



Definición de modos de falla y taxonomía para máquina Teurema

Juan Fernando Villa Díaz

Trabajo de grado presentado para optar al título de ingeniero mecánico

Asesor interno

Sebastián López Gómez, Ingeniero (Ing.) mecánico

Asesor externo

Duban Calle Betancur, Especialista (Esp.) en gerencia de proyectos

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería mecánica

Medellín

2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo, y sobre todo el camino más lindo y representativo de mi vida hasta este momento a mis padres, hermanos, mi tía Nidia y a mi pareja que estuvieron a mi lado incondicionalmente, mostrándome la luz en aquellos momentos de oscuridad.

Agradecimientos

Agradezco a todos los docentes que enriquecieron mi mente de conocimiento, a mis compañeros con los que fortalecí mis habilidades y a toda mi alma mater que siempre me recibió con los brazos abiertos y no solo me formó académicamente, sino que me formó como un hombre con unos excelentes principios y valores.

Cita	(Villa Díaz, 2023)
Referencia	Villa Díaz, 2023. <i>Definición de modos de falla y taxonomía para máquina Teurema</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos

Tabla de contenido

Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
1. Objetivos.....	14
1.1. Objetivo general.....	14
1.2. Objetivos específicos.....	14
2. Marco teórico.....	15
2.1. PMO.....	15
2.2. Taxonomía de activos.....	15
2.3. Modos de falla.....	16
2.4. Trefilado.....	17
2.4.1. Pasos de trefilado.....	17
3. Metodología.....	20
3.1. Evaluación del estado actual.....	20
3.1.3. Ciclo del mantenimiento correctivo.....	21
3.1.4. Recopilación y análisis de información de averías en los últimos dos años.....	23
3.2. Definición de la taxonomía.....	27
3.2.1. Localización.....	28
3.2.2. Subdivisión de equipos.....	29
3.3. Identificación de modos de falla.....	32
3.3.1. Modos de falla en base a histórico de CM y PCM.....	32
3.3.2. Modos de falla en base a función y falla funcional de cada ítem mantenible.....	42
4. Resultados.....	47
5. Análisis.....	48
6. Conclusiones.....	49
Referencias.....	50

Lista de tablas

Tabla 1. Ejemplo de taxonomía	28
Tabla 2. Taxonomía de niveles de localización.	29
Tabla 3. Taxonomía subdivisión de equipos.....	30
Tabla 4. Modos de falla en base a históricos de mantenimientos correctivos y mantenimientos correctivos programados.....	33
Tabla 5. Modos de falla para cada ítem mantenible.....	44

Lista de figuras

Figura 1. Pirámide jerárquica de la taxonomía de activos	16
Figura 2. Ciclo del mantenimiento correctivo.	22
Figura 3. Documentación de una orden de trabajo registrada en software FIIX.	23
Figura 4. Cantidad de ordenes de trabajo por tipo de mantenimiento.....	23
Figura 5. Cantidad de ordenes de trabajo por zona de máquina.	24
Figura 6. Cantidad de ordenes de trabajo de mantenimiento correctivo por zona de máquina.....	25
Figura 7. Cantidad de ordenes de trabajo de mantenimiento correctivo planificado por zona de máquina.	25
Figura 8. Cantidad de horas de trabajo invertidas en mantenimiento correctivo y mantenimiento correctivo planificado por zona de máquina.	26
Figura 9. Cantidad de horas de trabajo invertidas en mantenimiento correctivo por zona de máquina.....	26
Figura 10. Cantidad de horas de trabajo invertidas en mantenimiento correctivo planificado por zona de máquina.....	27
Figura 11. Modos de falla en Wire Draw.....	36
Figura 12. Modos de falla en Spooler	37
Figura 13. Modos de falla en Spooler	38
Figura 14. Modos de falla en Teurema	38
Figura 15. Modos de falla en Descaler	39
Figura 16. Modos de falla en Spooler Hydraulic unit.....	40
Figura 17. Modos de falla en Tablero eléctrico	40
Figura 18. Modos de falla en Wire lub	41
Figura 19. Modos de falla en Wire Draw hydraulic unit	41
Figura 20. Esquema para la definición de modo de falla.....	42

