

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ A CORONA FRACTURADA DE CAJA REDUCTORA N°3 DE UNA MÁQUINA PRODUCTORA DE TUBOS DE ACERO Y PUESTA EN MARCHA DE LAMINADORA DE FLEJES PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE TODA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN, EMPRESA TUPEMESA-LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
CALDERON ASALDE, KEVIN DEL PIERO**

**ASESOR  
DÁVILA IGNACIO, CARLOS VIDAL**

**Villa El Salvador  
2021**

## **DEDICATORIA**

A mi madre por su infinito amor y apoyo emocional, a mi padre por enseñarme a ser fuerte ante las dificultades y a mis mejores amigos E.E.R., J.A.A., B.H.V. y K.R.C. por enseñarme que la vida es más hermosa si se está acompañado.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>3</b>
1.1. Contexto .....	3
1.2. Delimitación temporal y espacial del trabajo .....	3
1.2.1. Espacial .....	3
1.2.2. Temporal .....	4
1.3. Objetivos.....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Bases teóricas .....	6
2.2.1. El ACR y sus herramientas .....	6
2.2.2. Fractografía y mecanismos de daño .....	8
2.2.3. Indicadores de mantenimiento y disponibilidad .....	9
2.2.4. Laminación y componentes de un laminador .....	10
2.2.5. Bronce y acero en elementos de máquinas .....	11
2.2.6. Ensayos no destructivos .....	12
2.3. Definición de términos básicos .....	12
<b>CAPITULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL</b> .....	<b>13</b>
3.1. Determinación y análisis del problema.....	13
3.1.1. Análisis de falla frente a la fractura de corona, el procedimiento....	13
3.1.2. Recopilación de información; averiguar, investigar y recolectar .....	16

3.1.3.	Determinación de la falla primaria, examinación y caracterización .....	23
3.1.4.	Determinación del mecanismo de daño y causa raíz de la falla .....	27
3.2.	Modelo de solución propuesto .....	33
3.2.1.	Componentes de la máquina laminadora de tubos .....	35
3.2.2.	Enfoque de la propuesta de puesta en marcha.....	38
3.2.3.	Sistema hidráulico de fuerza y sistema de control básico .....	40
3.3.	Resultados.....	41
3.3.1.	Mecanismos de daño descubiertos.....	41
3.3.2.	Indicadores de mantenimiento y su gestión en TUPEMESA .....	42
3.3.3.	MTTR, MTBF y disponibilidad de la máquina 2KU .....	45
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Ejemplo de proceso de trabajo ACR. Fuente: Latino et al. (2011) .....	6
<b>Figura 2.2</b> Orígenes y causa raíz según el origen de la falla de un componente. .	9
<b>Figura 2.3</b> Forma de actuar de un laminador.....	10
<b>Figura 3.1</b> Modelo de procedimiento de análisis de falla. ....	14
<b>Figura 3.2</b> Diagrama de Pareto de gastos, cant. de unidades cambiadas en 2021 .....	15
<b>Figura 3.3</b> Componentes de una caja reductora de la bancada formadora.....	16
<b>Figura 3.4</b> Sólido y vistas lateral y planta de corona $z=24$ $Pd=4$ .....	17
<b>Figura 3.5</b> Sólido y vista lateral de eje sin fin $z=3$ $Pd=4$ .....	18
<b>Figura 3.6</b> Vista explosionada de caja reductora de formador,máquina TTH.....	19
<b>Figura 3.7</b> Foto de bancada formadora .....	20
<b>Figura 3.8</b> Orden de trabajo con la que se realizó el cambio de piñón .....	21
<b>Figura 3.9</b> Acotaciones del supervisor mecánico respecto a la falla .....	22
<b>Figura 3.10</b> Orden de trabajo de inspección 3 días previos a cambio de corona.....	23
<b>Figura 3.11</b> Estado en el que se encontró corona barrida .....	24
<b>Figura 3.12.</b> Fotografía de dientes barridos.....	25
<b>Figura 3.13.</b> Fotografía de piñón con dientes barridos.....	26
<b>Figura 3.14.</b> Fotografía de dientes barridos.....	26
<b>Figura 3.15.</b> Fotografía de piñón con dientes barridos.....	27
<b>Figura 3.16</b> Ficha técnica bronce SAE 68B .....	28
<b>Figura 3.17</b> Cotización de servicio de fabricación corona.....	29
<b>Figura 3.18</b> Bobina señalada con círculo amarillo, zona desenrollador. ....	31
<b>Figura 3.19</b> Zona llamada punto y cola.....	32
<b>Figura 3.20</b> Diagrama de árbol de fallas.....	32

<b>Figura 3.21</b>	Laminador de tubos para máquina productora de tubos de acero ...	34
<b>Figura 3.22</b>	Kit de videoscopio EXTECH HDV600.....	35
<b>Figura 3.23</b>	Sistema de fuerza de laminador señalado.....	36
<b>Figura 3.24</b>	Sistema de lubricación, rótulas articuladas.....	37
<b>Figura 3.25</b>	Sistema de lubricación, drenaje.....	37
<b>Figura 3.26</b>	Sistema de conducido .....	38
<b>Figura 3.27</b>	Circuito hidráulico básico de pistones del laminador .....	40
<b>Figura 3.28</b>	Orden de formación de máquina tubera 2KU .....	43
<b>Figura 3.29</b>	Captura de pantalla del excel de E.O. para la máquina 2KU. ....	44
<b>Figura 3.30</b>	Ecuaciones utilizadas para el cálculo de MTBF, MTTF y disponibilidad operacional. ....	44
<b>Figura 3.31</b>	Gráfico de barras y tendencia del indicador MTBF tubera 2KU .....	45
<b>Figura 3.32</b>	Gráfico de barras y tendencia del indicador MTTR tubera 2KU .....	46
<b>Figura 3.33</b>	Inspección a caja reductora con videoscopio EXTECH HDV600.....	48

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Producción de planta 2 del 2020 .....	3
<b>Tabla 3.1</b> Suma de gastos por coronas retiradas de almacén para cambio del 2021 .....	15
<b>Tabla 3.2.</b> Matriz para diagrama de Pareto .....	15
<b>Tabla 3.3.</b> Listado de motores en 2KU .....	30
<b>Tabla 3.4</b> Valores de material, espesor, velocidad de línea entre otros. ....	39
<b>Tabla 3.5</b> Tabla superficie de fractura – Mecanismo de daño asociado .....	41
<b>Tabla 3.6</b> Matriz de datos para cálculo de MTTR, MTBF y disponibilidad 2KU ...	45
<b>Tabla 3.7</b> Tabla de fallas relacionadas a cajas reductoras .....	47

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en la realización de un análisis de causa raíz a una de las fallas mecánicas de la máquina productora de tubos de acero “2KU” de la empresa Tubos y Perfiles Metálicos S.A., la cual está ubicada a la altura del km 40 de la panamericana sur, con la finalidad de mostrar cuáles fueron las causas de la falla y cómo se pueden evitar en un futuro para así no generar pérdidas económicas/productivas a la empresa.

La falla consistió en la fractura de un piñón de la caja reductora n°3 de la bancada formadora de la máquina productora de tubos de acero y para su análisis se utilizaron herramientas como el diagrama de árbol de fallas, diagrama de Pareto y diagrama de Ishikawa.

La máquina productora de tubos “2KU” es la que más produce, en consecuencia, la máquina productora de tubos de acero “2KU” es la más importante y, por ende, la que debe tener la más alta disponibilidad de todas las laminadoras de tubo. Por ello nos planteamos las siguientes preguntas:

¿Cómo reducimos el número de fallas mecánicas en cajas reductoras?

Y de manera específica:

¿Cómo aumentamos la disponibilidad reduciendo las fallas que involucren cajas reductoras? ¿Cómo podemos evitar que ocurra esta falla en un futuro?

Adicionalmente, mencionaremos que con el presente trabajo de suficiencia profesional buscamos aplicar una solución a la falla analizada en el ACR para poder aumentar la disponibilidad de la máquina productora de tubos de acero en un 1%.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tendrá por propósito reducir la cantidad de detenciones en la producción debidas a fallas mecánicas correspondientes a cajas reductoras. Esto se logrará mediante el Análisis de Causa Raíz.

En las primeras semanas se realizó una recopilación de datos e investigación preliminar previa a la aplicación de END, fractografía y análisis en laboratorios.

Esta investigación preliminar se desarrolló entre los días miércoles 28 de agosto y viernes 10 de septiembre y consistió en la recopilación de datos acerca de la falla por parte de los supervisores del área de mantenimiento, técnicos del área de mantenimiento y personal de producción de la máquina productora de tubos de acero, se recopilaron datos relevantes y se respondió a la pregunta “¿Qué pasó para que se diera esta falla? ¿Qué influyó para que se dé?”.

Así mismo, se recopiló toda la información escrita que tenga relación alguna con la falla de la caja reductora y posterior detención de la producción de la laminadora. Esta información escrita corresponde a los formatos de órdenes de trabajo de mantenimiento llenados por los operarios maquinistas y técnicos de mantenimiento que atienden las fallas, formatos de órdenes de formación del área de PCP que son llenados por los supervisores de producción y a los formatos de controles internos que llenan diariamente los técnicos del área de mantenimiento correctivo no planificado.

Una vez realizado esto, se procedió a realizar el primer END, inspección visual, para recopilar datos en campo y tomar fotografías y apuntes de las condiciones de trabajo de la caja reductora.

Así mismo, se procedió a realizar fractografía para que la superficie de fractura nos brinde información sobre posibles mecanismos de daño y causas raíz físicas de la falla.

Se analizó toda la información conseguida y se halló el mecanismo de daño, se elaboró el informe con la causa raíz y cómo poder prevenirla en un futuro.

Así mismo, se evaluó los indicadores de disponibilidad de la máquina productora de tubos de acero y se verificó una disminución de las fallas mecánicas correspondientes a fallas mecánicas en las cajas reductoras.

# CAPÍTULO I

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Contexto

El contexto del presente trabajo de investigación corresponde a las instalaciones de Tubos y Perfiles Metálicos S.A. (TUPEMESA).

TUPEMESA se dedica a la fabricación de tubos de acero redondos y cuadrados, paneles aislantes, vigas estructurales tubest, planchas para alcantarillado, guardavías, perfiles de acero “metalcon” y ofrece también el servicio de galvanizado por inmersión en caliente de estructuras metálicas.

En el año 2020 alcanzó una producción de poco más de 50 mil toneladas de productos de acero entre sus varias líneas de producción de las cuales la máquina productora de tubos de acero “2KU” fue la que más produjo con 15 mil toneladas de producción.

Suma de P. Total TON	24-Nov	25-Nov	26-Nov	27-Nov	30-Nov	1-Dic	2-Dic	3-Dic	4-Dic	7-Dic	9-Dic	10-Dic	14-Dic	15-Dic	16-Dic	17-Dic	18-Dic	19-Dic	21-Dic	22-Dic	23-Dic	28-Dic	Total general	
2KU	213.35	186.11	111.38	98.45	41.84	89.87	65.85	100.28	40.70	89.64	174.05	124.31	38.06	43.29	106.17	121.36	189.62	45.59	163.37	138.11	104.29	29.81	15139.42	
KVA170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	389.07
M80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	6.76	10.62	8.03	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.26
MEP	25.11	22.54	20.12	32.49	16.66	11.68	41.18	52.55	0.00	47.95	38.88	45.36	50.77	59.71	38.72	37.94	47.59	8.88	10.90	20.14	42.44	0.00	0.00	4881.14
MK1	67.63	28.92	28.07	2.75	0.00	5.68	52.86	67.52	29.70	0.00	9.27	28.76	20.51	46.51	51.95	49.14	32.25	42.43	83.24	18.08	25.61	21.42	0.00	6662.69
P254	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.62
PZ	8.31	2.69	10.38	19.47	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	2.65	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	456.48
RECORTE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.32
TTH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.36	17.63	18.28	38.64	52.15	36.51	10.49	18.94	46.50	15.30	17.71	31.55	47.42	1.99	20.87	154.04	0.00	2999.61
<b>Total general</b>	<b>314.40</b>	<b>240.25</b>	<b>169.95</b>	<b>153.16</b>	<b>59.84</b>	<b>107.23</b>	<b>199.23</b>	<b>244.74</b>	<b>99.31</b>	<b>184.27</b>	<b>274.50</b>	<b>234.94</b>	<b>120.85</b>	<b>171.10</b>	<b>243.81</b>	<b>223.73</b>	<b>287.17</b>	<b>128.45</b>	<b>304.93</b>	<b>178.32</b>	<b>193.21</b>	<b>205.26</b>	<b>0.00</b>	<b>30738.62</b>

**Tabla 1.1** Producción de planta 2 del 2020

Fuente: Base de datos de Planeamiento y control de la producción TUPEMESA

### 1.2. Delimitación temporal y espacial del trabajo

#### 1.2.1. Espacial

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la empresa (TUPEMESA), una empresa ubicada Av. Industrial S/n Zona Industrial Predio Almonte - Lurín – Lima, a la altura del km 40 de la panamericana sur.

### **1.2.2. Temporal**

El presente trabajo se realizó entre los meses agosto de 2021 y noviembre de 2021.

