

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE MEJORA A EQUIPO CRÍTICO DEL ÁREA DE TERMINACIÓN DE
ACEROS AZA – PLANTA RENCA**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de INGENIERO EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Sr. Claudio Arratia Gallardo.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez.

2024

RESUMEN

KEYWORDS: ENDEREZADORA – SISTEMA DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICO – DIAGNÓSTICO

En el marco de la realización de la Memoria de Título hecha en Aceros AZA durante 8 meses, una enderezadora de perfiles presentó 3 grandes detenciones no programadas, las cuales fueron asociadas al sistema de transmisión del equipo, lo que trajo como consecuencia un tiempo fuera de servicio de 714 [h]. Ante la situación crítica del equipo, el jefe de mantenimiento y equipo de cambio de Aceros AZA (Planta Renca), solicitó realizar un seguimiento del equipo para diagnosticar su situación y mejorar su rendimiento a través de la implementación de un sistema de lubricación automático y el reemplazo de sus componentes mecánicos.

Por lo anterior, es que este trabajo de titulación tiene por objetivo generar una propuesta de mejora técnica para el equipo más crítico del área de terminación, basada en un sistema de lubricación automático y una mejora adicional en base al diagnóstico del equipo.

De acuerdo con lo solicitado, los datos recopilados de SAP a través de OM PM01, PM07 y PM09, además de levantamientos realizados en terreno; se definió que la operación crítica del área de terminación es el proceso de enderezado, luego se determinó la enderezadora crítica a través de un Diagrama de Dispersión Logarítmica, y posteriormente se priorizó el sistema crítico de la enderezadora a través de la misma herramienta. Consecuentemente se realizó un FMECA para definir los modos de fallas más críticos del sistema, para luego analizarlos a través de un Análisis de Causa Raíz con el fin de encontrar el origen de los problemas, y de este modo, generar una propuesta de mejora enfocada a disminuir la frecuencia de fallos y mejorar el rendimiento del equipo.

Tras haber desarrollado el FMECA, se definieron 4 modos de fallos críticos, uno crítico (rodamiento atascado) y tres medianamente críticos (chaveta desgastada, eje desgastado y engranaje desgastado). Al analizar estos 4 modos de fallos en el Análisis de Causa Raíz, se obtienen 5 causas raíz; para mitigar estas causas se propone una mejora basada en un sistema de lubricación automático y el reemplazo de sus componentes mecánicos, de esta manera se generará un ahorro de 3.730 [USD] disminuyendo el riesgo cuantitativo relacionado a los modos de fallos críticos en \$812.412 [USD].

Se proyecta que la ejecución de estas mejoras puede tener un impacto positivo en la optimización y rendimiento del equipo, además de generar un ahorro considerable y mitigar el riesgo cuantitativo considerablemente junto con su implementación. Por lo anterior es que normalizar este equipo permitirá alargar su vida útil y evitar las detenciones no programadas que viene presentando producto de su deteriorado estado.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVO GENERAL 2

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE TERMINACIÓN Y PRIORIZACIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO 3

1.1 ANTECEDENTES DE ACEROS AZA S.A. 4

1.1.1 Reseña Histórica..... 4

1.1.2 Productos Fabricados por AZA Renca..... 5

1.1.3 Proceso Productivo de AZA Renca..... 6

1.2 ÁREA DE TERMINACIÓN..... 7

1.3 DETERMINACIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO 16

1.4 PROBLEMÁTICA..... 17

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO Y FMECA..... 22

2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO 23

2.1.1 Sistemas de la Enderezadora Aza..... 27

2.1.2 Determinación del Sistema Crítico 32

2.1.3 Descripción del Sistema Crítico 33

2.2 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE LA FALLA 34

2.3 TAXONOMÍA SEGÚN LA NORMA ISO 14224 35

2.4 DATOS ESPECÍFICOS DEL EQUIPO 35

2.6 FUNCIÓN DEL EQUIPO..... 36

2.7 FALLA FUNCIONAL 37

2.8 MODOS DE FALLA 37

2.9 EFECTO DEL MODO DE FALLA..... 38

2.10 ANÁLISIS DE RIESGO CUANTITATIVO 39

a. Cuantificación del Riesgo: 39

b. Cualificación del riesgo:..... 40

2.11 FMECA 40

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE FALLA Y EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA 44

3.1 ANÁLISIS DE FALLA 45

3.1.1 Árbol de Fallas 45

3.1.2 Marco Teórico Asociado a las Hipótesis..... 46

3.1.3 Validación de Hipótesis 48

3.1.4 Argumento Asociado a la Hipótesis..... 50

3.1.5 Resumen del Análisis de Falla 57

3.2 PROPUESTA DE MEJORA..... 58

3.2.1 Sistema de Lubricación Automático 58

3.2.2 Estimación de la Cantidad de Grasa en Virtud del Sistema de Lubricación Automático 64

3.2.4 Selección del Tipo de Lubricante..... 69

3.2.5 Sustitución de Componentes Mecánicos..... 76

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA 78

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 83

BIBLIOGRAFÍA..... 84

ANEXOS:..... 87

ANEXO A: PLANO CONJUNTO – ENDEREZADORA AZA..... 87

ANEXO B: PLANO AZA-09373 REV.0 - ENDEREZADORA AZA 88

ANEXO C: BITÁCORA DE FALLAS DE ENDEREZADORAS 89

ANEXO D: DATOS JACK KNIFE - ENDEREZADORAS..... 90

ANEXO E: DATOS JACK KNIFE – SISTEMAS DE ENDEREZADORA CRÍTICA 90

ANEXO F: LAY OUT ÁREA DE TERMINACIÓN..... 90

ANEXO G: AMEF..... 91

ANEXO H: PLANO AZA-09374 REV.1 - ENDEREZADORA AZA 92

ANEXO I: PLANO AZA-02631 REV.2 – ENDEREZADORA AZA..... 93

ANEXO J: PLANO AZA-02623 REV.0 – ENDEREZADORA AZA..... 94

ANEXO K: PLANO AZA-01669 REV.1 – ENDEREZADORA AZA 95

ANEXO M: PLANO AZA-01668 REV.2 – ENDEREZADORA AZA..... 96

ANEXO N: PLANO AZA-02616 REV.1 – ENDEREZADORA AZA 97

ANEXO Ñ: PLANO AZA-02617 - ENDEREZADORA AZA 98

ANEXO O: PLANO AZA-09375 REV.2 – ENDEREZADORA AZA	99
ANEXO P: PLANO AZA-09376 REV.0 – ENDEREZADORA AZA	99
ANEXO Q: PLANO AZA-09346 REV.A – ENDEREZADORA AZA	100
ANEXO R: PLANO AZA-09379 REV.0 – ENDEREZADORA AZA.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1. Aceros AZA – Planta Renca.....	4
Figura 1- 2. Reseña histórica.....	5
Figura 1- 3. Productos Fabricados.....	5
Figura 1- 4. Dimensiones del ángulo estructural.....	6
Figura 1- 5. Proceso Productivo.....	7
Figura 1- 6. Vista panorámica del área de Terminación.	7
Figura 1- 7. Ángulos estructurales pre-enderezado.....	8
Figura 1- 8. Proceso de enderezado.	8
Figura 1- 9. Máquinas cortadoras.....	9
Figura 1- 10. Proceso de corte.....	9
Figura 1- 11. Matriz de criticidad.....	12
Figura 1- 12. Enderezadora Indac.	13
Figura 1- 13. Enderezadora Cox.	14
Figura 1- 14. Enderezadora Aza.....	15
Figura 1- 15. Falla de rodamiento Enderezadora Aza.....	18
Figura 1- 16. Fallas eje rodillo inferior.	19
Figura 1- 17. Desgaste del eje motriz.....	19
Figura 1- 18. Desgaste piñón motriz.	20
Figura 1- 19. Reparaciones de eje y piñón.	20
Figura 1- 20. Eje motriz fracturado.....	21
Figura 1- 21. Puntos de lubricación.	21
Figura 2 - 1. Vista frontal Enderezadora Aza.....	23
Figura 2 - 2. Conjunto Principal Enderezadora Aza.	24
Figura 2 - 3. Mecanismo de regulación de rodillos superiores.	24
Figura 2 - 4. Métodos de puesta a punto.	25
Figura 2 - 5. Cilindro neumático alza tapa de protección.	27
Figura 2 - 6. Motor eléctrico.	28

Figura 2 - 7. Reductor Bignotti. 28

Figura 2 - 8. Transmisión. 29

Figura 2 - 9. Vista superior, mecanismo de regulación de rodillos.....30

Figura 2 - 10. Transferidor fijo.....30

Figura 2 - 11. Mesa de entrada. 31

Figura 2 - 12. Mesa de salida. 31

Figura 2 - 13. Vista en corte del sistema de transmisión.....33

Figura 2 - 14. Niveles taxonómicos según Norma ISO 14224: 2016; aplicado al caso.....35

Figura 2 - 15. Falla funcional. 37

Figura 2 - 16. Árbol lógico de decisión.....42

Figura 2 - 17. Ruta de decisión. 43

Figura 3 - 1. Árbol de fallos. 46

Figura 3 - 2. Presencia de laminilla metálica en graseira de rodillo enderezador. 51

Figura 3 - 3. Presencia de laminilla metálica en tapa de lubricación de rodamiento. 51

Figura 3 - 4. Rodamiento lado rodillo al descubierto.....52

Figura 3 - 5. Falla de rodamiento por lubricación y contaminantes.....53

Figura 3 - 6. Desgaste de piñón.....53

Figura 3 - 7. Desgaste de eje en diámetro del alojamiento. 54

Figura 3 - 8. Desgaste en el interior del engranaje.....54

Figura 3 - 9. Falla en el chavetero del eje. 55

Figura 3 - 10. Falla de la chaveta. 55

Figura 3 - 11. Chavetas aseguradas mediante abrazaderas. 56

Figura 3 - 12. Incidente generado por soldadura de chaveta en Enderezadora Aza. 57

Figura 3 - 13. Respaldo de la propuesta de lubricación automática.....59

Figura 3 - 14. Lubricación manual vs Lubricación automática.....60

Figura 3 - 15. Desglose del sistema de lubricación automático RAASM.....61

Figura 3 - 16. Lay-out de la instalación del sistema de lubricación automático. 62

Figura 3 - 17. Observaciones de la instalación del sistema de lubricación por la parte frontal. ...62

Figura 3 - 18. Observaciones de la instalación del sistema de lubricación por la parte trasera. ...63

Figura 3 - 19. Relubricación desde el lateral del rodamiento.....66

Figura 3 - 20. Cálculo de frecuencias de relubricación según SKF Y NORMA DIN 51825. 67

Figura 3 - 21. Obtención de la viscosidad nominal v1.....71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1- 1. Jack Knife - Priorización de equipo crítico. 17

Gráfico 2 - 1. Jack Knife - Priorización de sistema crítico. 32

Gráfico 2 - 2. Matriz de Riesgo Semicuantitativa. 41

Gráfico 3 - 1. Determinación de la viscosidad del aceite base. 70

Gráfico 3 - 2. Obtención de la viscosidad nominal v1. 71

Gráfico 3 - 3. Obtención de la viscosidad real. 72

Gráfico 3 - 4. Matriz de riesgo Semicuantitativa disminuyendo la frecuencia de falla anual en un 40%. 81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1. Cortes solicitados de productos. 9

Tabla 1- 2. Cortes solicitados de productos. 11

Tabla 1- 3. Costos de Mantenimiento. 11

Tabla 1- 4. Flexibilidad Operacional. 11

Tabla 1- 5. Impacto Operacional. 11

Tabla 1- 6. Impacto SHA. 12

Tabla 1- 7. Evaluación de criticidad en máquinas. 12

Tabla 1- 8. Rendimientos teóricos Enderezadora Indac. 14

Tabla 1- 9. Rendimientos teóricos Enderezadora Cox. 15

Tabla 1- 10. Rendimientos teóricos Enderezadora Aza. 16

Tabla 1- 11. Interrupciones mecánicas Enderezadora Aza. 18

Tabla 2 - 1. Rodamientos del sistema de transmisión. 34

Tabla 2 - 2. Diagrama SIPOC sistema de transmisión. 36

Tabla 3 - 1. Lubricación manual vs Lubricación automática. 59

Tabla 3 - 2. Materiales a utilizar en la propuesta de implementación del sistema de lubricación automático. 64

Tabla 3 - 3. Datos de rodamiento de rodillos a rótula 22218E. 64

Tabla 3 - 4. Porcentaje de espacio vacío del rodamiento según relación de velocidad. 65

Tabla 3 - 5. Cantidad de grasa de relubricación por turnos.....68

Tabla 3 - 6. Viscosidad real a cierta temperatura de operación. 72

Tabla 3 - 7. Relaciones de viscosidades Kappa. 73

Tabla 3 - 8. Aditivos según el tipo de rodamiento. 73

Tabla 3 - 9. Consistencia de la grasa según el factor de velocidad. 74

Tabla 3 - 10. Características técnicas grasa Molykote Br2. 75

Tabla 3 - 11. Características técnicas Mobilux EP2.....75

Tabla 3 - 12. Costos de adquisición de la mejora propuesta para la Enderezadora Aza. 78

Tabla 3 - 13. Costos de insumos de lubricación manual. 79

Tabla 3 - 14. Interrupciones mecánicas graves Enderezadora Aza. 79

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - 1. Relación de tolerancias de rectilineidad para ángulos estructurales. 6

Ecuación 1 - 2. Expresión de Criticidad / Riesgo. 10

Ecuación 1 - 3. Expresión de Consecuencia de Fallas. 10

Ecuación 2 - 1. Expresión de riesgo cuantitativo. 40

Ecuación 3 - 1. Volumen disponible en el rodamiento. 65

Ecuación 3 - 2. Relación de velocidad. 65

Ecuación 3 - 3. Cantidad de grasa de relubricación desde el lateral del rodamiento. 66

Ecuación 3 - 4. Factores de corrección de horas de operación. 67

Ecuación 3 - 5. Factor de velocidad NDm. 69

Ecuación 3 - 6. Cálculo del parámetro Kappa.....70

Ecuación 3 - 7. Fórmula del diámetro medio. 70

Ecuación 3 - 8. Situación actual. 79

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

PM01:	Correctiva no planeada.
PM07:	Correctiva planeada.
PM09:	Reparación.
FMECA:	Análisis del Modo, Efecto y Criticidad de la Falla (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis).
ACR:	Análisis Causa Raíz (Root Cause Analysis).
RCM:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance).
ISO:	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).
MTTR	Tiempo medio de reparación.
SGS	Sistema de Gestión de Seguridad.
DIN:	Instituto Alemán de Normalización.
HH:	Hora Hombre.
OM:	Orden de Mantenimiento.
CM:	Costo de mantenimiento.
FRL:	Filtro, regulador, lubricador.
FF	Frecuencia de fallas.

SIMBOLOGÍA

m:	Metro.
mm:	Milímetro.
cm³:	Centímetros cúbicos.
g:	Gramos.
t/h:	Tonelada por hora.
kW:	Kilowatt.
kg:	Kilo.
USD:	Dólares americanos.
RPM:	Revoluciones por minuto.
T°:	Temperatura.
NGLI	Grado de consistencia de la grasa.

INTRODUCCIÓN

Este caso de estudio, situado en el área de terminación de la planta de Aceros AZA Renca se centra en la importancia de la lubricación, reconocida como una técnica fundamental en el mantenimiento mecánico, y que tiene como función disminuir la fricción entre 2 superficies con el propósito de mantener bajos los niveles de desgaste y rozamiento.

La importancia de prestar atención a la lubricación de los equipos, se desprende de lo señalado por Antala Specialty Chemicals, quienes indican que “El 70% de las averías mecánicas son por problemas de lubricación” (2023). Lo anterior, evidencia el nivel de responsabilidad de la lubricación para el correcto funcionamiento de un equipo, siendo una materia de interés para la investigación, que ha logrado avances que hoy permiten contar con sistemas automáticos centralizados que se han convertido en una solución fácil y práctica para la mejora y optimización de la lubricación de diversos elementos mecánicos.

A propósito de lo anterior, es que el caso de estudio nace en el área de terminación, pues esta se ve afectada por las paradas imprevistas del equipo denominado: Enderezadora Aza y que guardan relación con la lubricación, pues este equipo presentó 3 interrupciones graves, las cuales significaron pérdidas cercanas a los 30.000 USD (valor que incluye los costos por no operación y los costos de reparación), concluyendo que el equipo presenta un desgaste excesivo de sus componentes mecánicos debido a fallas en sus rodamientos por deficiencias en su lubricación.

Sumado a lo antes mencionado, es preciso señalar que la cantidad de puntos de lubricación es alta, y en algunos sectores inaccesible, además demanda 3 horas y se debe descalibrar la máquina para realizar la lubricación. Por otra parte, dos de las grandes fallas presentadas han dejado a la máquina sin operar por largos periodos de tiempo, por lo tanto, es prioridad mejorar la situación actual de la máquina para evitar paradas no planeadas y mantener la continuidad operacional del equipo.

El propósito de este caso de estudio, por tanto, es generar una propuesta de mejoras técnicas al problema identificado; centrado en un sistema de lubricación automático y el cambio de componentes mecánicos. Para esto, primero se debe suministrar un diagnóstico detallado del área de terminación y sus equipos, luego se efectuará la priorización de la enderezadora crítica y su sistema más crítico, para luego aplicar un Análisis del Modo, Efecto y Criticidad de Falla. Identificados los modos de fallos críticos, se efectuará un Análisis Causa Raíz con el fin de efectuar un análisis más exhaustivo sobre estos modos de fallo y encontrar sus causas raíz, validadas las hipótesis de los modos de fallos, se presentará la propuesta de mejora y se evaluará de forma técnica económica la viabilidad de implementar la mejora en el equipo a fines de optimizar su rendimiento y asegurar su continuidad operacional.

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejoras técnicas al equipo crítico del área de terminación mediante el uso de herramientas del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad asegurando la continuidad operacional y la optimización del rendimiento del activo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Priorizar la operación crítica del área de terminación mediante un análisis de criticidad basado en riesgo efectuando posteriormente la selección del equipo crítico a ser intervenido.
- Analizar los modos de fallas a través de la metodología de Análisis del Modo, Efecto y Criticidad de la Falla para enfocarlos hacia una mejora técnica.
- Desarrollar un Análisis de Causa Raíz a los modos de fallas críticos evaluando la propuesta de mejora de manera técnica y económicamente.

CAPÍTULO 1: **DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE TERMINACIÓN Y**
PRIORIZACIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO

1.1 **ANTECEDENTES DE ACEROS AZA S.A.**

Aceros AZA S.A. es una empresa del rubro siderúrgico, dedicada a la fabricación de productos de acero a partir de material reciclado (chatarra ferrosa), contando con 2 plantas situadas en las comunas de: Colina y Renca. En la primera de estas plantas existen dos divisiones: acería y laminación Colina, mientras que en la Planta Renca solo está la división de laminación Renca y la sección de terminación, lugar que dio origen al desarrollo del trabajo de título.

Esta empresa fabrica productos que son destinados principalmente a 3 sectores: construcción, minería e industria metalmecánica. Ambas plantas cuentan con una dotación de 596 trabajadores, los cuales se encargan de velar por el correcto funcionamiento de la compañía en dos turnos de 8 horas cada uno (día y noche). A continuación, en la figura 1-1 se presenta una imagen aérea de la Planta Renca.



Figura 1- 1. Aceros AZA – Planta Renca.

Fuente: www.aza.cl

1.1.1 **Reseña Histórica**

En la figura 1-2 se presenta una breve reseña histórica de la trayectoria de la empresa. Es preciso señalar que el hito que marcó un antes y un después en AZA fue la adquisición de la compañía por el Grupo Gerdau de Brasil en 1992.

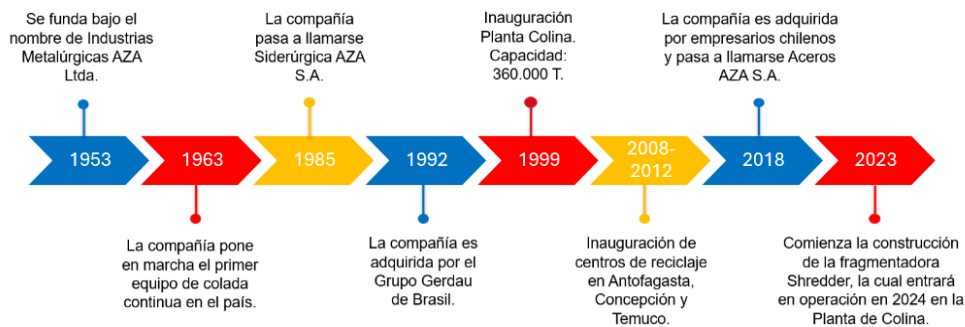


Figura 1- 2. Reseña histórica.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2 **Productos Fabricados por AZA Renca**

En la figura 1- 3 se presentan los productos que son laminados en la Planta Renca. Cabe destacar que todos los productos son sometidos a minuciosas pruebas de control con el fin de garantizar los estándares de calidad requeridos en el proceso de fabricación del acero.

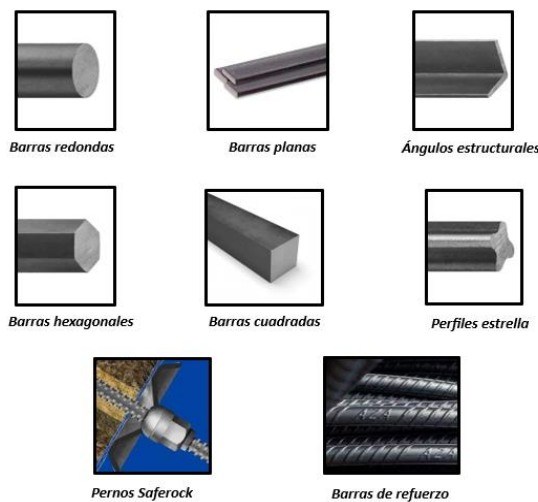


Figura 1- 3. Productos Fabricados.

Fuente: <https://www.aza.cl/productos/perfiles-aza/>

A continuación, se describirá en detalle el producto procesado por las enderezadoras de perfiles del área de terminación.

Ángulos estructurales

Los ángulos estructurales laminados en caliente, son un tipo de perfil estructural conformado por dos alas idénticas, las que conforman un ángulo de 90° entre sí. En la figura 1-4 se expone una imagen con las especificaciones del perfil, para su revisión es preciso considerar que las alas del ángulo estructural son determinadas por H y B, mientras que el espesor es dado por e.

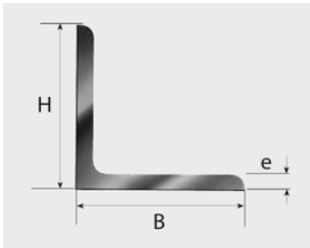


Figura 1- 4. Dimensiones del ángulo estructural.

Fuente: Catálogo Técnico 2024 de productos de Aceros AZA.

Los ángulos estructurales fabricados por Aceros AZA, cumplen con las normas: NCh2369 Of.2003 y NCh203 Of.2006.

Respecto a las calidades de fabricación, los ángulos estructurales se fabrican bajo 2 calidades:

- Calidades Normales: A270ES
- Calidades Especiales ASTM A572 G50 Y ASTM 36.

El largo nominal de los ángulos estructurales es de 6 [m], no obstante, para la enderezadora de mayor capacidad del área se suministran perfiles de 12 [m], debido a la envergadura de sus mesas.

Respecto a las tolerancias de rectilineidad del perfil, en la ecuación 1-1 se presenta la relación de tolerancias de mayor precisión, aplicable cuando un cliente solicita exactitud.

$$\frac{\leq 6,5L}{1.500\ mm}$$

Ecuación 1 - 1. Relación de tolerancias de rectilineidad para ángulos estructurales.

Fuente: Catálogo Técnico 2024 de productos de Aceros AZA.

Las aplicaciones de los ángulos estructurales son diversas, entre las más reconocidas se encuentran: las estructuras metálicas, torres de alta tensión, estructuras reticuladas, grúas, barandas, entre otros.

1.1.3 Proceso Productivo de AZA Renca

En la figura 1-5 se presenta un esquema del proceso productivo de la Planta Renca:

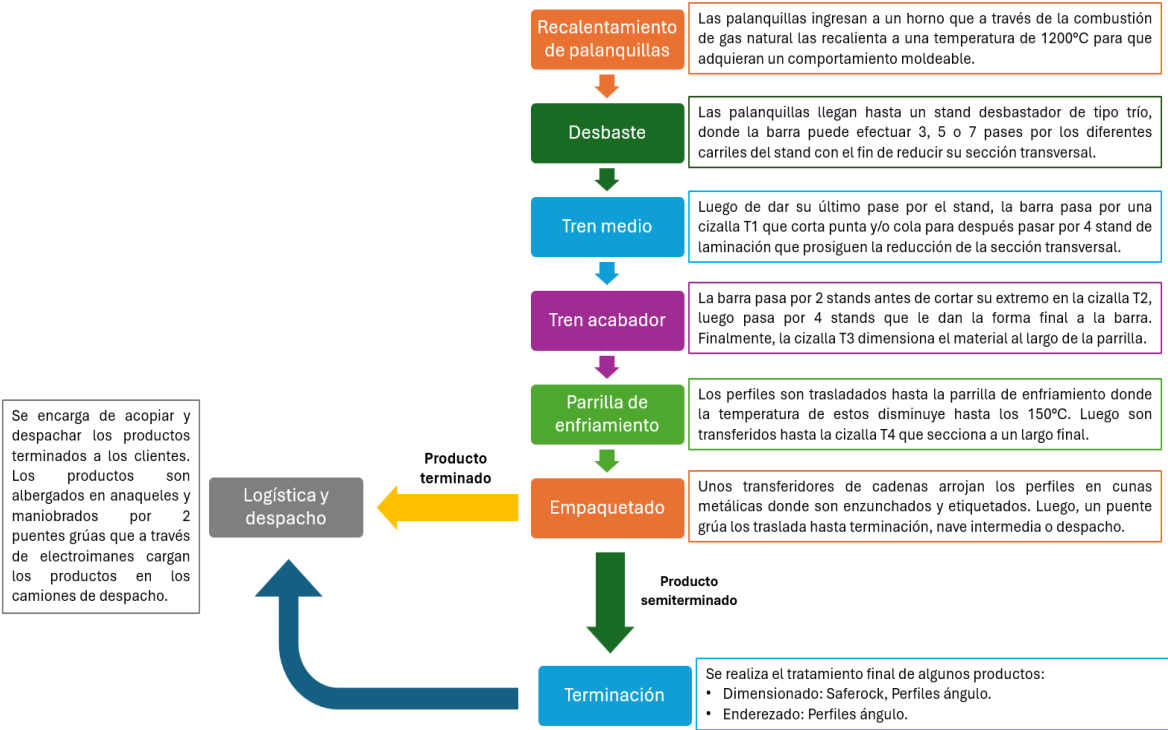


Figura 1- 5. Proceso Productivo.

Fuente: Elaboración propia.

1.2 ÁREA DE TERMINACIÓN

El área de terminación se encarga de dar el tratamiento final a productos, tales como ángulos estructurales, saferock y barras hexagonales. Las 2 grandes operaciones que se realizan en esta área son el enderezado y el dimensionado. A continuación, en la figura 1-6 se puede apreciar una vista aérea del área de terminación.

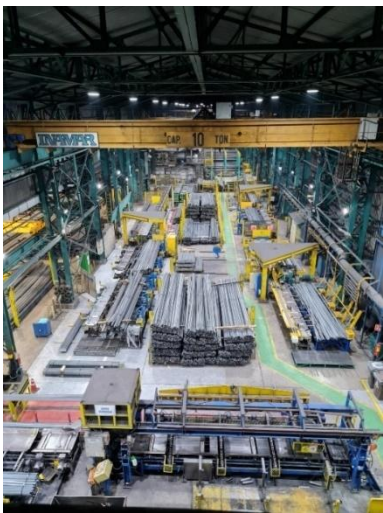


Figura 1- 6. Vista panorámica del área de Terminación.

Fuente: Cámara de seguridad AZA Renca.

