo diferido
67	Incluir en el mantenimiento cada 2 semanas la inspección de todas la tuberías hidráulicas del <i>indexing, inlet y outlet</i> .	Inspección periódica
68	Modificar los soportes de los cilindros de avance de forma que se estandariza la longitud total y se estandarice el tamaño de horquilla.	Modificación
69	Modificar la estrategia de adquisición de la horquilla, esta de ser de reposición automática.	Gestión
70	Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la inspección de las horquillas y la rosca de los vástagos de cilindros en la mesa de arrancado, en la mesa de recepción y evacuación de cátodos.	Inspección periódica
71	Fabricar y reemplazar el soporte de la viga móvil en donde se aloja el pin del cilindro.	Correctivo diferido
72	Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la inspección del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.	Inspección periódica
73	Cambiar mangueras por otras de menor longitud e instalar protectores de mangueras, verificar en operación que no exista atrapamiento y adosarla las mangueras a las estructuras con abrazaderas.	Correctivo diferido

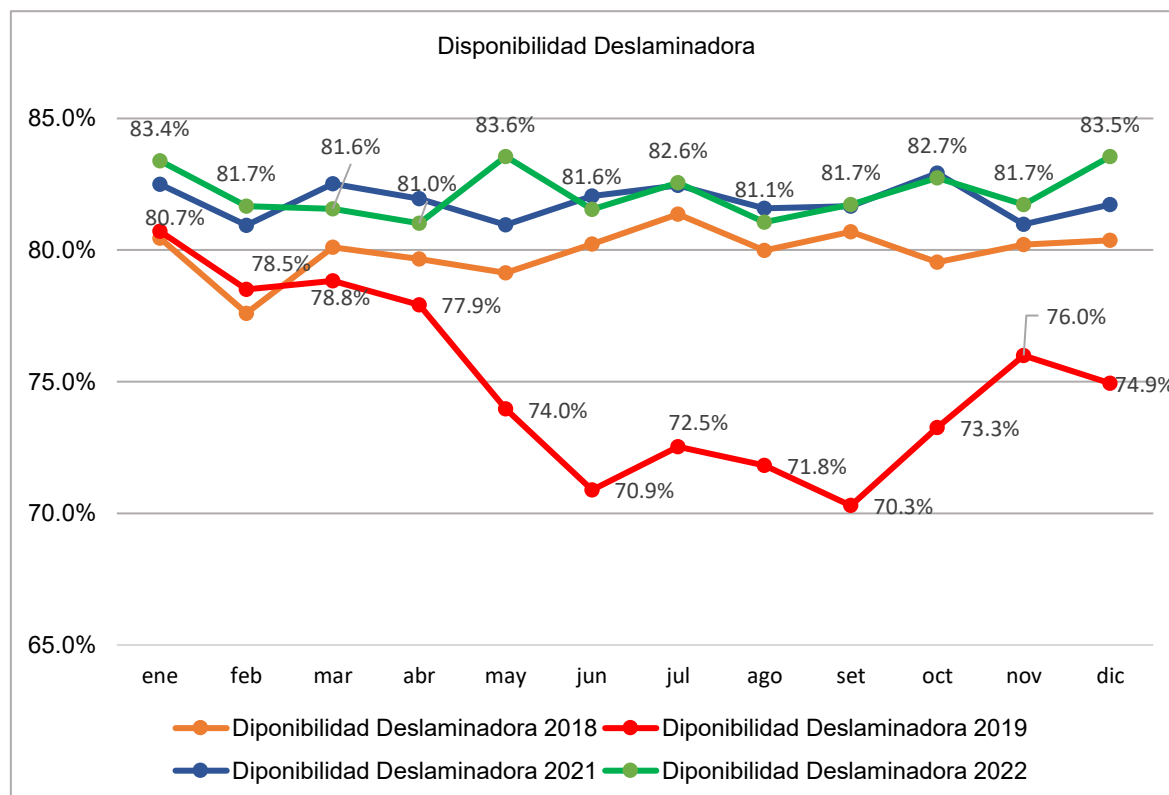
Nota. Los tipos modificación y gestión son acciones de mejora a ejecutar por mantenimiento, los tipos preventivo predeterminado, inspección y prueba periódicas se cargarán a SAP PM, el tipo correctivo diferido se programarán a ejecutar con prioridad.

Con la implementación de las acciones en el año 2020 se obtuvo un incremento en la disponibilidad durante los años 2021 y 2022 respecto a los años 2018 y 2019, el año 2020 se operó parcialmente debido a la pandemia por lo que no se consideró para la

investigación, la figura 5 muestra la distribución de la disponibilidad de la deslaminadora durante los años 2018, 2019, 2021 y 2022. En los años 2021 y 2022 se observa un aumento sostenido de la disponibilidad operacional.

Figura 12

Disponibilidad Deslaminadora entre 2018,2019,2021 y 2022



Nota. La figura muestra que durante el 2021 y el 2022 la disponibilidad de la deslaminadora se incrementó de forma sostenible luego de la implementación de las acciones.

En el año 2021 la disponibilidad promedio fue 81.87% y el año 2022 fue 82.19%, en el 2018 la disponibilidad promedio fue 79.96% y en el año 2019 la disponibilidad promedio fue 74.96% por lo que se observa un incremento de hasta 7.23% si comparamos el 2022 (2 años después de la implementación) y el 2019 (año que se realizó el análisis).

La mejora en el valor de la disponibilidad también se refleja en el cambio de valores de los indicadores MUT, MDT y METBF. La tabla 22 muestra los valores promedio de MUT, MDT y METBF durante los años 2018, 2019, 2021 y 2022. Se observa que el MUT anual aumentó 5.9 horas entre el año 2019 y el año 2022, de igual manera el MDT anual disminuyó en 0.6 horas entre el año 2019 y el año 2022, el METBF aumentó en 5.3 horas

entre el 2019 y el 2022, este aumento del METBF nos indica una mejora en la confiabilidad de la deslaminadora.

Tabla 22

Valores de MUT, MDT y METBF anuales años 2018,2019, 2021 y 2022

Año	MUT (horas)	MDT (horas)	METBF (horas)
2018	15.0	2.5	17.5
2019	11.5	2.8	14.3
2021	16.7	2.2	18.9
2022	17.4	2.2	19.6

4.2 Contrastación de Hipótesis

Hi (Hipótesis de estudio): El mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) mejora la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de Zinc.

Ho (Hipótesis nula): El mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) no mejora la disponibilidad de una deslaminadora en una refinería de Zinc.

La tabla 23 muestra los valores de disponibilidad calculo antes del FMEA años 2018, 2019 (mínimo histórico) y después del FMEA, 2021 y 2022, para los 4 años la meta fue de 80%.

Tabla 23

Valores de disponibilidad años 2018,2019, 2021 y 2022

Año	Resultado (%)	Situación	Observación
2018	79.96%	<80%(meta)	Antes del FMEA
2019	74.96%	<80%(meta)	Antes del FMEA
2021	81.87%	>80%(meta)	Después del FMEA
2022	82.19%	>80%(meta)	Después del FMEA

De la table 23 podemos afirmar que la disponibilidad se incrementó en 7.23% si comparamos el año 2019 (mínimo histórico) y el año 2022, además que en los años posteriores a la implementación del FMEA (2021 y 2022) la disponibilidad fue mayor que la meta definida en 80%.

El mantenimiento basado en FMEA definió 73 acciones (36 preventivas, 21 de mejora, 16 correctivas) destinadas a controlar o eliminar las fallas. El NPR inicial de 35 modos de falla era inaceptable ($NPR_i > 120$), pero con la implementación de las acciones se proyectó que 33 modos de falla pasaran a la categoría aceptable ($NPR_f < 75$). Esta reducción exitosa del riesgo operacional se refleja directamente en el aumento de la Disponibilidad Operacional y el METBF del equipo.

Dado que el valor de la disponibilidad aumento de 74.96% en el 2019 a 81.87% en el 2021 y a 82.19% en el 2022 se confirma la hipótesis de estudio H_i y se rechaza la hipótesis nula H_o . Se concluye que el mantenimiento basado en el Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) mejora la disponibilidad de la deslaminadora.

4.3 Discusión de Resultados

La investigación de Moreno (2014) y la presente reflejan similitudes en cuanto a los pasos del análisis y la determinación del NPR, ya que ambas investigaciones se basaron en la norma SAE J1739: Análisis de modos y efectos de falla potenciales (FMEA). La investigación de Moreno se basó en información proporcionada por el personal de mantenimiento, operaciones y en encuestas realizadas a los trabajadores, su FMEA se realizó al nivel de equipo y determina causas de falla generales como “falta de mantenimiento” o “desgaste”, es decir, el nivel de profundidad no permite dar soluciones definitivas. La investigación actual se basó en el registro de datos de falla del equipo y el FMEA se enfocó en el componente, esto llevó a causas de falla con un nivel de profundidad que permitió encontrar soluciones definitivas. Es decir, la presente investigación propone acciones más efectivas para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de

La investigación de Cusi (2024) es similar a la presente investigación en el aspecto en que ambas basan su análisis en el registro histórico de fallas, ambas tienen como objetivo mejorar la disponibilidad; sin embargo, la investigación de Cusi se enfoca solo en mejorar el plan de mantenimiento preventivo, para el cual aplicó la metodología RCM y su árbol de decisión, mientras que la actual investigación, propone un plan de 73 acciones, divididas en 36 acciones preventivas, 21 acciones tipo mejora (modificación y gestión), y

16 acciones tipo correctivas. Las acciones de modificación permitieron minimizar o, en algunos casos, eliminar la ocurrencia de la falla, dejando el índice de ocurrencia en 1. La implementación de las 73 acciones aumentó la disponibilidad desde el mínimo histórico de 74.96% en 2019 a 82.19% en 2022, un incremento de 7.23%. Este incremento del 7.23% supera el 4.21% de aumento reportado por Cusi, lo que se atribuye al mayor alcance y profundidad de las acciones propuestas (modificaciones de diseño, preventivas y correctivas) basadas en el FMEA.