### **1.3. Objetivos**

- 01. Realizar el análisis de causa raíz al piñón de caja reductora n°3.
- 02. Descubrir el mecanismo de daño asociado a la fractura de la corona.
- 03. Proponer una solución que ayude a evitar una nueva ocurrencia de la misma falla o retrasos/pérdidas en la producción a causa de fallas similares.
- 04. Aumentar la disponibilidad reduciendo el número de fallas mecánicas.
- 05. Presentar la propuesta de puesta en marcha la laminadora de flejes.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Díaz, J. (2017). Determinación mediante la realización análisis de falla de las causas más comunes de falla en ejes de equipos industriales. Tesis Pregrado. Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería; en sus conclusiones establece que: Realizar un análisis de falla a un componente que falló en servicio es una importante herramienta para poder conocer los problemas que originaron que dicho componente falle y así poder erradicarlos.

Valdivia, M. (2021). Implementación de la estrategia de mantenimiento análisis causa raíz al tren de rodamiento del tractor de orugas D8T CAT para la empresa constructoras generales DYL E.I.R.L. Tesis Pregrado. Perú. Universidad Católica de Santa María Facultad de Ciencias e Ingenierías físicas y Formales; en sus conclusiones establece que: aplicando la metodología ACR se tiene una reducción de (...) costos de carrilería.

Además, en las conclusiones también establece que: planteando un programa de mantenimiento (producto del ACR) optimizamos la vida útil del activo.

Key, B. (2019). Five whys root cause system effectiveness; a two factor quantitative review. Tesis Posgrado. E.E.U.U. Western Kentucky University, Faculty of the School of Engineering an Applied Sciences; en sus conclusiones establece que: Es importante tener facilitadores (personal técnico de mantenimiento y/o operarios de producción de máquina) debidamente capacitados en un equipo que resuelve un problema.

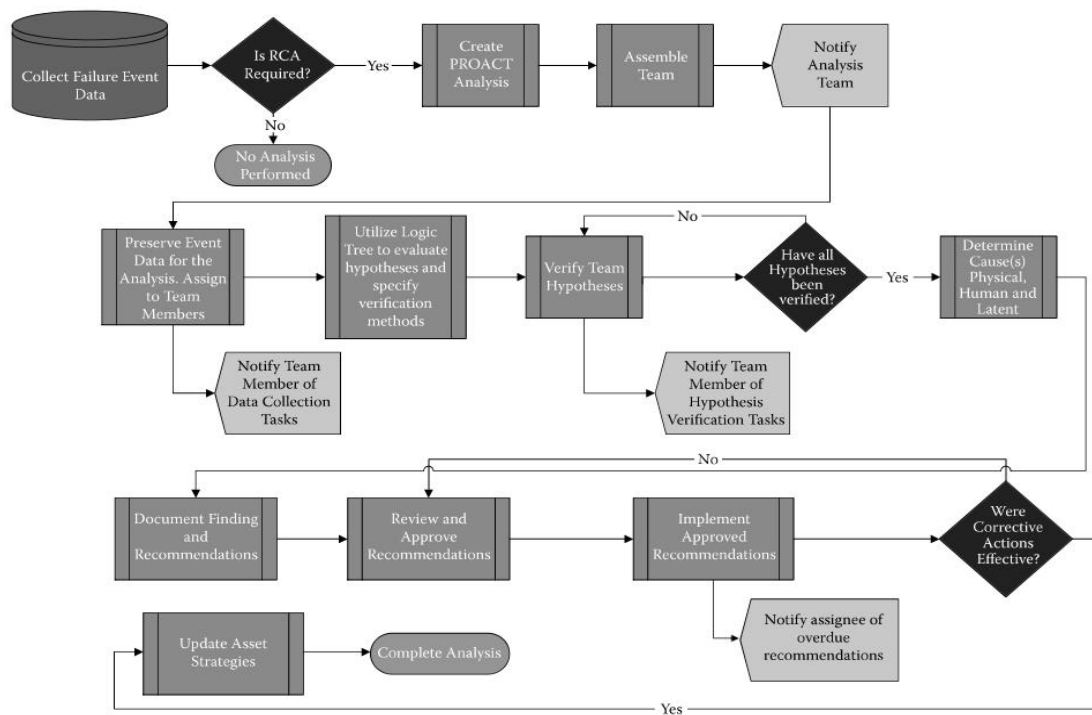
Mustafa, M. (2017). A model to identify failure & the root cause. Tesis pregrado. Suecia. Linnaeus University. Department of Mechanical Engineering; concluye que: Mediante la aplicación de análisis de causa raíz se mejoran las posibilidades de encontrar fallas antes de que ocurra un error mayor.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. El ACR y sus herramientas

Hablando del análisis de causa raíz (A.C.R.), existen muchas metodologías del cómo realizar un A.C.R.; Latino et al. (2011) afirman que “una iniciativa exitosa de RCA debe contar con un plan táctico y estratégico” (p. 7).

Es por esta razón que optamos por tomar el flujograma mostrado (figura 1) como modelo de estrategia de ACR.



**Figura 2.1.** Ejemplo de proceso de trabajo ACR.

Fuente: Latino et al. (2011)

Sin embargo, a manera de adecuarlo mejor a las condiciones en las que se realizó el análisis, se realizaron modificaciones a este modelo de estrategia o táctica de ACR; esto se mostrará a detalle en el capítulo 3.

Así mismo, referente a la recolección de datos, tomamos en cuenta a Moblely (1999) quien indica que “el analista debe documentar los eventos

exactos, el tiempo y el método de adquisición de data usado para recabar información (...). Porque el análisis puede tener lugar un tiempo después de la adquisición de data” (p. 240).

Es por este motivo que documentación, tanto virtual como física, ha sido considerada en el análisis de causa raíz y se ha corroborado que contemple información completa en lo que respecta a hechos exactos, fecha y modo de recolección de datos.

Por otro lado, existen diversas herramientas que se utilizan en el análisis de causa raíz de las cuales hablaremos a continuación.

El diagrama de árbol de fallas es una de las herramientas que hemos utilizado en nuestro análisis de fallas; sobre esta herramienta el autor Vorley (2008) nos indica que “este método (herramienta de análisis de causa raíz) puede combinar fallas humanas y del sistema.” (p. 10)

De igual manera, el diagrama de Pareto y la matriz de decisiones son también herramientas que hemos utilizado en nuestro análisis de causa raíz. El autor Okes (2019) nos dice que “Antes de trabajar sobre cualquier problema, uno debe considerar cuántos otros problemas están afrontando la organización y cuáles de estos justifica una redistribución de recursos. Es necesario mirar la frecuencia relativa del problema, el costo con el que impacta, los riesgos relacionados a este y el costo-oportunidad (...) Es probable que una de las dos herramientas sea útil para decidir cuáles problemas justifican una redistribución de recursos para realizar un RCA. La primera es una tabla de decisión o matriz (...) La segunda herramienta que puede ser usada para evaluar potencial en un proyecto de RCA es el diagrama de Pareto.” (p. 24)

Basándonos en lo mencionado por Okes, el uso del diagrama de Pareto se desarrolla en el paso previo al análisis de causa raíz; esta herramienta, junto con una matriz del problema, nos ayudan a decidir cuán importante es realizar un análisis de causa raíz y si este problema lo amerita.

En el capítulo 3 se detallará el cómo se usó tanto el diagrama de Pareto como la matriz de decisión.

### **2.2.2. Fractografía y mecanismos de daño**

La fractografía es la ciencia que trata del examen o interpretación de las superficies de fractura con objeto de conocer las causas físicas por las que una determinada pieza se rompe. Esta se divide en macro-fractografía y micro-fractografía donde la macro-fractografía consiste en la observación y estudio de la fractura a “ojo desnudo”, con una lupa o un estereoscopio de hasta 40 X (aumentos) mientras que la micro-fractografía consiste en la observación y estudio a través del microscopio electrónico de barrido, conocido por sus siglas en inglés como SEM. (Lean, P., comunicación personal, 16 de enero 2021).

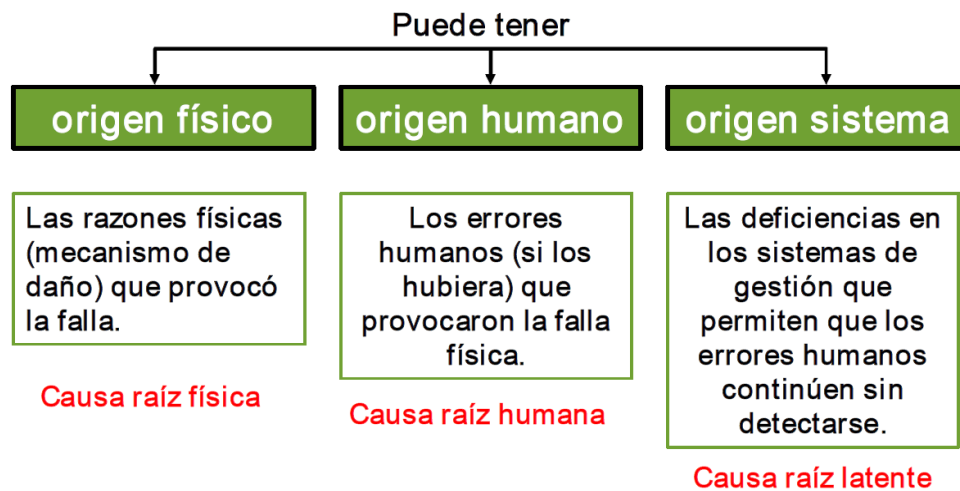
Esto quiere decir que cuando un activo falla, es decir, cuando un sistema o componente opera, pero no realiza su función prevista; ASM (2002, p. 5) y lo que provocó la falla fue una fractura en algún componente mecánico podemos aplicar fractografía para hallar el mecanismo de daño (causas físicas) que causó esta fractura o ruptura.

Pues bien, ahora nos preguntamos, qué es un mecanismo de daño.

Tal como se muestra en la figura 2, un mecanismo de daño se refiere a las razones físicas que provocaron la falla, a esta también se le llama causa raíz física y corresponde al origen físico de la causa raíz de una falla (Lean, P., comunicación personal, 16 de enero 2021).



## La causa raíz de la falla de un componente



**Figura 2.2** Orígenes y causa raíz según el origen de la falla de un componente.

Fuente: Lean, Paul, Diapositivas, sesión 10, diplomatura de análisis de falla en componentes mecánicos, Pontificia Universidad Católica del Perú

Para nuestro trabajo de suficiencia profesional identificamos 5 posibles mecanismos de daño en función a los esfuerzos y condiciones a los cuales estaba expuesto nuestro piñón fracturado. Estos se mostrarán y tratarán a detalle en el capítulo 3.

### 2.2.3. Indicadores de mantenimiento y disponibilidad

Para conocer la marcha del departamento de mantenimiento, decidir si debemos realizar cambios o determinar algún aspecto concreto, debemos definir una serie de parámetros que nos permitan evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento. Es decir: a partir de una serie de datos, nuestro sistema de procesamiento debe devolvernos una información, una serie de indicadores en los que nos basaremos para tomar decisiones sobre la evolución del mantenimiento. (García, 2003, p.255).

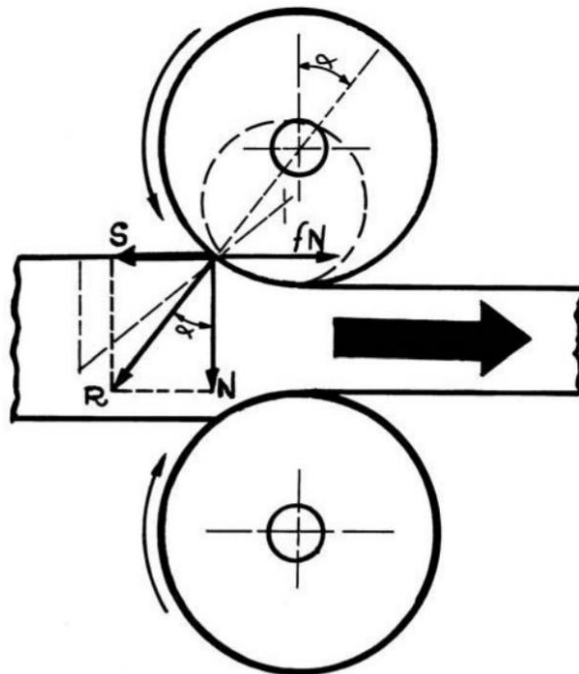
Habiendo definido lo que los indicadores representan y conllevan en una organización, mencionaremos que, para nuestro trabajo de suficiencia profesional, los indicadores a analizar serán el porcentaje o factor de falla,

mecánico y eléctrico, el MTBF y la disponibilidad total. Siendo este último, según García (2003), “uno de los indicadores de planta más importantes y el cual se encuentra definido como Es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el número de horas totales de un periodo.” (p. 257).

#### 2.2.4. Laminación y componentes de un laminador

Empecemos hablando acerca de una definición fundamental de laminador para lo cual citamos a Enriquez et al. (2010) quien indica que “en su forma más elemental, un laminador está constituido por dos o más cilindros que giran en sentidos contrarios entre sí. La distancia entre las superficies cilíndricas enfrentadas es siempre menor que el espesor inicial del lingote, por lo que éste, al pasar entre los dos cilindros se aplasta y se alarga proporcionalmente a la reducción de sección” (p. 2).

Esta definición se puede deducir gráficamente en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Forma de actuar de un laminador.