- Enderezado: Después de la transferencia de calor que experimentan los ángulos estructurales al enfriarse en la parrilla de enfriamiento, estos quedan deformados, por lo que no están en condiciones de ser empaquetados para ser enviados a logística y despacho. Para corregir este defecto, se realiza el enderezado a fin de corregir la deformación en las alas a lo largo del perfil. En la figura 1-7, se puede apreciar el efecto curvado que presentan los ángulos estructurales antes de su proceso de enderezado.



Figura 1- 7. Ángulos estructurales pre-enderezado.

Fuente: Captura propia.

Es preciso mencionar que los ángulos estructurales que se enderezan en esta operación son de longitud 6 y 12 [m] y de dimensiones desde el 20x3 [mm] hasta el 80x10 [mm].

- Proceso de enderezado

En la figura 1-8 se presenta el flujo del proceso de enderezado:

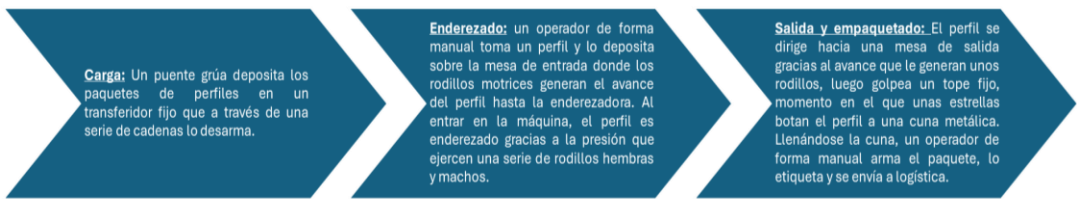


Figura 1- 8. Proceso de enderezado.

Fuente: Creación propia.

- Dimensionado: esta operación se realiza con el propósito de poder cortar a medida saferock, hexágonos o ángulos estructurales según las dimensiones solicitadas por los clientes, las cuales son presentadas en la tabla 1-1.

Producto	Corte solicitado [m]
Ángulo	4; 2,3; 2,5; 3; 3,5
Hexágono	4; 3
Saferock	3

Tabla 1- 1. Cortes solicitados de productos.

Fuente: Elaboración propia.

El corte se da gracias al trabajo de dos cizallas idénticas, que son identificadas como Iturrospe 1 y 2. Cada cizalla tiene una capacidad de trabajo de 2,8 a 4 [t/h] en función del producto que esté siendo cortado. En la figura 1-9 se pueden apreciar las dos cizallas que posee AZA Renca para dimensionar el material según lo solicitado por el cliente.



Figura 1- 9. Máquinas cortadoras.

Fuente: Captura propia.

○ Proceso de corte:

En la figura 1-10, se muestra el flujo del proceso de corte:

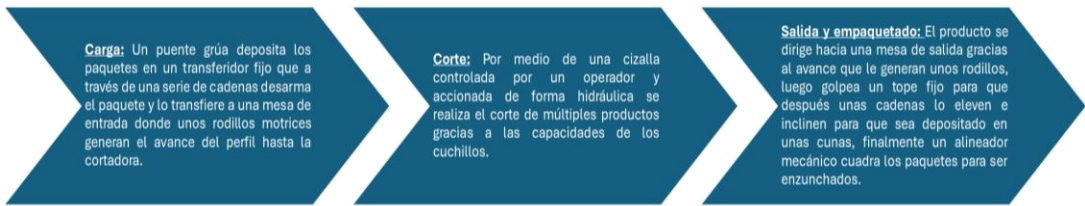


Figura 1- 10. Proceso de corte.

Fuente: Creación propia.

Para el alcance de este trabajo de título, el enfoque estará puesto en la operación de enderezado, debido a los siguientes lineamientos entregados desde la empresa:

- **Indicaciones del Jefe de Mantenimiento:** Debido a que la empresa no contaba con mayor información referente a historiales de fallos que permitan hacer un análisis más acabado, jefatura del área, solicita que el enfoque sea puesto en las enderezadoras a través del análisis

de las fallas que fuesen sucediendo durante el periodo de la memoria (6 meses), y también recopilando la experiencia de los mantenedores respecto a fallas anteriormente ocurridas.

- **Capacidades:** a continuación, se detallan las capacidades de enderezado:
 - Enderezadora Indac: 40x4 al 80x10 [mm].
 - Enderezadora Aza: 20x3 al 50x5 [mm].
 - Enderezadora Cox: 20x3 al 65x5 [mm].

En base a las capacidades, se realizan los análisis descritos a continuación:

- Si la enderezadora Indac sufre una parada no programada, no se pueden enderezar ángulos estructurales mayores de 65x5 [mm], lo cual provoca retrasos en pedidos de productos de grandes dimensiones.
- Si una de las enderezadoras, Aza o Cox, sufre alguna detención no programada, solo se contará con una máquina para enderezar ángulos estructurales pequeños, perfil que es el más solicitado por los clientes; de esta manera una falla grave puede producir el retraso en pedidos, o bien, la sobrecarga de la otra máquina.

En cambio, en el corte por cizalla, ambas máquinas tienen las mismas capacidades, si una cizalla sufre una detención no programada se pueden continuar las operaciones con la otra cortadora. Lo anterior, se debe a que ambas cizallas son idénticas y cumplen con las mismas prestaciones para cortar saferock, ángulos estructurales o hexágonos.

- **Análisis de Criticidad:** con el objetivo de priorizar cuáles de los 2 tipos de máquinas son más críticas (enderezadoras o cizallas), se realiza el siguiente análisis de criticidad cualitativo - cuantitativo en base a costos de mantenimientos recopilados de órdenes de SAP: PM01, PM07 Y PM09 y experiencia técnica de mantenedores del área de terminación.

La Criticidad fue calculada a través de la ecuación 1-2 que se presenta a continuación.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de fallos} \times \text{Consecuencia de Fallas}$$

Ecuación 1 - 2. Expresión de Criticidad / Riesgo.

Fuente: Nota técnica 3: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos, Parra y Crespo.

La Consecuencia de Fallas fue calculada a través de la ecuación 1-3 que se presenta a continuación.

$$\text{Consecuencia de Fallas} = [(IO \times FO) + CM + SAH]$$

Ecuación 1 - 3. Expresión de Consecuencia de Fallas.

Fuente: Nota técnica 3: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos, Parra y Crespo.

Las categorías de la frecuencia de fallas se presentan en la tabla 1-2.

Frecuencia de Fallas	
FF > 35 [Fallas/Año]	4
$20 \leq FF \leq 35$ [Fallas/Año]	3
$10 \leq FF \leq 20$ [Fallas/Año]	2
$FF \leq 10$ [Fallas/Año]	1

Tabla 1- 2. Cortes solicitados de productos.

Fuente: Presentación de Carlos Baldi - Gestión de Activos.

Las categorías de los costos de mantenimiento se presentan en la tabla 1-3.

Costos de Mantenimiento	
$CM \geq 20.400$ [USD]	3
10.200 [USD] $\leq CM < 20.400$ [USD]	2
$CM < 10.200$ [USD]	1

Tabla 1- 3. Costos de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Las categorías de la flexibilidad operacional se presentan en la tabla 1-4.

Flexibilidad Operacional	
La reparación dura más de 12 horas.	4
La reparación dura entre 4 a 12 horas.	3
La reparación dura hasta 4 horas.	1

Tabla 1- 4. Flexibilidad Operacional.

Fuente: Presentación de Carlos Baldi - Gestión de Activos.

Las categorías de impacto operacional se presentan en la tabla 1-5.

Impacto Operacional	
Parada inmediata de toda la producción	10
Disminuye la producción en un 50%	6
Disminuye la producción en un 25%	3
No genera ningún efecto sobre la operación y producción.	1

Tabla 1- 5. Impacto Operacional.

Fuente: Presentación de Carlos Baldi - Gestión de Activos.

Las categorías de Impacto SHA se presentan en la tabla 1-6.

Impacto SHA	
Alto impacto en la seguridad humana/ambiente.	7
Afecta las instalaciones causando severos daños.	5
Provoca daños menores (accidentes e incidentes), impacto ambiental bajo.	3
Provoca molestias mínimas en las instalaciones y ambiente.	1

Tabla 1- 6. Impacto SHA.

Fuente: Presentación de Carlos Baldi - Gestión de Activos.

La matriz de criticidad visualizada en la figura 1-11 consta de una cuadrícula de 4x5 y consta de 3 sectores los cuales se detallan a continuación:

- Verde: baja criticidad.
- Amarillo: mediana criticidad.
- Rojo: alta criticidad.

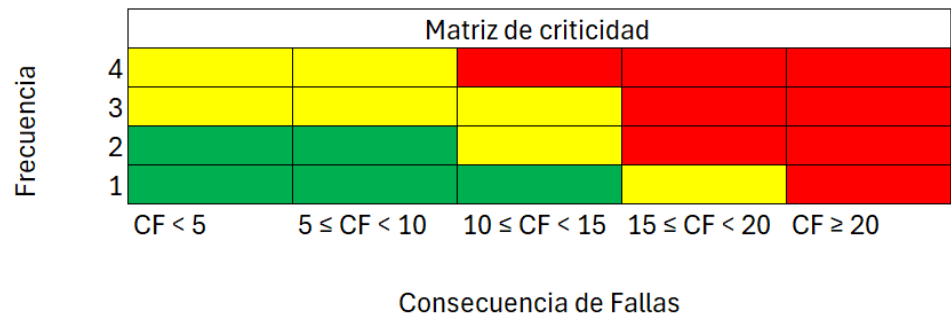


Figura 1- 11. Matriz de criticidad.

Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar los factores para ambas máquinas, se obtuvieron los siguientes resultados descritos en la tabla 1-7.

Máquinas	Frecuencia	IO	FO	CM	SHA	TOTAL
Enderezadoras	3	6	3	3	1	66
Cizallas	2	6	1	2	1	18

Tabla 1- 7. Evaluación de criticidad en máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

Con base en el análisis de criticidad aplicado a ambos tipos de máquinas, se concluye que las enderezadoras son los equipos críticos, puesto que sus mantenimientos correctivos implican gran cantidad de gastos, su frecuencia de fallas es más del doble que la frecuencia de fallas de las cizallas y sus tiempos de reparación son más prolongados en comparación con las cizallas de corte. Debido a estos análisis es que el enfoque de este trabajo solo será puesto en las enderezadoras.

1.2.1 Enderezadoras de Perfiles

En el proceso de enderezado operan 3 máquinas enderezadoras: Indac, Cox y Aza, a continuación, se presentan las características de cada máquina:

(i) Enderezadora Indac

Esta máquina se encarga de enderezar ángulos estructurales desde el 40x4mm hasta el 80x10mm, a 6 y 12 metros. Respecto a su composición, se conforma por dos tramos de mesa de entrada, dos tramos de mesa de salida y el conjunto principal (enderezadora). Respecto a este último, se conforma por un motor eléctrico, un reductor y la enderezadora.

La enderezadora Indac, se distingue por la presencia de un sinfín que transmite el movimiento a las coronas que producen el giro de los 3 rodillos inferiores fijos, y que cumplen la función de guías. Los 3 rodillos superiores son conducidos (giran con el paso del perfil) y se pueden regular con el fin de poder darle el enderezado correcto al perfil. En suma, posee 6 rodillos enderezadores y 1 rodillo guía. En la figura 1-12 se puede visualizar una vista frontal de la Enderezadora Indac.



Figura 1- 12. Enderezadora Indac.

Fuente: Captura propia.

Los rendimientos teóricos (t/h) para esta máquina se presentan en la tabla 1-8.

Máquina	Producto [mm]	Rendimiento Teórico (t/h)
INDAC	40x4	3,5
	40x5	
	40x6	
	45x4	
	50x3	
	50x4	4
	50x5	
	50x6	
	60x5	
	65x5	
	65x6	4,5
	65x8	
	75x6	
	80x6	5
	80x8	
	80x10	

Tabla 1- 8. Rendimientos teóricos Enderezadora Indac.

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por la empresa.

(i) **Enderezadora Cox**

Esta máquina, cumple el rol de enderezar ángulos estructurales desde las medidas 20x3mm hasta 65x5mm a 6 metros, se conforma por una mesa de entrada, el conjunto principal y una mesa de salida. El conjunto principal se compone de un motor eléctrico, un reductor y la enderezadora. El enderezado realizado por este equipo, se produce gracias a un tren de engranajes el cual genera el movimiento de los 4 rodillos inferiores (machos), estos rodillos están encargados de ser guías y son fijos (sin regulación). Los 4 rodillos superiores (hembras) son conducidos (giran con el paso del perfil) y son regulables para darle el enderezado correcto al perfil. A medida que pasa el perfil por la máquina se va enderezando gracias a la acción de los rodillos. En la figura 1-13 se puede visualizar el frontis de la Enderezadora Cox.



Figura 1- 13. Enderezadora Cox.

Fuente: Captura propia.

Los rendimientos teóricos (t/h) para esta máquina se presentan en la tabla 1-9.

Máquina	Producto [mm]	Rendimiento Teórico (t/h)
COX	20x3	2
	25x3	2,5
	25x5	
	30x3	3
	30x4	
	30x5	
	40x3	3,5
	40x4	
	40x5	
	40x6	
	45x4	
	50x3	4
	50x4	
	50x5	
	50x6	
	60x5	4,5
	65x5	

Tabla 1- 9. Rendimientos teóricos Enderezadora Cox.

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por la empresa.

(i) **Enderezadora Aza**

La finalidad de esta máquina es enderezar ángulos estructurales desde medidas 20x3mm hasta 50x5mm a 6 metros, posee características similares a la Enderezadora Cox. Se compone por una mesa de entrada, el conjunto principal y la mesa de salida. El conjunto principal se compone de un motor eléctrico, un reductor y la enderezadora.

En el caso de este equipo, el proceso de enderezado se da gracias a un tren de engranajes el cual genera el movimiento de los 4 rodillos inferiores (machos), estos rodillos sirven como guías y son fijos (sin regulación). Por su parte, los 4 rodillos superiores (hembras) son conducidos (giran con el paso del perfil), y son regulables para darle el enderezado correcto al perfil, de esta manera, a medida que pasa el perfil por la máquina se va enderezando gracias a la acción de los rodillos. En la figura 1-14 se puede visualizar una vista frontal de la Enderezadora Aza.



Figura 1- 14. Enderezadora Aza.

Fuente: Captura propia.

Los rendimientos teóricos (t/h) para esta máquina se presentan en la tabla 1-10.

Máquina	Producto	Rendimiento Teórico (t/h)
AZA	20x3	2
	25x3	2,5
	25x5	
	30x3	3
	30x4	
	30x5	
	40x3	3,5
	40x4	
	40x5	
	40x6	
	45x4	
	50x3	
	50x4	4
	50x5	

Tabla 1- 10. Rendimientos teóricos Enderezadora Aza.

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por la empresa.

1.3 **DETERMINACIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO**

La selección de la enderezadora crítica se hizo a través de un diagrama de dispersión logarítmica (Jack Knife), para desarrollar este diagrama se realizó el levantamiento de una bitácora de fallas de las 3 máquinas enderezadoras (Anexo 3) con base en datos recopilados de SAP de órdenes de mantenimiento PM01 (Correctiva no planeada), órdenes de mantenimiento PM09 (Reparación) y órdenes de mantenimiento PM07 (Correctiva planeada) y a la experiencia de mantenedores.

Con los datos obtenidos fue posible confeccionar el siguiente diagrama de dispersión Jack Knife (gráfico 1-1) que representa el nivel de impacto que genera cada enderezadora según su cantidad de fallas y costos de mantenimiento correctivo planeado y no planeado:



Gráfico 1- 1. Jack Knife - Priorización de equipo crítico.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo visualizado en el diagrama de dispersión logarítmica (Jack Knife), se puede observar que los costos de fallas son más altos en la Enderezadora Aza, le sigue la Enderezadora Indac y por último la Enderezadora Cox. La Enderezadora Aza se encuentra en el cuadrante crónico agudo, ya que presenta gran cantidad de detenciones y costos de fallas elevados por mantenimientos correctivos planeados y no planeados. A raíz de lo anterior, se le dará prioridad a esta máquina debido a su ubicación en este cuadrante.

1.4 PROBLEMÁTICA

La Enderezadora Aza ha presentado fallas imprevistas, producidas por el desgaste de sus componentes mecánicos y fallas de sus rodamientos; una situación que se produjo durante el periodo que comprendió la memoria, pues se pudo apreciar la ocurrencia de 3 grandes fallas las cuales son descritas en la tabla 1-11:

INTERRUPCIONES MECÁNICAS 2024			
Fecha	06/02/2024	09/07/2024	09/09/2024
Tiempo F/S [días]	30	7	14
Perfiles sin enderezar [t]	1200	300	600
Costo operacional [USD]	14.004	3.501	7.002
Costo de reparación [USD]	377	201	773
Costo total por falla [USD]	14.381	3.702	7.775
Costo Total Por Fallas [USD]	25.858		

Tabla 1- 11. Interrupciones mecánicas Enderezadora Aza.

Fuente: Elaboración propia.

Es preciso acotar que el costo total por las 3 fallas que afectaron a la máquina asciende a aprox. 26.000 [USD], siendo importante señalar que este análisis se remite a los costos operacionales (costos perdidos por no operación) y los costos de reparación (mano de obra y repuestos).

En el caso de la enderezadora en cuestión, el rodamiento que tiende comúnmente a fallar es el que se encuentra ubicado detrás de los rodillos enderezadores, el cual presenta poca accesibilidad para ser engrasado y se encuentra expuesto a la contaminación de laminilla metálica presente en el entorno. A continuación, en la figura 1-15, se presenta una falla recurrente de este rodamiento.



Figura 1- 15. Falla de rodamiento Enderezadora Aza.

Fuente: Captura de mecánico de turno.

Una interrupción ocurrida en el mes de febrero de 2024 ocasionó que la máquina estuviese aproximadamente 1 mes sin operación. El indicio de esta falla fue el giro excéntrico de un rodillo enderezador, al realizar el desarme, se confirmó el mal estado del rodamiento y el desgaste de los elementos mecánicos. Lo anterior es expuesto en la figura 1-16, en donde se presenta el desgaste de algunos componentes.



Figura 1- 16. Fallas eje rodillo inferior.

Fuente: Captura propia.

En el transcurso de la memoria, realizada en la empresa, se hizo seguimiento a una falla en el sistema de transmisión de la máquina. Contiguamente, se presenta una sucesión de eventos que ocasionaron la fractura del eje motriz del equipo.

9 de julio 2024: se decide detener la operación de la enderezadora, debido a problemas en su transmisión; al realizar el desmontaje es posible visualizar el desgaste irregular en el eje motriz, incluyendo el chavetero. En la figura 1-17 se puede apreciar la falla ocurrida.



Figura 1- 17. Desgaste del eje motriz.

Fuente: Captura propia.

Asimismo, se constató que el piñón presentaba desgaste irregular en sus dientes y daños en su chavetero. Esta situación es expuesta en la figura 1-18, apreciando el desgaste en el piñón.

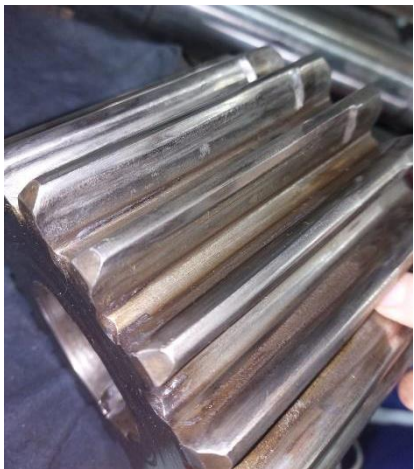


Figura 1- 18. Desgaste piñón motriz.

Fuente: Captura propia.

Debido a que se debe asegurar la continuidad operacional del equipo, se realizan reparaciones provisionarias, con el fin de entregar el equipo a producción de la manera más rápida posible. Por lo anterior, se ejecutan soluciones provisionarias, tales como: reparaciones con soldadura o la fabricación de chaveteros en las mismas piezas dañadas. La figura 1-19 refleja estas reparaciones.



Figura 1- 19. Reparaciones de eje y piñón.

Fuente: Captura propia.

9 de septiembre 2024: A causa de la reparación anterior y sus características, 2 meses después, se fracturó el eje motriz de la enderezadora; esta microfisura que comenzó en la soldadura realizada ocasionó la fractura total del eje, lo que significó que la máquina estuviera fuera de operación por un periodo aproximado de 2 semanas. A continuación, en la figura 1-20 se presenta la falla catastrófica.



Figura 1- 20. Eje motriz fracturado.

Fuente: Captura propia.

La lubricación de la totalidad de los rodamientos de la máquina es muy tediosa y demanda mucho tiempo a los mecánicos (aproximadamente 3 horas), ya que son 22 puntos los que deben ser lubricados en ambos extremos, en donde, por la parte trasera de la máquina no hay mayor dificultad en engrasar, debido a que los 11 puntos de lubricación (graseras) están a la vista y son de fácil acceso. Sin embargo, por el frontis de la máquina la complejidad aumenta, ya que hay 8 rodillos los cuales tienen su punto de lubricación con difícil accesibilidad.

Para lubricar los rodamientos 22218 E de los 8 rodillos enderezadores se requiere mucho trabajo, puesto que primero se deben quitar las tuercas de seguridad y rodillos (que son de grandes dimensiones y peso, y se deben retirar para que el mecánico tenga mayor espacio y visión para lubricar), luego, se debe engrasar y de manera contigua se debe volver a montar los rodillos y las tuercas. Esto, en respuesta a que después de terminar el montaje hay que poner a punto la máquina, debido que al retirar los rodillos estos pierden su regulación, lo cual implica un trabajo extra de aproximadamente una hora. En la figura 1-21 se puede apreciar la ubicación de los puntos de lubricación.



Figura 1- 21. Puntos de lubricación.

Fuente: Captura propia.

CAPÍTULO 2: **DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO Y FMECA**

2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO

La Enderezadora Aza, es una máquina que tiene como propósito corregir la deformación de ángulos estructurales que inevitablemente tienen que ser enderezados a causa de la deformación, provocada por los cambios de temperatura en la parrilla de enfriamiento. Fue fabricada en el año 1964, por la empresa española Construcciones Vascas S.A., y a través de los años se le han ido realizando pequeñas modificaciones con el fin de poder mejorarla y darle una mayor vida útil.

Los ángulos estructurales que endereza actualmente son de medidas desde el 20mm x 20mm x 3mm hasta el 50mm x 50mm x 5mm. En la figura 2-1 se aprecia una vista frontal de la Enderezadora Aza.



Figura 2 - 1. Vista frontal Enderezadora Aza.

Fuente: Captura propia.

La máquina está conformada por 3 grandes conjuntos:

- Mesa de entrada.
- Conjunto principal (enderezadora).
- Mesa de salida.

Por su parte, el conjunto principal está conformado por: un motor eléctrico, un reductor y el bastidor (estructura). Para su funcionamiento, el motor eléctrico se encarga de entregar la potencia mecánica necesaria al reductor para que este pueda realizar la reducción de velocidad y aumentar el torque, el reductor posee 2 velocidades (velocidad de alta y de baja), actualmente sólo opera con la velocidad de baja que es de 470 RPM). A la salida del reductor, se acopla el eje motriz de la

enderezadora que mediante un tren de engranajes les transmite el movimiento a los ejes de los rodillos inferiores, los cuales son 4 y cumplen la misión de actuar como guías a medida que pasa el perfil, en donde los ejes de los rodillos superiores son conducidos, girando a medida que pasa el perfil por la enderezadora. A estos últimos se les llama rodillos de presión, ya que son los que realizan el enderezado debido a las fuerzas que ejercen.

En la figura 2-2 se presenta un plano con el conjunto principal de la máquina:

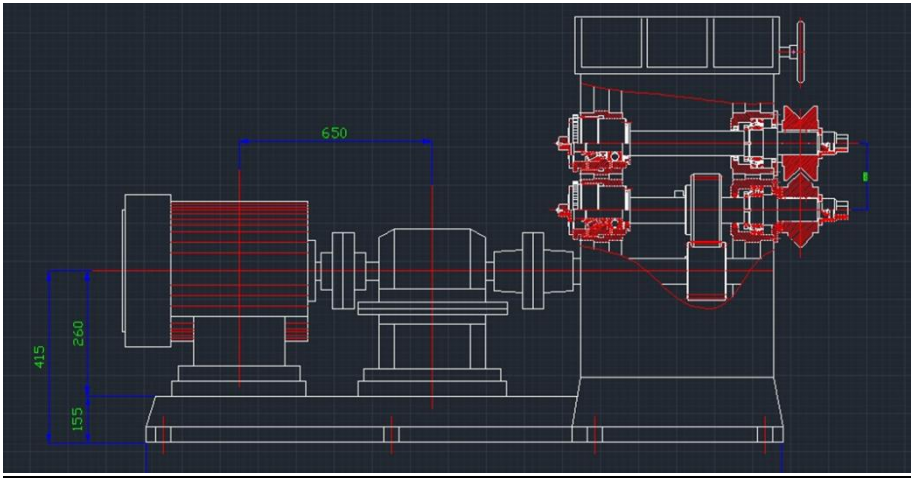


Figura 2 - 2. Conjunto Principal Enderezadora Aza.

Fuente: Red de planos AZA.

Los ejes de los rodillos superiores discurren sobre rodamientos de rodillos a rótula, rodillos cónicos y axial de bolas (sentidos axial y radial). El bastidor de la máquina se conforma de dos soportes y una tapa, estas piezas se encuentran considerablemente dimensionadas y se encuentran fabricadas en acero moldeado y normalizado.

En la figura 2-3 se presenta una vista de la parte superior de la máquina, en la que se aprecia el sistema de regulación de los rodillos superiores, en el cual un mecanismo conformado por tornillos sin fin y coronas permite el desplazamiento vertical de los rodillos.

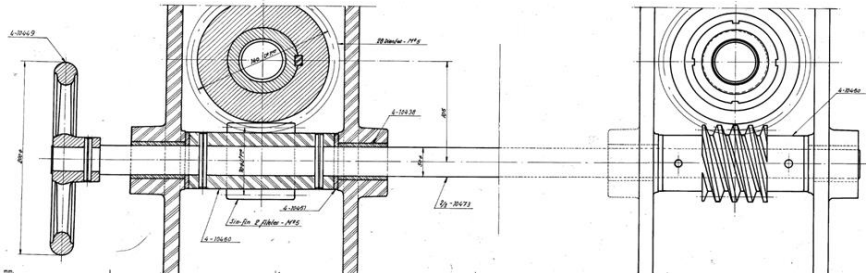


Figura 2 - 3. Mecanismo de regulación de rodillos superiores.

Fuente: Red de planos AZA.

Puesta a punto: según el momento resistente de cada perfil, los rodillos de la máquina se pueden poner a punto a través de 3 métodos; ahora bien, se debe tener mucha claridad sobre el método escogido para enderezar, ya que no todos son adecuados a los esfuerzos que puede resistir la máquina y a la energía absorbida por la misma, de la expertiz del operador para regular los rodillos depende en gran medida la calidad del enderezado del perfil. En la figura 2-4, se presentan los 3 métodos de regulación de los rodillos:

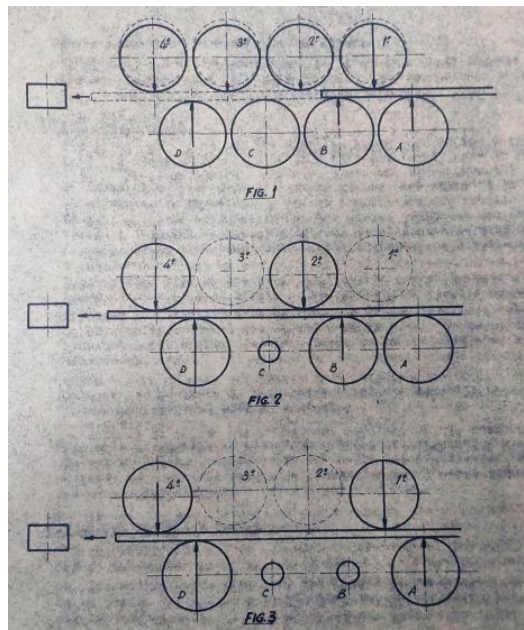


Figura 2 - 4. Métodos de puesta a punto.