La investigación de Gonzales (2024) y la presente investigación emplean el concepto de priorización para definir los subsistemas en donde se enfocará el análisis, mientras que Gonzales utiliza la metodología semicuantitativa de evaluación de riesgo, el presente trabajo utiliza los datos del registro de falla y aplica el principio de Pareto para determinar los subsistemas que generan más horas de parada por falla durante el periodo de análisis. Otra similitud entre ambas investigaciones es el uso del NPR y su manera de calcularlo, sin embargo, Gonzales utiliza el NPR solo para priorizar que modos de falla serán tratados mientras que la presente investigación utiliza el NPR, además de para priorizar que modos de falla serán tratados, para evaluar la efectividad de la acción planteada, permitiendo saber si la acción tendría un impacto real en el control de la falla. El presente estudio lo usó como una herramienta de validación (revisando la reducción de NPR_i a NPR_f). La reducción del riesgo (de 35 modos inaceptables y 3 medianamente aceptables a solo 5 medianamente aceptables) se materializó en una mejora de la confiabilidad, evidenciada por el aumento del METBF de 14.3 horas en 2019 a 19.6 horas en 2022, y una mejora en la mantenibilidad, reflejada en la disminución del MDT de 2.8 a 2.2 horas.

Finalmente se reconoce las limitaciones que se presentaron durante la investigación como la falta de un registro ordenado y estructurado de la información de la falla, tener una base de datos adecuada agilizaría el desarrollo de futuros FMEA. La dificultad de juntar un equipo multidisciplinario que permita realizar un buen análisis de las causas y acciones, para compensar esto es necesario que el investigador se involucre en el

conocimiento a detalle del equipo que se analizará y así pueda tener reuniones con grupos menores y después compilar la información. La demora en la implementación de algunas acciones de modificación que en algunos casos requiere acciones de ingeniería básica y compra de repuestos.

Conclusiones

- El análisis de fallas históricas (de marzo a septiembre de 2019) identificó que 6 de los 15 subsistemas de la deslaminadora fueron responsables del 81% de las horas de parada por fallas acumuladas. El estudio se centró en estos subsistemas críticos, identificando en total 38 grupos de modos de falla a nivel de componente.
- La aplicación sistemática del FMEA, basada en la norma SAE J1739:2002, para los 38 modos de falla críticos, resultó en la definición de un total de 73 acciones de mantenimiento. Estas acciones se dividieron en 36 acciones de tipo preventivas, 21 acciones tipo mejora (incluyendo modificación y gestión), y 16 acciones de tipo correctivas.
- La hipótesis de estudio fue confirmada. La implementación de las acciones definidas por el FMEA (realizada entre finales de 2019 y 2020) mejoró significativamente la Disponibilidad Operacional de la deslaminadora. El valor de disponibilidad, que había caído a un mínimo histórico de 74.96% en 2019, aumentó a 81.87% en 2021 y 82.19% en 2022, superando la meta establecida del 80% en ambos años.
- La implementación de las acciones de mantenimiento también impactó positivamente en indicadores de mantenibilidad y confiabilidad:

El Tiempo Medio de Inactividad (MDT), indicador de mantenibilidad, disminuyó de 2.8 horas en 2019 a 2.2 horas en 2022.

El Tiempo medio de actividad (MUT), indicador de confiabilidad, aumento de 11.5 horas en el 2019 a 17.4 horas en el 2022.

El Tiempo Medio Transcurrido Entre Fallas (METBF), indicador de confiabilidad, aumentó de 14.3 horas en 2019 a 19.6 horas en 2022, lo que refleja un incremento en la confiabilidad de la deslaminadora.

Recomendaciones

Las recomendaciones se organizaron en 2 bloques:

1. Recomendaciones Estratégicas y de Proceso (Sostenibilidad del FMEA)

- Se recomienda aplicar la metodología FMEA con una periodicidad anual y utilizando como mínimo la información de fallas de los últimos 6 meses, con esto aseguraremos que la disponibilidad de la deslaminadora se mantenga sobre la meta del 80% en los siguientes años.
- En el desarrollo de futuros análisis FMEA, se debe priorizar la definición de acciones de modificación o mejora. Estas acciones permitirán minimizar, o en algunos casos, eliminar la ocurrencia de la falla, dejando al índice de ocurrencia (O) a 1. Esto es vital, ya que la severidad (S) solo se puede reducir a través de modificaciones de diseño.
- Se debe involucrar formalmente a las gerencias de los distintos departamentos para alinear la participación obligatoria de los especialistas técnicos de las áreas de operación, mantenimiento y logística en las reuniones de análisis de causas y definición de nuevas acciones. Esto optimizará el desarrollo de la metodología, superando la limitación identificada de la dificultad para juntar un equipo multidisciplinario.

2. Recomendaciones Operacionales y de Gestión de Datos

- Se recomienda complementar y estandarizar la información del registro de fallas, indicando en cada registro el subsistema afectado, el componente que falló, el modo de falla y el mecanismo de falla. Para asegurar la calidad de esta información, el ingeniero de confiabilidad o ingeniero de mantenimiento debe revisar los registros de forma diaria. Esta construcción de información facilitará la aplicación futura de la metodología FMEA como herramienta de mejora continua.
- Se debe revisar la estrategia de reposición de componentes críticos que actualmente genera fallas (ej. mangueras hidráulicas, horquillas, servomotores).

Por ejemplo, para los servomotores del Transfer Lateral, se debe aumentar el punto de pedido a 6 unidades y el punto de reposición a 3 unidades, considerando que hay 3 deslaminadoras que usan el mismo servomotor.

Referencias

- B.S. Dhillon. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press
- Cáceres Quispe A. (2018). *Diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento basado en el Análisis Modo Efecto Falla para mejorar la Disponibilidad de Equipos Electromecánicos de la Empresa Construredes S.A.C* [Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Alicia.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_245e1271d9b9c745690d34cc1c6002d8
- Crespo Marquez A., Moreu de Leon P., Sanchez Herguedas A. (2004). *Ingeniería de mantenimiento. Técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- Cusi Huaman P. (2024). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para incrementar la disponibilidad de un sistema de bombeo en el área de relaves* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/27838>
- Escobar Infante E.D. (2024). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la Disponibilidad de los Equipos Electromecánicos de Institutos Especializados de Nivel III 2 del Ministerio de Salud Ingeniería de mantenimiento* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/28099>
- Gonzales Pinto A. (2024). *Propuesta de un plan de mantenimiento bajo la metodología de análisis de modos y efectos de falla (FMEA) a bombas de mayor criticidad de un lote petrolero* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/28106>

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2004). *Análisis modal de fallos y efectos AMFE. (NTP679)*.
https://cso.go.cr/ver/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20679%20-%20Analisis%20modal%20de%20fallos%20y%20efectos.%20AMFE.pdf
- Jezdimir Knezevic. (1996). *Mantenimiento*. Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España.
- Juarez Pita A. (2019). *Aplicación del AMEF para incrementar la disponibilidad de los equipos críticos de la Empresa S. M. R. L minera JUPITHER* [Trabajo de Suficiencia profesional de Licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNITRU UNT. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/7034d04e-8c9d-4480-9258-f84e1cd41388>
- Lourival Augusto Tavares. (2000). *Administración moderna de mantenimiento*. Noria Latin América.
- Medina Medina J.C. (2021). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF, como herramienta principal del (RCM)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNITRU UNT.
- Moreno Herrera S. (2014). *Plan de mejora para aumentar la confiabilidad del proceso de fabricación de tubos de pvc, en la empresa Durman Esquivel S.A de C.V., basado en el AMEF* [Trabajo Profesional para Licenciatura, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez]. <https://catalogo.tuxtla.tecnm.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13147>

Organización Internacional de Estandarización. (2016). *Industrias petroleras, petroquímicas y de gas natural: Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. (ISO14224:2016).* <https://www.iso.org/standard/64076.html>.

Sociedad de Ingenieros Automoción. (2002). *Análisis de modos y efectos de fallos potenciales en el diseño (FMEA de diseño), análisis de modos y efectos de fallos potenciales en procesos de fabricación y ensamblaje (FMEA de proceso) y análisis de modos y efectos de fallos potenciales para maquinaria (FMEA de maquinaria).* (SAE J1739:2002). https://www.sae.org/standards/content/j1739_200208/

Anexos

Anexo 1 Taxonomía de subsistemas analizados	1
Anexo 2 Análisis del registro de falla de 6 subsistemas Arrancador Vertical, Unidad de transferencia Lateral, Unidad de Cepillado y lavado, Unidad Hidráulica, Mesa de recepción de cátodos, Mesa arrancado.....	2
Anexo 3 Grupos de modos de falla	14
Anexo 4 Identificación de efectos de falla y estimación de la severidad	17
Anexo 5 Identificación de las causas y estimación de la ocurrencia.....	21
Anexo 6 Identificación de los controles actuales y estimación de la detección	27
Anexo 7 Cálculo del NPR inicial y acciones de mantenimiento propuestas	33
Anexo 8 Cálculo de NPR final	48

Anexo 1

Taxonomía de subsistemas analizados

<i>Arrancador Vertical</i>	<i>Unidad de Transferencia Lateral</i>	<i>Unidad de Cepillado y lavado</i>	<i>Unidad Hidráulica</i>	<i>Mesa de recepción de cátodos</i>	<i>Mesa de arrancado</i>
Cilindro hidráulico	Marco	Marco de izaje	Tanque de aceite	Viga fija	Viga fija
Manguera hidráulica	Faja	Cepillo	Bomba hidráulica	Viga móvil	Viga móvil
Conector hidráulico	Polea	Cardan	Bomba de refrigeración	Cilindro hidráulico	Cilindro hidráulico
Electroválvula hidráulica	Servomotor	Faja	Válvula de control de presión	Templador	Templador
Tubería Hidráulica	Controlador	Polea	Electroválvula hidráulica	Manguera hidráulica	Manguera hidráulica
Guías	Cable de comunicación	Motorreductor de izaje	Filtro de descarga	Conector hidráulico	Conector hidráulico
Cuchilla	Cable eléctrico	Motorreductor de cepillo	Filtro de succión	Electroválvula hidráulica	Electroválvula hidráulica
Rueda Excéntrica	Sensor	Cilindro neumático de apertura	Filtro de recirculación	Tubería Hidráulica	Tubería Hidráulica
Castillo	Carro	Eje soporte de cepillos	Tanque de nitrógeno	Biela	Biela
Rueda guía	Reductor	Interruptor Limite	Tubería hidráulica	Estructura soporte	Estructura soporte
Soporte de cilindro	Guía	Eje de cepillo	Manguera hidráulica	Sensor	Sensor
Soporte de guías	Carcasa	Tablero neumático	Unidad de enfriamiento	Bloque hidráulico	Bloque hidráulico
Sensor inductivo		Tubería de agua	Sensor de nivel		
Interruptor Limite			Sensor de temperatura		
Media luna			Válvulas manuales		
Ballesta					
Sensor					
Bloque hidráulico					