Fuente: Enriquez et al. (2010)

De la definición anterior podemos deducir que el cilindro o rodillo de laminación es, si no el más importante, uno de los componentes más importantes del proceso de laminación y de una laminadora.

Por ello debemos definir qué es un cilindro o rodillo de laminación.

Según indica Servin (1999) "(...) un rodillo de laminación es un cilindro de metal, generalmente aleado que, desde luego, deberá ser más duro que el material que se lamina para que pueda ser resistente al desgaste" (p. 20). Adicional a esto el autor habla sobre el material del cual está hecho el rodillo e indica que "(...) deberá ser homogéneo, es decir, sin discontinuidades (porosidades, grietas, inclusiones, etc.) para que resista los esfuerzos para los que fue diseñado" (p. 20).

#### **2.2.5. Bronce y acero en elementos de máquinas**

Para nuestro trabajo de suficiencia profesional el bronce fue el material del cual estuvo fabricada la corona a la cual le hemos realizado el análisis de falla; para el autor Mott (2006) el bronce es una clase de aleaciones de cobre con varios elementos diferentes, uno de los cuales suele ser el estaño. Se usan en engranes, cojinetes y otras aplicaciones donde se desea tener buena resistencia mecánica y alta resistencia al desgaste.

Las aleaciones de bronce fraguado se consiguen en cuatro tipos, bronce fosforado (aleación de cobre, estaño y fósforo), bronce fosforado con plomo (aleación de cobre, estaño, plomo y fósforo), bronce al aluminio (aleación de cobre y aluminio), bronce al silicio (aleación de cobre y silicio) (p.60).

De igual manera, el acero fue el material del cual están hecho la mayoría de los productos que ofrece TUPEMESA, y, es también, el material del cual se fabrica la mayoría de elementos de máquina laminadores por lo que se requiere tener conocimiento teórico acerca del mismo; para esto citamos nuevamente a Mott (2006) quien dice que "el término acero indica una aleación de hierro, carbono, manganeso y uno o más elementos importantes. El carbón tiene un gran efecto sobre la resistencia, dureza y ductilidad de

cualquier aleación de acero. Los demás elementos afectan la capacidad de templabilidad, tenacidad, resistencia a la corrosión, maquinabilidad y conservación de la resistencia a altas temperaturas. Los elementos de aleación principales contenidos en los diversos aceros son el azufre, fósforo, silicio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.”

### **2.2.6. Ensayos no destructivos**

Para Hellier (2003) ““Conceptualizando, un ensayo no destructivo o END por sus siglas, es un examen, prueba o evaluación que se realiza en un elemento sin alterarlo, cambiarlo o destruirlo, con el fin de determinar cuál es el estado del elemento o si tiene o no discontinuidades que puedan afectar el correcto funcionamiento de dicho elemento”

Para nuestro trabajo de suficiencia profesional se utilizó el principal ensayo no destructivo, la inspección visual.

### **2.3. Definición de términos básicos**

Laminadora de flejes:	Máquina que reduce el espesor de una platina metálica.
MTTR:	Tiempo promedio que tardó reparar una determinada falla.
MTTB:	Tiempo promedio entre ocurrencias de fallas.
Disponibilidad:	Probabilidad de que un equipo esté disponible para uso.
Desgaste:	Pérdida progresiva de material procedente de la superficie de un cuerpo sólido, <u>causada</u> por razones mecánicas. (DIN 50320)
Fatiga	Medida de la disminución de la resistencia a tensiones repetitivas.

## **CAPITULO III**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL**

#### **3.1. Determinación y análisis del problema**

Las fallas relativas a componentes de cajas reductoras representan un problema de especial cuidado para la empresa ya que el funcionamiento de la caja reductora está inherentemente ligado a la continuidad nominal de la producción. La fractura de la corona en el paso 3 y su tardío diagnóstico del problema ocasionó una reducción considerable de la velocidad de línea a la que el fleje de acero pasa por la línea.

Esto se traduce directamente en una disminución de la producción obtenida en esos días, lo que a su vez significa una considerable pérdida económica tanto en horas hombre desperdiciadas como en ventas no concretadas por falta de stock.

Ante la problemática de la corona fracturada y la necesidad de hallar tanto la causa raíz del problema como la solución al mismo se realizó el análisis de causa raíz de la pieza, se propuso el uso de una herramienta que facilite la inspección en componentes de difícil acceso y la propuesta de puesta en marcha de un laminador de flejes en frío que evite trabamientos en los rodillos formadores por exceso de soldadura en la unión de flejes y espesores excesivos no nominales en flejes.

##### **3.1.1. Análisis de falla frente a la fractura de corona, el procedimiento**

Una vez presentada la falla debemos aplicar un procedimiento de análisis de falla adecuado. El modelo de procedimiento de análisis de falla que se aplicó para el presente trabajo de suficiencia profesional es el que se muestra en la figura 3.1.

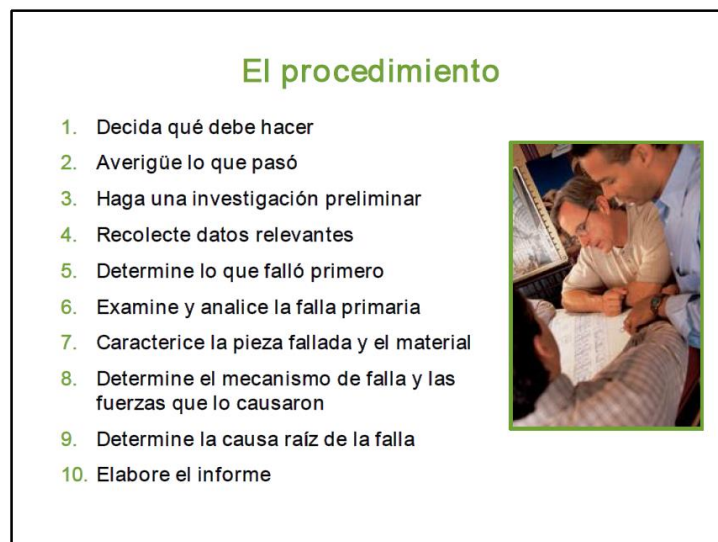
Siguiendo el lineamiento del modelo antes mencionado decidimos qué debíamos hacer, es decir, nos preguntamos ¿cuán detallado debe ser el análisis de falla? y ¿cuán importante es el análisis de falla?

Ante la primera pregunta se establecieron los alcances del análisis de falla; este involucraría posibles causas tanto físicas (relacionadas al

mecanismo de daño) como humanas (relacionadas a errores humanos, como la supervisión inadecuada); así mismo se definió que el análisis de falla debía conllevar a una propuesta de solución para el problema.

Para responder a la segunda pregunta nos enfocamos en las consecuencias económicas más que en las de seguridad; por ello, con ayuda de la base de datos del SAP de TUPEMESA, se realizó un diagrama de Pareto comparando las veces que se retiró de almacén para cambio los 3 componentes más caros (corona z=24 o también llamado piñón, eje sin fin y acople) que posee el sistema de transmisión mecánico de la bancada formadora de la máquina productora de tubos de acero “2KU”.

Tanto la suma de gastos por coronas cambiadas desde enero hasta agosto del 2021 como la matriz para el diagrama de Pareto se muestran en la tabla 3.1 y tabla 3.2 respectivamente; así mismo, el diagrama de Pareto se muestra en la figura 3.2.



**Figura 3.1** Modelo de procedimiento de análisis de falla.

Fuente: Lean, Paul, Diapositivas, sesión 10, diplomatura de análisis de falla en componentes mecánicos, Pontificia Universidad Católica del Perú

AÑO	MES	Fe.contabilización	Documento material	Texto breve de material	Material	Cant	Centro de cos	Nº reserva	Importe ML	Mone da
2021	7	31/07/2021	4918081715	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-3		0	-7,360.62	PEN
2021	7	13/07/2021	4918027534	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-2	701227	4521640	-4,907.07	PEN
2021	6	19/06/2021	4917965669	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-1	701227	4510706	-2,453.54	PEN
2021	6	3/06/2021	4917910880	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-2	701227	4423296	-4,907.07	PEN
2021	4	28/04/2021	4917786374	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-2	701227	4423296	-4,907.07	PEN
2021	3	3/03/2021	4917596616	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-1	701227	4317769	-2,453.54	PEN
2021	2	9/02/2021	4917522524	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-1	701227	4268035	-2,442.69	PEN
2021	1	30/01/2021	4917486551	CORONA Z=24 Ø384 x Ø54MM 2KU	52008981	-1	701227	4275844	-2,442.69	PEN

SUMA DEGASTOS POR  
RETIRO DE CORONAS = 79,499.74

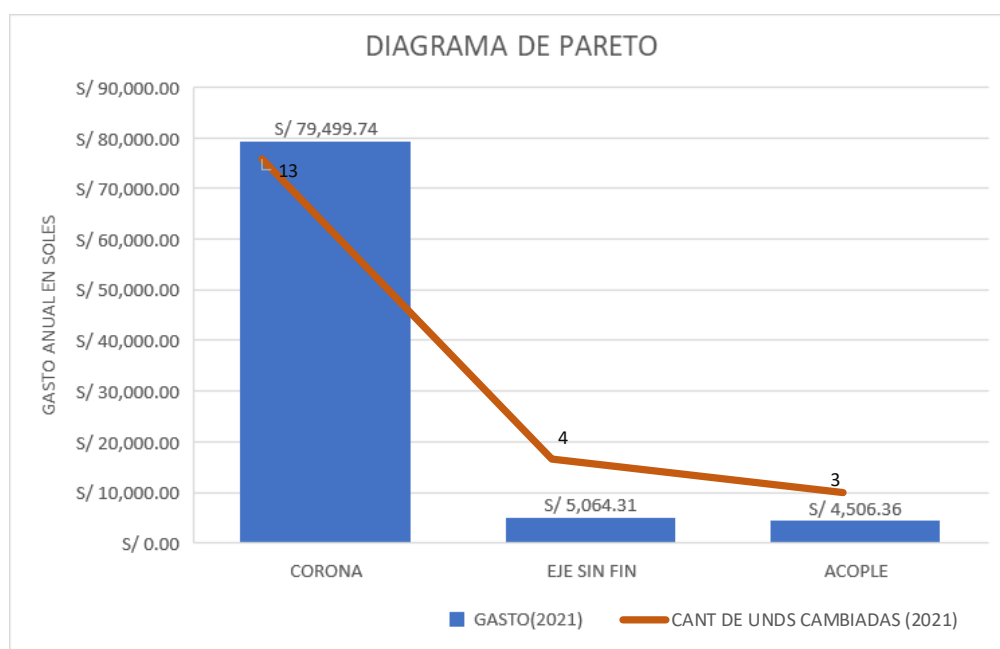
**Tabla 3.1** Suma de gastos por coronas retiradas de almacén para cambio del 2021.

Fuente: Autoría propia – Base de datos SAP TUPEMESA

MATERIAL	GASTO(2021)	CANT DE UNDS CAMBIADAS (2021)
CORONA	S/ 79,499.74	13
EJE SIN FIN	S/ 5,064.31	4
ACOPLE	S/ 4,506.36	3

**Tabla 3.2.** Matriz para diagrama de Pareto

Fuente: Autoría propia – Base de datos SAP TUPEMESA



**Figura 3.2** Diagrama de Pareto de gastos, cant. de unidades cambiadas en 2021

Fuente: Autoría propia – Base de datos SAP TUPEMESA

Luego de analizar el diagrama de Pareto notamos que en promedio se invirtió cerca de 80 mil soles en coronas nuevas para cambio en los primeros 8 meses del año; de esto se llegó a la conclusión que este gasto se puede disminuir drásticamente si aplicamos un correcto análisis de falla para atacar la causa raíz del problema. Es por esto último que el análisis de falla de la corona z=24 fracturada de la caja reductora número 3 de la bancada formadora sí es importante ya que conllevaría un ahorro significativo.

### 3.1.2. Recopilación de información; averiguar, investigar y recolectar

En lo que respecta a recopilación de información, en primer lugar, averiguamos cuáles son las partes de una caja reductora. Esta información se presenta en la figura 3.3.