Fuente: Manual de operación y mantenimiento - Enderezadora Aza.

El método de puesta a punto más recomendado, es aquel que actúa en mayor magnitud sobre el 1° y 4° rodillo de presión, mientras que el 2° y 3° rodillos se presionan, pero con menor magnitud, por lo tanto, solo actúan de guías (Fig. 1).

En el caso de enderezar perfiles de bajo momento resistente, es decir, inferior al 50% de la capacidad de la máquina, puede actuarse sin cuidado en todos los rodillos de presión, debido a que en ningún escenario puede sobrecargarse la máquina. En esta situación, lo ideal es utilizar el método de la figura 1, el cual consiste en dar presiones descendentes desde el 1° hasta el 4° rodillo, de esta manera se conseguirá un enderezado casi perfecto.

En cambio, en el caso de enderezar perfiles de mayor momento resistente que el de la máxima capacidad de la máquina, se pueden emplear cualquiera de los siguientes métodos:

- Sacar el rodillo inferior C y actuar sobre los rodillos 2° y 4°, teniendo levantados el 1° y 3° (Fig. 2). Con este método pueden pasarse perfiles con un 20% más de momento resistente que el de la máxima capacidad de la máquina.

- Sacar los rodillos B y C inferiores y actuar sobre los rodillos 1° y 4, teniendo levantados el 2° y 3° (Fig. 3). Con este método pueden pasarse perfiles con un 43% más de momento resistente que el de la máxima capacidad de la máquina.

Independiente del método escogido para enderezar, la práctica y experiencia del operador es un factor fundamental para lograr un buen enderezado, pues su habilidad para regular los rodillos de la máquina es un punto clave para cumplir con los lineamientos del proceso.

Sistema de enderezado

Los rodillos superiores, son locos y ajustables en sentido axial y vertical, axialmente pueden ser desplazados aproximadamente unos 30 mm, para dar este ajuste se deben girar las coronas dentadas que se ubican en la parte posterior de la máquina con una herramienta especial; cabe recalcar que para fijar la posición de los ejes, estos se deben inmovilizar asegurando el gatillo y el pestillo en los dientes graduados que llevan las coronas, cada corona lleva numeración 1 a 30 décimas de mm de desplazamiento, es decir, una vuelta completa de una corona significa un desplazamiento axial de 3 mm.

Al girar la corona a la derecha, los ejes se desplazan axialmente hacia adelante y viceversa. En caso de que los dientes de los gatillos concuerden en un mismo número, los asientos de los ejes están alineados, salvo que alguna corona se haya girado una o más vueltas que las otras, lo cual es evidente a simple vista.

En la parte frontal de la máquina, los volantes de mano al girarse producirán el desplazamiento vertical de los rodillos superiores y unas reglas graduadas dan cuenta de la posición del rodillo. En ciertos casos especiales, se pueden utilizar los rodillos verticales del cabezal de salida para forzar el enderezado del perfil, esto se hace acercando o alejando los rodillos por medio del giro del volante del cabezal de salida. Cabe destacar que los rodillos inferiores son fijos, por lo tanto, no se pueden ajustar en sentido vertical ni axial.

2.1.1 Sistemas de la Enderezadora Aza

Los sistemas que conforman la Enderezadora Aza, y hacen posible el proceso de enderezado, son los siguientes: neumático, accionamiento, reducción, transmisión, transferidor fijo, mesa de entrada y mesa de salida.

A continuación, se explicará cada sistema con más detalles:

Neumático

El aire, es el agente encargado de transmitir la potencia necesaria para que un cilindro de doble efecto logre realizar su recorrido para levantar la tapa de protección de los rodillos. El movimiento del cilindro, es generado por una electroválvula 5/2, además hay 2 reguladoras de caudal que controlan la velocidad del cilindro. Por último, se encuentra una FRL (filtro, regulador, lubricador) que se encarga de lubricar, filtrar partículas de agua en el aire y regular la presión por medio de un manómetro. En la figura 2-5 se aprecia el actuador neumático presente en la máquina.



Figura 2 - 5. Cilindro neumático alza tapa de protección.

Fuente: Captura propia.

Accionamiento

El sistema de accionamiento, está compuesto por un motor eléctrico WEG W22, el cual convierte la energía eléctrica en energía mecánica, con el fin de transmitir el movimiento de giro por medio de un acoplamiento al reductor. En la figura 2-6 se muestra el motor eléctrico que acciona el reductor.



Figura 2 - 6. Motor eléctrico.

Fuente: Captura propia.

Reducción

El sistema de reducción, toma forma gracias a un reductor de 2 velocidades BIGNOTTI, el cual posee reducciones 1:5 y 1:3 con una potencia de 37 kW (por motivos operacionales, solo se usa la reducción 1:3). Este reductor recibe una velocidad de entrada de 1465 RPM provenientes del motor eléctrico para generar en su salida una velocidad de 488 RPM, efecto de esta reducción, a la salida del reductor se ensambla el eje de salida, el cual transmite el movimiento de giro hacia la máquina enderezadora. Es necesario considerar que los ejes del reductor discurren sobre rodamientos autocentrantes. En la figura 2-7 se ilustra el reductor de velocidades de la máquina.



Figura 2 - 7. Reductor Bignotti.

Fuente: Captura propia.

Transmisión

Es el sistema encargado de transmitir el movimiento generado a la salida del eje del reductor hacia los rodillos inferiores, generado gracias a un tren de engranajes (3 piñones y 4 coronas); cada engranaje les transmite el movimiento a los ejes los cuales en su extremo llevan acoplado un rodillo enderezador. En la figura 2-8 se aprecia el sistema de transmisión de la máquina.

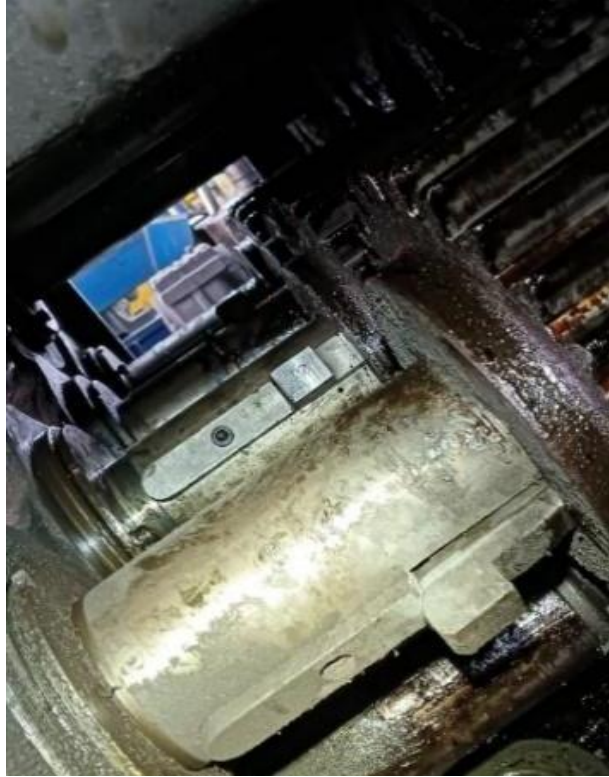


Figura 2 - 8. Transmisión.

Fuente: Captura propia.

Regulación de rodillos

Es un sistema conformado por un mecanismo que a través de volantes permite regular los rodillos superiores axialmente y en altura, con el objetivo de otorgar el enderezado correcto a los perfiles según la orientación de los rodillos. En la figura 2-9 se vislumbra el mecanismo de regulación de rodillos.

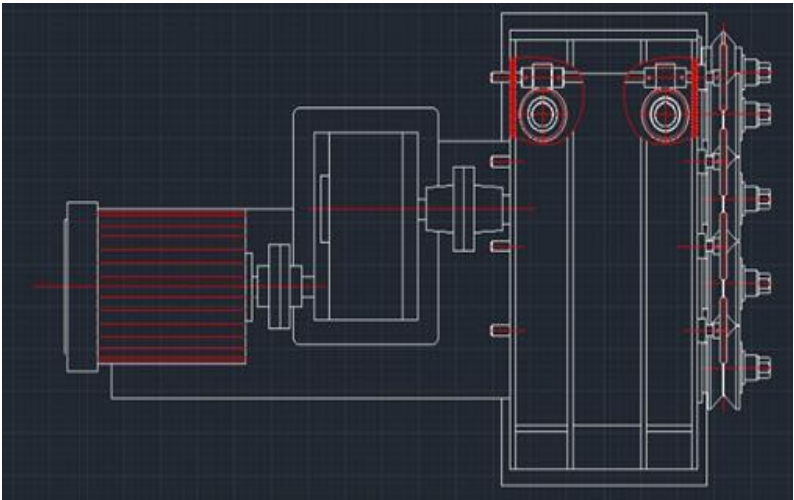


Figura 2 - 9. Vista superior, mecanismo de regulación de rodillos.

Fuente: Captura propia.

Transferidor fijo

Este sistema está conformado por 4 cadenas, las cuales se encargan de transferir los perfiles hacia la mesa de entrada. El movimiento de las cadenas se produce gracias a un motorreductor, que a través de su eje transmite el giro a los piñones, los que al estar conectados a la cadena transfieren el movimiento, permitiendo que la cadena se desplace y pueda transferir los perfiles. En la figura 2-10, se evidencia el transferidor fijo de entrada de perfiles.

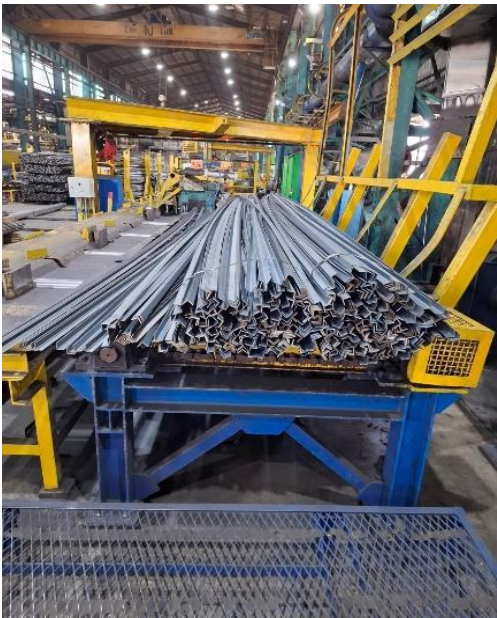


Figura 2 - 10. Transferidor fijo.

Fuente: Captura propia.

Mesa de entrada

Es un sistema compuesto por 6 bandejas metálicas, las que en su interior contienen rodillos accionados por motorreductores, gracias al giro de los rodillos es posible trasladar los perfiles hacia la entrada de la máquina. En la figura 2-11 se exhibe la mesa de entrada de perfiles.



Figura 2 - 11. Mesa de entrada.

Fuente: Captura propia.

Mesa de salida

Es un sistema integrado por 5 bandejas metálicas, las que poseen rodillos livianos o pesados que giran gracias al paso del perfil por los rodillos según el peso de estos. A causa del giro de los rodillos, es posible trasladar los perfiles hasta un tope fijo, donde finalmente unas estrellas voltean los perfiles a una cuna de empaquetado. En la figura 2-12 se aprecia la mesa de salida de perfiles.



Figura 2 - 12. Mesa de salida.

Fuente: Captura propia.

2.1.2 Determinación del Sistema Crítico

La selección del sistema crítico, se hizo a través de un diagrama de dispersión logarítmica (Jack Knife). Con base en la bitácora de fallas generada, se agruparon las interrupciones por sistema de la máquina y se consideraron los costos por fallas correctivas planeadas y no planeadas para evaluar el impacto. En el gráfico 2-1, se presenta el diagrama de dispersión Jack Knife realizado:

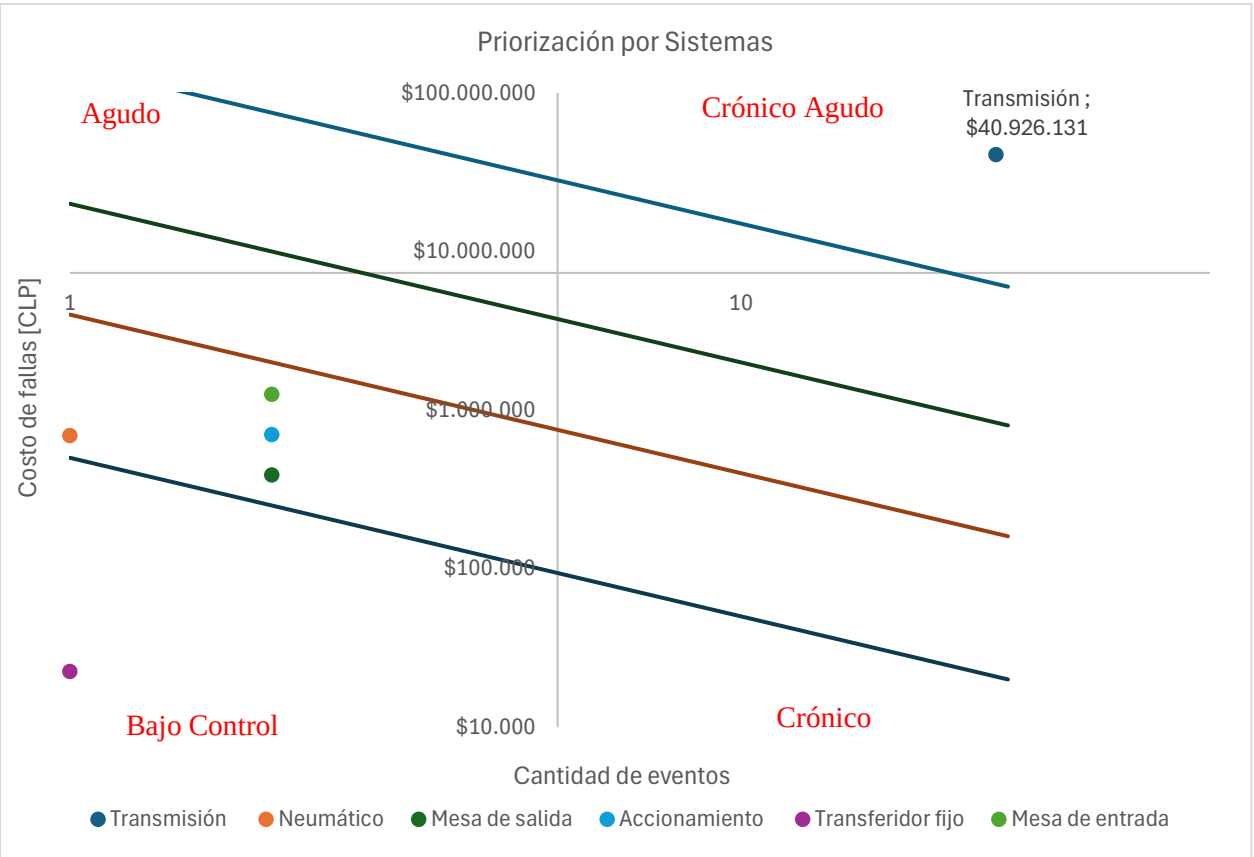


Gráfico 2 - 1. Jack Knife - Priorización de sistema crítico.

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el diagrama de dispersión Jack Knife, se tiene que el sistema de transmisión se encuentra en el cuadrante crónico agudo, ya que presenta una gran cantidad de fallas y un alto costo de fallas por mantenimientos correctivos planeados y no planeados. En virtud de esto, se priorizará el sistema de transmisión de potencia ya que es el más crítico.

Para identificar y priorizar los modos de fallos que generan los problemas crónicos agudos que presenta el sistema de transmisión se llevará a cabo un Análisis de Modo, Efecto y Criticidad de Falla (FMECA) en este capítulo.

2.1.3 Descripción del Sistema Crítico

El sistema de transmisión, es el encargado de transmitir el movimiento desde el eje de salida del reductor hasta los rodillos inferiores, esto se da gracias a un tren de engranajes compuesto por 3 piñones y 4 coronas, además de transmitir el movimiento, las ruedas dentadas tienen como finalidad reducir la velocidad para que los rodillos inferiores logren girar a una velocidad de 350 ± 5 RPM. En la figura 2-13 se visualiza el sistema de transmisión en un plano en corte.

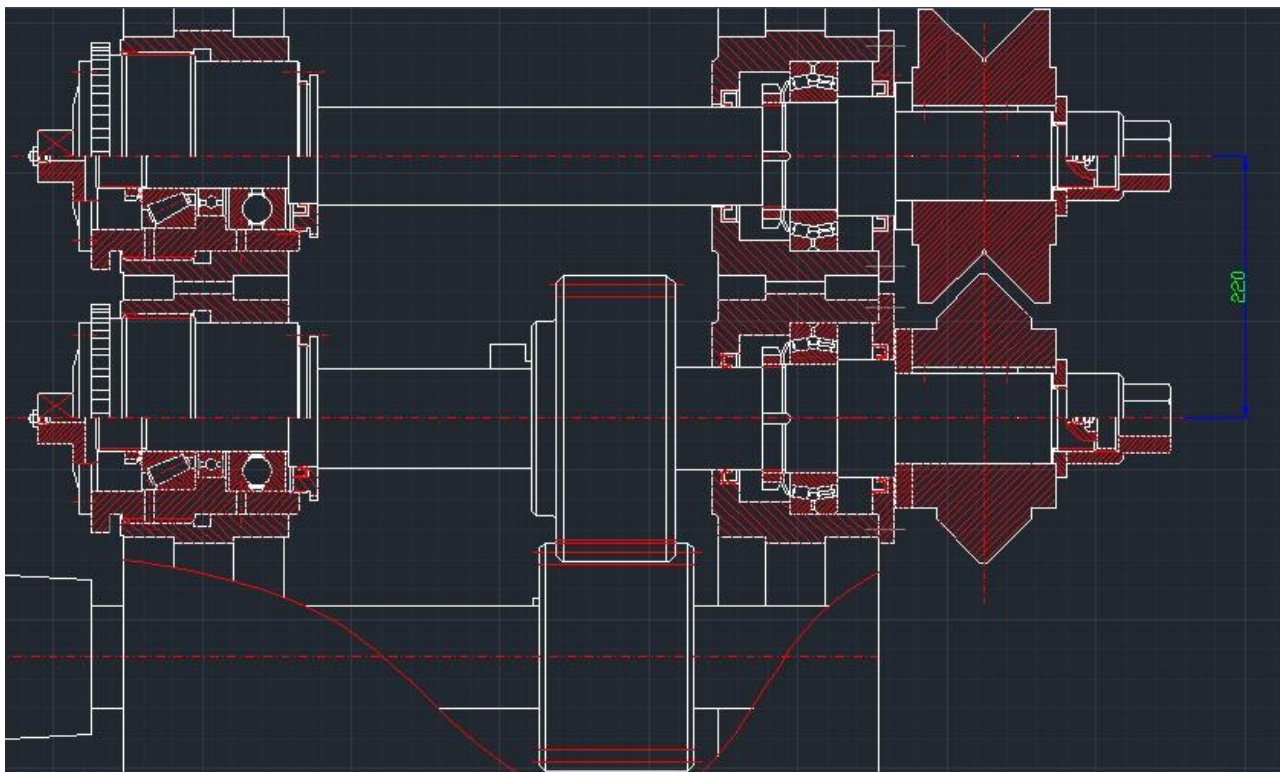


Figura 2 - 13. Vista en corte del sistema de transmisión.

Fuente: Plano conjunto de la Enderezadora Aza (red de planos AZA).

El sistema de transmisión, toma forma por diversos componentes mecánicos que trabajan mancomunadamente para transmitir el movimiento hasta los rodillos enderezadores, a continuación, se describen:

- Engranajes: son un conjunto de 3 piñones y 4 coronas, que al engranarse, cumplen la función de transmitir el movimiento y reducir la velocidad con el fin de que los rodillos inferiores logren girar a una velocidad de 350 ± 5 RPM.
- Ejes: el sistema de transmisión contempla 7 ejes: 1 eje motriz, 2 ejes conducidos y 4 ejes rodillo inferior. Los ejes, salvo el motriz, son los encargados de recibir el torque de parte de los engranajes para transmitir el movimiento a los rodamientos y rodillos.
- Chavetas: son las piezas que se encargan de unir 2 elementos mecánicos y transmitir el torque entre ellas. En este sistema, se tiene unión por chaveta entre los rodillos y ejes rodillo

inferior, entre las coronas y los ejes rodillo inferior y entre los piñones y los ejes conducidos/motriz.

- Rodillos: son las piezas que tienen contacto directo con el perfil, por lo tanto, son los encargados de enderezar las alas del ángulo estructural gracias a su cavidad interna en 90°. En este sistema, se tiene 4 rodillos inferiores machos, los cuales actúan como guía para que el perfil mantenga la línea de enderezado a medida que pasa por la máquina.
- Rodamientos: son los elementos mecánicos encargados de facilitar al eje: el movimiento rotacional, el soporte y la estabilidad. En la tabla 2-1 se señalan los rodamientos utilizados por cada eje:

Eje	Descripción	Designación	Cant. Unitaria	Cant. Total
Motriz	RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6310	6310	1	1
	RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6014	6014	1	1
Conducido	RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6310	6310	1	2
	RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6014	6014	1	2
Rodillo inferior	RODAMIENTO DE RODILLO A ROTULA 22218E	22218E	1	4
	RODAMIENTO AXIAL DE BOLAS 51411	51411	1	4
	RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6211	6211	1	4
	RODAMIENTO DE RODILLO CÓNICOS 32311	32311	1	4

Tabla 2 - 1. Rodamientos del sistema de transmisión.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 **ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE LA FALLA**

El análisis del Modo, Efecto y Criticidad de Falla (FMECA) es una herramienta de análisis del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que a través de la jerarquización de los ítems mantenibles de un activo que desempeña una función específica, facilita la identificación de su modo de falla con el fin de conseguir una clasificación cuantitativa y cualitativa, evaluar el impacto y revelar los modos de falla críticos a través de un análisis semicuantitativo. Tras haber identificado los modos de fallo críticos, estos serán priorizados en función de su impacto económico y frecuencia de fallos, lo cual es un gran apoyo para la toma de decisiones a fin de identificar oportunidades de mejoras que logren optimizar el rendimiento de los equipos.

2.3 TAXONOMÍA SEGÚN LA NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224: 2016, define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas basándose en características afines para la agrupación en niveles. Esta clasificación, facilita la ubicación del activo de interés dentro de una organización, contribuyendo de esta forma para la definición de sus funciones para luego definir las fallas funcionales que impactan en la confiabilidad del subsistema de estudio en base a los ítems mantenibles del activo.

En la figura 2-14 se visualiza la taxonomía, donde el nivel máximo es el tipo de industria (Siderúrgica) y el nivel mínimo son las partes del equipo.

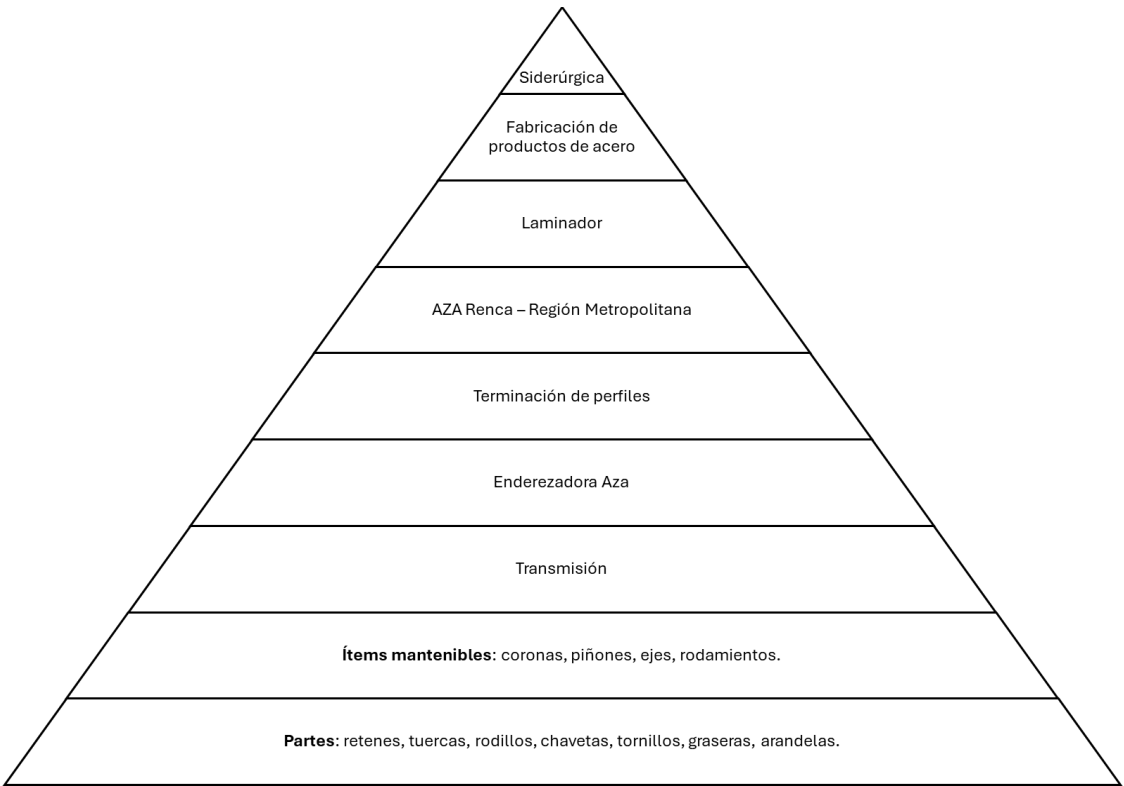


Figura 2 - 14. Niveles taxonómicos según Norma ISO 14224: 2016; aplicado al caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

2.4 DATOS ESPECÍFICOS DEL EQUIPO

Para cada activo, que se pretenda inspeccionar o analizar, es imprescindible reunir información fundamental del proceso para precisar los detalles que tendrán impacto en la toma de decisiones frente a la gestión del activo. La norma ISO 14224:2016, sugiere un listado de datos específicos para cada clase de equipo, entre los cuales no se encuentra el equipo en estudio. Sin embargo, en la sección 2.1 es presentada esta información.

2.5 **DIAGRAMA SIPOC DEL SISTEMA CRÍTICO**

En la tabla 2-2, se presenta el diagrama SIPOC del sistema de transmisión; con el desarrollo de este diagrama se posibilita de manera más sencilla la ejecución del análisis funcional, ya que a través del diagrama SIPOC se clarifica y se puede observar de manera más clara el flujo del proceso.

Proveedor	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Energía eléctrica.	Señal eléctrica.	Generar energía mecánica para transmitir el movimiento de rotación desde el eje de salida del reductor hasta los rodillos inferiores a través de un tren de engranajes, con el fin de que los ejes giren a una velocidad de 350 +/- 5 RPM.	Ejes girando a una velocidad de 350 +/- 5 RPM.	Rodillos inferiores de enderezado.

Tabla 2 - 2. Diagrama SIPOC sistema de transmisión.
Fuente: Elaboración propia.

2.6 **FUNCIÓN DEL EQUIPO**

Tomando como referencia la información presentada en la sección 2.1.3, es posible definir la función principal y secundaria de la Enderezadora Aza, las cuales serán claves a la hora de ejecutar el FMECA.

Función Primaria

Transmitir el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM.

Función Secundaria

Distribuir la carga de manera uniforme entre los 4 rodillos inferiores.

2.7 FALLA FUNCIONAL

Una falla funcional, se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario. (Moubray, 2004). En la figura 2-15 se puede apreciar la representación conceptual de una falla funcional.

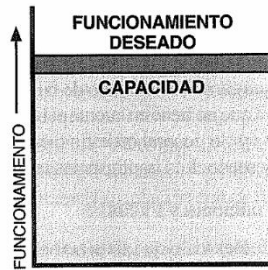


Figura 2 - 15. Falla funcional.

Fuente: RCM II, John Moubray.

A continuación, se definen las fallas funcionales totales y parciales, tanto de la función primaria como secundaria de la máquina:

Falla Funcional Parcial

- El sistema no transmite el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a uno de los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM.
- Incapacidad de distribuir la carga de manera uniforme entre los 4 rodillos inferiores.

Falla Funcional Total

- Incapacidad de funcionamiento del sistema de transmisión.