Anexo 2

Análisis del registro de falla de 6 subsistemas Arrancador Vertical, Unidad de transferencia Lateral, Unidad de Cepillado y lavado, Unidad Hidráulica, Mesa de recepción de cátodos, Mesa arrancado

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
1	3	1-Mar	03:30	07:00	3.50	Unidad de Cepillado y lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
2	3	1-Mar	12:30	15:30	3.00	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada
3	3	2-Mar	04:30	05:00	0.50	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de Interruptor limite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de Interruptor limite
4	3	2-Mar	11:00	14:30	3.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
5	3	3-Mar	12:00	16:00	5.00	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
6	3	5-Mar	04:00	04:48	0.80	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
7	3	6-Mar	03:00	04:25	25.42	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Diferencia de velocidad de cilindros en retroceso	Obstrucción de línea hidráulica
8	3	8-Mar	03:40	06:00	2.33	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
9	3	8-Mar	08:30	10:30	2.00	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
10	3	9-Mar	06:00	10:30	4.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Tubería de agua	Cañería de agua doblada	Fatiga por golpe
11	3	10-Mar	10:00	10:42	0.70	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía
12	3	11-Mar	02:30	04:00	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
13	3	12-Mar	09:35	17:05	7.50	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo
14	3	14-Mar	01:00	01:42	0.70	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
15	3	18-Mar	13:30	14:30	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
16	3	19-Mar	14:00	15:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
17	3	20-Mar	00:30	02:30	2.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación Interruptor Limite de posición inferior	Deformación de brazo
18	3	22-Mar	06:30	10:00	3.50	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
19	3	24-Mar	09:30	10:24	0.90	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
20	3	24-Mar	11:00	16:30	5.50	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
21	3	26-Mar	02:00	02:48	0.80	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe
22	3	27-Mar	00:30	03:30	3.00	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Aflojamiento de medialunas
23	3	27-Mar	10:30	11:30	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
24	4	2-Abr	10:00	10:30	0.50	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe
25	4	3-Abr	05:00	11:00	6.00	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro
26	4	4-Abr	02:30	04:30	2.00	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
27	4	4-Abr	09:00	09:30	0.50	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas
28	4	4-Abr	10:00	10:30	0.50	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje
29	4	4-Abr	15:30	17:30	2.00	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
30	4	5-Abr	02:00	05:00	3.00	Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
31	4	6-Abr	02:00	03:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
32	4	6-Abr	12:30	16:30	4.00	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
33	4	7-Abr	02:00	06:30	4.00	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
34	4	7-Abr	11:00	12:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
35	4	9-Abr	13:00	15:00	2.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
36	4	10-Abr	09:30	10:00	0.50	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
37	4	10-Abr	22:00	01:00	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
38	4	11-Abr	07:30	11:30	4.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
39	4	11-Abr	10:00	14:30	2.50	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector
40	4	11-Abr	15:00	15:33	0.55	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
41	4	13-Abr	22:00	22:30	0.50	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas
42	4	15-Abr	09:00	12:00	3.00	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro
43	4	15-Abr	17:30	19:30	2.00	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
44	4	16-Abr	03:00	03:30	0.50	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe
45	4	16-Abr	09:00	10:30	1.50	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
46	4	17-Abr	00:15	05:00	4.75	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
47	4	17-Abr	13:00	14:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
48	4	18-Abr	01:00	02:30	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de Interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de Interruptor limite
49	4	18-Abr	10:00	11:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
50	4	19-Abr	21:00	00:00	3.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
51	4	20-Abr	00:30	06:30	6.00	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro
52	4	21-Abr	08:40	12:18	3.63	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
53	4	22-Abr	01:30	02:30	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
54	4	22-Abr	10:30	12:00	1.50	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
55	4	24-Abr	14:30	15:00	0.50	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
56	4	24-Abr	23:30	01:00	1.50	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada
57	4	25-Abr	13:00	14:00	1.00	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
58	4	26-Abr	10:30	11:30	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
59	4	27-Abr	08:30	11:30	3.00	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro
60	4	27-Abr	13:30	14:18	0.80	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
61	4	28-Abr	02:30	04:18	1.80	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja
62	4	29-Abr	00:00	01:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
63	4	30-Abr	08:00	09:30	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
64	4	30-Abr	12:00	12:48	0.80	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
65	5	2-May	10:00	12:00	2.00	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
66	5	3-May	01:00	02:30	1.50	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
67	5	4-May	01:00	02:00	25.00	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal
68	5	6-May	04:00	04:36	0.60	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
69	5	6-May	08:30	11:30	3.00	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector
70	5	7-May	03:00	09:00	6.00	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Trabamiento de eje
71	5	9-May	23:30	03:12	3.70	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
72	5	11-May	10:30	16:20	5.83	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo
73	5	12-May	05:00	05:30	0.50	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas
74	5	12-May	11:00	10:30	11.50	Hidráulica	Sistema de enfriamiento	Alta temperatura de aceite del sistema hidráulico	Rotura de sensor de temperatura
75	5	15-May	09:30	13:30	4.00	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
76	5	16-May	11:10	13:00	1.83	Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación de interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
77	5	17-May	12:30	15:00	2.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
78	5	18-May	23:30	07:30	8.00	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión
79	5	19-May	12:00	19:30	7.50	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión
80	5	20-May	01:30	02:00	0.50	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
81	5	20-May	13:30	14:00	0.50	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
82	5	22-May	07:30	11:00	3.50	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
83	5	23-May	01:30	03:30	2.00	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
84	5	24-May	02:00	16:00	14.00	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación
85	5	25-May	03:00	04:30	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
86	5	25-May	22:30	23:18	0.80	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe
87	5	26-May	01:30	04:00	2.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
88	5	27-May	07:30	10:30	3.00	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello
89	5	28-May	10:30	13:30	3.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco de izaje	Trabamiento de mordaza
90	5	29-May	11:00	11:42	0.70	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
91	5	30-May	10:20	12:20	2.00	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía
92	5	31-May	12:00	16:30	4.50	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
93	5	26-Ago	17:30	18:00	0.70	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe
94	6	2-Jun	01:00	01:48	0.80	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
95	6	3-Jun	07:30	11:30	4.00	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
96	6	4-Jun	05:30	06:30	1.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
97	6	5-Jun	09:00	09:42	0.70	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe
98	6	6-Jun	12:00	13:30	1.50	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
99	6	8-Jun	07:30	07:30	96.00	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
100	6	13-Jun	10:30	02:24	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
101	6	14-Jun	02:00	02:24	0.40	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje
102	6	15-Jun	02:00	05:00	3.00	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector
103	6	16-Jun	02:00	03:30	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
104	6	16-Jun	17:00	17:48	0.80	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
105	6	17-Jun	12:30	15:30	3.00	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello
106	6	18-Jun	11:00	11:30	0.50	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía
107	6	19-Jun	09:00	10:00	1.50	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía
108	6	20-Jun	14:00	15:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
109	6	21-Jun	22:00	02:00	4.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
110	6	23-Jun	08:00	10:30	2.30	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
111	6	24-Jun	00:40	01:40	1.00	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
112	6	24-Jun	10:00	17:57	7.95	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión
113	6	26-Jun	00:00	01:20	1.33	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
114	6	26-Jun	15:00	15:30	0.50	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
115	6	27-Jun	01:40	05:40	4.00	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
116	6	27-Jun	11:00	11:30	0.50	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante

Nº Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
117	6	27-Jun	17:00	17:30	0.50	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas
118	6	28-Jun	00:00	01:30	1.50	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
119	6	29-Jun	03:00	05:30	2.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
120	6	30-Jun	20:00	20:30	0.50	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
121	7	2-Jul	20:30	21:30	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada
122	7	3-Jul	09:00	09:30	0.50	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas
123	7	4-Jul	02:00	03:45	97.75	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión
124	7	9-Jul	01:30	02:00	0.50	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
125	7	10-Jul	05:00	06:00	1.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
126	7	11-Jul	07:30	10:10	2.67	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
127	7	12-Jul	08:00	12:05	4.08	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo
128	7	13-Jul	02:00	05:30	3.50	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
129	7	14-Jul	03:10	03:43	0.55	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
130	7	14-Jul	10:00	12:30	2.50	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector
131	7	15-Jul	13:30	17:30	4.00	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
132	7	17-Jul	09:00	12:00	3.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
133	7	18-Jul	06:20	14:00	7.67	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
134	7	20-Jul	01:00	04:00	3.00	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello
135	7	22-Jul	05:50	06:28	0.63	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía
136	7	24-Jul	00:00	00:40	0.67	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
137	7	24-Jul	12:00	12:24	0.40	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje
138	7	25-Jul	02:00	03:30	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
139	7	26-Jul	00:00	02:00	2.00	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
140	7	27-Jul	07:20	08:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
141	7	29-Jul	00:30	01:02	0.53	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
142	8	1-Ago	04:00	09:30	5.50	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
143	8	2-Ago	03:50	04:50	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
144	8	3-Ago	07:30	10:30	3.00	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
145	8	3-Ago	11:20	12:50	1.50	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
146	8	4-Ago	12:00	15:00	3.00	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello
147	8	5-Ago	04:00	05:20	1.33	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Salida de vástago de cilindro de avance	Desgaste de rosca de horquilla
148	8	6-Ago	07:30	08:00	0.50	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
149	8	7-Ago	04:00	05:00	1.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
150	8	8-Ago	10:30	11:30	1.00	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
151	8	9-Ago	12:30	19:30	7.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Cardán	Rotura de cardan de cepillo	Fatiga
152	8	13-Ago	11:25	12:01	0.60	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
153	8	14-Ago	03:00	03:30	0.50	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas
154	8	15-Ago	02:00	03:21	1.35	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
155	8	16-Ago	00:30	02:00	1.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
156	8	17-Ago	09:00	11:30	2.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
157	8	18-Ago	12:00	15:00	3.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
158	8	19-Ago	05:30	06:30	1.00	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	rozamiento con guía
159	8	19-Ago	07:30	10:00	2.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
160	8	20-Ago	09:40	15:40	6.00	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo
161	8	21-Ago	21:30	01:30	3.50	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso
162	8	23-Ago	00:00	03:00	3.00	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector
163	8	23-Ago	03:30	12:30	9.00	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación
164	8	24-Ago	01:30	01:57	0.45	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje
165	8	24-Ago	03:00	04:00	1.00	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera
166	8	24-Ago	04:30	05:00	0.50	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
167	8	25-Ago	12:00	14:00	2.00	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello

Nº Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
168	8	26-Ago	06:00	08:00	2.00	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
169	8	27-Ago	07:30	15:00	7.50	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión
170	8	28-Ago	07:30	09:32	2.03	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja
171	8	29-Ago	10:00	15:30	5.50	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
172	8	31-Ago	02:30	05:30	3.00	Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
173	9	1-Set	00:30	03:00	2.50	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja
174	9	3-Set	08:00	14:30	6.50	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro
175	9	4-Set	01:00	21:00	20.00	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal
176	9	6-Set	08:00	08:24	0.40	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje
177	9	7-Set	05:30	07:30	2.00	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante
178	9	8-Set	02:05	04:30	2.42	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes
179	9	9-Set	12:00	12:48	0.80	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
180	9	10-Set	11:00	12:00	1.00	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite
181	9	11-Set	02:50	06:50	4.00	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga
182	9	12-Set	02:00	22:00	68.00	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Golpe de castillo contra vigas	Error de conexión
183	9	17-Set	16:00	12:30	44.50	Unidad Hidráulica	Válvula de control de presión	Baja presión en sistema hidráulico	Desgaste de embolo de válvula
184	9	21-Set	09:00	10:30	1.50	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera

N° Registro	Mes	Fecha	Para da	Arranque	Horas x Parada	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla
185	9	22-Set	07:10	09:30	2.33	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza
186	9	23-Set	08:50	10:10	1.33	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
187	9	26-Set	01:30	03:00	1.30	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo
188	9	27-Set	13:00	13:42	0.70	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación
189	9	28-Set	13:00	15:30	2.50	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector
190	9	29-Set	04:00	05:30	1.50	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía

Anexo 3

Grupos de modos de falla

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	N°Fallas	Horas de Parada
1	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	2	193.8
2	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal	2	45.0
3	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación	2	23.0
4	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Golpe de castillo contra vigas	Error de conexión	1	68.0
5	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	6	3.0
6	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión	5	38.6
7	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo	4	23.4
8	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector	6	16.5
9	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	rozamiento con guía	4	6.0
10	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía	4	2.8
11	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación	17	11.6
12	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe	6	4.0
13	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	6	2.7
14	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	11	50.0
15	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso	8	28.3
16	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes	9	17.8
17	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro	3	18.5
18	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Trabamiento de eje	1	6.0

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	N°Fallas	Horas de Parada
19	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Aflojamiento de medialunas	1	3.0
20	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas	6	3.0
21	Unidad de Cepillado y Lavado	Cardán	Rotura de cardan de cepillo	Fatiga	1	7.0
22	Unidad de Cepillado y Lavado	Tubería de agua	Cañería de agua doblada	Fatiga por golpe	1	4.5
23	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	8	22.3
24	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo	12	17.8
25	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	12	37.7
26	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja	2	3.8
27	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	5	6.0
28	Unidad Hidráulica	Sensor de temperatura	Alta temperatura de aceite del sistema hidráulico	Rotura de sensor de temperatura	1	11.5
29	Unidad Hidráulica	Válvula de control de presión	Baja presión en sistema hidráulico	Desgaste de embolo de válvula	1	44.5
30	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro	2	6.0
31	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello	5	14.0
32	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada	3	5.5
33	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	13	15.4
34	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	9	7.7

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	N°Fallas	Horas de Parada
35	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Diferencia de velocidad de cilindros en retroceso	Obstrucción de línea hidráulica	1	25.4
36	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Salida de vástago de cilindro de avance	Desgaste de rosca de horquilla	1	1.3
37	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	5	9.0
38	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	4	5.5

Anexo 4

Identificación de efectos de falla y estimación de la severidad

NºGrupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)
1	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	Daño crítico en guías, cuchilla y estructura Parada de deslaminadora por 98h Parada de electrolisis 48h	10
2	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal	Parada de deslaminadora por 25h Exposición en el horno de fusión por contaminación de las láminas con aceite	9
3	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación	Disminución del ritmo de producción Daño interno en cilindros, desgaste de cuchillas Parada de deslaminadora por atoro de cuchillas con los cátodos Parada de deslaminadora por 14h	8
4	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Golpe de castillo contra vigas	Error de conexión	Elevada vibración del sistema Fisuras en estructura soporte de cilindro Daño en la cuchilla, flexión en las guías y soporte Parada de deslaminadora por 68h Parada de electrolisis por 20h	10
5	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4
6	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 8h	9
7	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 7.5h	9
8	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 3h	9

NºGrupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)
9	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	Parada de deslaminadora por 2h	6
10	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía	Parada de deslaminadora por 1h	5
11	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.9h	5
12	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.8h	5
13	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4
14	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	Parada de deslaminadora 5.5h	7
15	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso	Parada de deslaminadora 4h	6
16	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 2.5h	6
17	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro	Deformación de marco de <i>transfer</i> Exposición a caída por maniobra de reposición Parada de deslaminadora de 6.5h	7
18	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Trabamiento de eje	Parada de deslaminadora 6h	7
19	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Aflojamiento de medialunas	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora 3h	6
20	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4
21	Unidad de Cepillado y Lavado	Cardán	Rotura de cardan de cepillo	Fatiga	Parada de deslaminadora 7h	7
22	Unidad de Cepillado y Lavado	Tubería de agua	Tubería de agua doblada	Fatiga por golpe	Parada de deslaminadora 4.5h	7
23	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	Rotura de faja Parada de deslaminadora 3.5h	6
24	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo	Parada de deslaminadora 2h	6

N°Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)
25	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	Deformación de marco Daño en sistema de poleas Rotura de cátodo Parada de deslaminadora 4.75h	7
26	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja	Parada de deslaminadora 2h	6
27	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	Parada de deslaminadora 1.5h	6
28	Unidad hidráulica	Sensor de temperatura	Alta temperatura de aceite del sistema hidráulico	Rotura de sensor de temperatura	Deterioro en oring y asientos de electroválvulas Deterioro de componentes internos de bomba Quemadura de operadores Parada de deslaminadora por 11.5h	9
29	Unidad hidráulica	Válvula de control de presión	Baja presión en sistema hidráulico	Desgaste de embolo de válvula	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 44.5h	9
30	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro	Parada de deslaminadora por 3h	6
31	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 3h	6
32	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 3h	6
33	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 2h	9
34	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 1h	5
35	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Diferencia de velocidad de cilindros en retroceso	Obstrucción de línea hidráulica	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 25h	9
36	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Salida de vástago de cilindro de avance	Desgaste de rosca de horquilla	Parada de deslaminadora 1.3h	6
37	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 2h	6

N°Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)
38	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Proyección hacia los operadores Parada de deslaminadora por 2h	9

Anexo 5

Identificación de las causas y estimación de la ocurrencia

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Horas Operación por falla	Ocurrencia (O)
1	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	Impacto de castillo de las guías sobre el trunión de los cilindros hidráulicos debido a la inercia que se genera al cambiar la velocidad del cilindro. Cuando el vástago del cilindro excesivamente flexado realiza la carrera ascendente se apoya contra los sellos internos disminuyendo su vida útil aceleradamente. La flexión se genera debido al desalineamiento del conjunto guías-cilindro-cuchilla, el conjunto se dobla por los esfuerzos generados durante el arrancado de la lámina y se va incrementando con la operación.	1894	4
2	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal	Las guías se doblan y deforman por los esfuerzos generados durante el arrancado de láminas y se agudiza cuando existen incrementos en la adherencia de las láminas al cátodo. El interruptor límite no envía la señal de parada a la electroválvula del cilindro hidráulico, los cables del interruptor límite de parada se instalaron en una entrada equivocada en el tablero de control, además las borneras no están correctamente rotuladas y los planos eléctricos están desactualizados.	1894	4
3	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación	Los pernos del interruptor límite se sueltan debido a la vibración de su soporte que se produce cuando el cilindro hidráulico cambió de velocidad.	1894	4
4	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Golpe de castillo contra vigas	Error de conexión		3788	3
5	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite		631	5

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Horas Operación por falla	Ocurrencia (O)
6	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión	Exposición durante años a un ambiente corrosivo, las tuberías nunca han sido reemplazadas. La excesiva longitud y la falta de un conector adecuado generaron que la manguera no se ordene de forma correcta (pegada al cilindro) generando que el castillo de las guías roce con ellas hasta perforarlas. Existe demora de atención debido a la falta de stock de mangueras.	758	5
7	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo		947	5
8	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector	Los conectores son reutilizados en cada cambio de cilindros.	631	5
9	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	La base del sensor es muy delgada y tiene un punto de fijación debilitado, está ubicado en una posición inadecuada donde las guías cuando se doblan, por efecto de la dureza rozan el sensor y deforman la base	947	5
10	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía	Los pernos de las tapas se aflojan debido al empuje que ejerce la guía flexada al hacer el recorrido.	947	5
11	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación	La dureza de las láminas y el depósito de zinc en los filetes provoca que el conjunto guías, vástago de cilindro, cuchillas y ballesta se doblen, las ballestas son el elemento de sacrificio del conjunto.	223	6
12	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe	El golpe entre la cabeza del vástago y la porta cuchillas ocurre debido al desgaste del asiento que se aloja entre ambos.	631	5
13	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	La dureza de las láminas, y el depósito de zinc en los filetes aumenta los esfuerzos que debe realizar la cuchilla, estos esfuerzos fatigan los pernos de fijación generando la rotura	631	5