Figura 21. Modos de falla para FL/WD1/ DEV/SDV/DE1 43

Lista de anexos

Anexo 1. Análisis de funciones y definición de fallas para cada ítem mantenible

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
Esp.	Especialista
Ing.	Ingeniero
UdeA	Universidad de Antioquia
ISO	International Organization for Standardization
PMO	Optimización del mantenimiento preventivo
WMC	Wire Mesh Corp.
CM	Mantenimiento correctivo
PCM	Mantenimiento correctivo planeado
CMMS	Sistema computarizado de gestión de mantenimiento
RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad

Resumen

El siguiente proyecto se va a implementar en una de las plantas de la compañía Wire Mesh Corp. (WMC) ubicada en Florida, Estados Unidos; Explícitamente, el proyecto desea aplicarse en una de las líneas de producción de trefilado.

Para desarrollar el proyecto se tiene como guía la metodología de mantenimiento PMO, de la cual se utilizan los primeros pasos como recopilación, análisis, revisión y agrupamiento de datos asociados a fallas de los activos que intervienen en el proceso de trefilado. De la misma manera, en el proyecto se busca implementar la taxonomía para dichos activos según la norma ISO 14224, una vez se haga esto se va a tener un mayor control en la documentación de fallas y un gran avance para lograr la implementación de metodologías de mantenimiento.

Palabras clave: Mantenimiento, metodología de mantenimiento, taxonomía, PMO, CMMS, modo de falla.

Abstract

The following project it's to be implement in one of the Wire Mesh Corp. (WMC) plant located in Florida, United States; most specifically, this project is to be applied in one of the wire drawing production lines.

To develop the project, the PMO maintenance methodology is used as a guide, from this methodology it's going to be used the first steps which are collection, analysis, review and grouping of data associated to failures of the assets involved in the wire drawing process. In the same way, the project seeks to implement the taxonomy for these assets according to ISO 14224, once this is done; there will be a greater control in the documentation of failures and a breakthrough to achieve the implementation of maintenance methodologies.

Keywords: Maintenance, maintenance methodology, taxonomy, PMO, CMMS, failure mode.

Introducción

Grupo Turia está compuesto por 3 grandes compañías: Optimus Steel, Wire Mesh Corp. y Aceros Turia de Colombia; Optimus Steel y Wire Mesh Corp. tienen sus plantas de producción en Estados Unidos y gran parte de su zona administrativa se encuentra ubicada en Medellín, Colombia. Por su parte, Aceros Turia de Colombia tiene su planta y administración en el departamento de Antioquia, Colombia.

La compañía Wire Mesh Corporation (WMC) tiene implementadas algunas características de metodologías de mantenimiento, sin enfocarse completamente en una de ellas, sin embargo, la mayoría de las actividades y estrategias que se llevan a cabo tienden al RCM, es decir, al mantenimiento centrado en confiabilidad, esta metodología de mantenimiento permite identificar fallas potenciales de los equipos, identificar sus causas y posteriormente clasificar las fallas de acuerdo a su criticidad para implementar medidas que las eviten.

El registro de las diferentes actividades de mantenimiento debe ser digitalizadas y alimentar las bases de datos que tenga la compañía, esto sirve para tener un control mucho más ordenado y eficiente en comparación de métodos donde la información se redacta manualmente y se almacena en carpetas físicas. Existen softwares que son hechos para almacenar las bases de datos de mantenimiento y estos se conocen como “CMMS” o “sistema computarizado de gestión de mantenimiento”, dicho software centraliza la información de mantenimiento y facilita los procesos de las operaciones de mantenimiento. Ayuda a optimizar el uso y disponibilidad de equipos físicos como vehículos, maquinaria, comunicaciones, infraestructuras de planta y otros activos. El núcleo de un CMMS es su base de datos. Tiene un modelo de datos que organiza la información de los activos que una organización de mantenimiento debe mantener, así como los equipos, materiales y otros recursos para hacerlo. A partir de los datos que brinda el CMMS y entendiendo el contexto operacional de la empresa, se puede obtener información suficiente para aplicar metodologías de mantenimiento.

Actualmente en la compañía Wire Mesh Corp. se utiliza el software FIIX como CMMS el cual contiene información de cada una de las ordenes de trabajo ejecutadas en los diferentes tipos de mantenimiento que se llevan a cabo en la planta. En estas órdenes de trabajo se describe el tipo

de mantenimiento, el técnico que lo ejecuta, la avería que presenta la máquina, el tiempo que tardó el técnico en ejecutar la tarea, y la zona de la máquina a la que se le aplica el mantenimiento.