Cabe destacar que las fallas funcionales nombradas anteriormente se contemplarán con el mismo nivel de importancia para razones del FMECA. A partir de esto, se desliga que cualquier falla de estas condiciones es capaz de poner fuera de servicio al equipo.

2.8 MODOS DE FALLA

Un modo de falla, es definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (sistema o proceso) según afirma Moubray (2004).

Con base en las fallas funcionales nombradas anteriormente, se contemplarán los modos de fallo que influyan directamente en la ocurrencia de cada falla funcional:

a. El subsistema no transmite el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a alguno de los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM.

- Chaveta desgastada (1.1.1; ver anexo G).
- Rodamiento atascado (1.1.2; ver anexo G).
- Tuerca KM suelta (1.1.3; ver anexo G).
- Eje desgastado (1.1.4; ver anexo G).
- Engranaje desgastado (1.1.5; ver anexo G).

b. Incapacidad de funcionamiento del sistema de transmisión

- Eje motriz fracturado (1.2.1; ver anexo G).
- Rodamiento motriz trancado (1.2.2; ver anexo G).
- Diente quebrado piñón motriz (1.2.3; ver anexo G).
- Chaveta fracturada (1.2.4; ver anexo G).

c. Incapacidad de distribuir la carga de manera uniforme entre los 4 rodillos inferiores

- Dientes de engranajes desgastados (2.1.1; ver anexo G).
- Eje desgastado (2.1.2; ver anexo G).
- Rodillo enderezador desgastado (2.1.3; ver anexo G).
- Rodamiento gripado (2.1.4; ver anexo G).

2.9 EFEECTO DEL MODO DE FALLA

El efecto de falla, se refiere a lo que sucede al producirse cada modo de falla, es decir, los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla. (Moubray, 2004).

Para definir los efectos de los modos de falla, se consideraron los siguientes criterios:

- Evidencia: alude a si la falla es detectable de manera directa, puede ser un SÍ o un NO.
- SHA: se refiere a si la ocurrencia del modo de fallo afecta de manera directa a la seguridad y salud de las personas o al medio ambiente, puede ser un SÍ o un NO.

- Efecto operacional (síntomas): hace referencia a la manera en que la falla se hace presente en el comportamiento u operación del equipo. Se deben describir síntomas.
- Acción correctiva: asociada a la tarea de mantenimiento necesaria a ejecutar para restaurar la función del activo.

2.10 ANÁLISIS DE RIESGO CUANTITATIVO

Al realizar un análisis de riesgo de los potenciales modos de fallos, es de suma importancia contar con la información de frecuencia y consecuencias por cada modo de fallo, ya que ambos factores son determinantes en la obtención del riesgo cuantitativo.

La frecuencia fue generada a partir del juicio de expertos mecánicos del área y a través de recopilación de antecedentes en SAP.

La consecuencia fue generada a partir del juicio de expertos mecánicos del área, recopilación de antecedentes de SAP y rendimiento teórico de la máquina en base a su contexto operacional.

a. Cuantificación del Riesgo:

La cuantificación del riesgo considerará factores, tales como: costos directos por falla [USD/falla], el cual es un costo asociado a la mano de obra por HH de un mecánico de AZA, más el costo de los repuestos utilizados por cada modo de fallo. El otro factor relevante es el impacto en la producción [USD/hr], el cual será el costo de no producción de la máquina (incluye costos de procesos y costos por mantenimiento preventivo). A continuación, se explicará con mayor detalle cómo se obtuvo este costo para la Enderezadora Aza:

- Costo de NO producción del área de terminación estimado por AZA: 35 USD/t

Particularmente, este costo contempla 3 máquinas: 2 enderezadoras (Aza y Cox) y 1 cortadora (Iturrospe 1). Es importante aclarar que estas 3 máquinas tienen productividades similares según el producto a cortar o enderezar.

Debido a lo anterior, para obtener un estimado por máquina, se dividió el costo de no producción de terminación entre las 3 máquinas contempladas, de la siguiente forma:

$$\frac{35 \frac{USD}{t}}{3} = 11,67 \frac{USD}{t}$$

Por lo tanto, se considerará un costo de no producción de 11,67 USD/t para la Enderezadora Aza, el cual incluye lo que se deja de perder por tener la máquina indisponible, y los operadores sin realizar su trabajo (costos operacionales), además de mano de obra y repuestos (costos por mantenimiento preventivo).

Considerando lo anterior, el riesgo cuantitativo quedará definido por la ecuación 2–1.

$$\text{Riesgo Cuantitativo} = FF * (MTTR * \text{Imp. Prod.} + \text{Costo Directo por Falla})$$

Ecuación 2 - 1. Expresión de riesgo cuantitativo.

Fuente: Presentación de asignatura Ingeniería de Mantenimiento - Pablo Duque.

b. Cualificación del riesgo:

Para evaluar el impacto en la seguridad y medio ambiente de cada modo de fallo, se realizará de manera cualitativa, considerando que a cada nivel de impacto se le asignará una letra (A, B o C), y al concatenar ambas letras se obtendrá el riesgo cuantitativo, asignando un número que será visualizado por cada modo de fallo en el gráfico.

A continuación, se detallan los 3 niveles de impacto:

- Clasificación A: Alto impacto en ambiente o seguridad por el evento de modo de fallo.
- Clasificación B: Mediano impacto en ambiente o seguridad por el evento de modo de fallo.
- Clasificación C: Bajo impacto en ambiente o seguridad por el evento de modo de fallo.

Al concatenar el impacto de seguridad y medio ambiente se pueden dar los siguientes niveles de riesgo:

- Clasificación A-A: Riesgo Máximo.
- Clasificación A-C, A-B o B-A: Riesgo Medio.
- Clasificación B-C o C-C: Riesgo Mínimo.

2.11 FMECA

Para determinar el modo de fallo más crítico, se presenta el siguiente Gráfico de Cuantificación de Riesgo Cualitativo (gráfico 2-2), el cual en su eje Y contempla el riesgo cuantitativo [USD/año], y en su eje X contempla el riesgo cualitativo (impacto en seguridad y medio ambiente).

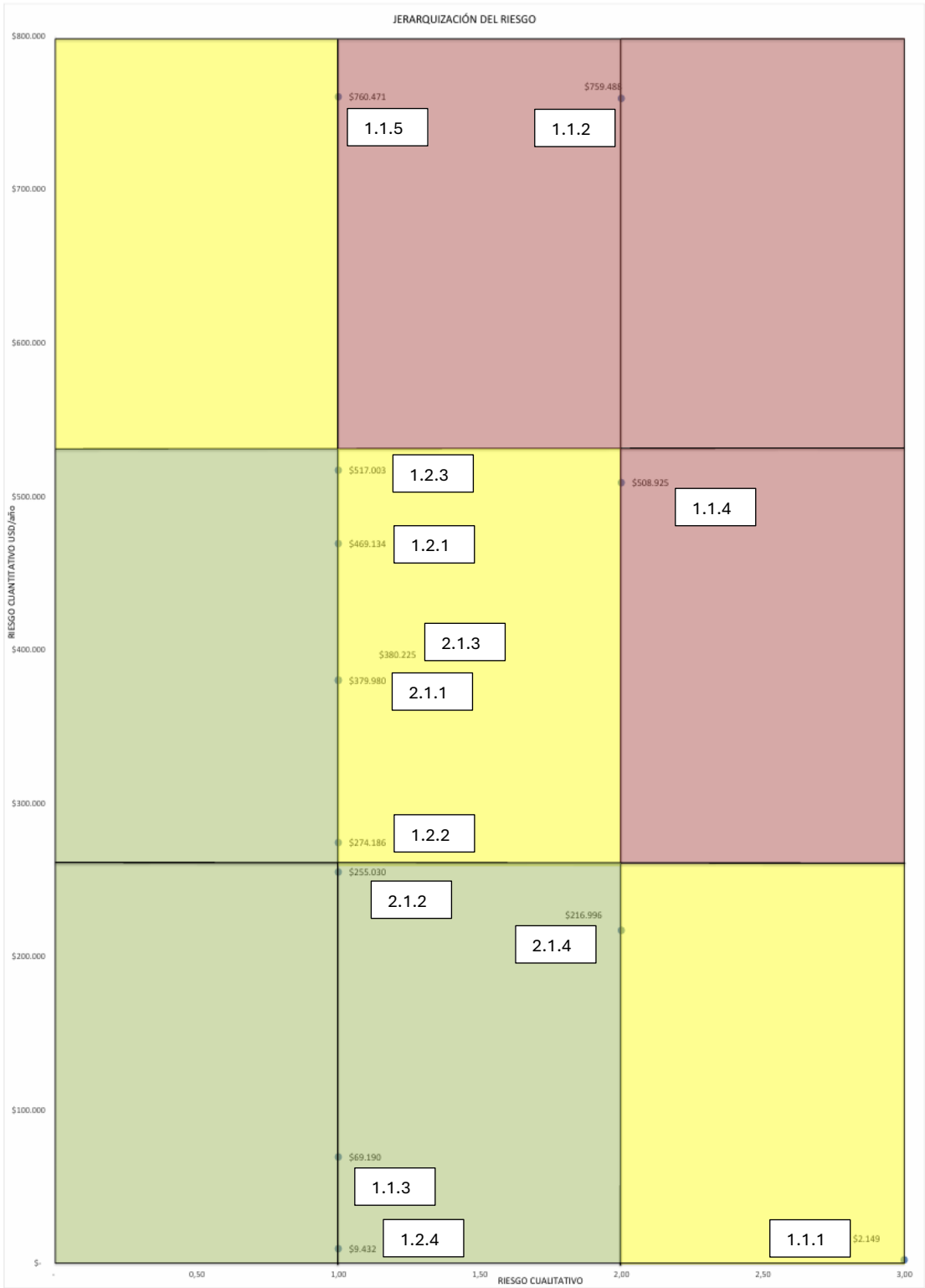


Gráfico 2 - 2. Matriz de Riesgo Semicuantitativa.
Fuente: Elaboración propia.

A través de lo visualizado en la matriz de riesgo, el modo de fallo 1.1.2 (rodamiento atascado) es el más crítico, ya que se encuentra en la zona de alto riesgo; esto es debido a que su riesgo cuantitativo (alta frecuencia de fallos, altos tiempos de reparación, grandes impactos en producción y elevados costos de fallas), sumado a su elevado impacto en seguridad y medio ambiente (en caso de la ocurrencia de la falla) genera grandes consecuencias en la empresa (\$759.488 [USD/año]), por lo que es de suma relevancia tomar acciones sobre este modo de falla para lograr encontrar una solución que disminuya su frecuencia de fallas.

Tras identificar los modos de falla más críticos a través del FMECA, se evidencian 3 modos de fallos ubicados en la zona de color amarillo (media criticidad), además del modo de fallo crítico (1.1.2), los cuales serán analizados con mayor profundidad en un Análisis Causa Raíz (ACR) con el fin de validar las hipótesis iniciales y determinar sus causas raíces. Con base en los hallazgos obtenidos en el ACR se propondrán mejoras que permitan enfocar los recursos en soluciones orientadas a eliminar permanentemente las causas que originan las fallas en el equipo.

En vista al modo de fallo crítico identificado del sistema de transmisión, se desarrolla un árbol de decisión con el fin de poder tomar la acción correcta para minimizar la ocurrencia de este modo de fallo. En la figura 2-16 se adjunta el árbol de decisión que se utilizó.

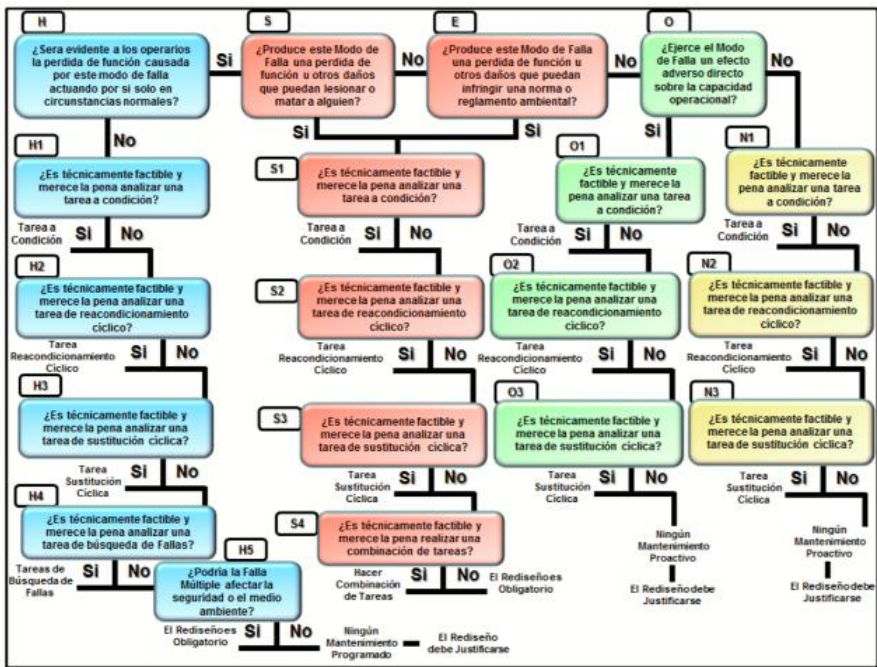


Figura 2 - 16. Árbol lógico de decisión.

Fuente: RCM II, John Moubray.

Además, en la figura 2-17 se adjunta la ruta de decisión efectuada para llegar a la acción a tomar.

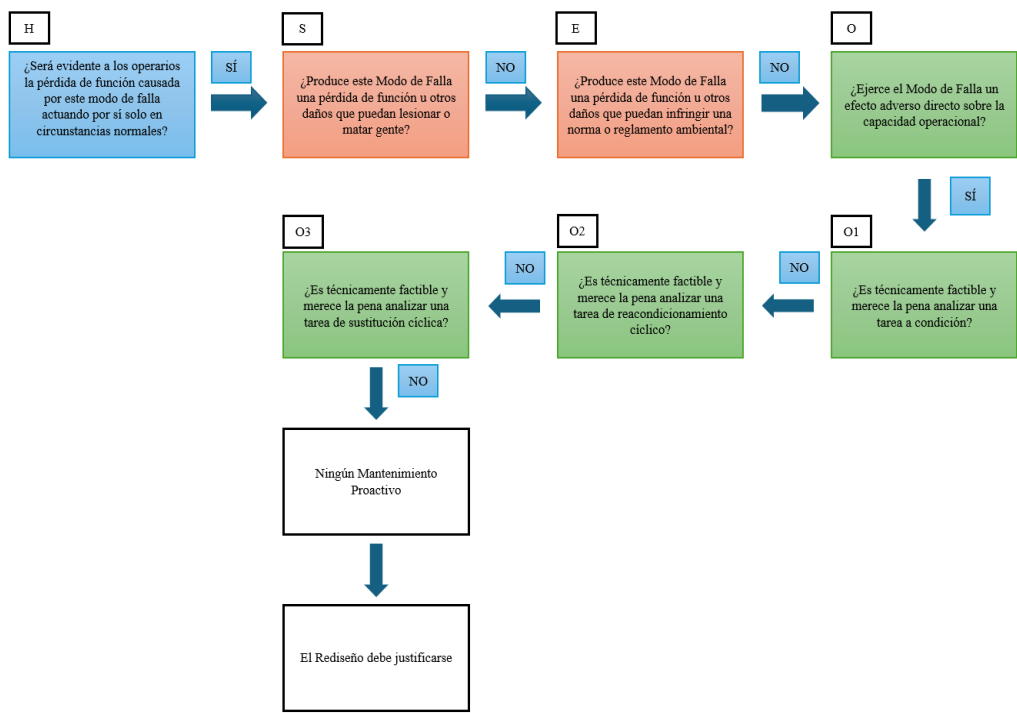


Figura 2 - 17. Ruta de decisión.
Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluar el modo de falla crítico, a través de la hoja de decisión, se determinó que la mejor acción para solucionar los problemas de lubricación asociados a los rodamientos de los ejes de los rodillos es el rediseño del método de lubricación con el fin de lograr una lubricación óptima y así disminuir la ocurrencia del modo de fallo crítico.

CAPÍTULO 3: **ANÁLISIS DE FALLA Y EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA**

3.1 **ANÁLISIS DE FALLA**

El Análisis Causa Raíz (ACR), es una herramienta que tiene como fin identificar las causas raíz de los problemas con el propósito de, posteriormente, implementar una solución que las elimine de manera permanente.

Con el fin de generar una propuesta técnica que mejore la condición actual de la máquina, se deben identificar las causas raíz de los modos de fallo de alta criticidad y media criticidad determinados en el FMECA. Para llegar a las causas raíz, luego de ocurrida la falla, es de suma importancia tener registro fotográfico del daño sufrido por el elemento mecánico con el fin de analizar más a fondo la causa raíz del problema.

El problema, en el caso en estudio, se da conocer por la falla funcional parcial (1.1) presentada en la sección 2.7 del capítulo 2: El sistema no transmite el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a uno de los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM.

Los modos de fallos a considerar en este problema son los ubicados en la zona de alta criticidad y media criticidad de la matriz de cuantificación de riesgo del FMECA, a continuación, se detallan:

- Chaveta desgastada (1.1.1).
- Rodamiento atascado (1.1.2).
- Eje desgastado (1.1.4).
- Engranaje desgastado (1.1.5).

3.1.1 **Árbol de Fallas**

El árbol de fallas, es un método deductivo empleado para identificar las causas raíz de un problema por medio de un diagrama lógico. Este método, otorga un entendimiento profundo de los modos de falla gracias a la formulación de hipótesis que ayudan a identificar a los causantes de los eventos de fallo.

A partir de la información constatada, durante los 6 meses de la memoria, realizada en la empresa, además del testimonio de experiencia de mantenedores y operadores, observación en tiempo real de fallas y registro de incidentes en plataforma de seguridad SGS de la empresa; se pudo elaborar el siguiente árbol de fallas (figura 3-1) vinculado al problema asociado a la falla funcional 1.1: El sistema no transmite el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a uno de los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM.

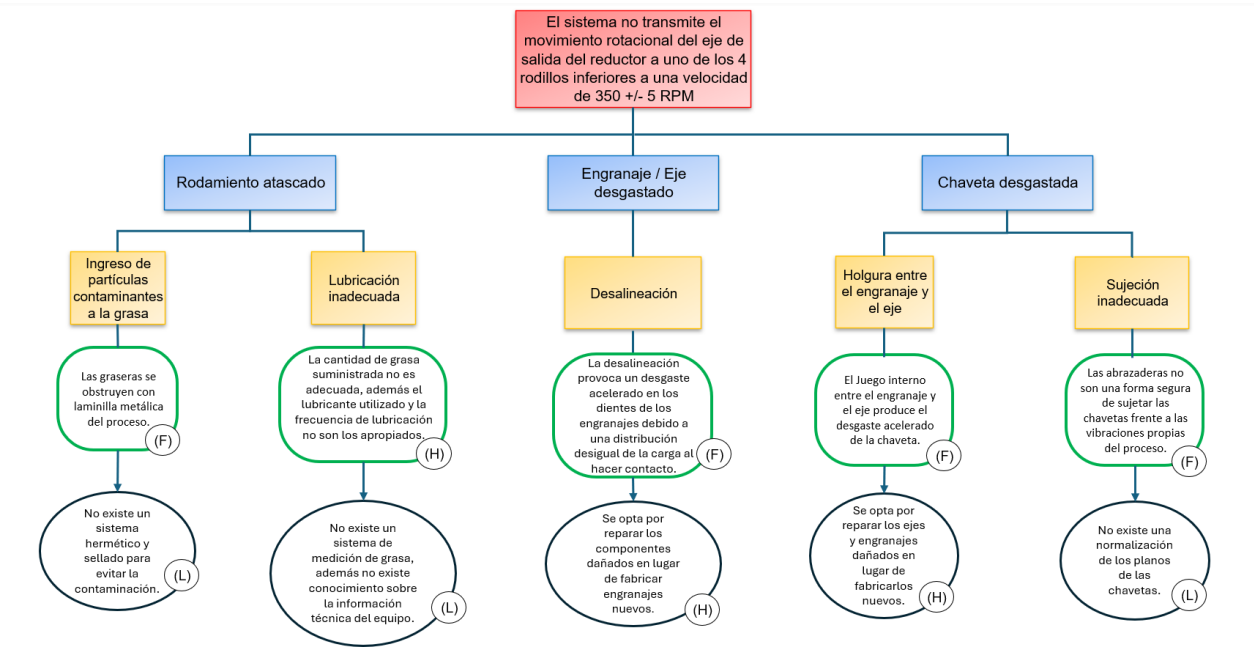


Figura 3 - 1. Árbol de fallos.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Marco Teórico Asociado a las Hipótesis

Para contextualizar las premisas, primero se presentará un marco teórico por cada una de las 5 hipótesis consideradas, con el objetivo de que posteriormente sean validadas en el punto 3.1.3.

Modo de fallo: Rodamiento atascado

A continuación, se presenta el marco teórico de las hipótesis asociadas al modo de fallo: rodamiento atascado.

Hipótesis 1: Ingreso de partículas contaminantes a la grasa

La laminilla metálica, presente en el laminador, y que también se desprende del proceso de enderezado a medida que pasa el perfil por la máquina es sumamente excesiva; existen captadores de polvo que se encargan de succionar esta laminilla y retirarla hasta un aposento. Sin embargo, las emisiones de este compuesto son tan grandes que las partículas micrométricas, debido a sus propiedades, se dispersan fácilmente en el aire y se terminan depositando en superficies de la máquina, en donde la principal preocupación es que se adhieran a los puntos de lubricación de la enderezadora, debido a que se forman capas de laminilla que tapan los puntos de lubricación, de manera que se contaminan y se obstruyen, lo que termina afectando a la contaminación de la grasa, y que implica que no termine llegando la cantidad de grasa esperada al rodamiento, produciéndose

el atascamiento de este elemento. A raíz de esto, y con el pasar del tiempo, la laminilla se convierte en una pasta sólida difícil de sacar, lo cual se convierte en un problema a la hora que los mantenedores deban realizar las lubricaciones.

Hipótesis 2: Lubricación deficiente

En el manual de operación y mantenimiento del equipo, el fabricante define que los rodamientos de los ejes de los rodillos deben ser lubricados mensualmente con grasa MOLIKOTE BR-2, sin embargo, actualmente los rodamientos se lubrican con grasa Mobilgrease XHP 222. Esta hipótesis, plantea que la grasa utilizada posiblemente no sea la adecuada, además que la cantidad de grasa que se inyecta a través de cada punto de lubricación es insuficiente y/o excesiva, lo que genera que, en el rodamiento, no se lubriquen de manera óptima sus elementos rodantes y pistas interiores, desencadenando un aumento de su temperatura y fricción, ocasionando que el rodamiento se atasque y no permita el movimiento del rodillo.

Modo de fallo: Engranaje / Eje desgastado

A continuación, se presenta el marco teórico de las hipótesis asociadas al modo de fallo: engranaje/eje desgastado.

Hipótesis 3: Desalineación por desgaste en los dientes del engranaje y rodamientos

Considerando que los ejes de la enderezadora, presentan desgaste, como ya fue visto en la problemática. Contemplando esto, esta hipótesis plantea que los rodamientos de los ejes de los rodillos, al fallar, aumentan el juego radial, por lo tanto, se genera una desalineación la cual termina afectando al eje causándole desgaste. También, el desgaste de los dientes de los engranajes causa que estos no engranen de manera precisa y uniforme (no coincidan sus diámetros primitivos), por lo tanto, se genera una distribución desigual de las cargas en los diferentes puntos de contacto y el eje al estar en contacto directo con el engranaje sufre en parte los daños causados por esta desalineación.

Por su parte, el eje al disminuir su diámetro precisamente donde va alojado el engranaje no permite el ajuste correcto entre ambos elementos, por lo tanto, se reduce la eficiencia de la transmisión de potencia hasta el punto de que el eje deja de girar y no pueda transferir el movimiento al rodillo.

Modo de fallo: Chaveta desgastada

A continuación, se presenta el marco teórico de la hipótesis asociada al modo de fallo: chaveta desgastada.

Hipótesis 4: Posible holgura entre el eje y el engranaje

La soltura de la chaveta, puede ser ocasionada por el incremento de la holgura entre el engranaje y el eje, o bien, por defectos en su fabricación. Al aflojarse una chaveta del engranaje, no puede transmitir de manera eficiente el torque hacia el eje donde va montado el rodillo, por lo tanto, al soltarse la chaveta en su totalidad el rodillo deja de girar y la máquina termina funcionando con 3 de sus 4 rodillos motrices, condición bajo la cual el equipo sigue operando, pero esto no es recomendable.

Hipótesis 5: Sujeción inadecuada

La soltura de la chaveta, puede producirse por su mala sujeción al eje, cuando la chaveta no está bien asegurada, las vibraciones la terminan soltando y siempre que haya juego entre el engranaje y el eje es más fácil que esta se comience a deslizar ocasionando una posible falla potencial.

3.1.3 Validación de Hipótesis

La validación de hipótesis hace referencia a información técnica que sirve de prueba o argumento para validar lo planteado. En el caso en estudio, los resultados de inspecciones visuales y los registros de expertos del área serán fundamentales para la validación.

Hipótesis 1: Ingreso de partículas contaminantes a la grasa

- Graseras expuestas a contaminación de laminilla metálica.
- Acumulación de laminilla metálica en partes cercanas a los puntos de lubricación.

Validación: se realizan inspecciones visuales del equipo en terreno, y se les realizan consultas técnicas a los mantenedores sobre su experiencia, en donde se define que la contaminación por partículas metálicas sí es un problema, mecánicos afirman que es casi imposible mantener estas partes limpias ya que es tan alto el nivel de saturación de laminilla que, al transcurso de un par de horas de ya haber realizado la limpieza, las partes ya están cubiertas nuevamente con laminilla.

Hipótesis 2: Lubricación deficiente

- Cantidad de grasa suministrada al rodamiento no es la adecuada (insuficiente o excesiva).
- Las lubricaciones no son llevadas a cabo adecuadamente.
- El tipo de grasa utilizado no es el adecuado para la aplicación.

Validación: se realizan revisiones visuales del equipo en terreno, y se les realizan consultas técnicas a los mantenedores sobre el método de lubricación que utilizan para engrasar; además se entrega información respecto a cómo se lleva a cabo la lubricación y se dará conocimiento del cumplimiento de esta. Para dar solución, y apoyar esta validación, en la propuesta de mejora se realizará una estimación de la cantidad de grasa de relubricación, en función de las condiciones de operación y un procedimiento de selección de la grasa propicia, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema automático de lubricación a disponer.

Hipótesis 3: Desalineación por desgaste en los dientes del engranaje y rodamientos

- Fallas de rodamientos generan aumento del juego radial, ocasionando desalineación y generando daño al eje.
- Montaje mal realizado.
- Dientes de los engranajes presentan desgaste, por ende, no encajan de manera precisa y uniforme, generando desalineación.

Validación: se realizan inspecciones visuales del equipo en terreno, y se les realizan consultas técnicas a los mantenedores sobre su experiencia en el tema. Tras la ocurrencia de una parada del equipo, se aprovecha la oportunidad para analizar la falla ocurrida, y a propósito de la situación, los mantenedores dan información respecto a los trabajos de montaje cuando ocurre una falla, y desde lo pesquisado, se desprende que la empresa no opta por mandar a fabricar nuevos componentes, más bien, se inclina por reparaciones provisorias para asegurar la rápida disponibilidad del equipo a producción.

Hipótesis 4: Posible holgura entre el eje y el engranaje

- Una posible holgura entre el engranaje y el eje, facilitaría el deslizamiento de la chaveta, al permitirse este movimiento relativo entre ambos elementos se generarían vibraciones y cargas adicionales, lo cual terminaría ocasionando que la chaveta sufra un desgaste acelerado.

Validación: se realizan examinaciones visuales a los componentes de la máquina en el taller de mantenimiento, y se realizan consultas técnicas a los mantenedores sobre su experiencia. Tras la ocurrencia de una parada del equipo, se aprovecha la oportunidad para analizar una falla ocurrida, para validar una posible holgura se analizará la falla in situ. Junto con esto, se comprobará que las reparaciones que se realizan no son las mejores soluciones, puesto que son provisorias y tienen el fin de disponer la máquina lo antes posible para el área de operaciones.