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Horas Operación por falla	Ocurrencia (O)
14	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	La fatiga de la faja ocurre cuando el <i>transfer</i> se estrella en las posiciones extremas, esto se debe al desplazamiento de la posición inicial por la falta de frenado del servomotor, la falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como controlador, es decir, este variador no inyectaba corriente necesaria para el frenado. El cátodo chocó con la caja de paso cuando es transferido con balanceo, durante la operación automática es posible que alguno de los cátodos se entregue inestables al <i>transfer</i> por lo que el balanceo es una condición operacional	344	6
15	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso	El golpe que se genera entre las vigas y el <i>transfer</i> mueve el carro de sus posiciones extremas debido a la falta de frenado del servomotor. La falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como servodrives ya que el variador no inyectaba corriente necesaria para el frenado.	474	6
16	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes	Debido al excesivo tiempo de operación, ya que durante los mantenimientos correctivos no se revisa o cambia la base. Deficiente reparación en taller, la tapa tenía excesivo ajuste con el eje, lo que genera la fisura de la tapa, se reparó debido a que no se tenía stock en almacén.	421	6
17	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro	No se realizó revisión de las medialunas durante los mantenimientos anteriores	1263	5
18	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Trabamiento de eje		3788	3
19	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Aflojamiento de medialunas		3788	3

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Horas Operación por falla	Ocurrencia (O)
20	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas	Deformación de marco de izaje debido a los impactos continuos durante la operación (cátodos y vigas)	631	5
21	Unidad de Cepillado y Lavado	Cardán	Rotura de cardan de cepillo	Fatiga	Fatiga esperada en la cruceta debido a los esfuerzos continuos presentes durante la operación, no se realiza inspección durante los mantenimientos anteriores	3788	3
22	Unidad de Cepillado y Lavado	Tubería de agua	Tubería de agua doblada	Fatiga por golpe	Los golpes durante el trabamiento del marco de izaje o la caída de cátodos durante los años de operación	3788	3
23	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	Debido al desgaste por la fatiga del amortiguador del conjunto de la polea conducida	474	6
24	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo	Debido a esfuerzos generados durante el trabamiento del marco izaje, la base de la mordaza se deforma y lo realiza también al testigo que tiene adherido generando falsas lecturas durante la operación	316	6
25	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	El desgaste de las ruedas y pines de los brazos del marco de izaje generan que las mordazas se traben y no aprieten correctamente el cátodo y cuando ocurre el movimiento de ascenso este se caiga, la caída provoca el trabamiento del cátodo con el sistema y los sobre esfuerzo en la estructura del marco.	316	6
26	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja	Trabamiento del marco de izaje con la caída del cátodo, el cátodo se cae debido a que la mordaza no aprieta el cátodo por el trabamiento de los brazos.	1894	4

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Horas Operación por falla	Ocurrencia (O)
27	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	La soldadura de los interruptores límites es generada por los esfuerzos presentes en la operación y a que no se realiza el ajuste durante el mantenimiento preventivo debido a que están ubicados en un punto sin acceso en la parte superior de la Unidad de Cepillado y Lavado.	758	5
28	Unidad hidráulica	Sensor de temperatura	Alta temperatura de aceite del sistema hidráulico	Rotura de sensor de temperatura	La rotura del sensor PT100 y la falla del controlador género que desactivó el sistema de enfriamiento parando la bomba de recirculación de aceite.	3788	3
29	Unidad hidráulica	Válvula de control de presión	Baja presión en sistema hidráulico	Desgaste de embolo de válvula	La válvula tiene varios años de operación, y hace un año se realizó un mantenimiento en taller, pero no se realizó el cambio por falta de stock.	3788	3
30	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro	Debido a la caída de residuos de solución ácida durante el traslado de los cátodos.	1894	4
31	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello	Oxidación formada en el vástago debido a la caída de solución que fricciona el sello principal del cilindro.	758	5
32	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada	Desgaste de las ruedas del mecanismo de traslado de la viga	1263	5
33	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Desgaste por corrosión debido al impacto de la solución ácida residual que cae durante el traslado de cátodos.	291	6
34	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	Excesivo desgaste del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.	421	6
35	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Diferencia de velocidad de cilindros en retroceso	Obstrucción de línea hidráulica	Una línea de alimentación hidráulica se encontró abollada lo que genera restricción en uno de los cilindros, pero no se tiene stock de tuberías para reemplazo.	3788	3

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Horas Operación por falla	Ocurrencia (O)
36	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Salida de vástago de cilindro de avance	Desgaste de rosca de horquilla	Desgaste de los hilos de las horquillas, los cilindros se cambian, pero las horquillas se recuperan debido a que no se tiene en stock en almacén.	3788	3
37	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	El excesivo desgaste del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.	758	5
38	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Desgaste por fricción con los elementos mecánicos debido a la excesiva longitud y la falta de fijación de las mangueras.	947	5

Anexo 6

Identificación de los controles actuales y estimación de la detección

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Control Preventivo o Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)
1	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	Impacto de castillo de las guías sobre el trunión de los cilindros hidráulicos debido a la inercia que se genera al cambiar la velocidad del cilindro.	-	-	10
2	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal	Cuando el vástago del cilindro excesivamente flexado realiza la carrera ascendente se apoya contra los sellos internos disminuyendo su vida útil aceleradamente. La flexión se genera debido al desalineamiento del conjunto guías-cilindro-cuchilla, el conjunto se dobla por los esfuerzos generados durante el arrancado de la lámina y se va incrementando con la operación.	-	Inspección visual cada 2 semanas Se observa la flexión del conjunto y no se tiene un parámetro referencial Inspección visual cada 2 semanas	7
3	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación	Las guías se doblan y deforman por los esfuerzos generados durante el arrancado de láminas y se agudiza cuando existen incrementos en la adherencia de las láminas al cátodo.	-	Se observa la flexión del conjunto	6
4	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Golpe de castillo contra vigas	Error de conexión	El interruptor límite no envía la señal de parada a la electroválvula del cilindro hidráulico, los cables del interruptor límite de parada se instalaron en una entrada equivocada en el tablero de control, además las borneras no están correctamente rotuladas y los planos eléctricos están desactualizados.	-	-	10
5	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	Los pernos del interruptor límite se sueltan debido a la vibración de su soporte que se produce cuando el cilindro hidráulico cambió de velocidad.	Revisión y ajuste mensual No se tiene acceso seguro a los interruptores límites	-	5

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Control Preventivo o Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)
6	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión	Exposición durante años a un ambiente corrosivo, las tuberías nunca han sido reemplazadas.	-	-	10
7	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo	La excesiva longitud y la falta de un conector adecuado generaron que la manguera no se ordene de forma correcta (pegada al cilindro) generando que el castillo de las guías roce con ellas hasta perforarlas. Existe demora de atención debido a la falta de stock de mangueras.	-	Inspección visual 2 veces por semana	5
8	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector	Los conectores son reutilizados en cada cambio de cilindros.	-	-	10
9	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	La base del sensor es muy delgada y tiene un punto de fijación debilitado, está ubicado en una posición inadecuada donde las guías cuando se doblan, por efecto de la dureza rozan el sensor y deforman la base	Revisión, limpieza y ajuste mensual	-	4
10	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía	Los pernos de las tapas se aflojan debido al empuje que ejerce la guía flexada al hacer el recorrido.	-	Inspección visual cada 2 semanas Se observa la flexión del conjunto y no se tiene un parámetro referencial	6
11	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación	La dureza de las láminas y el depósito de zinc en los filetes provoca que el conjunto guías, vástago de cilindro, cuchillas y ballesta se doblen, las ballestas son el elemento de sacrificio del conjunto.	Reemplazo de ballesta cada 24 semanas	Inspección visual 2 veces por semana Se observa estado de ballesta	5
12	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe	El golpe entre la cabeza del vástago y la porta cuchillas ocurre debido al desgaste del asiento que se aloja entre ambos.	-	-	10

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Control Preventivo o Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)
13	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	La dureza de las láminas, y el depósito de zinc en los filetes aumenta los esfuerzos que debe realizar la cuchilla, estos esfuerzos fatigan los pernos de fijación generando la rotura	Reemplazo de cuchillas cada 24 semanas	Inspección 2 veces por semana	6
14	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	La fatiga de la faja ocurre cuando el <i>transfer</i> se estrella en las posiciones extremas, esto se debe al desplazamiento de la posición inicial por la falta de frenado del servomotor, la falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como servodrive, es decir, este variador no inyectaba corriente necesaria para el frenado.	-	Inspección visual cada 4 semanas	6
15	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso	El cátodo chocó con la caja de paso cuando es transferido con balanceo, durante la operación automática es posible que alguno de los cátodos se entregue inestables al <i>transfer</i> por lo que el balanceo es una condición operacional El golpe que se genera entre las vigas y el <i>transfer</i> mueve el carro de sus posiciones extremas debido a la falta de frenado del servomotor. La falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como servodrive ya que el variador no inyectaba corriente necesaria para el frenado.	-	-	10
16	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes	Debido al excesivo tiempo de operación, ya que durante los mantenimientos correctivos no se revisa o cambia la base.	-	-	10
17	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro	Deficiente reparación en taller, la tapa tenía excesivo ajuste con el eje, lo que genera la fisura de la tapa, se reparó debido a que no se tenía stock en almacén.	-	-	10
18	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Trabamiento de eje	No se realizó revisión de las medialunas durante los mantenimientos anteriores	-	-	10
19	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Aflojamiento de medialunas	Deformación de marco de izaje debido a los impactos continuos durante la operación (cátodos y vigas)	-	Inspección 3 veces por semana	8
20	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas				