La zona de la máquina que aparece en el CMMS no está designada bajo el modelo de taxonomía, por lo tanto, no es posible identificar cuando la falla afecta una parte, un ítem mantenible, un sistema o el equipo.

Para los casos de mantenimiento correctivo, el técnico que ejecuta el mantenimiento describe el síntoma que presenta la máquina, es decir, como se manifiesta la falla al suceder, posteriormente hace un análisis en el que describe el problema, la posible causa y la solución. Sin embargo, el problema no está estandarizado, es decir, el técnico no tiene una lista de modos de falla predefinidos por el sistema, por lo tanto, tiene que describir el problema con sus propias palabras.

Entendiendo esto, el proyecto busca la manera de definir los modos de falla de cada una de las máquinas, investigando en los datos obtenidos por el CMMS en los últimos dos años y asociar dicha falla correctamente a cada ítem mantenible que solo puede lograrse implementando la taxonomía a cada uno de los activos y de esta manera tener un panorama más claro de la máquina. Esto haría que el técnico tenga preestablecidos unas opciones a elegir y ayudaría al equipo de mantenimiento que analiza estos datos para identificar aspectos como cuál es la parte de la máquina que más falla y por cual motivo, de la misma manera tomar decisiones e implementar mantenimientos preventivos o predictivos según sea necesario.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Estandarizar modos de fallas en la máquina Teurema, perteneciente a la línea de trefilado en una de las plantas de la compañía WMC ubicada en Florida.

1.2. Objetivos específicos

- Recolectar información y generar bases de datos de los últimos 2 años para la compañía WMC.
- Desarrollar la taxonomía de activos que componen la línea de trefilado.
- Definir modos de falla de cada uno de los activos

2. Marco teórico

2.1. PMO

“Optimización de Mantenimiento Preventivo (PMO) es una metodología de mantenimiento que se ha desarrollado para revisar en detalle los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos fijos en operación. Un sistema PMO, facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando se tienen los registros históricos de Mantenimiento Preventivo y la planta se mantiene bajo control. A partir de ahí, se logran fácilmente grandes mejoras con una adecuada asignación de los recursos; y el personal de mantenimiento puede enfocar sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta, o en sus limitaciones operativas específicas” García, O. (2007). El PMO tiene varios pasos a seguir, dentro de ellos se comienza con el reconocimiento de lo que se está haciendo, posteriormente se hace un análisis del historial de fallas de los equipos identificando cuál de estas fallas tiene una mayor afectación en la máquina para el proceso. De esta manera se hace un análisis de causa raíz y posteriormente se lleva a cabo un proceso de optimización de las actividades de mantenimiento.

2.2. Taxonomía de activos

Según la norma ISO 14224 es una clasificación sistemática de elementos en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a todos los elementos (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.). En otras palabras, la taxonomía se encarga de crear la identificación de los activos de acuerdo con su posición en la jerarquía basada en los factores antes mencionados.

La norma ISO 14224 ofrece una pirámide jerárquica de clasificación taxonómica con 9 niveles, siendo el nivel 1 el más alto, el cual representa el tipo de industria, y el nivel 9 el más bajo, representando una parte o pieza.

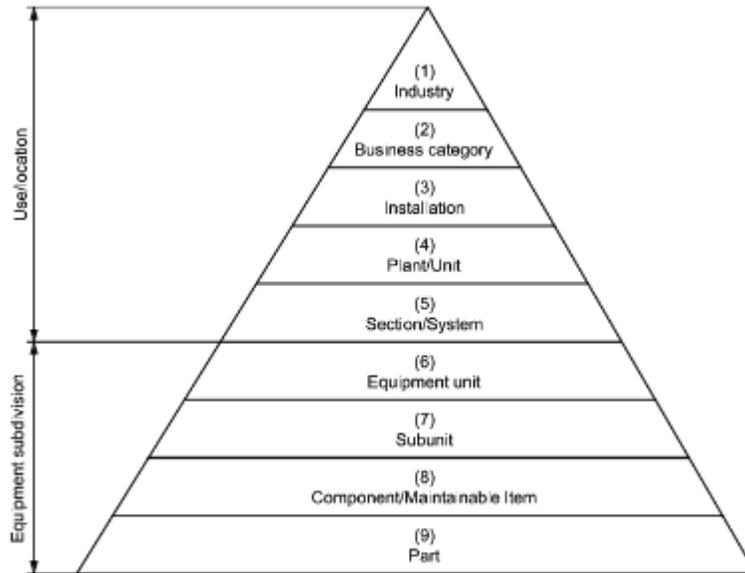


Figura 1. Pirámide jerárquica de la taxonomía de activos

Fuente: ISO 14224 industria del petróleo y del gas natural-recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipo

Además, la pirámide también indica que los niveles del 1 al 5 se refieren al uso y ubicación del activo, mientras que los niveles del 6 al 9 representan la subdivisión del activo.

“La taxonomía de activos en la inspección o análisis de monitoreo de condiciones es de vital importancia para que la información recolectada en los informes sea más fácil de entender y así facilitar la toma de decisiones. Dicho de otra manera, la taxonomía ayuda a que dicha información se relacione al nivel de la jerarquía taxonómica correspondiente y así tenga un significado claro y comparable para determinar la condición del activo inspeccionado”. Torres, C. (2020).

2.3. Modos de falla

La norma ISO 14224 define el modo de falla como un efecto a través del cual una falla es observada, es decir, el modo de falla puede ser el síntoma cuantificable o evento que indica la ocurrencia de una falla. (Estándar europeo [ISO], 14224). Por su parte, la norma SAE JA 1012 define el modo de falla como un evento único que causa una falla funcional (causa primaria de falla) y lo diferencia de la causa-raíz (causa fundamental). (Estándar [SAE], 1012)

Un modo de falla podemos definirlo como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función o, en otras palabras, la forma en que un activo falla. A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención, dentro del proceso de Administración del Riesgo estas acciones pueden ser orientadas a desviaciones del proceso, factores humanos, etc.

2.4. Trefilado

Lo que se conoce como trefilado es una operación de conformación. Se da en la reducción de sección de un alambre, para luego hacerlo pasar mediante un orificio específico, de forma de cono. En este proceso, los materiales que se emplean con más frecuencia para su conformación a través del trefilado son el aluminio, el cobre, el acero y los latones.

Basándonos en una definición más exacta, el trefilado consiste en el estirado del alambre en frío. Ello se da a través de una serie determinada de pasos sucesivos, mediante hileras o trefilas de carbono de tungsteno. La reducción de sección es lo que le otorga al material una determinada acritud, lo cual favorece sustancialmente la calidad y las posibilidades de sus características mecánicas.

Las reducciones que se pueden alcanzar a través del trefilado dependen de distintos factores. Entre ellos, se destacan el diámetro de las barras que se van a trabajar y su longitud. Si bien esto va variando en función de cada fabricante, cuando hay barras de hasta 15 mm de nacho se suele dar una pasada ligera para así poder mejorar sus acabados superficiales. Cuando se trata de tamaños más pequeños, lo que se puede conseguir es una reducción del 50%

El proceso de trefilado en distintos materiales aporta una serie de ventajas. Estas, son propias específicamente del conformado en frío, algunas de ellas son: Mayor precisión dimensional, mejor calidad superficial, aumento sustancial en la dureza, aumento sustancial en la resistencia y capacidad de producir secciones que son muy finas. (Perfiles de Aluminio, 2022).

2.4.1. Pasos de trefilado

Claro está que los pasos a seguir varían en función de cómo se lleve a cabo el proceso de trefilado. De todas maneras, se puede establecer una serie de pasos que se repiten en líneas generales. Estos son:

2.4.1.1. Patentado

Tratamiento térmico que calienta el alambre hasta una temperatura determinada necesaria, para luego enfriarlo bruscamente, frecuentemente a través de un baño de plomo. Esto, lo que hace es dar al material una estructura dúctil.

2.4.1.2. Devanado

Dado que el alambre viene en una presentación de bobina, este necesita ser sometido a un proceso de devanado, donde se toma uno de los extremos del alambre y se lleva a una altura determinada y por medio de un estirado con poleas se elimina su memoria de forma.

2.4.1.3. Decapado

Se limpia el material para eliminar el óxido que puede haberse formado en su superficie. Esto por lo general se efectúa a través de ataques químicos o por medio de deformación del alambre.