Hipótesis 5: Sujeción inadecuada

- Vibraciones propias de la máquina terminan soltando los elementos de sujeción de las chavetas.
- Los elementos de sujeción no son los adecuados.

Validación: se realizan verificaciones visuales del equipo en terreno, se les realizan consultas técnicas a los mantenedores sobre su experiencia y se realizan consultas sobre las declaraciones de incidentes de la Enderezadora Aza en el Sistema de Gestión de Seguridad de la empresa (SGS AZA), con el fin de identificar un posible incidente que haya sido causal de una parada no programada de la máquina por una soltura de una chaveta. Al ocurrir una falla que involucra la soltura de una chaveta, se recurre a terreno para verificar la sujeción empleada y analizar la falla correspondiente.

3.1.4 Argumento Asociado a la Hipótesis

El argumento asociado a la hipótesis, hace referencia a la validación, pero con un mayor grado de profundidad. A propósito de esto, se explicará cada hipótesis junto con los resultados de las inspecciones, y la incorporación de imágenes que son claves para fundamentar cada una de las hipótesis.

Hipótesis 1: se inspecciona visualmente el equipo en terreno, específicamente las zonas que los mantenedores del área aseguran que suelen acumular laminilla metálica (graseras y tapas de lubricación de rodamientos). Al observar, se aprecian grandes concentraciones de laminilla metálica en los puntos de lubricación de los rodillos superiores, tal como se puede apreciar en la figura 3-2. En tanto, estas acumulaciones, con el pasar del tiempo se endurecen más, a tal punto que se forman costras de laminilla que son difíciles de retirar.

El tamaño de las partículas de laminilla es a escala microscópica, de modo que, es sencillo que ingresen a través de las aberturas de las graseras y/o por las separaciones entre la tapa de lubricación y el bastidor, contaminando la grasa. Al respecto, mantenedores informan que al conectar la engrasadora para lubricar, muchas veces no se percatan de estas partículas metálicas en las superficies de las graseras y terminan inyectando la grasa en conjunto con estas partículas, por lo que se facilita el ingreso de estos contaminantes al lubricante.



Figura 3 - 2. Presencia de laminilla metálica en grasera de rodillo enderezador.

Fuente: Captura propia.

En la figura 3-3, se plasma la acumulación de partículas metálicas alrededor de la tapa de lubricación del rodamiento, las partículas de esta capa de laminilla, por su tamaño, fácilmente pueden ingresar por el diámetro interior de la tapa, justamente donde se realiza el calce con el eje, al entrar las partículas a ese lugar hacen contacto directo con el rodamiento y con el lubricante, por lo que se termina contaminando el rodamiento y generando su atascamiento.



Figura 3 - 3. Presencia de laminilla metálica en tapa de lubricación de rodamiento.

Fuente: Captura propia.

Hipótesis 2: se pesquisa el equipo en terreno, así como también se le solicita al mantenedor que realice el retiro de la tapa de lubricación para ver el estado del rodamiento, siendo posible apreciar la escasa lubricación que este posee en su interior, tal como lo demuestra la figura 3-4.

Tras esto, se le consulta al mantenedor si se cumplen correctamente las actividades de lubricación, quien indica que en ciertas circunstancias se pasan por alto las lubricaciones en la parte frontal de la máquina (lado rodillos), debido al arduo trabajo que demanda (desmontaje, lubricación, calibración y armado). Por otra parte, se aclara que, para poder cumplir con toda la programación de mantenimiento, muchas veces se debe omitir esta lubricación del lado frontal de la máquina debido al tiempo que se demanda.

Del mismo modo, el mantenedor indica que a causa del equipo de lubricación que utilizan para engrasar (bomba neumática), no se tiene la facilidad de verificar la cantidad de grasa que se está suministrando, generalmente se guían por el número de pulsos o tiempo de inyección de grasa. Por otra parte, la grasa Mobilgrease XHP 222 utilizada posiblemente no es la adecuada, mantenedores informan que un proveedor de Mobil la ofreció sin respaldo ni criterio de selección, ante esto, se realizará un estudio acabado en la propuesta de mejora para seleccionar una grasa idónea para la aplicación.



Figura 3 - 4. Rodamiento lado rodillo al descubierto.

Fuente: Captura propia.

En la figura 3-5, se aprecia la falla de un rodamiento de la máquina por el empleo de una lubricación inadecuada, y presencia de agentes contaminantes; debido a lo anterior, la grasa se convirtió en una pasta seca y endurecida, por lo cual perdió sus propiedades el lubricante, lo que generó el aumento de fricción, y en consecuencia, acelerando el desgaste del rodamiento. Además, la grasa endurecida con mayor facilidad recoge los contaminantes, por lo que se convierte en una pasta abrasiva que daña las diferentes zonas del rodamiento.



Figura 3 - 5. Falla de rodamiento por lubricación y contaminantes.

Fuente: Captura propia.

Hipótesis 3: se observan algunos componentes mecánicos en el taller de mantenimiento luego de una falla del equipo, lo que se retrata en la figura 3-6. En primer lugar, se aprecia un engranaje de la máquina, el cual presenta un desgaste excesivo en sus dientes, específicamente en gran parte del ancho de la cara del diente, donde es significativo el desgaste en comparación al otro extremo del diente, siendo clara señal de que el engranaje se encontraba girando desalineado.

El mantenedor a cargo, ante la situación, señala que en la mayoría de los casos se opta por realizar reparaciones provisionales a los componentes mecánicos de transmisión de la máquina debido a que opera presiona para tener disponible la máquina a causa de la fuerte demanda de los productos. Estas reparaciones provisionales, incluyen trabajos de soldadura y mecanizados que realmente no son los más acertados y no se toma en consideración la alineación del engranaje respecto al eje.

Pese a lo anterior, en algunas ocasiones se ha mandado a fabricar más de un engranaje cuando alguno de ellos falla, lo cual no soluciona el problema, ya que el engranaje nuevo se termina dañando debido al contacto que realizan los dientes del engranaje que no se reemplazó, por lo tanto, estos problemas terminan provocando la desalineación la cual acelera el desgaste de los ejes, engranajes y rodamientos. Por otra parte, el engranaje presenta desgaste en su diámetro interior donde se encuentra ubicado el chavetero (daño del chavetero y reducción de este diámetro).



Figura 3 - 6. Desgaste de piñón.

Fuente: Captura propia.

Respecto al eje, este presenta un desgaste excesivo donde va alojado el engranaje, tal como se visualiza en la figura 3-7. Este desgaste, genera una holgura entre el eje y el piñón, lo que trae como consecuencias vibraciones excesivas en el sistema de transmisión y desalineación entre los dientes del tren de engranajes.



Figura 3 - 7. Desgaste de eje en diámetro del alojamiento.

Fuente: Captura propia.

Hipótesis 4: se inspeccionan visualmente algunos componentes mecánicos en el taller de mantenimiento luego de ocurrida una falla en el equipo. En la figura 3-8, se constata el desgaste por deslizamiento de la chaveta en el cubo del engranaje, además se aprecia desgaste en el diámetro interior de la rueda dentada.



Figura 3 - 8. Desgaste en el interior del engranaje.

Fuente: Captura propia.

Al revisar la figura 3-9, se puede apreciar el eje, en donde se verifica el desgaste del chavetero por deslizamiento de la chaveta y disminución del diámetro donde va alojado el engranaje. A su vez, se constata que la holgura entre el eje y el engranaje es pronunciada, y para subsanar esto, se realiza un relleno de soldadura en el eje y se rehace el cubo del engranaje por su lado contrario. Mantenedores se pronuncian diciendo que en la mayoría de las fallas las reparaciones son de este

tipo, se asume que no son las mejores soluciones para realizar, pero son las decisiones tomadas por jefatura para disponer la máquina lo más rápido posible a operaciones.



Figura 3 - 9. Falla en el chavetero del eje.

Fuente: Captura propia.

En la figura 3-10, se presenta la chaveta, en la cual se constata desgaste en su mitad por deslizamiento (se aprecia un color gris más oscuro por donde se encuentra el desgaste). Además, se aprecia que producto del deslizamiento la chaveta se intentó cizallar por esa parte. Al existir holgura entre el eje y el engranaje, esto facilita que la chaveta se deslice dentro del diámetro interior del engranaje y se termine ocasionando la falla, además las vibraciones generadas por la holgura entre ambos componentes terminan generando que la chaveta pierda su sujeción, facilitando su deslizamiento.



Figura 3 - 10. Falla de la chaveta.

Fuente: Captura propia.

Hipótesis 5: se realizan inspecciones visuales del equipo en terreno luego de ocurrida una falla, en la figura 3-11 se visualizan unas abrazaderas afirmando las chavetas (incluso una cortada). Al soltarse aquella chaveta, no se transmite de buena forma el torque y el rodillo pierde su movimiento. Dentro de las consultas realizadas a mantenedores, ellos informan que debido a las modificaciones realizadas a la máquina, algunos componentes mecánicos se desnormalizaron y no se dejó registro de aquello, lo que llevó a que muchas chavetas se fabricaran sin perforaciones. Por lo tanto, estas chavetas solo se sujetan mediante abrazaderas, además por el trabajo natural de la máquina se generan vibraciones al momento de enderezar, lo que termina facilitando la soltura de las chavetas y abrazaderas.



Figura 3 - 11. Chavetas aseguradas mediante abrazaderas.

Fuente: Captura propia.

Haciendo referencia a los incidentes del área de terminación en la plataforma de seguridad de la empresa (SGS AZA), en la figura 3-12 se aprecia un incidente que involucra a la Enderezadora Aza, y hace alusión a la soltura de una chaveta de transmisión; según la experiencia del mecánico de turno, es una falla común la soltura de las chavetas producto de la sujeción inadecuada con abrazaderas, además es un incidente frecuente generado por los operadores de la máquina.



SGS AZA
Sistema de Gestión de Seguridad

Herramientas de SeguridadConfiguraciónReportes

Claudio Fonseca Pino

Origen del incidente

Empresa incidente*

Área incidente*

Célula de ocurrencia del incidente*

Aceros Aza

Laminación Renca

Terminación

Tipo de incidente*

☐ Incidente destacado

Mantenimiento

Lugar de ocurrencia del incidente*

Clasificación*

Máquina aza

ACDM

Descripción*

Acción correctiva

Chaveta de transmisión de fuerza de rodillo inferior se suelta.

Se reparó la chaveta, se volvió a asegurar, quedando la máquina operativa.

Subir imagen del incidente antes de ser resuelto

Subir imagen



Figura 3 - 12. Incidente generado por soltura de chaveta en Enderezadora Aza.

Fuente: Sistema de Gestión de Seguridad (SGS AZA).

3.1.5 Resumen del Análisis de Falla

Una vez validadas las hipótesis planteadas, con evidencias de las fallas, es posible afirmar que los modos de falla asociados al problema dado a conocer por la falla funcional parcial (1.1) declarada en el FMECA: El sistema no transmite el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a uno de los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM se debe a las siguientes causas raíz:

Modo de falla: Rodamiento atascado

Ingreso de partículas contaminantes a la grasa: el ingreso de partículas de laminilla metálica a la grasa a través de los puntos y tapas de lubricación (causa raíz física) provoca que la grasa de los rodamientos se contamine, formando una pasta seca y endurecida, provocando el aumento de la fricción, acelerando el desgaste del rodamiento. La causa anterior, se asocia a una causa raíz latente que hace referencia a la inexistencia de un circuito de lubricación hermético y sellado que pueda mitigar la afectación de la contaminación del proceso.

Lubricación inadecuada: la lubricación inadecuada, debido a un tipo de grasa inadecuado para la aplicación, junto con una frecuencia y cantidad de grasa de lubricación mal definidas (causa raíz humana), es un problema que termina acelerando el desgaste de las pistas de rodadura y elementos rodantes. Este desgaste, al ser progresivo en el tiempo, finalmente termina generando el atascamiento del rodamiento. La causa anterior, se asocia a una causa raíz latente que hace referencia al desconocimiento sobre la información técnica de la máquina, además de la

inexistencia de un sistema de medición de grasa que ayude a tener conocimiento sobre la cantidad suministrada.

Modo de falla: Engranaje / Eje desgastado

Desalineación: la desalineación (causa raíz física) provoca el desgaste acelerado en los dientes de los engranajes, debido a que estos no realizan contacto en sus diámetros primitivos, generando cargas desmedidas y vibraciones que aceleran el desgaste de otros componentes del sistema de transmisión, tales como ejes y rodamientos. La causa anterior, se asocia a una causa raíz humana que hace referencia a la decisión tomada por jefatura de reparar los engranajes dañados en lugar de fabricarlos nuevos.

Modo de falla: Chaveta desgastada

Holgura entre el engranaje y el eje: la holgura entre el eje y el engranaje (causa raíz física) al estar el equipo en funcionamiento genera que las fuerzas de contacto no se distribuyan de manera uniforme, causando que la chaveta tienda a deslizarse por movimiento relativo, desarrollando un desgaste acelerado en sus superficies laterales de contacto. La causa anterior, se asocia a una causa raíz humana que hace referencia a la decisión tomada por jefatura de reparar los componentes dañados en lugar de fabricarlos nuevos.

Sujeción inadecuada: la chaveta al soltarse debido a una sujeción inadecuada por abrazaderas (causa raíz física) genera que el torque no sea transmitido de forma eficiente a través de la chaveta, ocasionando una mala distribución de las cargas entre el eje y el engranaje que trae consigo un desgaste progresivo tanto para la chaveta como para los otros componentes. La causa anterior, se asocia a una causa raíz latente que hace referencia a la inexistencia de la normalización de los planos de las chavetas para su fabricación.

3.2 PROPUESTA DE MEJORA

La propuesta de mejora estará comprendida por 2 aristas fundamentales: un sistema de lubricación automático para mejorar las condiciones de lubricación planteadas en las hipótesis 1 y 2. Por otra parte, contempla el cambio de componentes mecánicos del sistema de transmisión del equipo para mejorar los problemas por desgaste y deficiencias aclarados en las hipótesis 3, 4 y 5.

A continuación, se detallan las 2 aristas de la propuesta de mejora, las que fueron pensadas en las causas raíz identificadas en el análisis de falla.

3.2.1 Sistema de Lubricación Automático

Antes de comenzar con la propuesta del sistema de lubricación automático, se presentará una breve justificación para sustentar lo solicitado por Aceros AZA.

(i) **Justificación de la propuesta de lubricación automática**

La idea de proponer un sistema de lubricación automático, surge del jefe de mantenimiento de la Planta Renca, en un correo con copia al desarrollador de este estudio (Claudio Arratia – Memorista) solicita apoyo en la propuesta de lubricación automática que entregan algunos proveedores, en la figura 3-13 se adjunta el detalle.

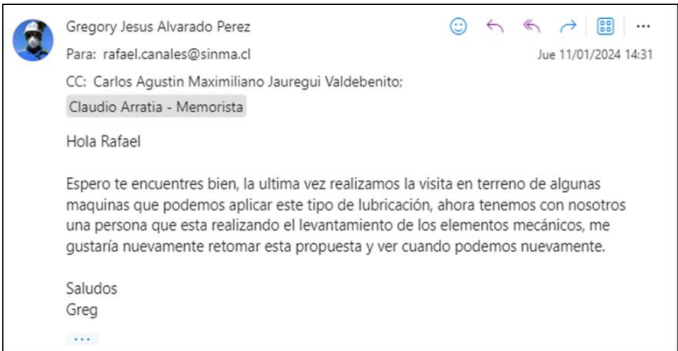


Figura 3 - 13. Respaldo de la propuesta de lubricación automática.
 Fuente: Correo de Microsoft Outlook Aza.

En la tabla 3-1 se realiza una comparación entre la lubricación manual y la lubricación automática y los beneficios que se podrán obtener con esta mejora en función de las condiciones actuales que demanda efectuar la lubricación de los rodamientos de los ejes de la Enderezadora Aza.

Lubricación Manual	Lubricación Automática
Demanda 3 horas a los mecánicos.	No demandaría tiempo a los mecánicos, exceptuando el relleno del depósito (tiempo despreciable).
No existe un sistema de medición de grasa.	Si posee un sistema de medición de grasa.
La lubricación es insuficiente o excesiva.	La lubricación es óptima.
Problemas de contaminación presentes (grasas expuestas al polvillo metálico del lugar).	Elimina los problemas de contaminación del lubricante (sin contacto con el ambiente, sistema hermético y sellado).
Se deben calibrar los rodillos después de lubricar (30 minutos a 1 hora).	Elimina el desmontaje de los rodillos, por lo tanto, los rodillos no pierden su calibración.
Puntos de lubricación de difícil acceso.	Se eliminan los puntos de lubricación.

Tabla 3 - 1. Lubricación manual vs Lubricación automática.
 Fuente: Elaboración propia.

(ii) **Marco teórico de los sistemas de lubricación automáticos**

Los sistemas de lubricación automáticos, actualmente, se han convertido en una solución fácil y práctica para optimizar la lubricación de gran variedad de equipos industriales. Estos sistemas, se caracterizan por proveer una pequeña cantidad de grasa en intervalos cortos y regulares de tiempo.

El gran foco que tiene la lubricación automática, es ser una solución a los diversos tipos de problemas referentes a la lubricación de máquinas, tales como: zonas de poca accesibilidad y peligrosas para lubricar, excesivos tiempos de lubricación, grandes costos de mano de obra por lubricar, falta y/o exceso de lubricación. En la figura 3-14, se presenta una figura comparativa entre la lubricación manual y la lubricación automática, donde se contrastan las fluctuaciones variables que presenta la lubricación manual en comparación con la estabilidad y optimización que entrega un sistema automático de lubricación.

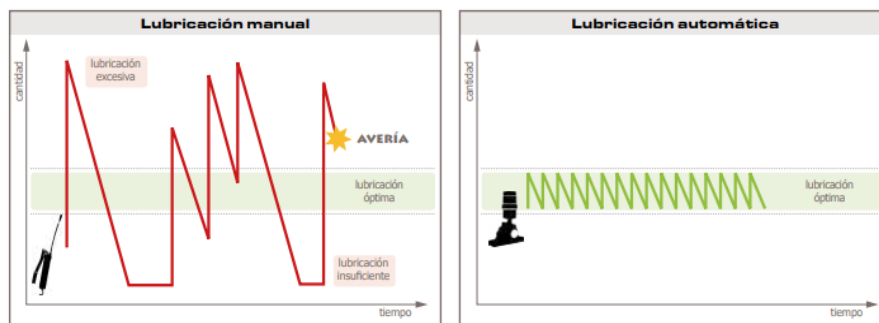


Figura 3 - 14. Lubricación manual vs Lubricación automática.

Fuente: Manual Gruetzner.

La lubricación automática permite, gracias a la lubricación regular y controlada, una lubricación óptima, la que soluciona los problemas de una excesiva y/o insuficiente lubricación, que en el mayor de los casos trae como consecuencias fallas producidas por el desgaste de componentes internos de la máquina.

Ventajas de la lubricación automática:

- Mayor tiempo de vida útil de los rodamientos.
- Consumo menor y más eficiente del lubricante.
- Reducción de tiempos de lubricación.
- Menor desgaste de los componentes mecánicos.
- Evita la entrada de contaminantes e impurezas.
- Distribuye el lubricante tomando en consideración el tipo de elemento a lubricar.
- Lubricación regular y controlada.

(iii) **Sistema de lubricación automático progresivo RAASM**

Es un sistema de lubricación automático, centralizado y progresivo, diseñado por RAASM el cual se compone por una unidad de bombeo independiente que abastece de grasa a unos distribuidores progresivos de múltiples salidas, los que tienen la finalidad de distribuir el lubricante a los distintos puntos de lubricación de la máquina. Cabe recalcar que, la dosificación de grasa en este equipo de lubricación se hace a través de secuencias progresivas por medio de distribuidores, gracias al trabajo realizado por ciclos de lubricación.

El principio de funcionamiento de este equipo es bastante sencillo, mediante una señal de control la bomba abastece de lubricante a los distribuidores, estos, gracias a un pequeño pistón que poseen en su interior, permiten el flujo de grasa de una sección del distribuidor a la otra a través de una secuencia progresiva garantizando que el lubricante llegue a los distintos puntos de la máquina.

Ventajas:

- Permite alimentar un gran número de puntos de lubricación.
- Posee una tarjeta integrada la cual almacena y guarda en memoria el término del ciclo de lubricación al apagarse la máquina.
- Variedad de tipos de distribuidores, en base al número de salidas y requisitos de caudal.
- Facilidad para instalar controles eléctricos y visuales.
- Se puede instalar un control para cada punto de lubricación con el fin de saber dónde ocurre un mal funcionamiento.
- El sistema progresivo garantiza que cada punto se lubrique correctamente.

En la figura 3-15 se presenta un desglose de las partes y componentes del sistema de lubricación automático RAASM.

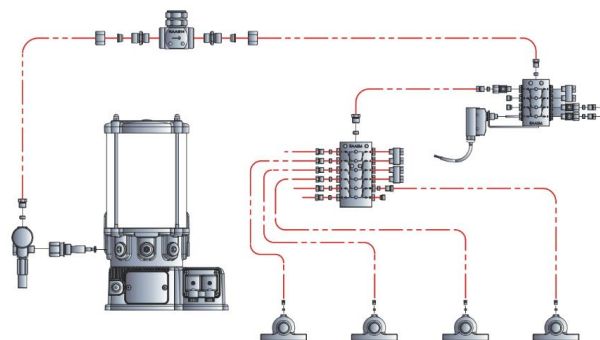


Figura 3 - 15. Desglose del sistema de lubricación automático RAASM.

Fuente: Manual RAASM.

(iv) Propuesta de instalación del sistema de lubricación automático RAASM

La distribución propuesta de la instalación, se visualiza en el Lay-out (Figura 3-16) que se presenta contiguamente:

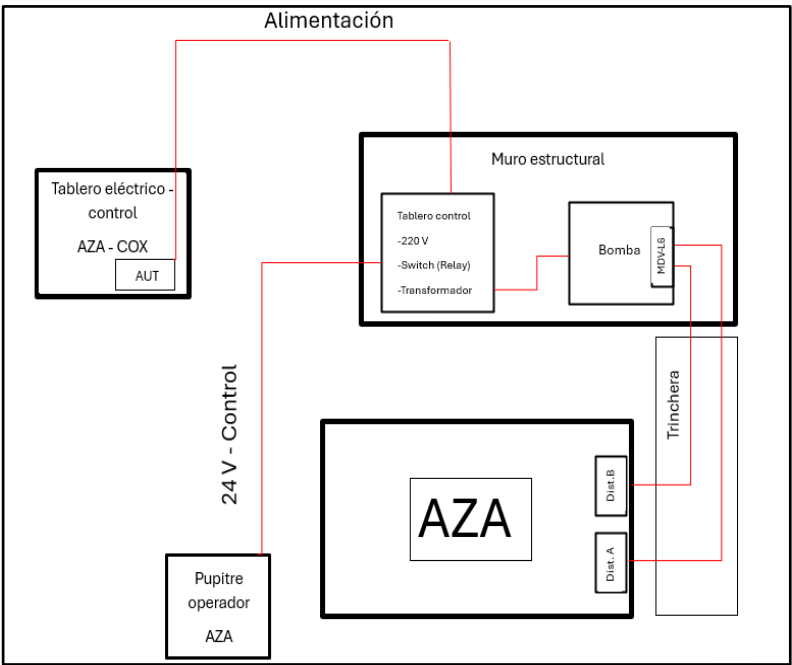


Figura 3 - 16. Lay-out de la instalación del sistema de lubricación automático.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-17 se presentan las siguientes observaciones de montaje para la propuesta de instalación en la parte frontal de la enderezadora.

01

Observaciones:

- Temperatura máxima de trabajo (en tapa de rodamiento): 37°C
- Conexiones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 con espacio reducido (20 mm), deben ser con racor metálico codo en 90°, con un extremo macho hilo 1/8" BSPT y el otro extremo hembra con acople para flexible.
- Se recomienda para los conductos de lubricación utilizar flexible de lubricación por el interior de los rodillos y por el exterior de la máquina se recomienda tubo PA de alta presión.
- Para canalizar bien el flexible, se debe cortar con esmeril angular en ciertas partes de la carcasa de la máquina para cubicar de manera segura los conductos.
- Se debe retirar embudo de laminilla preinstalación del flexible.
- Todas las conexiones deben ser guiadas hacia el extremo derecho del equipo (lado cordillera, vista de imagen).

6310 SKF

22218E SKF

9, 10, 11

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8

Figura 3 - 17. Observaciones de la instalación del sistema de lubricación por la parte frontal.

Fuente: Elaboración propia a partir de presentación creada para AZA.

En la figura 3-18 se presentan las siguientes observaciones de montaje para la propuesta de instalación en la parte trasera de la enderezadora.

02



Observaciones:

- Temperatura máxima de trabajo (en tapa de rodamiento): 37°C
- Conexiones 1, 2, 3 y 4 deben ser con racor metálico codo 90° GIRATORIO, con un extremo macho hilo 1/8" BSPT y el otro extremo hembra con acople para flexible. (DEBE SER GIRATORIO POR LA REGULACIÓN DE LOS RODILLOS SUPERIORES).
- Conexiones 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 deben ser con racor metálico codo 90°, con un extremo macho hilo 1/8" BSPT y el otro extremo hembra con acople para flexible.
- Se recomienda para los conductos de lubricación utilizar tubo PA de alta presión.
- Para canalizar bien el flexible, se debe cortar con esmeril angular en ciertas partes de la carcasa de la máquina para ubicar de manera segura los conductos.
- Todas las conexiones deben ser guiadas hacia el lado izquierdo del equipo (lado cordillera, vista de imagen).

6014 SKF

9, 10, 11

51411 SKF

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Y 8: conjunto de 3 rodamientos en una cámara.

6211 SKF


32311 SKF




Figura 3 - 18. Observaciones de la instalación del sistema de lubricación por la parte trasera.

Fuente: Elaboración propia a partir de presentación creada para AZA.

En la tabla 3-2, se visualizan los materiales a utilizar en la instalación del sistema de lubricación.

Elemento	Descripción	Imagen de referencia
Flexible Hidráulico	Medidas: 6 mm exterior, 4 mm interior, 1 mm espesor, Material: PVDF, Kevlar, Nylon.	
Tubo PA alta presión	Material: poliamida, Medidas: 6 mm exterior, 4 mm interior, 1 mm espesor.	
Adaptador hidráulico tipo curva	Medidas: 1/8" BSPT 6 mm Material: acero inoxidable.	
Adaptador flexible hidráulico 6 mm a tubo de PA alta presión 6mm	Compuesto por: adaptador conector hembra, un inserto 6mm, un adaptador ¼ NPT, 2 virolas y 2 tuercas.	

Abrazadera Estándar C2	Medida: 6 mm para cavidad de tubo.	
Racor acople rápido 90°	Medidas: 1/8", 6 mm exterior Material: acero inoxidable.	

Tabla 3 - 2. Materiales a utilizar en la propuesta de implementación del sistema de lubricación automático.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Estimación de la Cantidad de Grasa en Virtud del Sistema de Lubricación Automático

Como ejercicio práctico de aplicación, se estimará la cantidad de grasa de relubricación del rodamiento de rodillos a rótula 22218E (rodamiento propenso a fallar y de mayor envergadura). Es preciso mencionar que, el siguiente criterio de lubricación, fue realizado en base a SKF y la Norma DIN 51825 parte 2.

En la tabla 3-3 se presentan los datos técnicos de este rodamiento.

M	3,4 Kg
D	160 mm
d	90 mm
B	40 mm
n	351 RPM
ng	5300 RPM
FT	0,9
FC	0,1
FM	0,9
FV	0,3
FP	1
K	0,0243

Tabla 3 - 3. Datos de rodamiento de rodillos a rótula 22218E.

Fuente: Elaboración propia a partir de manual de rodamientos SKF.

El cálculo del espacio disponible (cm3) en el rodamiento se llevó a cabo a través del uso de la ecuación 3-1.

$$V = \frac{\pi}{4} B (D^2 - d^2) * 10^{-3} - \frac{M}{7,8 * 10^{-3}}$$

Ecuación 3 - 1. Volumen disponible en el rodamiento.