REPUESTOS ZKU						
COMPONENTE	PARTE	DESCRIPCION LARGA Y DETALLADA	DESCRIPCION SAP	CANT.	U/M	CODIGO SAP
FORMADOR	CAJA REDUCTORA (3 CAJAS)	CORONA	169 x 165 x 102 x 70. Z=24 Derecha c/ chaveta de 1/2".	3	UND	52008981
		EJE SIN FIN	Z=3 PD=4 D38.1XD41.29XD57XD88.9X317.5,C/CHAV EN AMBOS EXTREMOS 3/8X6X45	4	UND	50181870
		EJE SUP DE CAJA REDUCTORA	Ø49.21 X Ø50.8 X Ø66.69 X ØM50 X 18H/P X Ø38 X 422.55MM AC. VCL	4	UND	52010800
		EJE INF DE CAJA REDUCTORA	Ø49.21 X Ø50.8 X Ø66.69 X ØM50 X 18H/P X Ø38 X 422.55MM	4	UND	52010801
		TAPA DE CAJA REDUCTORA DELANTERAS	125x125x28 C/AGUJERO Ø78 CADELANTERA 20.5x140.5x166.5mm	8	UN	52011184
		EJE SIN FIN	RODAMIENTO CONICO HM 903245	2	UN	50168665
			PISTA HM 903210	2	UN	50168549
			RETEN CR 16254(41.28x63.50x9.53) VITON	2	UN	50172819
		EJE CARDAN DE CAJA REDUCTORA, SUPERIOR E INFERIOR	RODAMIENTO CONICO 33889	4	UN	50168598
			PISTA 33821	4	UN	50168538
	RETEN CR 19350/CR 19359 VITON	2	UN	50168767		

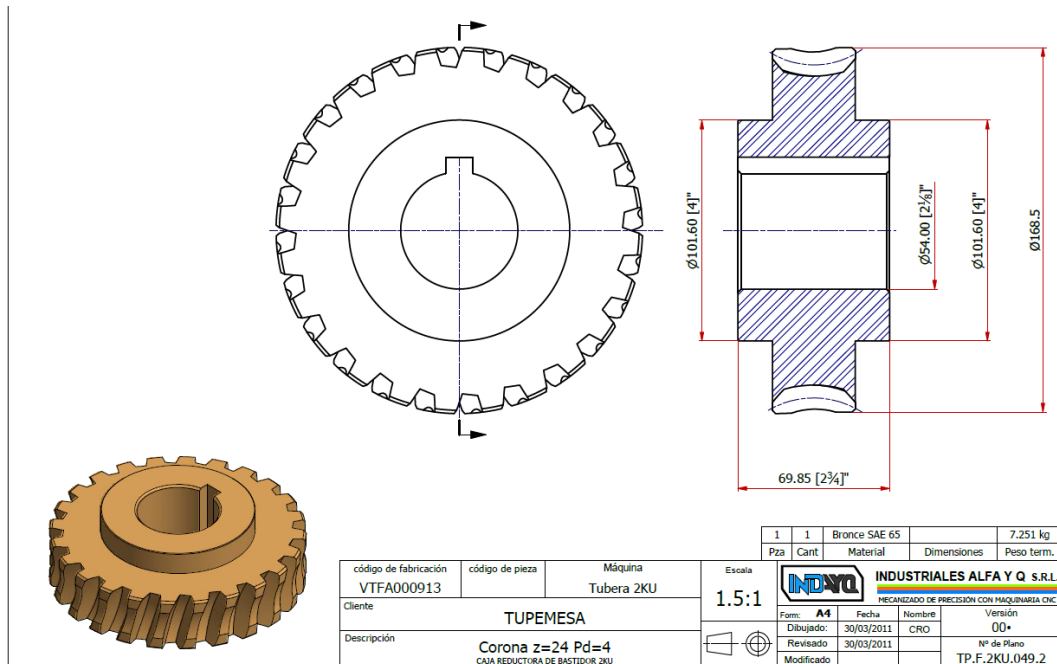
**Figura 3.3** Componentes de una caja reductora de la bancada formadora

Fuente: Base de datos de TUPEMESA – Planner, Jesús Murrugarra

Así mismo, debemos tener una idea clara de cada componente, en especial, de los que vamos a incluir dentro del diagrama de Pareto.

Una vista lateral y el sólido de una corona se muestran en la figura 3.4.





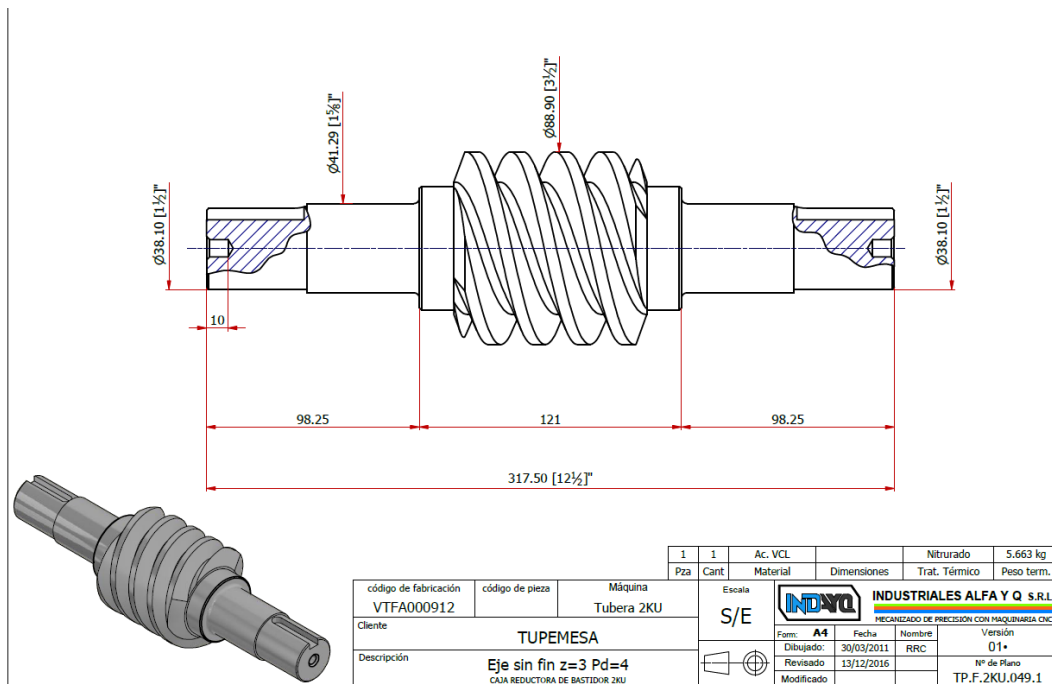
**Figura 3.4** Sólido y vistas lateral y planta de corona z=24 Pd=4

Fuente: Base de datos de TUPEMESA – Autoría Industriales Alfa y Q. SRL

De igual manera, una vista lateral y el sólido de un eje sin fin se muestran en la figura 3.5.

Cabe mencionar que el eje sin fin tiene en ambos extremos rodamientos cónicos de rodillos HM 903245, con su respectiva pista HM 903210, y de retenes CR 16254(41.28x63.50x9.53) de la marca viton.

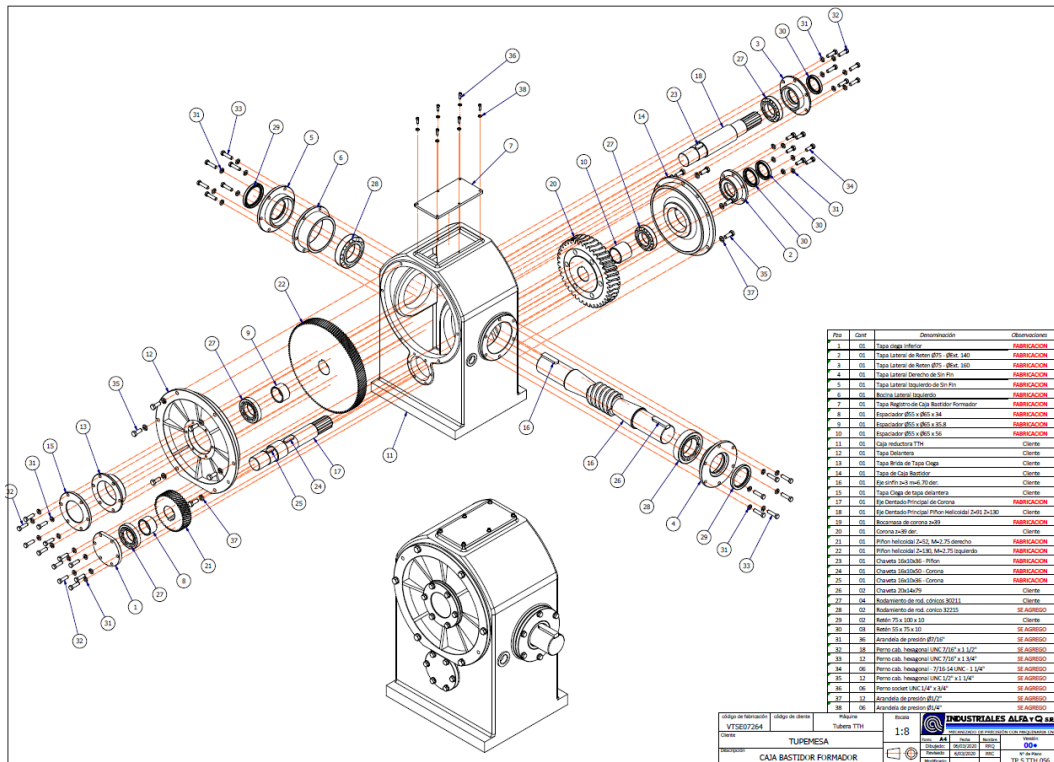
Como información adicional acotamos que el aceite de las cajas reductoras en la bancada formadora trabajan llenas de aceite; este aceite es el gear Mak Lube ML 620 ISO 320.



**Figura 3.5** Sólido y vista lateral de eje sin fin z=3 Pd=4

Fuente: Base de datos de TUPEMESA – Autoría Industriales Alfa y Q. SRL

Así mismo en la figura 3.6 mostramos una vista explosionada de una caja reductora de otra máquina productora de tubos de acero perteneciente a TUPEMESA; cabe recalcar que ambas cajas reductoras, por más que sean distintas, tienen exactamente el mismo principio de transmisión de potencia.



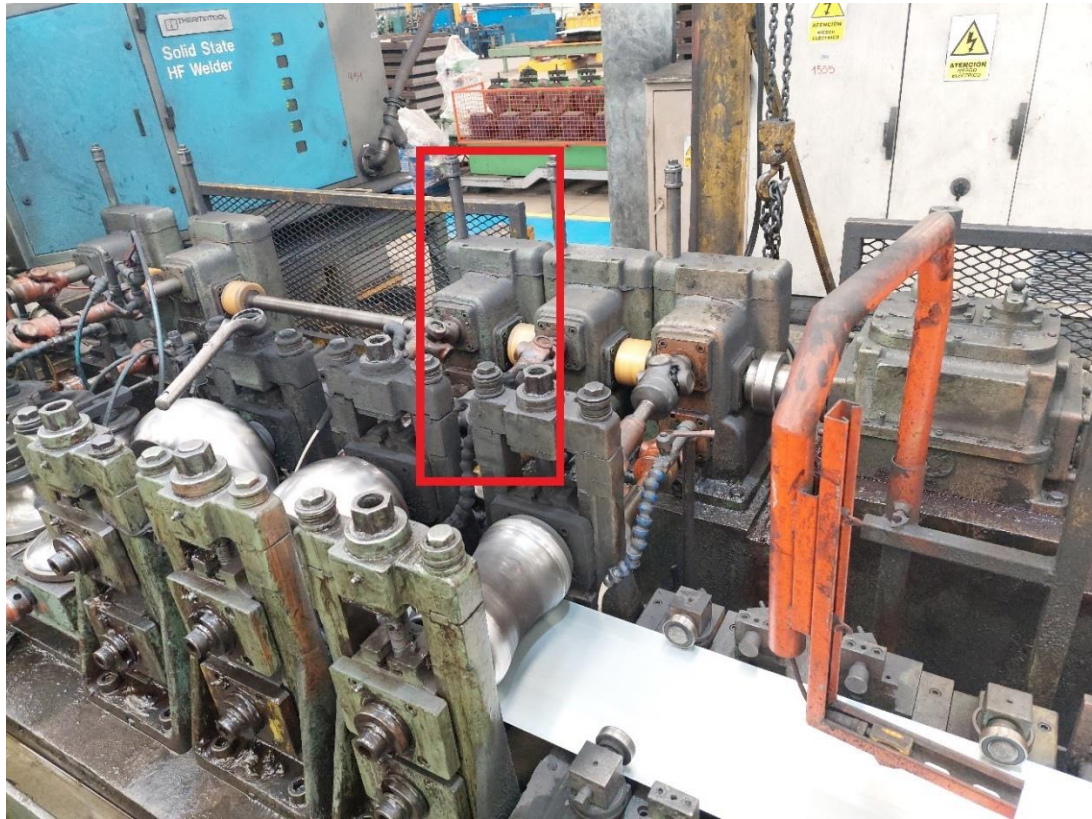
**Figura 3.6** Vista explosionada de caja reductora de formador,máquina TTH

Fuente: Base de datos de TUPEMESA – Autoría Industriales Alfa y Q SRL

Como información adicional podemos mencionar que para la máquina productora de tubos de acero 2KU, el acople que une el eje del motor de transmisión a la caja de cambios es del tipo acople grilla 1090T; el acople que une la caja de cambios con la primera caja reductora de la bancada formadora es un acople de tipo engranaje LOVEJOY F1.5E y finalmente, el acople entre cajas reductoras es un acople de tipo cadena 5018 MSG.

Por otro lado, fue necesario saber también la ubicación en físico exacta de las cajas reductoras en la bancada formadora, esta se sitúa en la parte posterior de la bancada formadora en línea con los ejes de transmisión y en paralelo a los bastidores fijos los cuales soportan, junto a las cajas reductoras, los ejes cardanes tanto superiores como inferiores.

Para una mejor idea de la ubicación se presenta la figura 3.7 en la cual se muestra las 3 cajas reductoras, 6 ejes cardanes y 3 bastidores fijos de la bancada formadora; a el conjunto de caja reductora, par de ejes cardanes y bastidor fijo se le conoce como “paso”.