2.4.1.4. Lubricado

Se impregna una capa de lubricación sobre la superficie del alambre, para que este pueda deslizar adecuadamente en los dados o rodajas que disminuyen el diámetro del alambre en el paso posterior.

2.4.1.5. Trefilado o disminución de la sección transversal del alambre

En este paso, el alambre pasa por dados o rodajas encargadas de disminuir la sección transversal del alambre. Existen diferentes tipos de trefiladoras, algunas son de 4 pasos, otras de 9 y 10 pasos, todo esto depende del diseño del fabricante. El número de pasos determina el número

de veces que el alambre disminuye su sección transversal antes de llegar al tamaño deseado para ser comercializado.

2.4.1.6. *Acabado*

Se somete el material a operaciones de enderezamiento, de eliminación de tensiones, como así también, aunque no siempre a tratamientos isotérmicos para mejorar sus características mecánicas. (Perfiles de Aluminio, 2022).

2.4.1.7. *Encarretado*

El último paso es el encarretado, donde se forma una bobina de alambre con las especificaciones dadas para ser comercializada.

3. Metodología

3.1. Evaluación del estado actual

WMC lleva a cabo 2 procesos que son malla y trefilado, siendo el último el más importante, ya que uno de los productos que comercializa la compañía es el alambre trefilado, por otra parte, para hacer las mallas se utiliza alambre trefilado, dado esto, ambos productos deben pasar obligatoriamente por el proceso de trefilado antes de ser comercializados.

El proceso de trefilado que se lleva a cabo en la compañía no aplica patentado, es decir, el alambre no se somete a un proceso térmico para darle ductilidad al alambre, básicamente los pasos por los que pasa el alambre en medio del proceso de trefilado son: devanado, decapado, lubricado, reducción de sección transversal o trefilado y encarretado.

La planta de Florida cuenta con 8 máquinas trefiladoras, y una de ellas es la Teurema LTV-COM que es considerada una de las más importantes de la planta, por la gran cantidad de toneladas de acero que genera. Por lo tanto, esta máquina es elegida para la implementación del proyecto.

3.1.2. Clasificación de averías

Las averías que se presentan en planta están catalogadas en mantenimiento correctivo y mantenimiento correctivo programado.

3.1.2.1. *Mantenimiento correctivo*

Se considera mantenimiento correctivo, cuando la avería afecta considerablemente alguna parte de la máquina, hasta el punto en que esta debe parar su producción y se debe intervenir inmediatamente.

3.1.2.2. *Mantenimiento correctivo programado o planificado*

Se considera mantenimiento correctivo planificado cuando la avería no es lo suficientemente grave como para que afecte la producción, es decir, la máquina puede seguir funcionando. También el mantenimiento correctivo programado se usa para llevar registro de alguna parte de máquina que esté siendo reparada.

3.1.3. Ciclo del mantenimiento correctivo

Actualmente, en la compañía WMC, se tiene un registro de todas las averías que se presentan en el CMMS FIIX, en la *figura 2* se muestra el ciclo del mantenimiento correctivo.

El ciclo consta de 7 pasos:

1. Identificación de una falla.
2. Abrir FIIX en un dispositivo móvil o en una computadora.
3. Documentación en FIIX del síntoma (Como se manifiesta la avería al momento de suceder)
4. Aplicación del mantenimiento correctivo.
5. Documentación en FIIX por parte del técnico. En este paso, el técnico debe escribir en la orden de trabajo cual fue el problema que se presentó, cual fue la causa de que dicho problema se presentara y cuál fue la solución para que la máquina nuevamente preste servicio.
6. Análisis de la documentación de la falla por parte del departamento de mantenimiento, posteriormente, se propone un mejoramiento o una nueva implementación de rutinas de mantenimiento preventivo.
7. (Solo aplica en algunas ocasiones) En caso de que una parte de la máquina sea reemplazada y esta tenga arreglo, se crea una orden de trabajo de mantenimiento correctivo programado para tener un registro de este.