Fuente: Manual de rodamientos SKF.

Donde:

- B: ancho del rodamiento (mm).
- D: diámetro exterior (mm).
- d: diámetro del agujero (mm).
- M: masa del rodamiento (kg).
- V: volumen libre en el rodamiento [cm3].

Realizando el reemplazo de los datos extraídos de la tabla 3-3 en la ecuación 3-1, se obtiene un espacio disponible de 113,88 cm3 para el rodamiento.

La relación de velocidad se obtiene a partir de la ecuación 3-2.

$$Relación\ de\ velocidad = \frac{n}{ng}$$

Ecuación 3 - 2. Relación de velocidad.

Fuente: Predictiva 21.

Donde:

- n: velocidad de operación (RPM).
- ng: velocidad límite (RPM).

$$Relación\ de\ velocidad = \frac{351}{5300} = 0,0662$$

Luego de obtenida la relación de velocidad, se recurre a la tabla 3- 4 para identificar el porcentaje del espacio libre del rodamiento que le corresponde a dicha velocidad.

Relación de Velocidad, n/ng	% del Espacio Vacío
< 0.2	100%, llenado total
≥ 0.2 hasta 0.8	33%, un tercio
≥ 0.8	10%, como máximo

Tabla 3 - 4. Porcentaje de espacio vacío del rodamiento según relación de velocidad.

Fuente: Predictiva 21.

Producto que la relación de velocidad es $< 0,2$ se debe llenar el 100% del espacio vacío del rodamiento en su llenado inicial.

Se considera el engrase desde el lateral del rodamiento, tal como se demuestra en la figura 3-19, en base a esto, el cálculo para la grasa de relubricación se obtiene a partir de la ecuación 3-3.

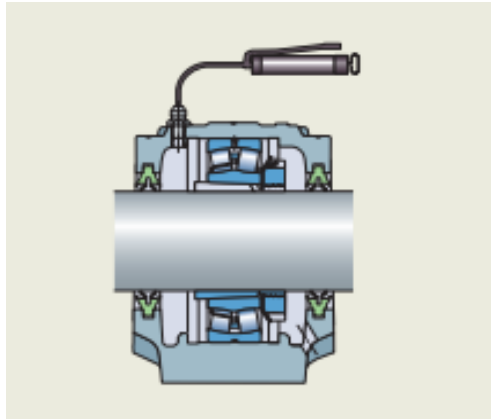


Figura 3 - 19. Relubricación desde el lateral del rodamiento.

Fuente: Manual de rodamientos SKF.

$$Gp = 0,005 * D * B$$

Ecuación 3 - 3. Cantidad de grasa de relubricación desde el lateral del rodamiento.

Fuente: Manual de rodamientos SKF.

Reemplazando los valores de D y B en la ecuación 3-3, se obtiene el siguiente resultado:

$$Gp = 0,005 * 160 * 40$$

$$Gp = 32 [g]$$

Por lo tanto, cada vez que se relubrique este rodamiento se requieren 32 [g]; esta cantidad de grasa de relubricación, se debe brindar en ciertas horas de operación de la máquina, por lo tanto, se utilizará una plantilla Excel basada en SKF y la NORMA DIN 51825, parte 2 para estimar la cantidad de horas de operación a las cuales le corresponde la relubricación a este rodamiento. En la figura 3-20 se aprecia el resultado obtenido.

Cálculo de Frecuencias de Re-lubricación de Rodamientos Referencias: SKF y NORMA DIN 51825, PARTE 2			
TIPO DE RODAMIENTO	RODAMIENTO RADIALES DE BOLAS	RODAMIENTO DE RODILLOS CILINDRICOS O DE AGUJAS	RODAMIENTOS DE RODILLOS ESFERICOS, RODAMIENTOS DE RODILLOS CONICOS Y RODAMIENTOS DE EMPUJE (DE BOLAS, DE RODILLOS CILINDRICOS, DE AGUJAS O DE RODILLOS ESFERICOS)
FORMULA BASE DE CALCULO: T = (((14000000/(RPM*vd)) - 4 * d)		 	  
diámetro interior (d), en mm	90		
RPM	351		
Re-lubricar en estas horas de operación	38444	19222	3844

Figura 3 - 20. Cálculo de frecuencias de relubricación según SKF Y NORMA DIN 51825.

Fuente: Predictiva 21.

Al ingresar el diámetro interior del rodamiento, (d) y la velocidad de rotación (RPM), la información comprendida en el documento excel, arroja automáticamente las horas de operación a las cuales corresponde la relubricación. En este caso, a un rodamiento de rodillos a rótula 22218E le corresponde su relubricación a las 3844 horas de operación.

Las 3844 horas de operación, a las cuales corresponde la relubricación, se deben corregir con los factores brindados por la NORMA DIN 51825 a través de la ecuación 3- 4.

$$K = FT * FC * FM * FV * FP * FD$$

Ecuación 3 - 4. Factores de corrección de horas de operación.

Fuente: NORMA DIN 51825.

Donde:

- FT: factor de temperatura
- FC: factor de contaminación
- FM: factor de humedad
- FV: factor de vibraciones
- FP: factor de posición
- *FD: factor de diseño, este factor ya se considera en el cálculo de las horas de operación, por lo tanto, no es necesario incluirlo en la multiplicación de los factores. El factor de diseño, depende del tipo de rodamiento: FD = 10 para rodamientos de bolas, FD = 5 para rodamientos de rodillos cilíndricos o de agujas y FD = 1 para rodillos esféricos, cónicos o de empuje.

$$K = 0,9 * 0,1 * 0,9 * 0,3 * 1$$

$$K = 0,0243$$

Lo que restaría, entonces, es multiplicar las 3844 horas de operación * K para obtener el intervalo de relubricación corregido por los factores:

$$\begin{aligned} \text{Intervalo de relubricación corregido} &= 3844 * 0,0243 \\ \text{Intervalo de relubricación corregido} &= 93 \text{ [h]} \end{aligned}$$

Se debe considerar que la máquina trabaja 14 horas al día en 2 turnos, por lo tanto, para obtener el intervalo de lubricación adaptado a las condiciones de operación de la máquina se debe realizar la siguiente operación:

$$\frac{93 \text{ (h)}}{14 \left(\frac{\text{h}}{\text{día}}\right)} \approx 7 \text{ días}$$

Por lo tanto, cada 7 días se debe realizar la relubricación considerando 14 h/día de trabajo.

El rodamiento se debe lubricar diariamente, por lo tanto, para obtener la cantidad diaria se debe realizar la siguiente operación:

$$\frac{32 \text{ [g]}}{7 \text{ [días]}} = 4,8 \left[\frac{\text{g}}{\text{día}}\right]$$

Por lo tanto, se deben suministrar 4,8 gramos al día a este rodamiento, como son 2 turnos, lo acorde es distribuir la mitad de esta cantidad en cada turno (2,4 gramos).

En la tabla 3-5 se muestra la estimación de grasa de relubricación para la totalidad de los rodamientos que conforman el sistema de transmisión de la enderezadora.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD DE GRASA DE RELUBRICACIÓN POR TURNO (GRAMOS)
RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6310	0,11
RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6014	0,10
RODAMIENTO DE RODILLOS A RÓTULA 22218E (INFERIOR)	2,40
RODAMIENTO DE RODILLOS A RÓTULA 22218E (SUPERIOR)	1,51
RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6211 (INFERIOR)	0,06
RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6211 (SUPERIOR)	0,04
RODAMIENTO DE RODILLOS CÓNICOS 32311 (INFERIOR)	1,52
RODAMIENTO DE RODILLOS CÓNICOS 32311 (SUPERIOR)	0,96
RODAMIENTO AXIAL DE BOLAS 51411 (SUPERIOR)	1,01
RODAMIENTO AXIAL DE BOLAS 51411 (INFERIOR)	1,61

Tabla 3 - 5. Cantidad de grasa de relubricación por turnos.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Selección del Tipo de Lubricante

Para la selección del tipo de lubricante a utilizar en los rodamientos de los ejes de la enderezadora, se realizará el estudio en base al rodamiento de rodillos a rótula 22218E (rodamiento propenso a fallar y de mayor envergadura).

En primer lugar, se debe calcular el factor de velocidad mediante la ecuación 3 - 5.

$$Factor\ NDM = \frac{n(D + d)}{2}$$

Ecuación 3 - 5. Factor de velocidad NDM.

Fuente: Tecsup.

Reemplazando los datos extraídos de la tabla 3-3 en la ecuación 3-5 se obtiene el siguiente factor de velocidad.

$$NDM = \frac{351 * (90 + 160)}{2} = 43.875$$

Luego, en base a los siguientes criterios se podrá definir si la lubricación adecuada es por aceite o por grasa.

- Si $NDM < 500.000$ = Grasa.
- Si $NDM > 500.000$ = Aceite.

Debido a que el NDM es menor a 500.000 el lubricante recomendado y seleccionado es la grasa.

En segundo lugar, se determinará la grasa adecuada para su aplicación en este rodamiento, para esto, se llevará a cabo el siguiente procedimiento para seleccionar la grasa idónea.

1) Viscosidad del aceite base

Para determinar la viscosidad del aceite base, se utilizó por una parte el factor de velocidad NDM calculado en la ecuación 3-5, el cual resultó ser 43.875. Posteriormente, con el gráfico 3-1, se interceptó el factor de velocidad con la temperatura medida en el rodamiento (aproximadamente 60°C), tal como se demuestra a continuación.

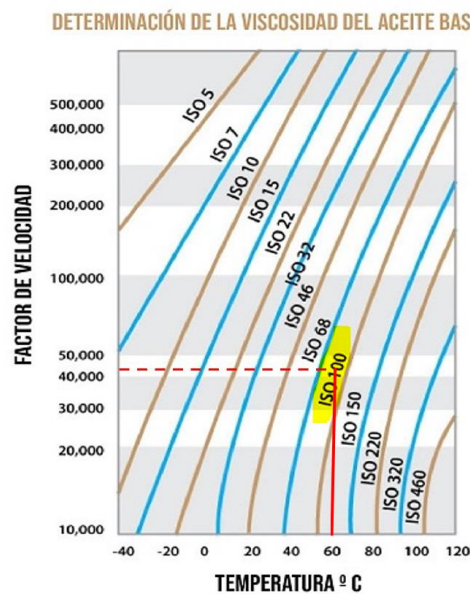


Gráfico 3 - 1. Determinación de la viscosidad del aceite base.

Fuente: Chesterton.

Con base en lo visualizado en el gráfico 3 -1, la viscosidad del aceite base debe ser ISO 100.

Otra forma más exacta, de obtener la viscosidad del aceite base, es a través del parámetro tribológico Kappa, el cual se puede obtener a través de la ecuación 3-6.

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$$

Ecuación 3 - 6. Cálculo del parámetro Kappa.

Fuente: Noria.

Donde:

- κ es el factor de viscosidad Kappa.
- ν es la viscosidad cinemática real a la temperatura de operación en mm²/s.
- ν_1 es la viscosidad cinemática mínima requerida para lograr la separación de las superficies en mm²/s.

En primer lugar, para calcular el parámetro Kappa, se calculó el diámetro medio del rodamiento 22218E, reemplazando sus datos extraídos de la tabla 3-3 en la ecuación 3-7.

$$dm = \frac{D_i + D_o}{2} = \frac{90 + 160}{2} = 125 \text{ mm}$$

Ecuación 3 - 7. Fórmula del diámetro medio.

Fuente: Manual de rodamientos SKF.

A continuación, en el gráfico 3-2, se interceptó el diámetro medio del rodamiento con la velocidad de trabajo para obtener la viscosidad nominal v_1 (mm²/s).

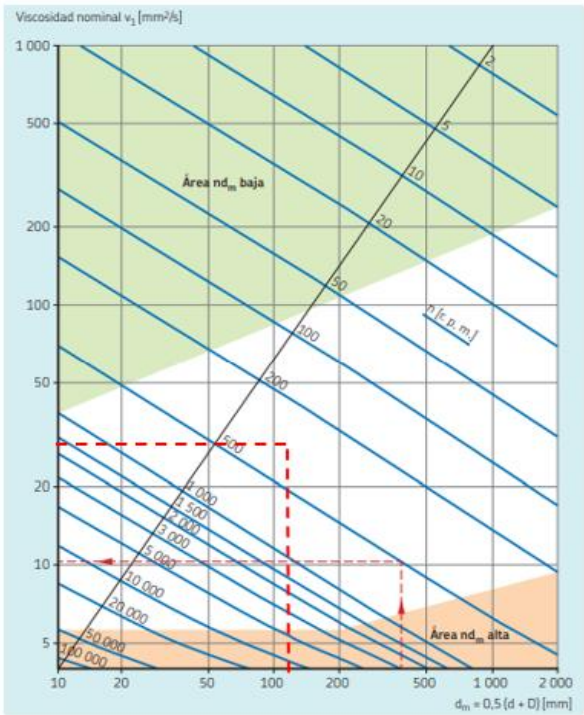


Gráfico 3 - 2. Obtención de la viscosidad nominal v_1 .

Fuente: Manual de rodamientos SKF.

Aproximadamente, se puede notar que el valor de la viscosidad nominal estaría rondando los 30 mm²/s; para un resultado más exacto se optó por utilizar una plantilla excel semiautomatizada de Techgnosis (Figura 3-21) para obtener un valor más exacto: Considerando lo anterior, se define la viscosidad nominal v_1 con un valor de 35 mm²/s.

CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD MÍNIMA PARA EVITAR CONTACTO METAL-METAL LUBRICACIÓN ELASTOHIDRODINÁMICA (EHL) EN RODAMIENTOS	
(Introduzca los datos en las celdas coloreadas en amarillo)	
Revoluciones por minuto del rodamiento (rpm):	351
Diámetro exterior del rodamiendo (D) en mm:	160
Diámetro interior del rodamiendo (d) en mm:	90
Diámetro promedio (Dm) = (D + d) / 2:	125
Viscosidad mínima, V1 en cSt:	35,005552
Kappa (K):	
Viscosidad real requerida a la temperatura de operación:	0
Temperatura en la carcasa en el punto más cercano al rodamiendo (C):	37
Temperatura estimada del lubricante en el rodamiendo (C):	57

Figura 3 - 21. Obtención de la viscosidad nominal v_1 .

Fuente: Techgnosis.

Seguidamente, en el gráfico 3-3 se estimó la viscosidad real de los posibles lubricantes a la temperatura de operación deseada.

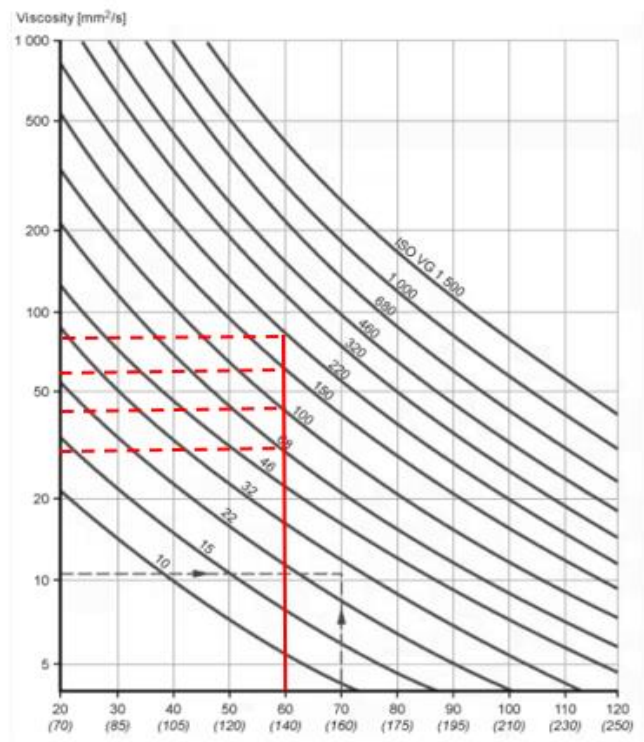


Gráfico 3 - 3. Obtención de la viscosidad real.

Fuente: Manual de rodamientos SKF.

Para obtener valores más precisos, se utilizó un apartado de la plantilla excel antes mencionada (Tabla 3-6).

Grado ISO VG	Viscosidad Cinemática en cSt @ T° °C	T en °C
32	16,42289139	57
46	22,4868143	57
68	32,14221849	57
100	44,3078504	57
150	63,57771915	57
220	91,33616146	57
320	126,1873663	57
460	174,0131061	57
680	244,7260603	57
APLICABILIDAD: PARA BASICOS PARAFINICOS DE IV SUPERIOR A 90 E INFERIOR A 120		

Tabla 3 - 6. Viscosidad real a cierta temperatura de operación.

Fuente: Techgnosis.

Lo siguiente fue calcular el valor de Kappa para cada Grado ISO VG, en donde los resultados obtenidos se visualizan en la tabla 3-7.

Grado ISO	Viscosidad a 57°C cst (mm2/s)	Relación de viscosidades Kappa
ISO VG 100	44,3	1,265714286
ISO VG 150	63,6	1,817142857
ISO VG 220	91,3	2,608571429

Tabla 3 - 7. Relaciones de viscosidades Kappa.

Fuente: Elaboración propia.

Según Noria, los valores de Kappa en el rango $1 < \kappa < 2.5$ son óptimos para la mayoría de los rodamientos, es por esto que se decide escoger el Grado ISO VG 150 como la viscosidad del aceite base a utilizar en la máquina.

2) Aditivos y tipo de aceite base

Para seleccionar los aditivos se utilizó la tabla 3-8, brindados en función del tipo de rodamiento. Cabe destacar que los aditivos y aceites bases son componentes esenciales de la grasa y su modo de elección es muy análogo a los procedimientos de selección aplicados a los sistemas lubricados con aceite.

Aditivo	Cojinetes lisos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de empuje	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de agujas
Antioxidante	●	●	●	●	●
Antiespumante	●	●	●	●	●
Antidesgaste/EP		●	●	●	●
Inhibidor de herrumbe	●	●	●	●	-
Extrema presión			-	-	
Demulsibilidad	●	●	●	●	-
Mejorador de IV	-	-	-	-	●
Inhibidor de corrosión	●	●	●	●	●
● Requerido			- Depende de la aplicación		

Tabla 3 - 8. Aditivos según el tipo de rodamiento.

Fuente: Noria.

Tomando en consideración que el rodamiento en estudio es de tipo de rodillos de rótula, la grasa ISO VG 150 deberá contener como aditivos: inhibidores corrosión y de herrumbre, ya que estos son los aditivos clásicos para el lubricante de los cojinetes antifricción. También se tendrá presente la propiedad de antioxidante, y por otro lado, se considerará que sea antidesgaste/EP, con el fin de tener protección adicional contra el desgaste y aditivos de extrema presión, los que sean capaces de compensar la presión o carga de impacto que reciben los rodamientos producto del enderezado del perfil.

3) Consistencia de la grasa y tipo de espesante

Para seleccionar la consistencia de la grasa, y el tipo de espesante, se utilizó la tabla 3-9.

Temperatura de funcionamiento	DN (factor de velocidad)	No, NLGI
-34 a 38 °C	0 - 75,000	1
	75,00 - 150,000	2
	150,000 - 300,000	2
-17 a 66 °C	0 - 75,000	2
	75,00 - 150,000	2
	150,000 - 300,000	3
-38 a 135 °C	0 - 75,000	2
	75,00 - 150,000	3
	150,000 - 300,000	3
* Depende también de otros factores, incluido el tipo de rodamiento, el tipo de espesante, la viscosidad del aceite base y el tipo de aceite base		

Tabla 3 - 9. Consistencia de la grasa según el factor de velocidad.

Fuente: Noria.

Basándose en la temperatura de operación y el factor de velocidad NDm antes calculado (43.875), el grado NLGI de la grasa debe ser 2.

4) Rendimiento de las propiedades de la grasa

Producto que la máquina trabaja bajo condiciones de temperatura ambiente, propiedades tal como el punto de goteo y el límite superior de la temperatura de operación no serán factores relevantes por considerar.

5) Información del manual de operación y mantenimiento

La grasa recomendada por el fabricante de la máquina (Molykote Br2) cuenta con las siguientes características descritas en la tabla 3-10.

Standard*	Prueba	Unidades	Resultado
	Color		Negro
	Consistencia, densidad, viscosidad		
DIN 51 818	Clase de consistencia NLGI		2
ISO 2137	Penetración trabajada	mm/10	265-295
ISO 2811	Densidad a 20°C	g/ml	0,89
DIN 51 562	Viscosidad del aceite base a 40°C	mm²/s	114
	Temperatura		
	Temperatura de servicio	°C	-30 a +130, +150 para periodos cortos

Tabla 3 - 10. Características técnicas grasa Molykote Br2.

Fuente: www.comprarpegamento.com

Una particularidad de esta grasa, es que está constituida por una base de litio con bisulfuro de molibdeno; sin embargo, este aditivo sólido no es compatible con las condiciones de operación actuales de la máquina.

SKF establece que se puede considerar este aditivo para un factor de velocidad ndm <20 000 mm/min. Con base en el ndm calculado anteriormente, (43.875 mm/min) no se cumple lo establecido por SKF, por ende, no es factible considerar este aditivo para la selección del nuevo lubricante.

Contemplando los 5 lineamientos anteriores, la grasa seleccionada y recomendada es la Mobil Mobilux EP2; caracterizada por ser una grasa de alto desempeño, recomendada para aplicaciones industriales donde se presentan cargas de impacto o altas presiones. Particularmente, la Mobilux EP2 es especial para aplicaciones multipropósitos como en rodamientos, cojinetes lisos, husillos y manguitos bajo condiciones de operación normales. En la tabla 3-11 se muestran sus principales características.

Mobilux EP2		
Variable	Especificación	Cumple
Grado	NLGI 2	Sí
Viscosidad de aceite base	ISO VG 150	Sí
Viscosidad @ 40 C, aceite base, mm2/s, ASTM D445	160	Sí
Espesante	Litio	Sí
Rango de temperaturas	-20°C a 130°C	Sí

Tabla 3 - 11. Características técnicas Mobilux EP2.

Fuente: Elaboración propia a partir de información brindada por Mobil Copec.

3.2.5 Sustitución de Componentes Mecánicos

En virtud de lo expuesto en el análisis de falla, se contemplarán los siguientes elementos mecánicos a ser sustituidos, debido a su desgaste y deficiente estado.

Ejes:

Se considera la fabricación de la totalidad de los ejes para restaurar el sistema de transmisión a su estado original.

- Eje motriz (1): componente asociado al plano AZA-09373 REV.0, el plano de este eje fue realizado durante el transcurso de la memoria en la empresa, se adjunta en el ANEXO B.
- Eje conducido (2): componentes asociados al plano AZA-09374 REV.1, el plano de estos ejes fue realizado durante el transcurso de la memoria en la empresa, se adjunta en el ANEXO H.
- Eje rodillo inferior (4): componentes asociados al plano AZA-02631 REV.2, el plano de estos ejes fue modificado durante el transcurso de la memoria en la empresa en función de las condiciones de operación actuales de la máquina, se adjunta en el ANEXO I.
- Eje rodillo superior (4): componentes asociados al plano AZA-02623 REV.0, si bien estos ejes no forman parte directamente del sistema de transmisión debido a que son conducidos por el paso del perfil y no accionados por el tren de transmisión, se considerarán para ser sustituidos con el fin de garantizar la continuidad operacional y la vida útil esperada de todos los componentes del sistema de transmisión, se adjunta en el ANEXO J.

Engranajes

Se contempla la fabricación de la totalidad de los engranajes para restaurar el sistema de transmisión a su estado original.

- Piñones (3): componentes asociados al plano AZA-01669 REV.1, adjuntado en el ANEXO K.
- Coronas (4): componentes asociados al plano AZA-01668 REV.2, adjuntado en el ANEXO M.

Rodamientos

Con el propósito de establecer una línea base para comenzar a realizar un seguimiento al nuevo sistema automático de lubricación, se propone el cambio de la totalidad de los rodamientos que utiliza la máquina (38 rodamientos). Además, la idea de cambiar todos los rodamientos surge como solvencia a la no existencia de un tiempo de frecuencia para el cambio de rodamientos, pues no se tiene un registro de la sustitución de estos elementos. A causa de esto, es de vital importancia contemplar la sustitución de la totalidad de los rodamientos para comenzar a realizar un

seguimiento al comportamiento de los rodamientos post instalación del nuevo sistema de lubricación. Los rodamientos por contemplar son los siguientes:

- 3 Rodamientos rígidos de bolas 6310.
- 3 Rodamientos rígidos de bolas 6014
- 8 Rodamientos de rodillos a rótula 22218E.
- 8 Rodamientos axiales de bolas 51411.
- 8 Rodamientos rígidos de bolas 6211.
- 8 Rodamientos de rodillos cónicos 32311.

Chavetas

Se opta por la fabricación de la totalidad de las chavetas, en virtud de la sustitución de todos los ejes y engranajes, por ende, es de suma importancia la sustitución de las chavetas para asegurar la compatibilidad de los encajes y ajustes precisos.

- Chaveta de arrastre (4): componentes asociados al plano AZA-02616 REV.1, el plano de esta pieza fue modificado durante el transcurso de la memoria en la empresa en función de las condiciones de operación actuales de la máquina, se adjunta en el ANEXO N.
- Chaveta de rodillo (8): componentes asociados al plano AZA-02617, se adjunta en el ANEXO Ñ.
- Chaveta de piñón (3): componentes asociados al plano AZA-09375 REV.2, el plano de esta pieza fue creado durante el transcurso de la memoria en la empresa, se adjunta en el ANEXO O.
- Chaveta de corona de rodillo inferior (4): componentes asociados al plano AZA-09376 REV.0, el plano de esta pieza fue creado durante el transcurso de la memoria en la empresa, se adjunta en el ANEXO P.

Accesorios

Se estima la sustitución de la totalidad de los accesorios mecánicos, con el fin de garantizar la compatibilidad de los nuevos componentes y el correcto funcionamiento.

- 3 Arandelas MB 10.
- 3 Tuercas de fijación KM 10.
- 3 Retenes 70X90X10 HMSA10 RG.
- 3 Arandelas MB 14.
- 3 Tuercas de fijación KM 14.
- 2 Retenes 65X90X10 HMSA10 RG.
- 3 Retenes 80X100X10 HMSA10 RG.
- 8 Retenes 100X125X13.

- 8 Retenes 85X110X12 HMSA10 RG.
- 8 Retenes 80X100X10 HMSA10 RG.
- 8 Tuercas de fijación KM 18.
- 16 Tuercas de fijación KM 11.
- 8 Arandelas MB 18.
- 16 Arandelas MB 11.
- Tapa reten: 8 tapas asociadas al plano AZA-09346 REV A, se adjunta en el ANEXO Q.
- Arandela rodillo inferior: 4 arandelas asociadas al plano AZA-09379 REV.0 (ANEXO R).

3.3 **EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA**

La propuesta de mejora planteada, que contempla tanto el sistema automático de lubricación como el cambio de los componentes mecánicos de la máquina, involucra los siguientes costos de adquisición plasmados en la tabla 3-12.

Descripción	Costo total [USD]
Sistema automático de lubricación	\$ 7.724
Ejes	\$ 9.771
Engranajes	\$ 6.445
Chavetas	\$ 803
Rodamientos	\$ 4.237
Accesorios	\$ 2.002
TOTAL	\$ 30.982

Tabla 3 - 12. Costos de adquisición de la mejora propuesta para la Enderezadora Aza.
Fuente: Elaboración propia a partir de cotizaciones de proveedores.

Para evaluar técnica - económicamente la propuesta de mejora, se hará un contraste entre la situación actual (lubricación manual), y la situación propuesta (lubricación automática y cambio de componentes mecánicos).

A continuación, se presenta la tabla 3-13, en donde se desglosan los costos de los insumos que se utilizan anualmente en el actual sistema de lubricación manual. Cabe destacar que los costos considerados fueron establecidos en base a los valores que maneja AZA con sus proveedores.