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Control Preventivo o Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)
21	Unidad de Cepillado y Lavado	Cardán	Rotura de cardan de cepillo	Fatiga	Fatiga esperada en la cruceta debido a los esfuerzos continuos presentes durante la operación, no se realiza inspección durante los mantenimientos anteriores	-	-	10
22	Unidad de Cepillado y Lavado	Tubería de agua	Tubería de agua doblada	Fatiga por golpe	Los golpes durante el trabamiento del marco de izaje o la caída de cátodos durante los años de operación	-	-	10
23	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	Debido al desgaste por la fatiga del amortiguador del conjunto de la polea conducida	-	Inspección semanal de la faja	8
24	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo	Debido a esfuerzos generados durante el trabamiento del marco izaje, la base de la mordaza se deforma y lo realiza también al testigo que tiene adherido generando falsas lecturas durante la operación	-	Inspección 2 veces por semana	4
25	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	El desgaste de las ruedas y pines de los brazos del marco de izaje generan que las mordazas se traben y no aprieten correctamente el cátodo y cuando ocurre el movimiento de ascenso este se caiga, la caída provoca el trabamiento del cátodo con el sistema y los sobre esfuerzo en la estructura del marco.	-	Inspección 2 veces por semana	6
26	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja	Trabamiento del marco de izaje con la caída del cátodo, el cátodo se cae debido a que la mordaza no aprieta el cátodo por el trabamiento de los brazos.	-	-	10
27	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	La soltura de los interruptores límites es generada por los esfuerzos presentes en la operación y a que no se realiza el ajuste durante el mantenimiento preventivo debido a que están ubicados en un punto sin acceso en la parte superior de la unidad de cepillado y lavado.	Revisión y ajuste mensual No se tiene acceso seguro a los interruptores límites para realizar ajuste	-	7

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Control Preventivo o Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)
28	Unidad hidráulica	Sensor de temperatura	Alta temperatura de aceite del sistema hidráulico	Rotura de sensor de temperatura	La rotura del sensor PT100 y la falla del controlador género que desactivó el sistema de enfriamiento parando la bomba de recirculación de aceite.	-	Inspección de funcionamiento de sistema cada 24 semanas	8
29	Unidad hidráulica	Válvula de control de presión	Baja presión en sistema hidráulico	Desgaste de embolo de válvula	La válvula tiene varios años de operación, y hace un año se realizó un mantenimiento en taller, pero no se realizó el cambio por falta de stock.	Inspección de electroválvulas, prueba manual, eliminar fugas y ajuste de pernos cada 8 semanas	-	7
30	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro	Debido a la caída de residuos de solución ácida durante el traslado de los cátodos.	-	Inspección semanal de cilindro	4
31	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello	Oxidación formada en el vástago debido a la caída de solución que fricciona el sello principal del cilindro.	-	Inspección semanal de cilindro	8
32	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada	Desgaste de las ruedas del mecanismo de traslado de la viga	-	Verificación de alineamiento y nivel de vigas cada 2 semanas	4
33	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Desgaste por corrosión debido al impacto de la solución acida residual que cae durante el traslado de cátodos.	-	Inspección semanal de mangueras de los cilindros	4
34	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	Excesivo desgaste del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.	-	-	10
35	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Diferencia de velocidad de cilindros en retroceso	Obstrucción de línea hidráulica	Una línea de alimentación hidráulica se encontró abollada lo que genera restricción en uno de los cilindros, pero no se tiene stock de tuberías para reemplazo.	-	-	10

N° Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Causa de falla	Control Preventivo o Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)
36	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Salida de vástago de cilindro de avance	Desgaste de rosca de horquilla	Desgaste de los hilos de las horquillas, los cilindros se cambian, pero las horquillas se recuperan debido a que no se tiene en stock en almacén.	-	-	10
37	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	El excesivo desgaste del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.	-	-	10
38	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Desgaste por fricción con los elementos mecánicos debido a la excesiva longitud y la falta de fijación de las mangueras.	-	Inspección semanal de mangueras de los cilindros	4

Anexo 7

Cálculo del NPR inicial y acciones de mantenimiento propuestas

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NPR	Acciones Propuestas	Tipo
1	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	Daño critico en guías, cuchilla y estructura Parada de deslaminadora por 98h Parada de electrólisis por 48h	10	Impacto de castillo de las guías sobre el trunión de los cilindros hidráulicos debido a la inercia que se genera al cambiar la velocidad del cilindro.	4	-	-	10	400	Cambiar el modelo de la electroválvula que controla el cilindro de on-off a proporcional (modulación de caudal) Verificar a inicio de turno que el castillo no golpee al detenerse durante el descenso Incluir en el mantenimiento semanal la verificación del paralelismo y verticalidad de las guías y el cilindro, la distancia entre los ejes en los 4 puntos de apoyo dados, soporte, porta cuchillas y castillo debe ser 560 mm.	Acción de mejora Control detectivo
2	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal	Parada de Deslaminadora por 25h Exposición en el horno de fusión por contaminación de las láminas con aceite	9	Cuando el vástago del cilindro excesivamente flexado realiza la carrera ascendente se apoya contra los sellos internos disminuyendo su vida útil aceleradamente. La flexión se genera debido al desalineamiento del conjunto guías-cilindro-cuchilla, el conjunto se dobla por los esfuerzos generados durante el arrancado de la lámina y se va incrementando con la operación.	4	-	Inspección visual cada 2 semanas Se observa la flexión del conjunto no se tiene un parámetro referencial	7	252	Incluir en el plan de mantenimiento preventivo el cambio de los cilindros hidráulicos cada 8 semanas. Cambiar el ancho de los soportes de los cilindros (donde se monta los pines de trunión), fabricarlos con el doble de ancho del actual para	Control detectivo Control preventivo Acción de mejora

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
3	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación	Disminución del ritmo de producción Daño interno en cilindros, desgaste de cuchillas Parada de deslaminadora por atoro de cuchillas con los cátodos Parada de deslaminadora por 14h	8	Las guías se doblan y deforman por los esfuerzos generados durante el arrancado de láminas y se agudiza cuando existen incrementos en la adherencia de las láminas al cátodo.	4	-	Inspección visual cada 2 semanas Se observa la flexión del conjunto	6	192	que permita instalar un juego de pernos de fijación adicional. Incluir en el mantenimiento semanal la inspección de la deformación de las guías en la zona de unión con la porta cuchilla. Incluir en el mantenimiento semanal (3 veces por semana) ajustar las tuercas de fijación de las guías a la porta cuchillas Incluir en el plan de mantenimiento preventivo el cambio de las 4 guías cada 24 semanas	Control detectivo Control preventivo Control preventivo
4	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Golpe de castillo contra vigas	Error de conexión	Elevada vibración del sistema Fisuras en estructura soporte de cilindro Daño en la cuchilla, flexión en las guías y soporte Parada de deslaminadora por 68h Parada de electrolisis por 20h	10	El interruptor límite no envía la señal de parada a la electroválvula del cilindro hidráulico, los cables del interruptor límite de parada se instalaron en una entrada equivocada en el tablero de control, además las borneras no están correctamente rotuladas y los planos eléctricos están desactualizados.	3	-	-	10	300	Realizar la actualización diagramas unifilares y actualizar el rotulado de las borneras en los tableros de control y fuerza de la deslaminadora, cada tablero debe tener el diagrama unifilar en físico.	Acción correctiva

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
5	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4	Los pernos del interruptor límite se sueltan debido a la vibración de su soporte que se produce cuando el cilindro hidráulico cambia de velocidad.	5	Revisión y ajuste mensual No se tiene acceso seguro a los interruptores límites para realizar ajuste	-	5	100	Cambiar la estructura soporte de interruptor límite, reducir la longitud del soporte y modificar su posición hacia el lado de la plataforma instalado sobre los tableros hidráulicos, se requerirá modificar la posición del testigo. Incluir en el mantenimiento de cada 2 semanas el ajuste de los pernos de la base del interruptor límite Reemplazar las tuberías hidráulicas con tuberías hidráulicas con chaqueta de protección termo contraíble antiácida, migrar a conexiones JIC. Incluir en el mantenimiento mensual la inspección de la condición de las tuberías hidráulicas.	Acción de mejora Control preventivo
6	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 7.5h	9	Exposición durante años a un ambiente corrosivo, las tuberías nunca han sido reemplazadas.	5	-	-	10	450	Incluir en el mantenimiento mensual la inspección de la condición de las tuberías hidráulicas. Cambiar parte del recorrido de las mangueras hidráulicas por tuberías de 3/4" adosadas a los cilindros de forma que se minimice la longitud de las mangueras hidráulicas	Acción de mejora Control detectivo
7	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 7.5h	9	La excesiva longitud y la falta de un conector adecuado generaron que la manguera no se ordene de forma correcta (pegada al cilindro) generando que el castillo de las guías roce con	5	-	Inspección visual 2 veces por semana	5	225		Acción de mejora

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
							ellas hasta perforarlas. Existe demora de atención debido a la falta de stock de mangueras.							
8	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 3h	9	Los conectores son reutilizados en cada cambio de cilindros.	5	-	-	10	450	Incluir en el mantenimiento semanal la inspección de la presencia de fugas en los conectores de los cilindros Adquirir conectores para las conexiones cilindro-manguera (BSP-METRICO) e instalarlos en los cilindros de reserva, modificar el procedimiento de cambio de cilindro. Cada cilindro instalado debe tener conectores nuevos.	Control detectivo
9	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de posición cilindro arriba	Rozamiento con guía	Parada de deslaminadora por 2h	6	La base del sensor es muy delgada y tiene un punto de fijación debilitado, está ubicado en una posición inadecuada donde las guías cuando se doblan, por efecto de la dureza rozan el sensor y deforman la base	5	Revisión, limpieza y ajuste mensual	-	4	120	Fabricar e instalar una nueva base del sensor la plancha, el cual debe ser de 5mm (mínimo), la instalación debe realizarse en el centro entre el cilindro y la guía.	Acción de mejora