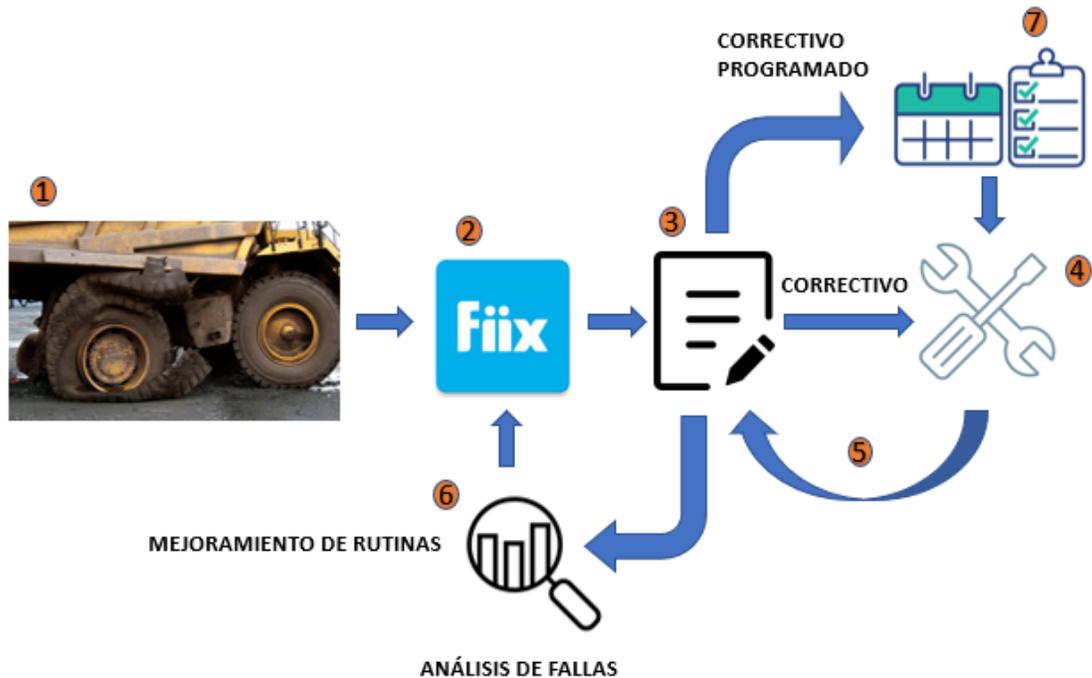


Figura 2. Ciclo del mantenimiento correctivo.

Dado que una avería puede ser identificada por los operarios de producción, supervisores, técnicos, gerentes y líderes de mantenimiento, se da la potestad y además todos y cada uno están capacitados para generar una orden de trabajo en FIIX bien sea de mantenimiento correctivo o mantenimiento correctivo programado haciendo la documentación del síntoma tal como lo indica el paso 3. Una vez es creado el requerimiento, es deber del líder de mantenimiento asignar al técnico responsable de ejecutar el mantenimiento y este hace la documentación requerida en el paso 5 (problema, causa y solución) en FIIX.

En la *figura 3* se muestra la documentación de una orden de trabajo, donde en el campo “Description” se escribe el síntoma, y en “Completion notes” se hace la documentación del problema, causa y solución.

Date	Maintenance Type	Status	Code	Description	Completion Notes	Asset	Completed By	Hours
12/13/2022	Corrective/Correctivo	Closed, Completed	86719	Fuga de aceite	p. fuga de aceite c. tubería dañada x posible golpe de alambre S. cambio de tubería	FL Teurema Spooler	FL Hernandez:David	4.50

Figura 3. Documentación de una orden de trabajo registrada en software FIIX.

3.1.4. Recopilación y análisis de información de averías en los últimos dos años

Para realizar un análisis de las averías que se han presentado en la máquina Teurema LTV-COM, se toma el historial de fallas presentadas desde el primero de enero de 2021, hasta el 18 de octubre de 2022. Esta información es tomada directamente de la base de datos de FIIX, donde nos muestra el detalle de cada orden de trabajo tal como se muestra en la *figura 3*, tanto para los mantenimientos correctivos, como para los mantenimientos correctivos planificados.

En la *figura 4* se muestra la distribución de fallas de mantenimiento correctivo y mantenimiento correctivo planificado, donde se aprecia que 202 averías corresponden a mantenimiento correctivo y 147 a mantenimiento correctivo planificado, para un total de 349 averías en el tiempo analizado.