Desglose de costos	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Guantes	1 caja	20,0	20,0
Paños absorbentes	1 caja	61,6	61,6
Solvente industrial	5 litros	31,8	31,8
Bomba neumática 50 kg	1 unidad	640,6	640,6
Grasa Mobilgrease XHP 222	16 kg	5,7	91,3
HH (2 mecánicos)	36 hrs.	7,62	548,64
TOTAL			1393,9

Tabla 3 - 13. Costos de insumos de lubricación manual.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3-14 se dan a conocer los costos directos por interrupciones mecánicas graves que ha sufrido la máquina en el año 2024.

INTERRUPCIONES MECÁNICAS 2024			
Fecha	06/02/2024	09/07/2024	09/09/2024
Tiempo F/S [días]	30	7	14
Perfiles sin enderezar [t]	1200	300	600
Costo operacional [USD]	14.004	3.501	7.002
Costo de reparación [USD]	377	201	773
Costo total por falla [USD]	14.381	3.702	7.775
Costo Total Por Fallas [USD]	25.858		

Tabla 3 - 14. Interrupciones mecánicas graves Enderezadora Aza.

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el costo total de la situación actual, se deben considerar las pérdidas ocasionadas por el método de lubricación manual y los costos directos por interrupciones mecánicas en 2024 de la máquina. Para este análisis, se considerarán los costos producidos por las fallas graves apreciadas en el transcurso de la memoria en la empresa.

Contiguamente, se presenta la ecuación 3-8 que enmarca la situación actual.

Situación actual: Costos lubricación manual + Costos directos por fallas

Ecuación 3 - 8. Situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

Situación actual: 1.394 [USD] + 25.858 [USD]

Situación actual: 27.252 [USD]

Considerando que el costo de la mejora propuesta es de 30.982 [USD], la diferencia entre ambas situaciones resulta ser:

$$\Delta = 30.982 \text{ [USD]} - 27.252 \text{ [USD]} = 3.730 \text{ [USD]}$$

Si bien, la propuesta de mejora involucra una alta cantidad de dinero, la diferencia pasa a un plano menor si se contemplan todos los beneficios que brinda la solución planteada. La evaluación fue realizada en función de las fallas apreciadas en el transcurso de la memoria (específicamente en el 2024). Por lo tanto, es correcto sostener que la propuesta de mejora si estuviera implementada ya se hubiera financiado un 88% por los ahorros de los costos de la lubricación manual anuales y los costos directos por fallas. A continuación, se detallan los beneficios esperados:

Beneficios de la inversión

- Optimización de HH de mantenedores: los mantenedores encargados podrán ser reubicados en función de realizar otros trabajos de mantenimiento en las 36 horas de lubricación anuales que serán liberadas, pues estos se encargarán de realizar solamente un checklist y la inspección de las líneas del sistema automático de lubricación, actividades que demandarán un tiempo mínimo en comparación con el tiempo de lubricación manual.
- Reducción de fallas y costos de mantenimiento correctivo: las fallas que incidían en el equipo serán minimizadas gracias a la mejora, pues el sistema automático de lubricación se encargará de mantener los rodamientos lubricados con una cierta cantidad de grasa cada un intervalo de tiempo determinado; a su vez, el cambio de los componentes mecánicos del sistema de transmisión ayudará a restaurar a la enderezadora a su condición original, con piezas nuevas y correctamente dimensionadas.
- Eliminación de intervenciones intrusivas: con el nuevo sistema de lubricación, no será necesario descalibrar la máquina para acceder a los puntos de lubricación de los rodillos, lo que permitirá un ahorro de 30 minutos a 1 hora de calibración.

Realizando un análisis comparativo, tomando como antecedente el gráfico 2-2 desarrollado en el FMECA del capítulo 2, con la mejora propuesta, se buscará disminuir un 40% de la frecuencia de fallas anual para los modos de falla críticos identificados, a continuación, se detalla la variación del riesgo cuantitativo en cada uno de los modos de falla críticos luego de efectuar el gráfico 3-4.

- Chaveta desgastada (1.1.1): disminución del riesgo cuantitativo a: \$1.290 [USD/año].
- Rodamiento atascado (1.1.2): disminución del riesgo cuantitativo a: \$455.693 [USD/año].
- Eje desgastado (1.1.4): disminución del riesgo cuantitativo a: \$305.355 [USD/año].
- Engranaje desgastado (1.1.5): disminución del riesgo cuantitativo a: \$456.283 [USD/año].

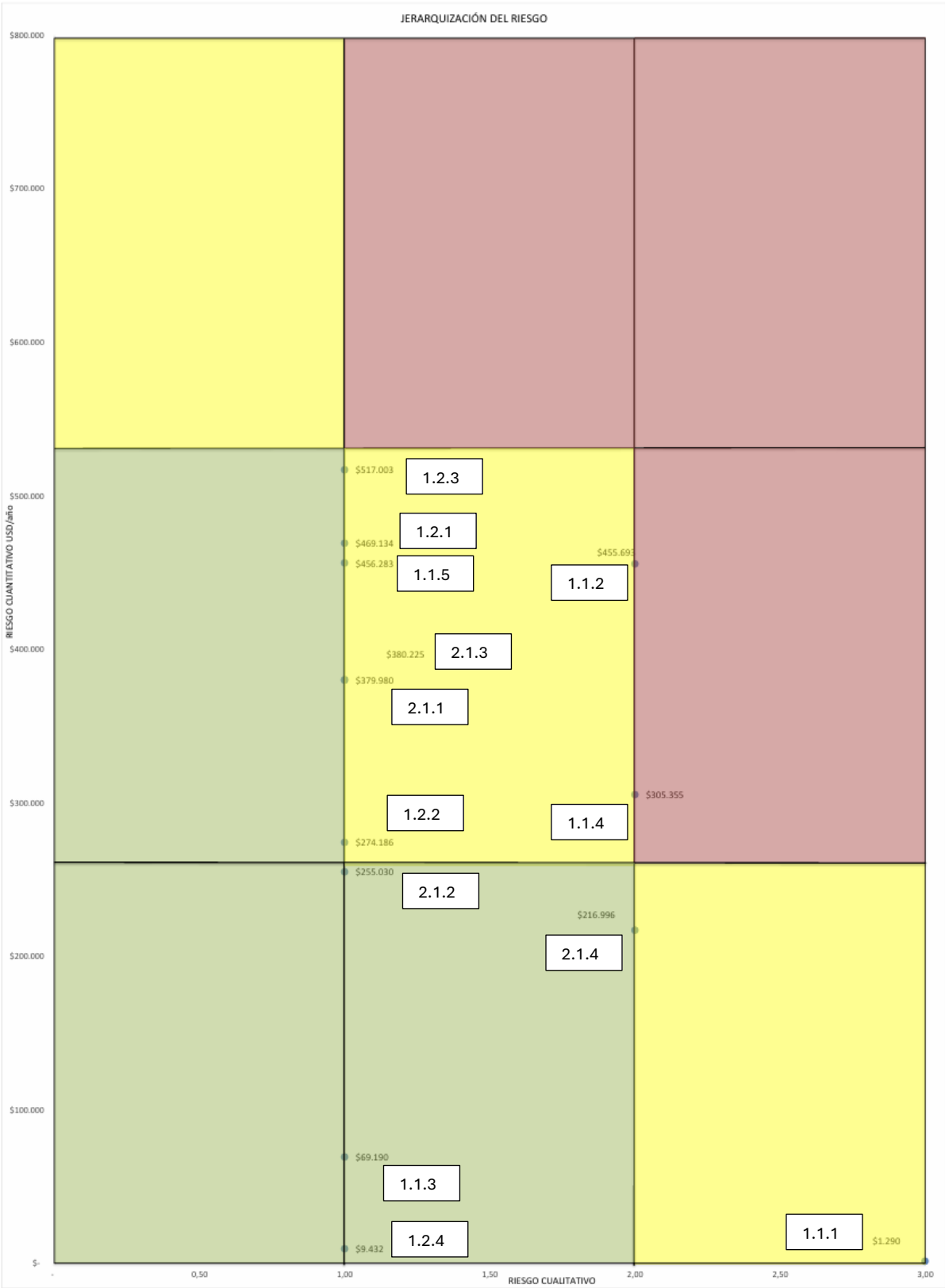


Gráfico 3 - 4. Matriz de riesgo Semicuantitativa disminuyendo la frecuencia de falla anual en un 40%.

Fuente: Elaboración propia.

Realizando esta mejora, se conseguiría disminuir el riesgo cuantitativo de los modos de falla críticos de \$2.031.033 [USD/año] a \$1.218.621 [USD/año], resultando una diferencia de \$812.412 [USD], cifra que es un ahorro considerable, y que en efecto, se convertiría en una ganancia que obtendría la empresa por invertir en una mejora técnica y económicamente factible que permita evitar las pérdidas por no producción del equipo y costos de mantenimientos correctivos por paradas no planeadas.

El presupuesto anual de mantenimiento del área de terminación, considera una suma de 60.000 [USD] para la Enderezadora Aza; en esta línea, la implementación de esta mejora demandaría invertir un 51,64% del total del presupuesto asociado al equipo. Si se consideran las 3 grandes fallas que sufrió la máquina este 2024, estos 3 eventos representan un 43,1 % del total del presupuesto. Se proyecta que la implementación de esta mejora garantiza la reducción de estos costos directos por fallas en un 40%, por lo tanto, se estaría generando un ahorro de 10.343 [USD/año], lo que significaría que al cabo de 3 años la inversión estaría recuperada y a partir de ese entonces se podrían obtener los potenciales beneficios económicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el marco del presente trabajo de título, se llevó a cabo un análisis profundo del equipo en estudio, utilizando herramientas del mantenimiento centrado en confiabilidad para generar una propuesta de mejoras técnicas orientadas a solucionar la problemática identificada. A raíz de la recopilación de información, y antecedentes de los equipos del área de terminación, se logró elaborar un análisis de criticidad para priorizar la operación crítica de terminación. Luego, se elaboró un Jack Knife que permitió identificar el equipo crítico en estudio.

Posteriormente se identificó el sistema crítico de este equipo para generar un enfoque en el sistema de mayor impacto, se logran identificar y analizar los modos de fallo críticos del sistema de transmisión a través de un FMECA, se consigue identificar las causas raíz de los modos de fallo críticos a través de un ACR, las cuales son la base para generar la propuesta de mejora.

Bajo la misma línea, se logra generar una propuesta de mejora técnica la cual se enfoca en solucionar las causas raíz de los problemas, se evalúa la propuesta de forma técnica económicamente, concluyendo que, si bien la mejora propuesta involucra una inversión considerable, los beneficios potenciales son sumamente positivos, pues un 83,46% del valor de la mejora ya estuviese financiado si se hubiese evitado la ocurrencia de las 3 grandes fallas mecánicas este 2024 con la implementación de esta mejora, y además, el costo de lubricación manual anual ejercido actualmente representa un 4,5% del valor de la mejora, por lo tanto, si la mejora propuesta ya estuviera implementada este 2024, un 87,96% del proyecto ya estuviese financiado.

En relación al FMECA, se proyecta que al implementar la mejora, la frecuencia de fallos en el equipo se reduciría en un 40%, por ende, el riesgo cuantitativo de los modos de fallos críticos disminuiría a \$1.218.621 [USD/año], resultando un ahorro de \$812.412 [USD] en relación a la situación actual, cifra que corresponde a un 3,81% del valor de la propuesta. Se infiere que este número puede considerarse insignificante frente a los beneficios que trae consigo esta mejora.

Por último, la implementación de esta mejora demandaría invertir un 51,64% del total del presupuesto de mantenimiento anual asociado al equipo, con esto, se estima que la mejora logrará disminuir en un 40% el costo directo de las tres grandes fallas de la máquina durante el 2024 lo que generaría un ahorro anual de 10.343 [USD/año], esto significaría que al cabo de 3 años se lograría recuperar la inversión, lo que verifica la viabilidad de la mejora propuesta.

Para finalizar, se recomienda llevar a cabo la implementación de la mejora propuesta en un periodo de inactividad de la máquina, es decir, cuando el equipo no tenga asociado un programa de trabajo, con el fin de no afectar la producción de terminación. Y, en caso de validarse e implementarse la propuesta, se sugiere realizar un seguimiento al nuevo sistema de lubricación durante al menos 2 meses, con el propósito de verificar y ajustar la cantidad de grasa suministrada en función de la operación del equipo, asegurando así el óptimo funcionamiento del sistema automático de lubricación.

BIBLIOGRAFÍA

ACEROS AZA S.A. Reporte de sostenibilidad 2019 [en línea]. <<https://www.aza.cl/2024/wp-content/uploads/2020/07/Reporte-AZA-2019.pdf>> [consulta: Agosto 2024].

ACEROS AZA S.A. Nuestra historia [en línea]. <<https://www.aza.cl/quienes-somos/nuestra-historia/>> [consulta: Agosto 2024].

ACEROS AZA S.A. Catálogo Técnico 2024 [en línea]. <<https://www.aza.cl/2024/wp-content/uploads/2024/07/Catalogo-Tecnico-2024-QR.pdf>> [consulta: Febrero 2025].

ALVARADO, G. Memolub [en línea]. En: <https://outlook.live.com/mail/about/index_es-mx.html> Jueves 11 de enero, 2024 <gregory.alvarado@aza.cl> [consulta: 24 de agosto de 2024].

ANTALA SPECIALTY CHEMICALS. El 70% de las averías mecánicas son por problemas de lubricación. [en línea]. <<https://www.antala.es/averias-mecanicas-problemas-lubricacion/>> [consulta: 28 de agosto 2024].

BALDI, C., Jerarquización de Equipos y Componentes Críticos [diapositiva]. Viña del Mar, Chile: UTFSM Sede José Miguel Carrera. 2022. 30 diapositivas, col. Material de apoyo para la asignatura: Gestión de Activos.

GUENTHER, M. Chesterton: Comprensión de los conceptos básicos de la selección de grasas grado alimenticio. [en línea]. <<https://www.chesterton.com.mx/comprehension-de-los-conceptos-basicos-de-la-seleccion-de-grasas-grado-alimenticio/>> [consulta: Junio de 2024].

DUPONT, T. Comprar pegamento: Catálogo Molykote BR-2 Plus. Julio de 2019. [en línea]. <<https://www.comprarpegamento.com/catalogopegamentosadheisvos/MOLYKOTE%C2%AE%20BR-2%20Plus.pdf>> [consulta: Junio de 2024].

CONSTRUCCIONES VASCAS-CROW HAMILTON. Instrucciones para el montaje, puesta a punto y mantenimiento de la enderezadora de perfiles. (1): 2-8. 1964.

DUQUE, P., Clase 6 RCM FMECA [diapositiva]. Viña del Mar, Chile. UTFSM Sede José Miguel Carrera. 2022. 44 diapositivas, col. Material de apoyo para la asignatura: Ingeniería del Mantenimiento.

ESTÁNDAR BRITÁNICO. (2016). *BS ISO 14224:2016 Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016)*. Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels: CENTRO DE GESTIÓN CEN-CENELEC.

GÓMEZ Vásquez, Daniel Alexis. Propuesta de mejora a bombas centrífuga para una refinería de petróleo. Memoria (Ingeniero en Mantenimiento Industrial), Viña del Mar, Chile. UTFSM. Sede Viña del Mar, 2021. 53 h.

GRUETZNER AUTOMATIC LUBRICATION. Catálogo de productos lubricación automática [en línea]. <https://g-lube.com/wp-content/uploads/2024/09/Katalog_Lubrication_2024-09_SP.pdf> [consulta:10 octubre 2024].

GRUPO SKF. Catálogo de rodamientos PUB BU/P1 17000/1 ES. Gotemburgo. Enero 2019. [en línea].<https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf> [consulta: Junio de 2024].

JAUREGUI Valdebenito, Carlos Agustín Maximiliano. Implementación de un sistema de programación y control del mantenimiento (SPCM) en empresa Aceros AZA S.A., Planta Renca. Memoria (Ingeniero de Ejecución en Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial), Viña del Mar, Chile. UTFSM. Sede Viña del Mar, 2024. 65 h.

MOBIL PRESENTADO POR COPEC. Mobilux EP Series. [en línea]. <https://mobil.copec.cl/manualproductosmobil/?action=index_productodetalle&id=1Om0X32w7erq> [consulta: Junio de 2024].

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. 2a ed. Estados Unidos. Edwards Brothers Lillington. 1997. 450 p. ISBN: 09539603-2-3

COMUNICACIÓN, N. Noria: La importancia del Factor Kappa en la lubricación de rodamientos. Noviembre de 2013. [en línea]. <<https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/la-importancia-del-factor-kappa-en-la-lubricacion-de-rodamientos/>> [consulta: Junio de 2024].

LATÍN, N. Noria: Selección de grasa paso a paso. Agosto de 2021. [en línea]. <<https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/seleccion-de-grasa-paso-a-paso/>> [consulta: Junio de 2024].

PÁRAMO, J. Predictiva 21: Cálculo de cantidad de grasa para la re-lubricación periódica de rodamientos. Mayo 2021. [en línea]. <<https://predictiva21.com/calculo-cantidad-grasa-re-lubricacion-periodica-rodamientos/>> [consulta: Junio de 2024].

PÁRAMO, J. Predictiva 21: Cálculo de cantidad de grasa para llenado inicial de rodamientos. Mayo 2021. [en línea]. <<https://predictiva21.com/calculo-cantidad-grasa-llenado-inicial-rodamientos/>> [consulta: Junio de 2024].

PÁRAMO, J. Predictiva 21: Cálculo de frecuencias de relubricación de rodamientos. Mayo 2021. [en línea]. <<https://predictiva21.com/calculo-frecuencias-re-lubricacion-rodamientos/>> [consulta: Junio de 2024].

RAASM S.P.A. Catálogo general de sistemas de lubricación centralizados [en línea]. <<https://www.raasm.com/media/7716/t-file/WRCCG-GB.pdf>> [consulta: 12 octubre 2024].

SOTO, M. SCRIBD: Lubricación de rodamientos (Tecsap). Agosto 2020. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/377436771/Lubricacion-de-Rodamientos>> [consulta: Junio de 2024].

SGS AZA. Plataforma de Incidentes. [en línea]. <<https://sgsaza.aza.cl/login>> [consulta: 03 de noviembre de 2024].

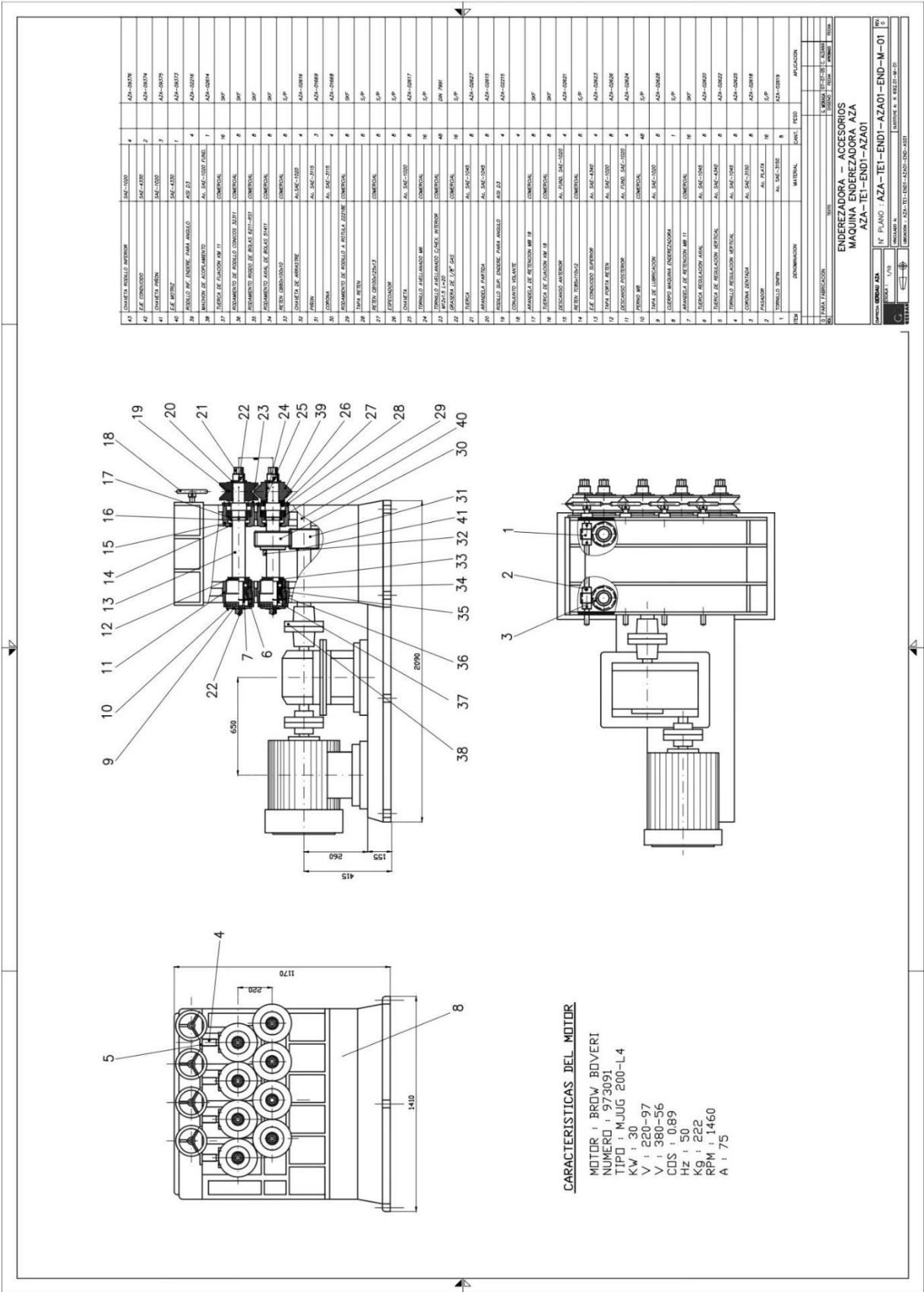
PÁRAMO, J. Techgnosis: Cálculo de frecuencias de re-lubricación de rodamientos. Marzo 2021. [en línea]. <<https://www.grupo-techgnosis.com/blog/185.pdf>> [consulta: Junio de 2024].

PÁRAMO, J. Techgnosis: Cálculo de la viscosidad mínima para evitar contacto metal - metal. Marzo 2021. [en línea]. <<https://www.grupo-techgnosis.com/blog/181.xlsx>> [consulta: Junio de 2024].

PÁRAMO, J. Techgnosis: Techgnotips. [en línea]. <<https://www.grupo-techgnosis.com/blog.php>> [consulta: Junio de 2024].

ANEXOS:

ANEXO A: PLANO CONJUNTO – ENDEREZADORA AZA



ANEXO C: BITÁCORA DE FALLAS DE ENDEREZADORAS

Máquina	Tipo	Sistema	Cantidad de fallas	Falla	Costo (CLP)
AZA	MECÁNICA	Transmisión	3	Reparación de eje motriz y eje conducido, piñon y ca	\$182.356
AZA	MECÁNICA	Transmisión	3	Reparación de ejes rodillo inferior, corona, y cambio	\$324.306
AZA	MECÁNICA	Transmisión	2	Reparación conjunto eje .	\$2.379.016
AZA	MECÁNICA	Transmisión	4	Reparación de eje.	\$101.311
AZA	MECÁNICA	Transmisión	1	Reparación descanso anterior, bastidor, eje rodillo s	\$9.813.500
AZA	MECÁNICA	Transmisión	2	Cambio de rodamientos, tuercas KM, retenes y aran	\$2.580.005
AZA	MECÁNICA	Transmisión	2	Reparación canal chavetero eje rodillo inferior y cam	\$3.771.600
AZA	MECÁNICA	Transmisión	1	Reparación y mecanizado de descansos posterior.	\$2.900.400
AZA	MECÁNICA	Transmisión	3	Reparación de chavetero eje rodillo superior y cambi	\$748.000
AZA	MECÁNICA	Transmisión	1	Cambio de piñon, chavetas y reparación de hilo extre	\$4.763.350
AZA	MECÁNICA	Transmisión	1	Cambio de rodamientos, modificación de trinquetes	\$7.842.287
AZA	MECÁNICA	Neumático	1	Cambio de cilindro neumático, fuelle y biela	\$691.314
AZA	MECÁNICA	Mesa de salida	2	Cambio eje central de polines de salida	\$390.000
AZA	MECÁNICA	Transmisión	1	Cambio de rodillos enderezadores	\$5.520.000
AZA	MECÁNICA	Accionamiento	2	Cambio de machón de acoplamiento	\$700.000
AZA	MECÁNICA	Cadenas de entrada	1	Reparación cadenas mesa de entrada	\$22.420
AZA	MECÁNICA	Mesa de entrada	2	Cambio motorreductor mesa de entrada	\$1.260.000
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	3	Cambio de reten y camisa	\$63.450
INDAC	MECÁNICA	Accionamiento	1	Cambio de machón de acoplamiento	\$700.000
INDAC	MECÁNICA	Neumático	1	Reparación sistema neumático	\$1.034.986
INDAC	MECÁNICA	Mesa de salida	1	Cambio de mordazas	\$595.140
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	1	Reparación: cambio de retenes, rodamientos y ejes	\$6.700.200
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	1	Reparación: recuperación de guía de deslizamiento c	\$6.920.700
INDAC	MECÁNICA	Mesa de salida	1	Cambio de cilindro neumático de evacuación	\$1.150.800
INDAC	MECÁNICA	Neumático	1	Reparación fuga Sist. Neumático.	\$79.067
INDAC	MECÁNICA	Neumático	2	Fuga de aire FRL	\$113.921
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	2	Fuga de aceite rodillo inferior	\$22.892
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	1	Cambio de camisa eje motriz y reten	\$485.000
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	1	Problema neumático en brazos de evacuación	\$1.034.986
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	1	Cambio de rodamientos, acoplamiento y cambio de	\$2.498.800
INDAC	MECÁNICA	Mesa de salida	1	Cambio de polines de salida	\$300.000
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	1	Cambio de corona de bronce, rodamiento cónico y c	\$5.543.115
INDAC	MECÁNICA	Transmisión	1	Cambio de rodillos enderezadores	\$2.908.843
INDAC	MECÁNICA	Mesa de salida	1	Cambio de motorreductor estrellas	\$520.000
INDAC	MECÁNICA	Mesa de entrada	2	Cambio motorreductor mesa de entrada	\$1.260.000
COX	MECÁNICA	Neumático	5	Fisura en manguera	\$37.634
COX	MECÁNICA	Mesa de salida	4	Reparación machón estrella	\$12.834
COX	MECÁNICA	Transmisión	1	Reparación: cambio de ejes, rodamientos y rectifica	\$4.763.871
COX	MECÁNICA	Regulación de rodillos	3	Se suelta buje de ajuste de cabezal cuarto rodillo su	\$54.960
COX	MECÁNICA	Mesa de salida	1	Cambio de motorreductor estrellas	\$520.000
COX	MECÁNICA	Mesa de salida	1	Cambio de cilindro neumático de evacuación	\$920.000
COX	MECÁNICA	Accionamiento	1	Cambio de machón de acoplamiento	\$700.000
COX	MECÁNICA	Mesa de entrada	1	Cambio motorreductor mesa de entrada	\$1.260.000