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurriencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
13	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	deslaminadora por 0.8h	4	desgaste del asiento que se aloja entre ambos. El golpe entre la cabeza del vástago y la porta cuchillas ocurre debido al desgaste del asiento que se aloja entre ambos.	5	Reemplazo de cuchillas cada 24 semanas	Inspección 2 veces por semana	6	120	Incluir en mantenimiento mensual la inspección del asiento ubicado entre el vástago del cilindro y la porta cuchilla	Control detectivo
					Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h		La dureza de las láminas, y el depósito de zinc en los filetes aumenta los esfuerzos que debe realizar la cuchilla, estos esfuerzos fatigan los pernos de fijación generando la rotura						Incluir el cambio de asiento entre el vástago del cilindro y la porta cuchilla cada 48 semanas	Control preventivo
							La fatiga de la faja ocurre cuando el transfer se estrella en las posiciones extremas, esto se debe al desplazamiento de la posición inicial por la falta de frenado del servomotor, la falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como controlador, es decir, este variador no inyectaba						Verificar en una inspección a inicio de cada turno la condición de las cuchillas y los pernos de anclaje	Control detectivo
													Incluir el cambio de pernos de anclaje de cuchilla cada 2 semanas	Control preventivo
14	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	Parada de deslaminadora 4.5h	7		6	-	Inspección visual cada 4 semanas	6	252	Reemplazar el controlador actual e instalar el servodrive original modelo ultra 3000	Acción correctiva
													Instalar los topes amortiguadores en los extremos del carro de transfer	Acción de mejora
													Incluir la verificación del templado y condición de faja e inspección, así como la condición de templadores en el mantenimiento semanal	Control detectivo

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
							corriente necesaria para el frenado.							
15	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso	Parada de deslaminadora 4h	6	El cátodo chocó con la caja de paso cuando es transferido con balanceo, durante la operación automática es posible que alguno de los cátodos se entregue inestables al transfer por lo que el balanceo es una condición operacional. El golpe que se genera entre las vigas y el transfer mueve el carro de sus posiciones extremas debido a la falta de frenado del servomotor. La falta de frenado en el servomotor se debe a que se realizó la instalación de un variador como servodrive ya que el variador no inyectaba corriente necesaria para el frenado.	6	-	-	10	360	Reubicar la posición de la caja de paso eléctrica ubicado entre la mesa de arrancado y la mesa de evacuación de cátodos vacíos.	Acción de mejora
16	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 2.5h	6		6	-	-	10	360	Reemplazar el controlador actual e instalar el servodrive original modelo ultra 3000	Acción correctiva

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
17	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro	Deformación de marco de <i>transfer</i> Exposición a caída por maniobra de reposición Parada de deslaminadora de 6.5h	7	Debido al excesivo tiempo de operación, ya que durante los mantenimientos correctivos no se revisa o cambia la base.	5	-	-	10	350	Reemplazar el transfer completo, el transfer instalado debe tener base del carro nueva Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la revisión de la base del carro transfer Incluir en el plan de mantenimiento el cambio de transfer completo cada 24 semanas, modificar el procedimiento de reparación de transfer en este se debe incluir la instalación de una base nueva o como nueva. Modificar la estrategia de atención de servomotores, estos serán componentes no reparables Modificar la estrategia de reposición de servomotores de almacén aumentando el punto de pedido a 6 y el punto de reposición 3 considerando que existen 3 deslaminadoras con el mismo servomotor	Acción correctiva Control detectivo Control preventivo Acción de mejora Acción de mejora
18	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Trabamiento de eje	Parada de deslaminadora 3h	7	Deficiente reparación en taller, la tapa tenía excesivo ajuste con el eje, lo que genera la fisura de la tapa, se reparó debido a que no se tenía stock en almacén. No se realizó revisión de las medialunas durante los mantenimientos anteriores	3	-	-	10	210		

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
19	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Aflojamiento de medialunas	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora 3h	6	No se realizó revisión de las medialunas durante los mantenimientos anteriores	3	-	-	10	180	Incluir en el mantenimiento mensual el ajuste de los pernos de acople (media luna) entre el servomotor y el reductor del transfer.	Control preventivo
20	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 0.5h	4	Deformación de marco de izaje debido a los impactos continuos durante la operación (cátodos y vigas)	5	-	Inspección 3 veces por semana	8	160	Reemplazar el marco de transfer completo. Realizar la verificación diaria a inicio de cada turno de la regulación de las garras, verificar con operador que no golpee con las vigas o los cátodos, ajustar pernos o poner arandelas de ser necesario.	Acción correctiva Control preventivo
21	Unidad de Cepillado y Lavado	Cardán	Rotura de cardan de cepillo	Fatiga	Parada de deslaminadora 7h	7	Fatiga esperada en la cruceta debido a los esfuerzos continuos presentes durante la operación, no se realiza inspección durante los mantenimientos anteriores	3	-	-	10	210	Incluir en el mantenimiento mensual la inspección de la cruceta y el ajuste de pernos de la base del cardan	Control detectivo
22	Unidad de Cepillado y Lavado	Tubería de agua	Tubería de agua doblada	Fatiga por golpe	Parada de deslaminadora 4.5h	7	Los golpes durante el trabamieto del marco de izaje o la caída de cátodos durante los años de operación	3	-	-	10	210	Realizar el reemplazo de la tubería de agua de lavado Incluir en el mantenimiento mensual la inspección de la tubería y cambiar toberas de inyección según condición	Acción correctiva Control detectivo

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
23	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	Rotura de faja Parada de deslaminadora 3.5h	6	Debido al desgaste por la fatiga del amortiguador del conjunto de la polea conducida	6	-	Inspección semanal de la faja	8	288	Reemplazar los amortiguadores de los soportes de poleas Incluir en el mantenimiento de 48 semanas el cambio de amortiguadores del conjunto de polea conducida	Acción correctiva Control preventivo
24	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo	Parada de deslaminadora 3.5h	6	Debido a esfuerzos generados durante el trabamamiento del marco izaje, la base de la mordaza se deforma y lo realiza también al testigo que tiene adherido generando falsas lecturas durante la operación El desgaste de las ruedas y pines de los brazos del marco de izaje generan que las mordazas se traben y no aprieten correctamente el cátodo y cuando ocurre el movimiento de ascenso este se caiga, la caída provoca el trabamiento del cátodo con el sistema y los sobre esfuerzo en la estructura del marco.	6	-	Inspección 2 veces por semana	4	144	Incluir en el plan de mantenimiento mensual el enderezado de la base de la mordaza del marco de izaje Cambiar las ruedas y pines del mecanismo de apertura y cierre de los brazos	Acción correctiva Control preventivo Acción correctiva
25	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	Deformación de marco Daño en sistema de poleas Rotura de cátodo Parada de deslaminadora 4.75h	7		6	-	Inspección 2 veces por semana	6	252	Incluir en el plan de mantenimiento el cambio de brazos del marco de izaje cada 24 semanas.	Control preventivo

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
26	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja	Parada de deslaminadora 2h	6	Trabamiento del marco de izaje con la caída del cátodo, el cátodo se cae debido a que la mordaza no aprieta el cátodo por el trabamiento de los brazos.	4	-	-	10	240	Cambiar las ruedas y pines del mecanismo de apertura y cierre de los brazos Incluir en el plan de mantenimiento el cambio de brazos del marco de izaje cada 24 semanas. Despejar la zona de la plataforma superior para dar mayor acceso a los mantenedores y permitir una regulación rápida. Para despejar la zona se requiere mover los soportes de la tubería HPD a un costado para retirarlos de la plataforma. Fijar soporte base principal de interruptor límite, el soporte es largo por lo que se requiere fijarlo con travesaños adicionales. Incluir la regulación y fijación de los interruptores límites en el mantenimiento semanal Reposición de sistema de control automático de temperatura sensor, controlador y enlazarlo con el motor de recirculación y el enfriador.	Acción correctiva Control preventivo
27	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Límite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	Parada de deslaminadora 1.5h	6	La soltura del interruptor límite es generada por los esfuerzos presentes en la operación y a que no se realiza el ajuste durante el mantenimiento preventivo debido a que están ubicados en un punto sin acceso en la parte superior de la unidad de cepillado y lavado.	5	Revisión y ajuste mensual No se tiene acceso seguro a los interruptores límites para realizar ajuste	-	7	210		Acción de mejora Acción de mejora Control preventivo
28	Unidad hidráulica	Sensor de temperatura	Alta temperatura de aceite del sistema hidráulico	Rotura de sensor de temperatura	Deterioro en oring y asientos de electroválvulas Deterioro de componentes internos de bomba Quemadura de	9	La rotura del sensor PT100 y la falla del controlador género que desactivó el sistema de enfriamiento parando la bomba	3	-	Inspección de funcionamiento de sistema cada 24 semanas	8	216		Acción correctiva

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
29	Unidad hidráulica	Válvula de control de presión	Baja presión en sistema hidráulico	Desgaste de embolo de válvula	operadores Parada de deslaminadora por 12h	9	de recirculación de aceite.	3	Inspección de electroválvulas prueba manual, eliminar fugas y ajuste de pernos cada 8 semanas	-	7	189	Realizar la inspección y contrastación del sensor de temperatura con frecuencia cada 8 semanas	Control detectivo
					Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 44.5h		La válvula tiene varios años de operación, y hace un año se realizó un mantenimiento en taller, pero no se realizó el cambio por falta de stock.						Realizar la inspección y prueba del sistema de enfriamiento automático cada 8 semanas	Control detectivo
													Modificar la catalogación de la electroválvula de control de presión, esta debe ser de reposición automática.	Acción de mejora
													Realizar el cambio de electroválvula por una nueva en el mantenimiento de 48 semanas.	Control preventivo
30	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro	Parada de deslaminadora por 3h	6	Debido a la caída de residuos de solución ácida durante el traslado de los cátodos.	4	-	Inspección semanal de cilindro	4	96	Instalar fuelles protectores de vástago de cilindros hidráulicos, el fuelle debe ser de material antiácido,	Acción de mejora
31	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de cilindro de avance	Desgaste de sello	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 3h	6	Oxidación formada en el vástago debido a la caída de solución que fricciona el sello principal del cilindro.	5	-	Inspección semanal de cilindro	8	240	Instalar chaquetas antiácidas de protección al cuerpo del cilindro hidráulicos.	Acción de mejora
32	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga	Pérdida de ritmo de producción Parada de	6	Desgaste de las ruedas del mecanismo de traslado de la viga	5	-	Verificación de alineamiento y nivel de	4	120	Realizar el cambio de ruedas en los mantenimientos de 12 semanas.	Control preventivo