**Figura 3.7** Foto de bancada formadora

Fuente: Base de datos de TUPEMESA – Autoría propia


Una vez ocurrida la falla se preguntó detalles acerca de cómo ocurrió esta falla y por qué se produjo la falla tanto a los técnicos que atendieron la ocurrencia, quienes fueron Juan Huerta, Jhon Barba y Miguel Huarcaya, como al supervisor mecánico de turno, quien fue Segundo Díaz.

En el caso de los técnicos, ellos identificaron 3 posibles causas de falla las cuales son:

- Trabamiento de los rodillos en la bancada formadora que ocasiona un sobreesfuerzo en el eje cardán transmisor y este, a su vez, ocasiona un esfuerzo excesivo en la corona o piñón dentro de la caja reductora.
- Mala calidad del bronce lo que ocasionó una fractura en condiciones de esfuerzo nominales, probablemente no se realizó un tratamiento térmico adecuado o no se ha elegido el material de diseño adecuado para resistir una producción diaria de 12 horas.

- Sobre esfuerzo en el arranque del motor del sistema de transmisión, el impacto en el arranque del motor es mayor debido a que todos los motores de la máquina se han cambiado por unos de mayor potencia.

La orden de trabajo con la que se atendió la falla, así como las acotaciones relacionadas con la falla por parte del supervisor mecánico se muestran en la figura 3.8 y figura 3.9 respectivamente.

TUPEMESA		ORDEN DE TRABAJO					F-MAN-007 V.02:1161 11-03-2020	
MAQUINA	ZKU							N° OT 2021 - ___185___
TIPO OT	CORRECTIVO PLANIFICADO							
% CUMPLIMIENTO	100%							
FECHA	21/08/2021							
N°	MAQUINA	ACTIVIDAD	TIPO	PRIORIDAD	RESPONSABLE	HORA PROGRAMADA	HORA REAL	OBSERVACIONES
1	FORMADOR	PASO 3: REVISAR CAJA DE TRANSMISION POR SONIDO EXTRAÑO	MEC	1	JB		3 h 5	SONIDO POR CORONA ROTTA. CAMBIO DE CORONA A y B - y ROD. 33889 2 UNID
2	FORMADOR	PASO 3: CAMBIAR RODAMIENTOS DE EJE SUPERIOR DE DADO	MEC	1	MH		42 h.	SE CAMBIA EJE Y DADO COMPLETO.
Finalizado el trabajo, dejar limpia y ordenada la zona de trabajo y los alrededores								
RESPONSABLE OT: JOHN BARRA - MICHEL MONCAYEA					FIRMA 			

**Figura 3.8** Orden de trabajo con la que se realizó el cambio de piñón

Fuente: Base de datos escrita de TUPEMESA

\*OBS.

- PARA DETECTAR ALGUN DESCASTE O ROTURA DE DIENTES DE LA CORONA DE BRONCE, NO ES POSIBLE ALCANZAR A VER. PARA ELLO SE TIENE QUE HACER UN DESMONTAJE DE LA CAJA.
- LA ROTURA DE DIENTES ES PROBABLE QUE SEA POR CONSECUENCIA DE ATRACAMIENTOS POR EXCESO DE SOLDADURA EN PUNTA Y COLA. COMO OCURRE LO MISMO CON ROTURA DE CARDANES.
- DESCARGAS UNIFORME EN DIENTES DE CORONA, ES CONSECUENCIA DE SOBRECARGA EN LOS BASTIDORES. GENERANDO A LA VEZ RECALENTAMIENTO EN LAS CASAS Y DETERIORO DEL LUBRICANTE.



Segundo Diaz

**Figura 3.9** Acotaciones del supervisor mecánico respecto a la falla

Fuente: Base de datos escrita de TUPEMESA

Cabe mencionar también que la caja reductora presentaba sonidos extraños a los que genera su funcionamiento normal, es por ello que se mandó a realizar una revisión integral de los bastidores, ejes cardanes y caja reductora del paso número 3 de la bancada formadora.

La figura 3.10 muestra la orden de trabajo con la que se realizó la revisión integral del paso número 3 sin detectar ningún tipo de avería, esta inspección se realizó destapando la caja del bastidor y verificando si existía presencia de partículas de bronce en el aceite. El técnico indica que no vio ningún tipo de partícula en el aceite y que la corona aparentaba estar en un buen estado.

TUPEMESA		ORDEN DE TRABAJO				F-MAN-007 V.02/16/1 13-09-2025	
MAQUINA	260		N° OT 2021 - 177				
TIPO OT	CORRECTIVO PLANIFICADO						
% CUMPLIMIENTO							
FECHA	21/08/2021						

N°	MAQUINA	ACTIVIDAD	TIPO	PRIORIDAD	RESPONSABLE	HORA PROGRAMADA	HORA REAL	OBSERVACIONES
1	FORMADOR	REVISION INTEGRAL DEL PASO 3 . AJUSTE DE LIE SUPERIOR	MEC	1	YL		0.5h	- Se desmonta caja Paso #03
2	FORMADOR	REVISION Y AJUSTES DE CARDANIS	MEC	2	YL		1h	- Se arma ambos cardanis hembra y macho desde cero
							0.5h	- Se verifica juego axial en ejes superior e inferior de 0.5 decimas
							0.5h	- Se elimina juego con liras 0.5 decimas
							0.5h	- Se cambian retenes #04 de ambos ejes inf y superior

Finalizado el trabajo, dejar limpia y ordenada la zona de trabajo y los alrededores

RESPONSABLE OT: *José Lunazo Mondragón* FIRMA: *[Firma]*

OBS: Se sube espárragos reguladores de bridas para colocar cardanis montar por favor

- Se requirió colocar prisioneros 3/8" y llevar el standard establecido cuando se montó cardanis; se dio con la sorpresa que son M8

Figura 3.10 Orden de trabajo de inspección 3 días previos a cambio de corona

Fuente: Base de datos TUPEMESA

### 3.1.3. Determinación de la falla primaria, examinación y caracterización

Para determinar la falla primaria de nuestro análisis de falla nos basamos en la información levantada en campo una vez ocurrida la falla, no hubo rastro de que algún otro componente dentro de la caja se halla fracturado o fisurado así mismo, se descarta que alguna pieza externa se halla fracturado ya que se inspeccionó todo el sistema de transmisión de potencia mecánico.

En la figura 3.11 se puede observar el estado en el que se encontró la corona barrida dentro de la caja reductora número 3 de la bancada formadora.



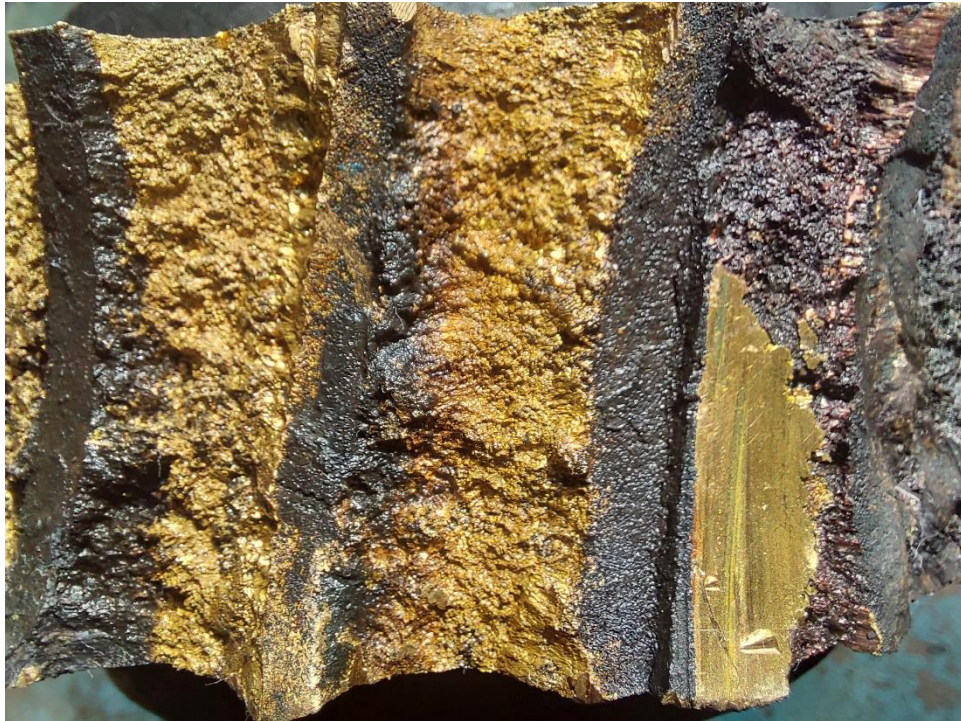
**Figura 3.11** Estado en el que se encontró corona barrida

Fuente: Base de datos TUPEMESA – autoría propia



Una vez que se identificó la falla primaria procedimos a la examinación de la corona fracturada.

En la figura 3.12 se aprecia una superficie de fractura donde predomina la fractura del tipo dúctil, en la cual se aprecia una considerable deformación plástica y gran cantidad de energía utilizada en el proceso de fractura.



**Figura 3.12.** Fotografía de dientes barridos.

Fuente: Autoría propia

En la figura 3.13 podemos apreciar que son en total 5 dientes de corona los que se fracturaron o barrieron, de estos las superficies de fractura de 2 de ellos presentan una coloración oscura producto de que tuvieron un mayor tiempo de contacto con el aceite de la caja reductora; esto nos indica que de los 5 dientes de corona fracturados 2 fueron los primeros en fracturarse antes que los otros 3.

En la figura 3.14 un inicio de fisura en el flanco que transmite potencia de uno de los dientes aledaños a los 2 primeros que se fracturaron, esto nos da una idea del sobre esfuerzo al cual se vio sometida esos 3 dientes y que

en un inicio el esfuerzo al que se sometieron los dientes fue tal que fracturó los 2 primeros, mientras que en el tercero solo generó un inicio de fisura.



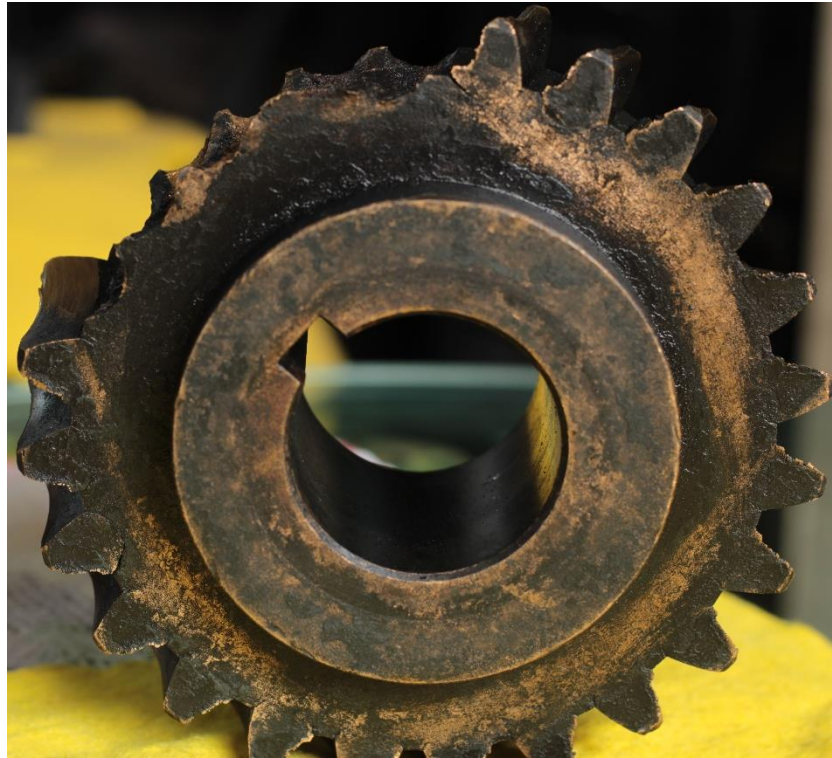
**Figura 3.13.** Fotografía de piñón con dientes barridos.

Fuente: Autoría propia.



**Figura 3.14.** Fotografía de dientes barridos.

Fuente: Autoría propia.



**Figura 3.15.** Fotografía de piñón con dientes barridos.

Fuente: Autoría propia.

Una vez examinada nuestra corona con dientes barridos, procedemos a determinar el mecanismo de daño y la causa raíz de este mismo.

#### **3.1.4. Determinación del mecanismo de daño y causa raíz de la falla**

Examinando la superficie de fractura, se evidenció superficie granular en las partes bajas de los dientes de la corona, estos a su vez fueron arrancados y disminuidos a partículas por la acción de transmisión de torque entre los piñones y coronas; estas coronas en forma de partículas fueron las que ocasionaron el desgaste del tipo abrasivo en las partes de las coronas que tienen socavaciones y concavidades notorias.

Según las reuniones que tuvimos con el personal administrativo de mantenimiento y los técnicos y supervisores de campo se fue descartando una a una las posibles causas de falla presentadas en el capítulo 3.1.2.

Hablando de una posible causa relacionada a un mal tratamiento térmico o una mala elección del material de diseño para la corona de la caja reductora

Nº3, el mismo proveedor que fabricó la corona fracturada ha brindado material de iguales características en anteriores ocasiones y han tenido un tiempo de vida mayor. Así mismo, a manera de corroborar la calidad del material de diseño, el proveedor brindó la ficha técnica del bronce utilizado para la fabricación de las coronas, así como lo indica su cotización brindada. Tanto la ficha técnica como la cotización brindada por la compra de las coronas de bronce se muestran en la figura 3.16 y figura 3.17.