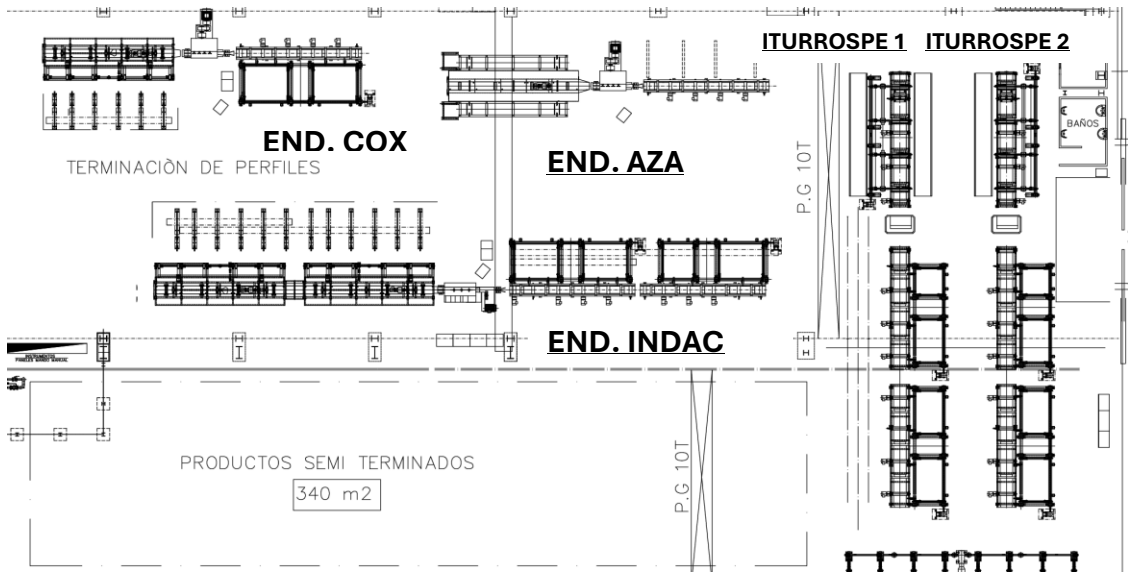
ANEXO D: DATOS JACK KNIFE - ENDEREZADORAS

Máquina	Tipo	Cantidad de fallas	Costos de MTTO. Correctivo
AZA	MECÁNICA	32	\$43.989.865
INDAC	MECÁNICA	23	\$31.931.900
COX	MECÁNICA	17	\$8.269.299
	PROMEDIO	24,000	\$28.063.688

ANEXO E: DATOS JACK KNIFE – SISTEMAS DE ENDEREZADORA CRÍTICA

Máquina	Tipo	Sistema	Cantidad de fallas	Costo (CLP)
AZA	MECÁNICA	Transmisión	24	\$40.926.131
		Neumático	1	\$691.314
		Mesa de salida	2	\$390.000
		Accionamiento	2	\$700.000
		Transferidor fijo	1	\$22.420
		Mesa de entrada	2	\$1.260.000
		PROMEDIO	5,333333333	\$7.331.644

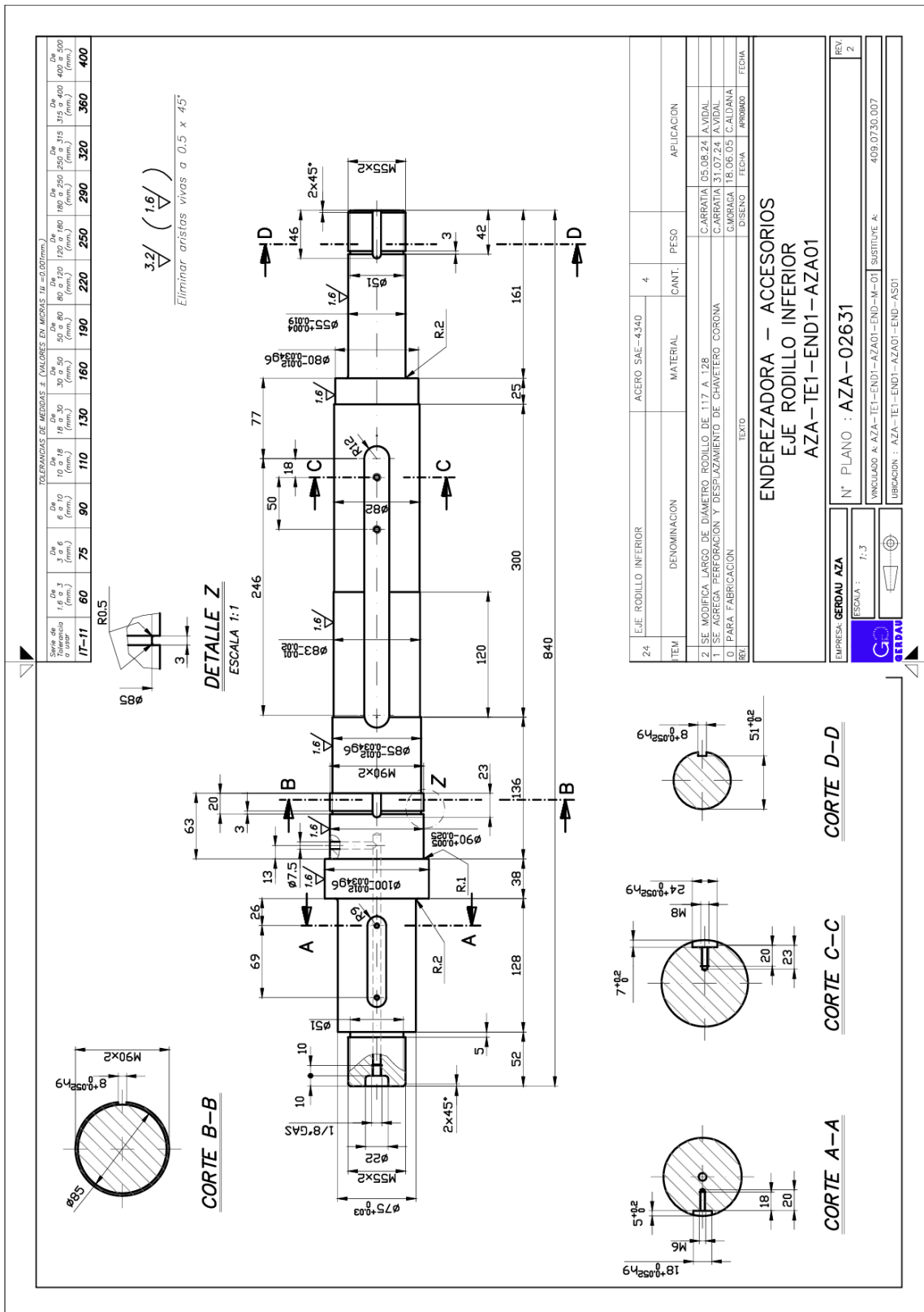
ANEXO F: LAY OUT ÁREA DE TERMINACIÓN



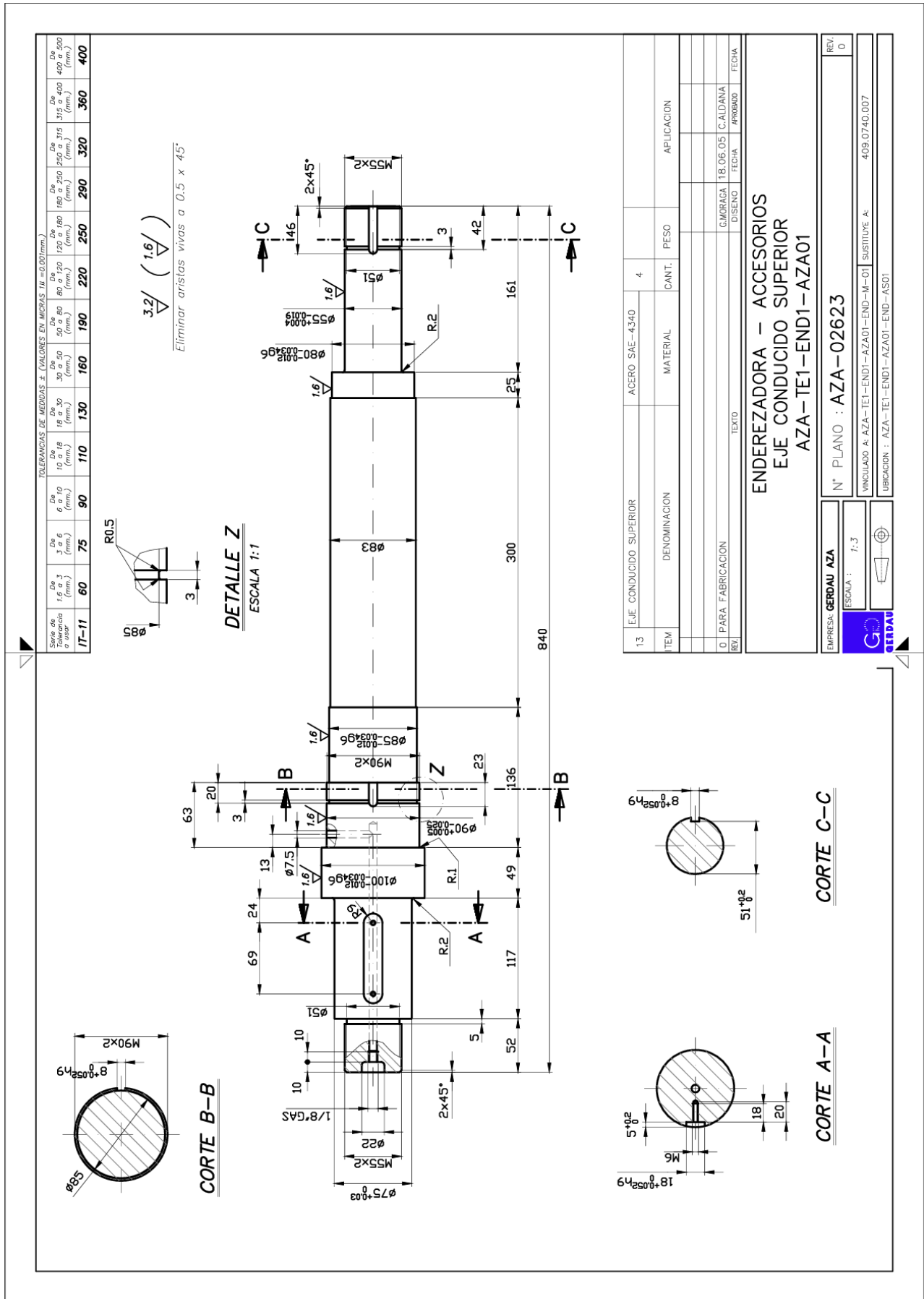
ANEXO G: AMEF

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	FREC. FALLAS	MTR (LOG-ELEC. P/EN MARCHA)	MFO. PROD. USU/HA	COSTOS DIRECTOS POR FALLA USU/HA	IMP. SEG.	IMP. AMB.	RIESGO CUANTITATIVO USD/HA	RIESGO CUALITATIVO	GRÁFICO				
Transmisión	1	Transmitir el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM	1.1	El sistema no transmite el movimiento rotacional del eje de salida del reductor a uno de los 4 rodillos inferiores a una velocidad de 350 +/- 5 RPM (Parcial).	1.1.1	Chaveta desgastada	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): Pérdida de potencia, perfil para el eje. Acción correctiva: Ajustar chaveta y/o cambiarla.	9	2	\$	\$8	52	c	\$	2,149	cc				
						1.1.2	Rodamiento atascado	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rodillo no gira, ruido, vibraciones. Acción correctiva: Cambio de rodamiento.	7	48	\$	2,241	\$	948	c	c	\$	759,488	cc	
						1.1.3	Tuerca KM floja	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): Zumbido del documento y vibraciones. Acción correctiva: Reparación de hilo y cambio del banco KM.	3	22	\$	1,027	\$	470	c	c	\$	69,130	cc	
						1.1.4	Eje desgastado	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): Salta a entre el engranaje y el eje. Acción correctiva: Reparación del eje con soldadura.	4	52	\$	2,427	\$	1,008	c	c	\$	508,925	cc	
						1.1.5	Engranaje desgastado	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): Ruido, vibraciones. Acción correctiva: cambio de diente.	2	90	\$	4,201	\$	2,128	c	c	\$	760,471	cc	
						1.2.1	Eje motriz fracturado	Evidencia: SI Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): no giran los rodillos, ruido. Acción correctiva: cambio de eje.	1	100	\$	4,658	\$	2,334	c	c	\$	469,134	cc	
						1.2.2	Rodamiento motriz trancado	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): eje motriz no gira. Acción correctiva: cambio de rodamiento.	2	54	\$	2,521	\$	974	c	c	\$	274,136	cc	
						1.2.3	Diente fracturado de piñon motriz	Evidencia: SI Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): ruido, vibraciones. Acción correctiva: cambio de piñon.	1	105	\$	4,991	\$	2,566	b	c	\$	517,003	bc	
						1.2.4	Chaveta fracturada	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): ruido, vibraciones, deslizamiento del engranaje. Acción correctiva: cambio de chaveta.	3	8	\$	373	\$	166	c	c	\$	9,462	cc	
						2.1.1	Engranaje desalineado	Evidencia: No Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): ruido, vibraciones, desgaste de dientes. Acción correctiva: Alinear engranaje y/o cambiarlo.	1	90	\$	4,201	\$	1,872	c	c	\$	379,980	cc	
	2	Distribuir la carga de manera uniforme entre los 4 rodillos inferiores	2.1	Incapacidad de distribuir la carga de manera uniforme entre los 4 rodillos inferiores (Parcial).	2.1.2	Eje desalineado	Evidencia: SI Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): ruido, vibraciones, deslizamiento del eje. Acción correctiva: Alinear eje y/o cambiarlo.	2	52	\$	2,427	\$	1,382	c	c	\$	255,030	cc		
						2.1.3	Rodillo enderezador desgastado	Evidencia: SI Alarma SHA: No Efecto operacional (síntomas): defectos en el producto, desbalanceo. Acción correctiva: cambio de rodillo.	1	90	\$	4,201	\$	2,117	c	c	\$	360,225	cc	
						2.1.4	Rodamiento gripado	Evidencia: No Alarma SHA: SI Efecto operacional (síntomas): ruido, vibraciones, grietas del rodillo. Acción correctiva: cambio de rodamiento.	2	48	\$	2,241	\$	948	c	c	\$	216,986	cc	

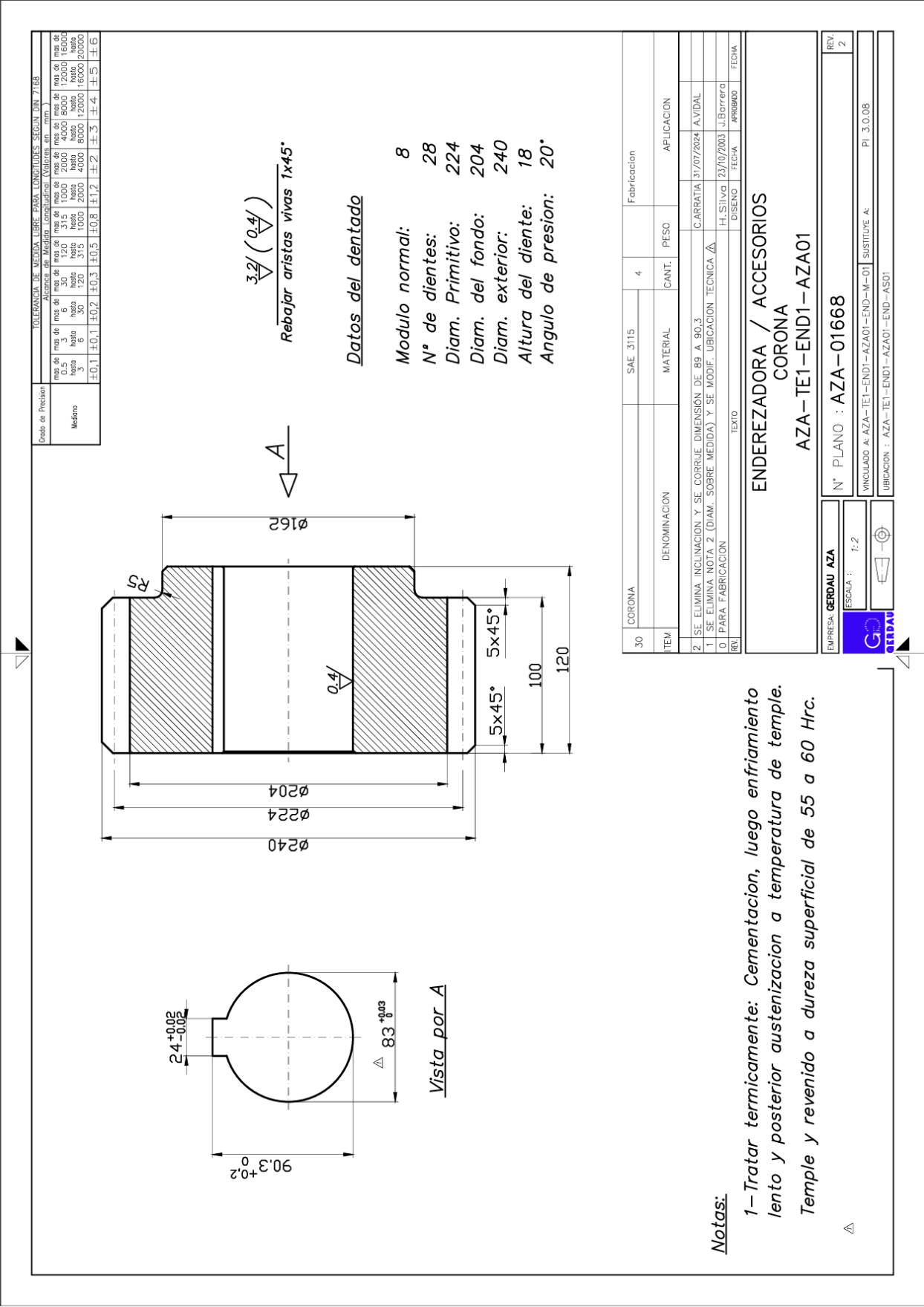
ANEXO I: PLANO AZA-02631 REV.2 – ENDEREZADORA AZA



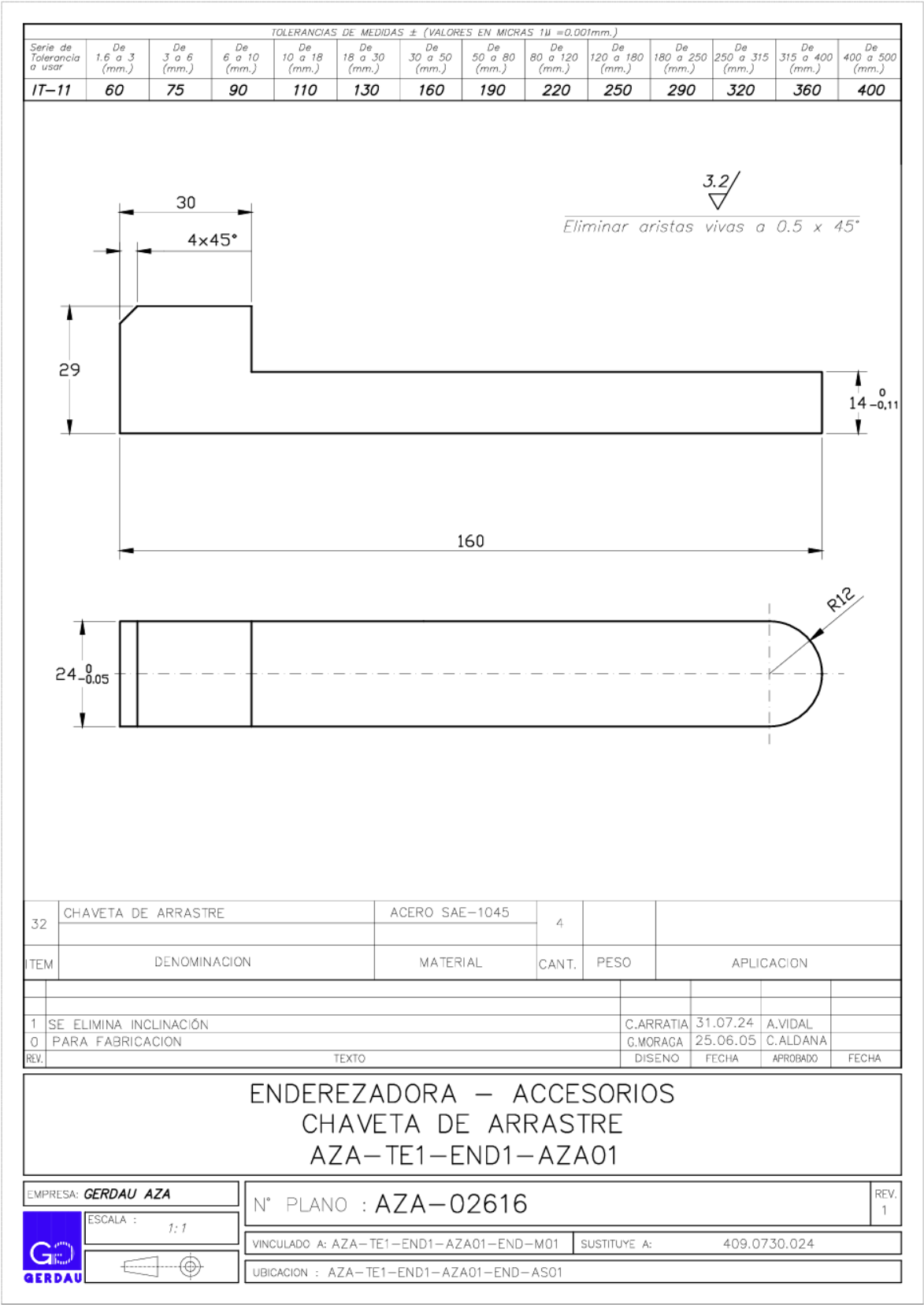
ANEXO J: PLANO AZA-02623 REV.0 – ENDEREZADORA AZA



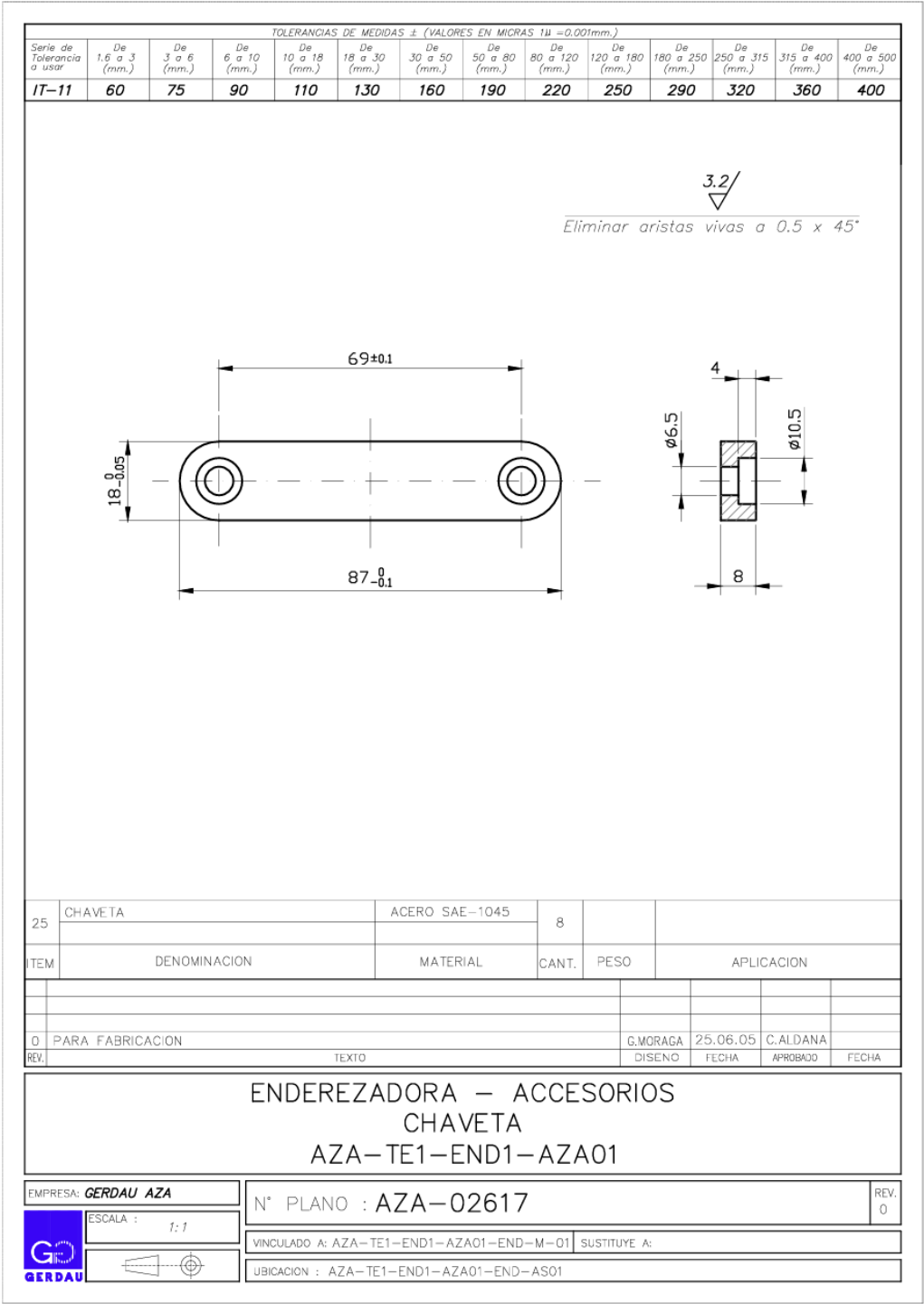
ANEXO M: PLANO AZA-01668 REV.2 – ENDEREZADORA AZA



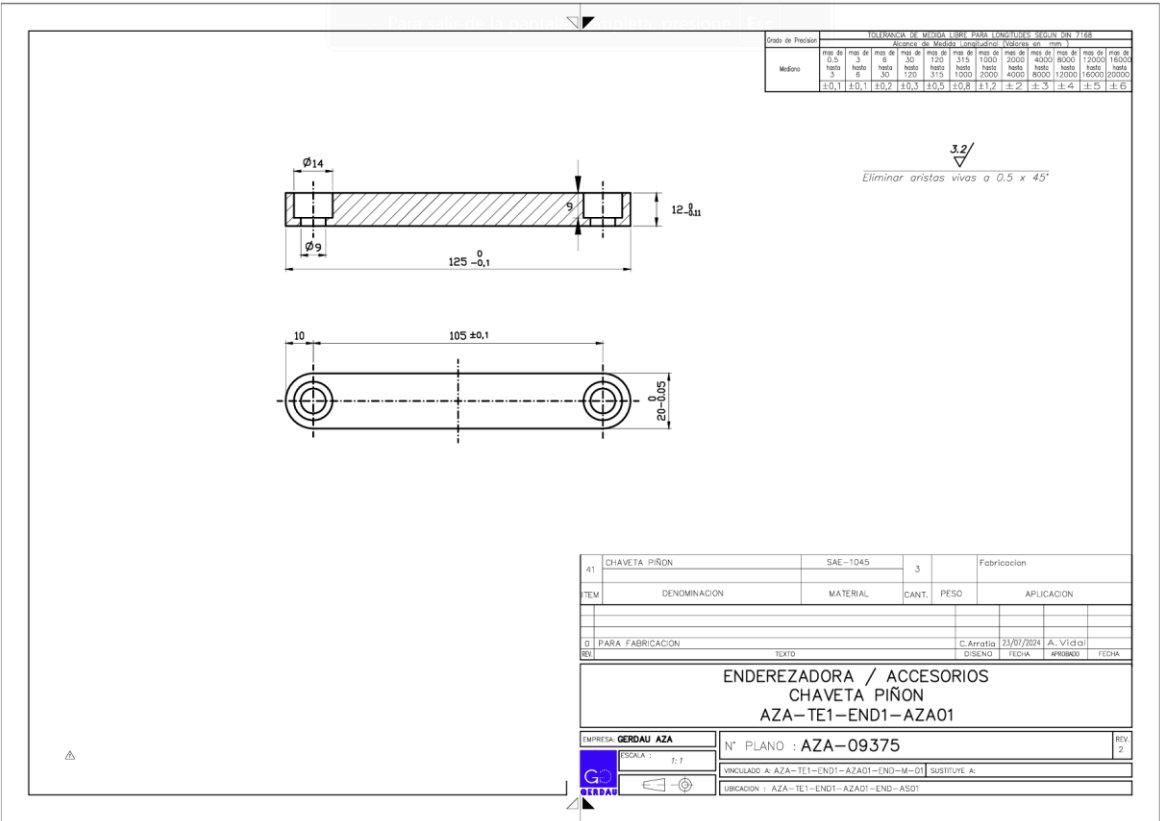
ANEXO N: PLANO AZA-02616 REV.1 – ENDEREZADORA AZA



ANEXO Ñ: PLANO AZA-02617 - ENDEREZADORA AZA



ANEXO O: PLANO AZA-09375 REV.2 – ENDEREZADORA AZA



ANEXO P: PLANO AZA-09376 REV.0 – ENDEREZADORA AZA