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurriencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
				desnivela da	deslaminadora por 3h					vigas cada 2 semanas				
33	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Proyección hacia los operadores Resbalamiento por contaminación del piso Parada de deslaminadora por 1.5h	9	Desgaste por corrosión debido al impacto de la solución acida residual que cae durante el traslado de cátodos.	6	-	Inspección semanal de mangueras de los cilindros	4	216	Instalar protector de mangueras de material antiácido a las mangueras de alimentación a cilindros.	Acción de mejora
34	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 1h	5	Excesivo desgaste del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.	6	-	-	10	300	Fabricar y reemplazar el soporte de la viga móvil en donde se aloja el pin del cilindro. Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la inspección del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil. Realizar el levantamiento del diámetro, longitud, forma de las tuberías conectores de las tuberías hidráulicas que alimentan los cilindros de avance y retroceso desde el tablero hidráulico. Realizar la inspección de la condición de las tuberías hidráulicas existentes, definir tramos a reemplazar.	Acción correctiva Control detectivo Acción de mejora Acción correctiva
35	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Diferencia de velocidad de cilindros en retroceso	Obstrucción de línea hidráulica	Pérdida de ritmo de producción Parada de deslaminadora por 25h	9	Una línea de alimentación hidráulica se encontró abollada lo que genera restricción en uno de los cilindros, pero no se tiene stock de tuberías para reemplazo.	3	-	-	10	270		

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurriencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
36	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Salida de vástago de cilindro de avance	Desgaste de rosca de horquilla	Parada de deslaminadora 1.3h.	6	Desgaste de los hilos de las horquillas, los cilindros se cambian, pero las horquillas se recuperan debido a que no se tiene en stock en almacén.	3	-	-	10	180	Fabricar las tuberías identificadas en mal estado y reemplazar los tramos que actualmente son mangueras. Incluir en el mantenimiento cada 2 semanas la inspección de todas las tuberías hidráulicas de la mesa de arrancado, mesa de recepción y evacuación de cátodos Modificar los soportes de los cilindros de avance de forma que se estandarice la longitud total y se estandarice el tamaño de horquilla. Modificar la estrategia de adquisición de la horquilla, esta de ser de reposición automática Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la inspección de las horquillas y la rosca de los vástagos de cilindros hidráulicos en la mesa de arrancado, mesa de recepción y evacuación de cátodos	Acción correctiva Control detectivo Acción de mejora Control detectivo
37	Mesa de arrancado	Sensor			Pérdida de ritmo de	6	El excesivo desgaste del	5	-	-	10	300	Fabricar y reemplazar el soporte de la viga	Acción correctiva

N° Grupo	Sub sistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Efecto	Severidad (S)	Causa de falla	Ocurrencia (O)	Control Preventivo Actual	Control Detectivo Actual	Detección (D)	NP R	Acciones Propuestas	Tipo
38	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	producción Parada de deslaminadora por 2h		alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil.						móvil en donde se aloja el pin del cilindro. Incluir en el mantenimiento de 12 semanas la inspección del alojamiento del pin del cilindro en la viga móvil. Cambiar mangueras por otras de menor longitud e instalar protectores de mangueras, verificar en operación que no exista atrapamiento y adosarla las mangueras a las estructuras con abrazaderas tipo clamp.	Control detectivo
			Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	Proyección hacia los operadores Parada de deslaminadora por 2h	9	Desgaste por fricción con los elementos mecánicos debido a la excesiva longitud y la falta de fijación de las mangueras.	5	-	Inspección semanal de mangueras de los cilindros	4	180		Acción correctiva

Anexo 8

Cálculo de NPR final

Nº Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Severidad inicial (Si)	Ocurrencia inicial (Oi)	Detección inicial (Di)	NPR inicial	Severidad final (Sf)	Ocurrencia final (Of)	Detección final (Df)	NPR final
1	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Cilindro de hidráulico caído	Rotura por fatiga de trunión	10	4	10	400	10	1	4	40
2	Arrancador Vertical	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por sellos de cilindro hidráulico	Desgaste por fricción de sello principal	9	4	7	252	9	2	4	72
3	Arrancador Vertical	Guías	Rotura de guía	Fatiga por deformación	8	4	6	192	8	2	4	64
4	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Golpe de castillo contra vigas	Error de conexión	10	3	10	300	10	1	10	100
5	Arrancador Vertical	Interruptor Limite	Falla en regulación de interruptor límite cilindro abajo	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	4	5	5	100	4	2	3	24
6	Arrancador Vertical	Tubería Hidráulica	Fuga de aceite por tubería hidráulica	Desgaste por corrosión	9	5	10	450	9	2	4	72
7	Arrancador Vertical	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Rozamiento con castillo	9	5	5	225	9	1	5	45
8	Arrancador Vertical	Conector hidráulico	Fuga de aceite por conector de cilindro	Desgaste de rosca de conector	9	5	10	450	9	1	5	45
9	Arrancador Vertical	Sensor	Rotura de base de sensor de	Rozamiento con guía	6	5	4	120	6	1	4	24

N°Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Severidad inicial (Si)	Ocurrencia inicial (Oi)	Detección inicial (Di)	NPR inicial	Severidad final (Sf)	Ocurrencia final (Of)	Detección final (Df)	NP R final
			posición cilindro arriba									
10	Arrancador Vertical	Soporte de guías	Caída de tapa de soporte de guías	Aflojamiento de pernos por empuje de guía	5	5	6	150	5	2	4	40
11	Arrancador Vertical	Ballesta	Ballesta doblada	Fatiga por deformación	5	6	5	150	5	4	5	100
12	Arrancador Vertical	Media luna	Rotura de pernos de medialuna	Fatiga por golpe	5	5	10	250	5	1	5	25
13	Arrancador Vertical	Cuchilla	Caída de cuchilla	Rotura por fatiga de pernos de anclaje	4	5	6	120	4	2	4	32
14	Unidad de Transferencia Lateral	Faja	Rotura de faja	Fatiga	7	6	6	252	7	1	5	35
15	Unidad de Transferencia Lateral	Cable eléctrico	Rotura de cable de sensores por caída de cátodos	Golpe a caja de paso	6	6	10	360	6	1	10	60
16	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Carro no completa recorrido	Desplazamiento por golpes	6	6	10	360	6	1	10	60
17	Unidad de Transferencia Lateral	Carro	Caída de marco	Desgaste de base del carro	7	5	10	350	7	2	4	56
18	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Trabamiento de eje	7	3	10	210	7	1	10	70
19	Unidad de Transferencia Lateral	Servomotor	Carro no completa recorrido	Aflojamiento de medialunas	6	3	10	180	6	1	10	60
20	Unidad de Transferencia Lateral	Marco	Marco doblado	Golpe con vigas	4	5	8	160	4	4	4	64
21	Unidad de Cepillado y Lavado	Cardán	Rotura de cardan de cepillo	Fatiga	7	3	10	210	7	3	5	105

N°Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Severidad inicial (Si)	Ocurrencia inicial (Oi)	Detección inicial (Di)	NPR inicial	Severidad final (Sf)	Ocurrencia final (Of)	Detección final (Df)	NP R final
22	Unidad de Cepillado y Lavado	Tubería de agua	Tubería de agua doblada	Fatiga por golpe	7	3	10	210	7	3	3	63
23	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Desnivel de marco de izaje	Soltura de faja	6	6	8	288	6	1	8	48
24	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Activación interruptor límite de posición inferior	Deformación de brazo	6	6	4	144	6	2	4	48
25	Unidad de Cepillado y Lavado	Marco de izaje	Caída de cátodo del marco del izaje	Trabamiento de mordaza	7	6	6	252	7	1	6	42
26	Unidad de Cepillado y Lavado	Faja	Rotura de faja de cepillo	Estiramiento de faja	6	4	10	240	6	1	10	60
27	Unidad de Cepillado y Lavado	Interruptor Limite	Falla en activación de interruptor límite superior	Aflojamiento de pernos de interruptor límite	6	5	7	210	6	4	3	72
28	Unidad hidráulica	Sensor de temperatura	Alta temperatura de aceite del sistema hidráulico	Rotura de sensor de temperatura	9	3	8	216	9	3	4	108
29	Unidad hidráulica	Válvula de control de presión	Baja presión en sistema hidráulico	Desgaste de embolo de válvula	9	3	7	189	9	1	7	63
30	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por cilindro de avance	Corrosión en el cuerpo de cilindro	6	4	4	96	6	1	4	24
31	Mesa de recepción de cátodos	Cilindro hidráulico	Fuga de aceite por vástago de	Desgaste de sello	6	5	8	240	6	1	8	48

N°Grupo	Subsistema	Componente	Modo falla	Mecanismo de falla	Severidad inicial (Si)	Ocurrencia inicial (Oi)	Detección inicial (Di)	NPR inicial	Severidad final (Sf)	Ocurrencia final (Of)	Detección final (Df)	NPR final
32	Mesa de recepción de cátodos	Viga móvil	cilindro de avance Desalineamiento de cátodos	Arrastre de cátodos por viga desnivelada	6	5	4	120	6	1	4	24
33	Mesa de recepción de cátodos	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	9	6	4	216	9	2	4	72
34	Mesa de recepción de cátodos	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	5	6	10	300	5	6	2	60
35	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Diferencia de velocidad de cilindros en retroceso	Obstrucción de línea hidráulica	9	3	10	270	9	3	3	81
36	Mesa de arrancado	Cilindro hidráulico	Salida de vástago de cilindro de avance	Desgaste de rosca de horquilla	6	3	10	180	6	3	3	54
37	Mesa de arrancado	Sensor	Falsa señal de sensor de posición	Juego en viga galopante	6	5	10	300	6	6	2	72
38	Mesa de arrancado	Manguera hidráulica	Fuga de aceite por manguera hidráulica	Desgaste de manguera	9	5	4	180	9	1	4	36