## Bronce UNS C95300 SAE 68B ASTM B505/ B148

	% MIN.	% MAX.	USE
COBRE	86.0	-	Es un buen conductor de electricidad, soporta grandes cargas y presiones.
FIERRO	0.8	1.5	
ALUMINIO	9.0	11.0	

Resistencia a la tensión.            5,270 kg/cm<sup>2</sup>  
 Alargamiento en 50 mm.            15 %  
 Dureza Brinell. ( 3000 kg )        110-140

#### Características:

Es un bronce al aluminio que posee gran resistencia a temperaturas elevadas y a los alcalis suaves. Es uno de los bronce mas tenaces para resistir la corrosión, desgaste, fatiga e impacto.

#### Composición química

(Cu + demás elementos mencionados, 99.0 % min.)

	Cu(1)	Fe	Al	Zn	Mn
Min. / Max.	86.0 -	0.8 - 1.5	9.0 - 11.0	-	-
Nominal	89	1.0	10	-	-

**Figura 3.16** Ficha técnica bronce SAE 68B

Fuente: Proveedor de mecanizado de TUPEMESA

COTIZACIÓN N° 00000380

SEÑOR(ES)	TUBOS Y PERFILES METALICOS SA	FECHA	24/11/2020
DIRECCIÓN	AV. INDUSTRIAL NRO. SVN Z.I. PREDIO ALMONTE (ALTURA KM.40	COND. PAGO	FACTURA A 60 DIAS
R.U.C.	20100151112	MONEDA	DOLARES AMERICANOS
ATENCIÓN	SR. KEVIN BACA	TELÉFONO	
VENDEDOR	ANCELMO SIHUEN	PRIORIDAD	MUY URGENTE
DOC. REF.		F. ENTREGA	24/11/2020

CODIGO	DESCRIPCIÓN	U.M.	CANT.	V. VENTA	% DCT.	TOTAL
000000636	52008981 PIÑON CORONA Z=24 DER. DE CAJA REDUCTORA DE BASTIDOR Material : Bronce SAE - 68 B	UND	1	680.00	0.00	680.00

OBSERVACIONES  
Máquina : Tubera 2KU

SUBTOTAL	680.00
0.00 % DCTO.	0.00
18.00 % IGIV	122.40
TOTAL US\$	802.40

**Figura 3.17** Cotización de servicio de fabricación corona

Fuente: Proveedor de mecanizado de TUPEMESA-Base de datos SAP

Hablando de una posible causa de falla relacionada al impacto que ocasiona el arranque de los motores repotenciados del sistema de transmisión de la bancada formadora, la corona fracturada se ubicaba en la caja reductora número 3 por lo que es poco probable que el impacto de arranque de los motores haya sido el causante de su fractura debido a que la caja reductora que recibe un mayor impacto en el arranque del motor es la caja reductora número 1. Así mismo, se registran fechas de cambio, de coronas en las 3 cajas reductoras, relativamente cercanas.

La tabla 3.3 muestra un listado de las zonas de la máquina productora de tubos de acero 2KU y los motores que cada zona presenta con su respectiva potencia.

### Lista de Motores - 2KU

	Componente / Zona	N°	Descripción de Motor	Criticidad	HP	KW
1	Desenrollador	1	Motor - Central Hidráulica	No Critico	7.5	5.5
2	Alisador	2	Motorreductor Alisador	No Critico	7.5	5.5
3	Punto y Cola	3	Motor - Central Hidráulica	No Critico	25	18.5
4	Acumulador	4	Motorreductor Pinch Roller	No Critico	2	1.5
		5	Motor Acumulador	No Critico	20	15
5	Formador	6	Motor Formador	Critico	100	75
6	Thermatool	7	Motor Ventilador Superior (thermatool)	No Critico	1.5	1.1
		8	Motor Ventilador Inferior (thermatool)	No Critico	1.5	1.1
7	Soldador	9	Motorreductor Virutero	No Critico	1	0.75
		10	Motor (Bomba Agua Destilada)	Critico	10	7.5
		11	Motor (Bomba Enfriador de Bobina)	No Critico	1	0.75
		12	Motor (Bomba Impider)	No Critico	2	1.5
8	Canoa	13	Motor (Bomba Soluble)	No Critico	10	7.5
		14	Motorreductor Agitador	No Critico	1	0.75
9	Calibrador	15	Motor Calibrador	Critico	150	112
10	Carro de Corte	16	Motor - Central Hidráulica	No Critico	2	1.5
		17	Motor Traslación de Carro	Critico	62	46
		18	Motor Ventilador Traslación de Carro	Critico	0.34	0.25
			Servomotor (Giro de disco)	-	10	7.5
	Servomotor (Corte de tubo)	-	3	2.2		
11	Mesa de Salida	19	Motorreductor Acelerador	No Critico	5	4
		20	Motor Soplador	No Critico	15	11
12	Aplastador de Tubos	21	Motor Aplastador de tubos	No Critico	7.5	5.5

**Tabla 3.3.** Listado de motores en 2KU

Fuente: Autoría propia – Base de datos SAP TUPEMESA

Hablando de una posible causa de falla relacionada a un trabamiento en los rodillos de la bancada formadora, puede darse por dos posibles casos; el primer caso consiste en un exceso del cordón de soldadura que se realiza en el “punto y cola” (zona de la máquina productora de tubos de acero 2KU donde se une el final de fleje de una bobina consumida en línea con el inicio de fleje de una nueva bobina por consumir), el segundo caso consiste en flejes con espesor por encima del indicado.

El segundo caso es muy poco probable debido a que el proveedor de bobinas de acero realiza un control de calidad exhaustivo en lo que respecta a espesor del fleje ya que un excedente de espesor de fleje conllevaría a una pérdida económica considerable para la empresa proveedora de bobinas.

La figura 3.18 muestra una zona de la máquina productora de tubos de acero llamada desenrollador en el que se puede apreciar una bobina de

acero galvanizado en continuo en espera de ser ingresada a la línea de producción.



**Figura 3.18** Bobina señalada con círculo amarillo, zona desenrollador.

Fuente: Base de datos TUPEMESA – Autoría propia

El primer caso es el más probable debido a que la supervisión en la máquina productora de acero se enfoca mayormente en las zonas llamadas bancadas formadora, soldador, bancada calibradora y carro de corte; es decir no hay una supervisión continua en lo que respecta a cordón de soldadura.

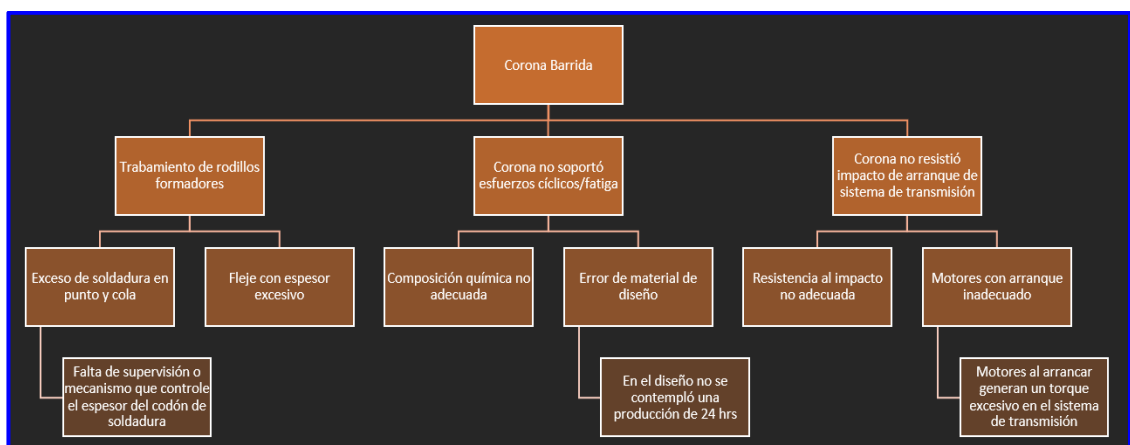
La figura 3.19 muestra la zona de la máquina productora de tubos de acero llamada punto y cola. En esta zona se puede apreciar la máquina de soldar que se utiliza para unir los flejes.



**Figura 3.19** Zona llamada punto y cola

Fuente: Base de datos TUPEMESA – Autoría propia

Para organizar esta información se utilizó la herramienta llamada diagrama de árbol de fallas, este se muestra en la figura 3.20.



**Figura 3.20** Diagrama de árbol de fallas

Fuente: Autoría propia.



Se consideró la información brindada por la superficie de fractura y lo aseverado por el personal técnico especializado podemos concluir que el mecanismo de daño se relaciona a un esfuerzo mecánico de sobrecarga. Además, se infirió de la información recopilada antes mostrada que, este esfuerzo mecánico de sobrecarga fue ocasionado por un trabamiento en los rodillos de la bancada formadora.

Así mismo, considerando toda la información antes presentada en el capítulo 3.1.3 y 3.1.4 podemos concluir que la causa raíz de la fractura del piñón se debió a la falta de control o supervisión en los cordones de soldadura que se realizan en la zona de punto y cola y una inadecuada inspección por parte del personal de mantenimiento días antes que se dé el cambio de la corona.

### **3.2. Modelo de solución propuesto**

Una vez se halló la causa raíz de la fractura de la corona se propusieron como soluciones lo siguiente:

- La puesta en marcha de un laminador de flejes posterior a la zona de punto y cola y acumulador para así controlar el espesor del cordón de soldadura y no trabe los rodillos.
- El uso de un videoscopio como herramienta de inspección para evitar que no se detecten las anomalías cuando se inspeccione un componente con partes de difícil acceso.

La figura 3.21 muestra el laminador de tubos del cual se presentó la propuesta de puesta en marcha como solución



**Figura 3.21** Laminador de tubos para máquina productora de tubos de acero

Fuente: ERW Tech

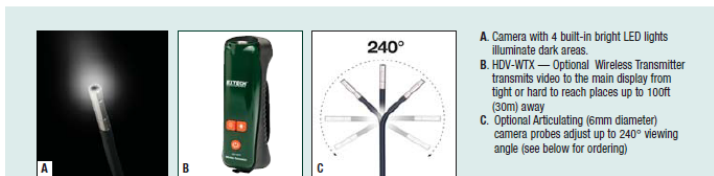
La figura 3.22 muestra el videoscopio que se propuso como herramienta de inspección para el personal técnico.

## High Definition VideoScope Inspection Camera Kits

**Narrow diameter cameras with 5.7" High Definition Color LCD\* Monitor**  
Deliver high image resolution on large color display where images and videos can be stored on SD memory card (included)

### Features:

- **Model HDV610 kit** - HDV600 VideoScope and 5.5mm diameter camera head with 1m flexible cable
- **Model HDV620 kit** - HDV600 VideoScope and 5.8mm diameter camera head with 1m semi-rigid cable
- 5.7" color LCD\* TFT with high definition 640 x 480 VGA pixel resolution
- Mini, high-resolution water-proof (IP57) camera head
- Rugged oil/chemical resistant and water/drop proof housing (IP67/2m)
- Non-slip ergonomic handles for ambidextrous use
- SD memory card included to store >15,000 images
- Video recording (up to 4 hours) with Voice annotation
- AV output for viewing images and video directly on a monitor
- Video and images can be transferred to a PC via the SD card or USB output
- An optional wireless transmitter (HDV-WTX) connects to your camera cable and allows you to transmit video up to 100ft (30m) from the measurement point to your monitor



Specifications	
<b>Camera</b>	
Minimum Focus distance	2.36" (60mm); macro: 0.59" (15mm)
Field of View	65°
Shaft diameter	HDV610: 0.22" (5.5mm) HDV620: 0.23" (5.8mm)
Working length	39" (1m)
<b>BoreScope</b>	
*LCD Color TFT Display	5.7" (14.5cm) size; 5.3" (13.5cm) viewable
Pixels	640 x 480 VGA pixel resolution (320 x 240 for 4mm camera)
Frame Rate	30 fps frame rate (NTSC & PAL)
SD Card	2GB SD memory card included (supports up to 32GB SD storage)

Figura 3.22 Kit de videoscopio EXTECH HDV600

Fuente: AMTEK INTERNATIONAL (Proveedor de TUPEMESA)

### 3.2.1. Componentes de la máquina laminadora de tubos

La máquina laminadora de tubos está compuesta principalmente por los siguientes componentes.

Sistema de fuerza:

- Rodillo de respaldo superior
- Rodillo de respaldo inferior
- Rodillos de trabajo superior
- Rodillo de trabajo inferior
- Eje sin fin regulador de posición vertical
- Motores y reductores accionadores de ejes sin fin
- Pistones hidráulicos fuerza

- Mangueras hidráulicas
- Unidad hidráulica



**Figura 3.23** Sistema de fuerza de laminador señalado

Fuente: Base de datos TUPEMESA, autoría propia

#### Sistema de lubricación / refrigeración

- Rótulas articuladas para refrigerante
- Canoa de drenaje
- Cañería de distribución

#### Sistema de control

- Electroválvulas
- Botonera de accionamiento de motores del sin fin
- Reguladores de presión
- Potenciómetro regulador para sincronización

## Sistema guía

- Guía de entrada
- Guía de salida



**Figura 3.24** Sistema de lubricación, rótulas articuladas

Fuente: Base de datos TUPEMESA, autoría propia



**Figura 3.25** Sistema de lubricación, drenaje

Fuente: Base de datos TUPEMESA, autoría propia

## Sistema estructural

- Estructura soporte
- Bloques topes



**Figura 3.26** Sistema de conducido

Fuente: Base de datos TUPEMESA, autoría propia

### 3.2.2. Enfoque de la propuesta de puesta en marcha

La puesta en marcha del laminador corresponde a parte mecánica, eléctrica y electrónica, el presente trabajo se ha enfocado en la parte mecánica del laminador de fleje por lo que no se presentarán detalles acerca del conexionado electrónico o eléctrico sin embargo sí se mencionará, a continuación, el criterio que se debe tener presente para realizar la sincronización electrónica de la velocidad de línea en los rodillos de trabajo del laminador y la velocidad de línea del tren de laminación de la máquina productora de tubos de acero.

La velocidad de línea de la máquina productora de tubos de acero es variable según el espesor y tipo de la bobina que se quiera trabajar.

Por ejemplo, para una bobina LAC de un espesor de 3mm podemos tener una velocidad de 30 metros por minuto mientras que para una bobina LAC de 1.5mm de espesor podemos conseguir una velocidad máxima de 90 metros por minuto.

Esto se debe a que un material de mayor espesor es más difícil de deformar que un material de menor espesor.

En la tabla 3.4 se muestra parte de la data de TUPEMESA en la que se observan datos significativos como el tipo de bobina que produce, el tipo de producto, su espesor y la velocidad que tiene la línea en promedio.

El laminador de tubos debe estar en la capacidad adaptarse a la velocidad de línea a la que produce o que se requiere que produzca la máquina.

También se debe tener en cuenta que al laminar un fleje este puede aumentar su ancho, por lo que el ancho de la guía de entrada de la bancada formadora y calibradora y el ancho de las bancadas antes mencionadas debe estar regulado para un ancho un tanto mayor que el que indica la ficha técnica de la bobina con la finalidad de evitar deformar el fleje de manera incorrecta.

Así mismo el conexionado eléctrico del tablero de mando del laminador debe estar anexo a los tableros de control de las demás zonas.

metro	Tiempo ideal	Producto	Espe sc	mm*Tm	conte	Largo (mm)	Tiras	Peso Teóric	Velocidad pedid
336	11	RT 75X50X3.00X6.00 LAC	3.00	5.72	1	6000	56	5.676	31.5
1260	24	RT 60X40X1.50X6.00 GAL	1.50	4.23	0	6000	210	2.240	52.0
16374	315	RT 60X40X1.50X6.00 GAL	1.50	55.02	1	6000	2729	2.240	52.0
7980	133	RT 60X40X1.50X6.00 LAC	1.50	27.77	0	6000	1330	2.320	60.0
1764	29	RT 60X40X1.50X6.00 LAC	1.50	6.14	1	6000	294	2.320	60.0
1800	26	CD 2X1.50X6.00 LAC	1.50	6.15	0	6000	300	2.277	70.0
7704	110	CD 2X1.50X6.00 LAC	1.50	26.31	1	6000	1284	2.277	70.0
3270	48	CD 2X1.50X6.00 GAL	1.50	11.62	1	6000	545	2.370	68.0
9708	139	CD 2X1.50X6.00 LAC	1.50	33.15	1	6000	1618	2.277	70.0
19320	322	RT 60X40X1.50X6.00 LAC	1.50	67.23	0	6000	3220	2.320	60.0
17910	299	RT 60X40X1.50X6.00 LAC	1.50	62.33	1	6000	2985	2.320	60.0
9648	107	RD 1 1/2X1.50X6.00 LAC	1.50	25.56	1	6000	1608	1.766	90.0

**Tabla 3.4** Valores de material, espesor, velocidad de línea entre otros.

Fuente: Base de datos área excelencia operacional- TUPEMESA.

### 3.2.3. Sistema hidráulico de fuerza y sistema de control básico

El sistema hidráulico del laminador y su respectivo circuito electrónico de control que fueron analizados para proponer su puesta en marcha consta básicamente de los siguientes componentes

- Unidad hidráulica de entre 5 y 7 HP para suministrar el aceite al sistema
- Tres cilindros hidráulicos de doble efecto
- Tres electroválvulas 4/3 vías de 5/16" para el accionamiento de los cilindros
- Dos válvulas estranguladoras para los cilindros inferiores
- Cuatro pulsadores simples normalmente abiertos para realizar el accionamiento de los solenoides de las electroválvulas
- Dos contactores para realizar el enclavamiento entre los solenoides 1 – 2 y 3 – 4.
- Mangueras EN853 (SAE100 R2 AT) DE 5/16" para el conexionado entre electroválvulas y cilindros de doble efecto

En la figura 3.27 se muestra el circuito electroneumático básico para los 3 cilindros que actúan en el laminador de tubos del cual se propuso la puesta en marcha.

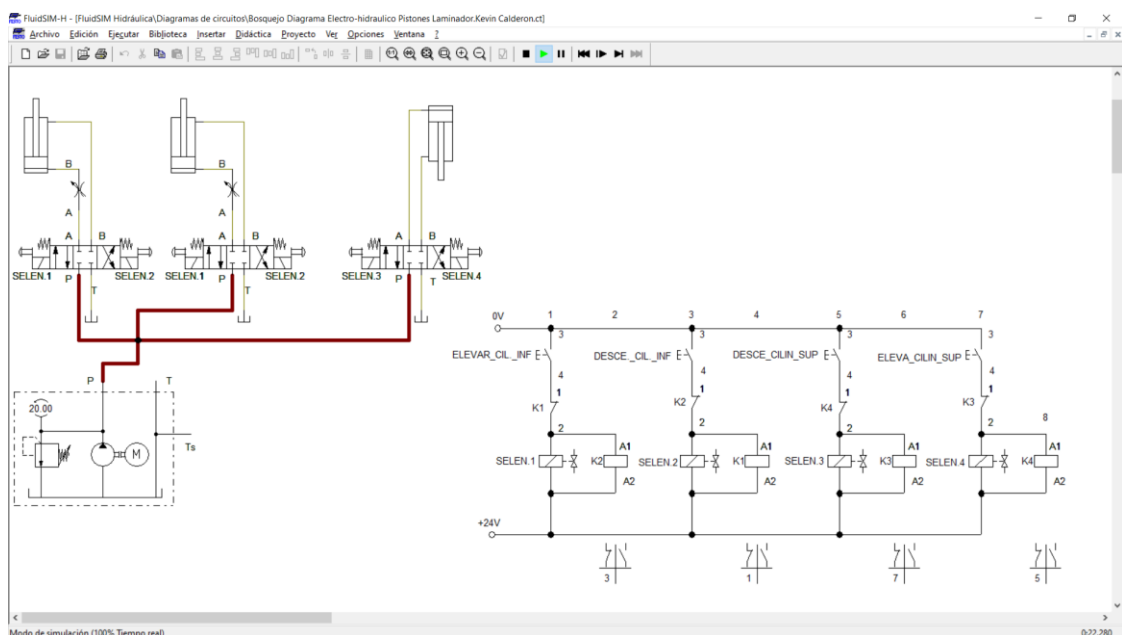


Figura 3.27 Circuito hidráulico básico de pistones del laminador




Fuente: Autoría propia



### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Mecanismos de daño descubiertos

A continuación, y conforme a lo presentado en el capítulo 3.1.4 mostraremos en la tabla 3.5 el mecanismo de daño y la superficie de fractura asociada al mismo.

MECANISMO DE DAÑO	SUPERFICIE DE FRACTURA CORONA	SUPERFICIE DE FRACTURA CORONA
FRACATURA DÚCTIL POR SOBRECARGA		
FRACATURA POR DESGATE ABRASIVO		

**Tabla 3.5** Tabla superficie de fractura – Mecanismo de daño asociado

Fuente: Autoría propia

### **3.3.2. Indicadores de mantenimiento y su gestión en TUPEMESA**

Para mostrar los resultados producto de la aplicación del análisis de falla y sus respectivas recomendaciones para que la falla no vuelva a ocurrir primero debemos realizar un comparativo entre los indicadores de mantenimiento que utilizamos en la gestión del mantenimiento de TUPEMESA.

Esto a su vez implica que entendamos cómo es que se lleva el control de información sobre las detenciones o paradas de producción a causa de un mal mantenimiento.

El área de Excelencia Operacional es el área encargada de trasladar la información sobre las detenciones de producción desde el formato físico en papel llamado "Orden de formación" hacia un Excel que contiene toda la data de producción de una determinada máquina productora.

Una orden de formación y una captura de pantalla del Excel del área de excelencia operacional correspondiente a la máquina productora de tubos de acero 2KU se muestran en las figuras 3.28 y 3.29 respectivamente.

El área de Excelencia Operacional (EO) ha clasificado con códigos los distintos tipos de detenciones que se presentan en producción; las detenciones sobre las cuales se realizó el análisis para el cálculo de indicadores de mantenimiento son las detenciones mecánicas relacionadas a mantenimiento (DMM) y las detenciones eléctricas relacionadas a mantenimiento (DEE).

En la figura 3.29 se encuentran resaltadas una detención eléctrica y mecánica relacionadas a mantenimiento.

Es de esta base de datos de donde se toma la información para contabilizar el número de detenciones (fallas), ya sea eléctricas o mecánicas, que ocurren en un determinado intervalo de tiempo (semanas, meses, años) el tiempo que la máquina ha producido sin fallar y el tiempo que hay entre cada ocurrencia de falla.

Observaciones: flejes-- PASAR TODAS LAS CINTAS

**ORDEN DE FORMACIÓN**

Página: 13.37.21 | 09.11.2021

28 flejes.

---

NUMERO/TIPO DOCTO: 1293154 / ZC03      CENTRO: 0000032 TUBERA 2KU      FECHA: 09.11.2021

**MATERIA PRIMA**

Cod. Producto	Descripción	Lam.	Cal.	Rec.	Esp. (mm)	Des. (mm)	Peso(TN)	Cantidad
20006230	FLEJE GAL. RD. 3/4 X 1.50						16.495	
<b>TOTAL:</b>							16.495	

**Peso Teórico      0.98      Kg / Mt**

**PRODUCTOS A FABRICAR**

Código	Descripción	Largo(mm)	Cantidad Litras	Peso (KG)	Pedido	OF
43003246	RD ESTR 3/4 X 1.50 X 6.00 GAL	6,000	2,705	15,905	PRODUCTO DE STOCK	1293154

Des. Tpo.	Fecha	T.	HORAS				PRODUCCIÓN		Kilos Mat 2º	Veloc.	Ini. Oper
			De	A	Empl	Unid.	MM	Kilos			
CL	10-11-21	P	6:00	7:30							J. Lopez
PE			7:30	7:48							
DMM			7:48	11:10							
PE			11:10	11:40							
DMM			11:40	12:19							
PE			12:19	12:30							
C			12:30	1:15							
PE			1:15	3:20							
DMM			3:20	3:40							
PE			3:40	3:50							
NOT			3:50	6:00							
									2540		
NOT	11-11-21	P	6:00	7:30							J. Lopez
DMM			7:30	7:35							
PE			7:35	10:44							

587

**Figura 3.28** Orden de formación de máquina tubera 2KU

Fuente: Base de datos TUPEMESA

Sem	Mes	Día	Ti	Tf	Código	Duración	Descripción	Nº OF	MAESTRO	Producto	TURNO
29	Jul-21	13	05:30	06:00	CL	0.50	Falta de rodillos turcos armados (falta pines) - recalibra	1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	06:00	07:20	CL	1.33	Terminando el cambio de línea	1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	07:20	10:00	PE	2.67		1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	10:00	10:35	DMM	0.58	Arreglando paleta del botador	1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	10:35	11:00	PE	0.42		1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	11:00	12:00	DUI	1.00	Se llevo impider	1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	12:00	13:00	DEE	1.00	Falla del carro de corte	1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	13:00	13:50	PE	0.83		1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	13:50	14:00	DMM	0.17	Falla de la paleta del botador	1283513	F.QUISPE	CD 1X1.80X6.00 LAC	1ER
29	Jul-21	14	18:00	18:10	NOT	0.17	Charla de Seguridad	1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	18:10	18:30	NOT	0.33	Revisando 2KU, ajustando rodillos turcos motorizados.	1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	18:30	19:00	PE	0.50		1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	19:00	19:30	DI	0.50	Se rompio empalme en el acumulador	1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	19:30	20:15	C	0.75	Colacion	1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	20:15	20:30	PE	0.25		1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	20:30	21:28	DI	0.97	Se rompio empalme y rompio soporte de polin de entra	1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO
29	Jul-21	14	21:28	21:48	DUC	0.33	No hay disco de 260 se utilizo de 220	1283513	LUYO	CD 1X1.80X6.00 LAC	2DO

Figura 3.29 Captura de pantalla del excel de E.O. para la máquina 2KU.

Fuente: Base de datos TUPEMESA

Teniendo esta base de datos en cuenta se realiza y se realizó el cálculo semanal, mensual o anual del factor de falla, MTTR, MTBF y disponibilidad utilizando las ecuaciones mostradas en la figura 3.30.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total de Produccion Efectiva}}{\text{Nº de Detenciones} \times \text{Nº de Maquinas}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Detenciones}}{\text{Nº de Detenciones}}$$

$$A_{Operacional} = \frac{\text{Tiempo Total de Detenciones}}{\text{Nº de Detenciones}}$$

■ ≥ 95%  
Meta

■ < 95 y ≥ 90%  
Aceptable

■ < 90%  
Critico

Figura 3.30 Ecuaciones utilizadas para el cálculo de MTBF, MTTF y disponibilidad operacional.

Fuente: Base de datos TUPEMESA

El tiempo total de producción efectiva es la suma de duraciones (en horas) que presenta el código de excelencia operacional "PE" que significa producción efectiva.

El tiempo total de detenciones es la sumatoria de duraciones (en horas) que presenta los códigos DEE (detención eléctrica) y DMM (detención mecánica) y el número de detenciones mecánicas es igual al número de veces que la máquina productora de tubos de acero deja de producir debido a una falla de carácter mecánico en un determinado intervalo de tiempo; de igual manera para las detenciones eléctricas.

### 3.3.3. MTTR, MTBF y disponibilidad de la máquina 2KU

Según lo tocado en el punto anterior, se procedió a calcular los indicadores de mantenimiento que se monitorearon a lo largo del 2021.

La tabla 3.6 muestra el MTTR, MTBF y disponibilidad de la máquina en lo que va del año 2021, así como la matriz de datos usados en el cálculo de estos.

La figura 3.31 y 3.32 muestran los gráficos de barras del indicador y líneas de tendencia que presentan los indicadores MTBF y MTTR respectivamente.

**TUPEMESA** **TU - 2KU** ■ ≥ 95% Meta

	Horas de Trabajo	N° Detención Eléctrica	N° Detención Mecánica	N° Detención Totales	Detención Eléctrica (Hrs)	Detención Mecánica (Hrs)	Detención Totales (Hrs)	MTBF	MTTR	Disponibilidad Inherente
Ene	304.18	7	21	28	3.82	17.92	21.73	10.86	0.78	93.33%
Feb	213.37	19	20	39	6.78	18.38	25.17	5.47	0.65	89.45%
Mar	136.90	8	11	19	2.70	8.50	11.20	7.21	0.59	92.44%
Abr	162.32	3	17	20	0.95	8.25	9.20	8.12	0.46	94.64%
May	107.98	1	5	6	3.33	4.08	7.42	18.00	1.24	93.57%
Jun	331.18	17	18	35	11.78	11.13	22.92	9.46	0.65	93.53%
Jul	237.40	7	17	24	3.85	10.73	14.58	9.89	0.61	94.21%
Ago	272.97	2	9	11	1.25	5.65	6.90	24.82	0.63	97.53%
Set	258.02	2	9	11	0.47	5.12	5.58	23.46	0.51	97.88%
Oct	239.17	4	12	16	0.73	7.98	8.72	14.95	0.54	96.48%
Nov	176.35	3	10	13	0.50	10.83	11.33	13.57	0.87	93.96%
Dic	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00%
<b>2021</b>	<b>2439.83</b>	<b>73.00</b>	<b>149.00</b>	<b>222</b>	<b>36.17</b>	<b>108.58</b>	<b>144.75</b>	<b>10.99</b>	<b>0.65</b>	<b>94.40%</b>

Tabla 3.6 Matriz de datos para cálculo de MTTR, MTBF y disponibilidad 2KU

Fuente: Base de datos TUPEMESA

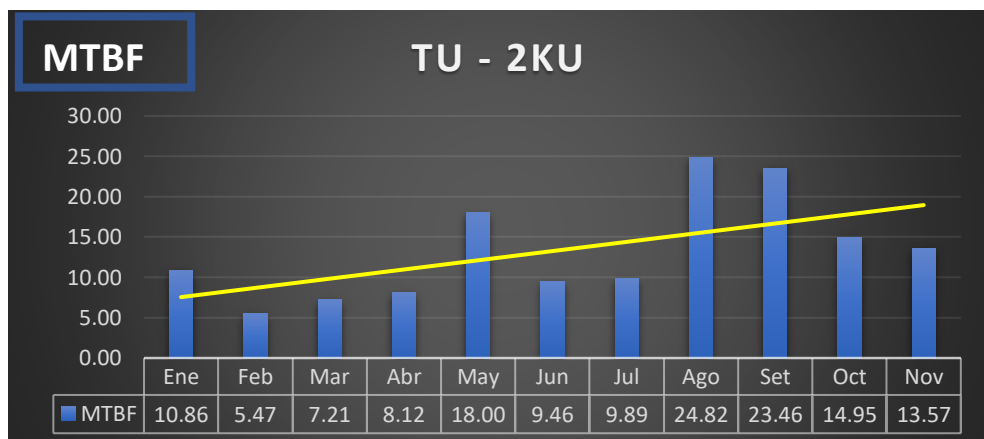
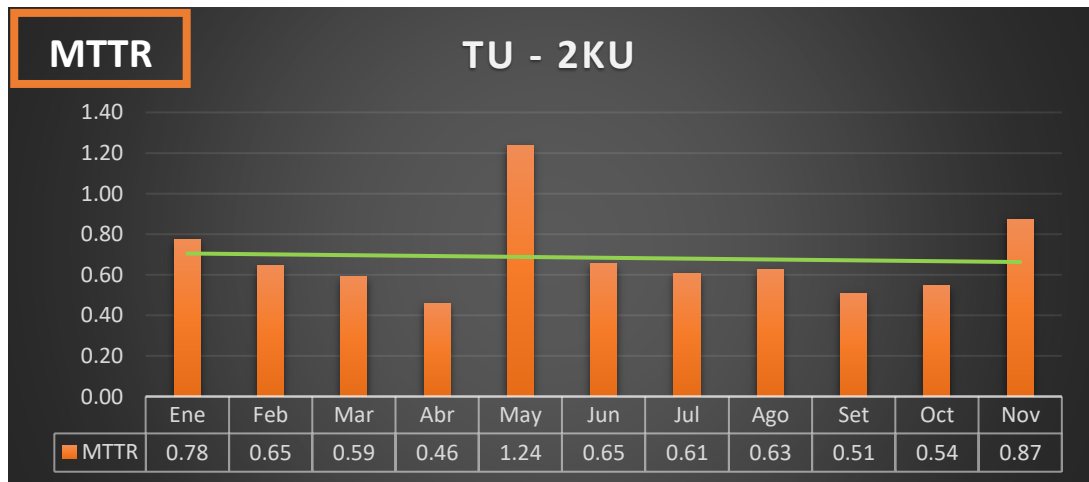


Figura 3.31 Gráfico de barras y tendencia del indicador MTBF tubería 2KU

Fuente: Base de datos TUPEMESA



**Figura 3.32** Gráfico de barras y tendencia del indicador MTTR tubera 2KU

Fuente: Base de datos TUPEMESA

Como podemos apreciar de las figuras antes expuestas, la disponibilidad se ha mantenido entre los meses de agosto, septiembre y octubre; mientras que en el mes de noviembre sufrió una caída, esta última quizá sea consecuencia del mantenimiento mayor que se realizó entre el 29 de octubre y el 09 de noviembre, lo que ocasionó una considerable reducción de las horas de producción efectiva y un considerable aumento de las detenciones mecánicas y eléctricas a causa de las pruebas de arranque posterior al mantenimiento mayor. De lo antes mencionado en el capítulo 3.3.1 podemos inferir que la disponibilidad no solo se ve afectada por las fallas o detenciones mecánicas si no también por las fallas eléctricas.

Entonces, para evidenciar la mejora en la disponibilidad a la cual hemos aportado se realizó una análisis de las fallas relacionadas a cajas reductoras o alguno de los componentes que la conforman.

La tabla 3.7 muestra las fallas relacionadas a cajas reductoras o alguno de los componentes que la conforman desde el 01 de enero de 2021 hasta 25 de noviembre 2021.

COINCIDENCIA (Var. elementos)							
Cuenta de FECHA	Etiquetas de fila						
	Ene	Feb	Mar	Jun	Jul	Set	Total general
cambiando corona caja reductora paso 2	1						1
Se trabo caja reductora paso 14 superior				1			1
Se recalentó aceite caja reductora paso 2	1						1
Caja reductora paso 2 no tiene transmisión revisando (mecánicos) colocando cardan paso 10 superior y sacando cardan paso 2 sup.	1						1
Terminando de cambiar corona caja #2	1						1
Se recalentó caja reductora paso 3	1						1
Se barrió chaveta de cardan 2 inf. Limando eje de caja reductora, chaveta barrida paso 3 inf., se cambió eje Inf. Paso 3, cardan está muy pegado al eje		1					1
cambiando caja de soldadores		1					1
terminando de colocar caja de soldadores		1					1
Cambiando reten a caja reductora paso 17			1				1
Caja rodillos soldador no cuadra, arreglando				1			1
Recalienta caja 15 - 19, revisando mecánico falta aceite para disco de corte					1		1
Cambiando acople que une caja de cambio con cajas reductoras calibradores					1		1
Se recalentó caja reductora paso N2 formadores					1		1
Revisando cajas del paso 14 calibrador				1			1
Se recalentó caja reductora paso 05 revisando				1			1
cajas reductoras sin aceite y recalentadas		1					1
caja de transmisión recalentado, revisando aceite			1				1
Técnico revisando							
Cambiando cajas del paso 8 al paso 9						1	1
Máquina revisada por los técnicos							
Revisando encoder							
Personal preparando cajas						1	1
<b>Total general</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>20</b>

**Tabla 3.7** Tabla de fallas relacionadas a cajas reductoras

Fuente: Base de datos TUPEMESA

Como podemos apreciar, la cantidad de fallas relacionadas a las cajas reductoras se redujo considerablemente sobre todo en los meses de octubre y noviembre.

Esto debido, de manera directa, a la aplicación del análisis de causa raíz a las fallas de la corona fracturada del paso número 3 y a la implementación del uso del videoscopio EXTECH HDV 600 en los mantenimientos preventivos de las cajas reductoras.

La figura 3.33 muestra el uso del videoscopio en una de las cajas de la máquina productora de tubos de acero 2KU.



**Figura 3.33** Inspección a caja reductora con videoscopio EXTECH HDV600

Fuente: Base de datos TUPEMESA



## CONCLUSIONES

Se concluye que:

- El análisis de causa raíz se realizó exitosamente a la corona fracturada de la caja reductora número 3 de la bancada formadora de la máquina productora de tubos de acero 2KU como se evidencia en la página 19.
- El mecanismo de daño que ocasionó la fractura de la corona de la caja reductora número 3 de la bancada formadora está relacionado a mecanismos de daño combinados tanto por fractura dúctil en el momento inicial de la fractura, como por fractura por desgaste abrasivo en el resto de la fractura; esta fractura dúctil se debió a un sobre esfuerzo que sufrieron los rodillos, y posteriormente los ejes cardanes de transmisión; este sobre esfuerzo se debió a un posible exceso de cordón de soldadura o un posible sobre espesor del fleje en la bobina como se evidencia en las páginas 48 y 33.
- Las propuestas, para evitar que ocurra la falla y evitar que ocurran retrasos en la producción, consisten en la aplicación del uso de un videoscopio como herramienta de inspección en las cajas reductoras y la puesta en marcha del laminador de flejes previo a la bancada formadora, se realizaron con éxito y fueron consideradas por las jefaturas y gerencias.
- El indicador de disponibilidad aumentó en lo que respecta a fallas mecánicas y, específicamente, fallas relacionadas a cajas reductoras, debido a la implementación del uso de la herramienta de inspección llamada videoscopio.
- La propuesta de puesta en marcha se presentó con éxito dentro de la especialidad mecánica, en específico, parte hidráulica.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda que para futuros análisis de falla se tenga un método más moderno y práctico para la recopilación de información ya que actualmente la empresa trabaja la mayoría de sus formatos inspecciones, check list y órdenes de trabajo en papel.

Esto retrasa la recopilación de información y hace lento el proceso de análisis de data que ayuda a describir la característica de la falla.

Así mismo, se recomienda, revisar las políticas y procedimientos del área de compras para acelerar la emisión de OC's en caso de proyectos que conllevan largos tiempos de ejecución.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Latino, Mark A.; Latino, Robert J. y Latino, Kenneth C. (2011) Root Cause Analysis Improving Performance for Bottom- Line Results. CR PRESS.imprint
2. R. Keith Mobley (1999) Root Cause Failure Analysis. Newnes imprint
3. Geoff Vorley (2008) Mini Guide To Root Cause Analysis. Quality Management & Training Publications
4. Duke Okes (2019) Root Cause Analysis The core of Problem Solving and Corrective Action. ASQ Quality Press
5. ASM (2002) ASM Metals Handbook – Failure Analysis and Prevention. Vol. 11.ASM International.
6. Mott, Ronert L. (2006) Diseño de elementos de máquinas. Pearson Education.
7. *Hellier, Charles J. (2003) Handbook of nondestructive evaluation. Mc Graw-Hill Companies, Inc.*
8. Santiago García Garrido (2003) Organización y gestión integral de mantenimiento Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial. Ediciones Díaz de Santos S.A.
9. Enriquez, Jose Luis.; Tremps, Enrique.; Elío de Bengy, Susana. y Fernandez Segovia, Daniel. (2010) Laminación. Archivo digital de la Universidad Politécnica de Madrid.
10. Servin Castañeda, Rumualdo (1999) Caracterización y análisis de rodillos de laminación en caliente y frío. Repositorio universitario de la Universidad Autónoma de Nuevo León.