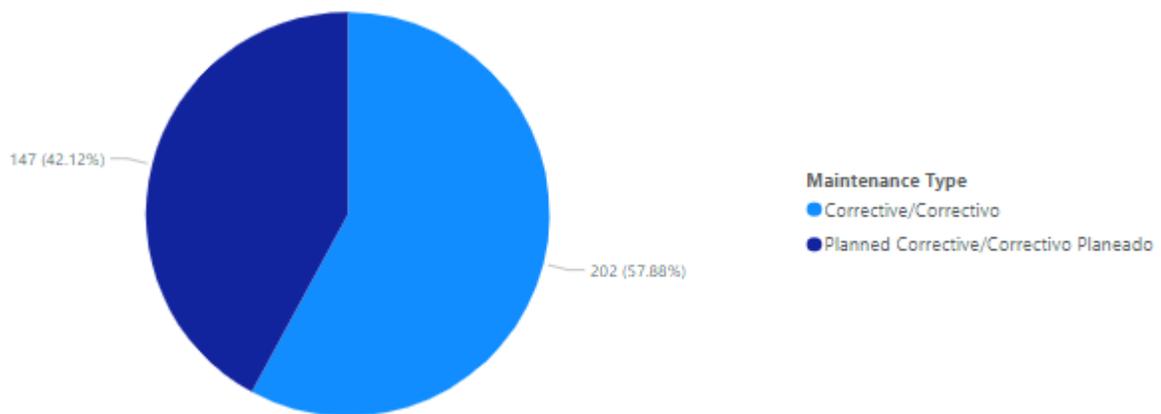


Figura 4. Cantidad de ordenes de trabajo por tipo de mantenimiento

Las 349 averías pueden catalogarse en las zonas que hasta ahora están definidas en el sistema tal como se muestra en la *figura 5*.

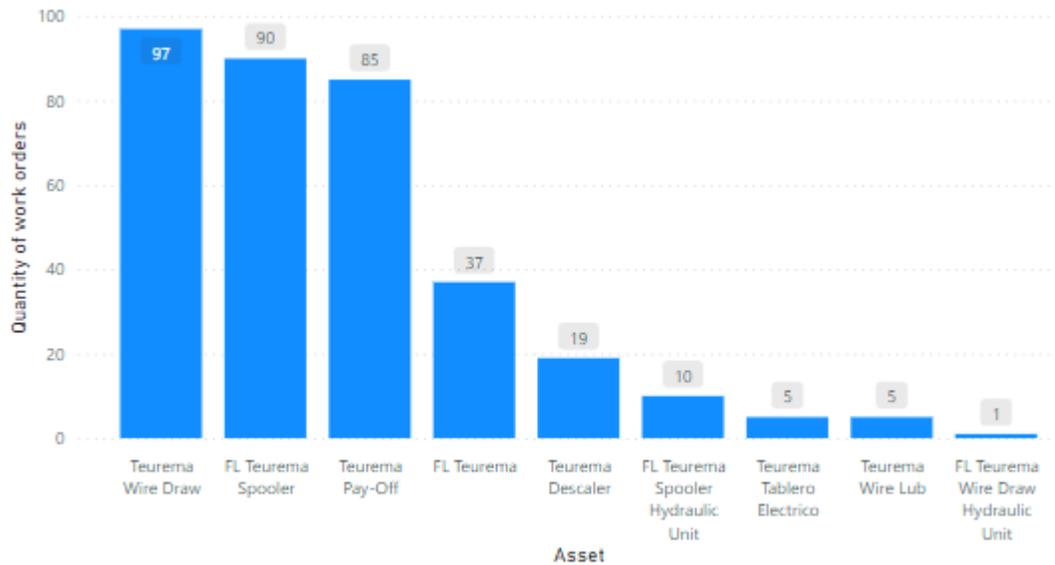


Figura 5. Cantidad de ordenes de trabajo por zona de máquina.

Por su parte, en la *figura 6* se aprecia la cantidad de mantenimientos correctivos por zona de máquina, donde se evidencia que el Wire Draw, es decir, la zona donde se realiza la disminución de sección transversal del alambre es la que más número de eventos presenta con un total de 61, y de la misma manera, pero en este caso para los mantenimientos correctivos programados se evidencia en la *figura 7* que la zona con más eventos es el Pay-off, es decir, la zona donde se da el proceso de devanado, algo interesante a destacar en este punto, es que tal como se aprecia en la *figura*, en la suma de mantenimientos correctivos y correctivos programados, esta zona se encuentra en la tercera posición, pero en cuanto a solo mantenimientos correctivos programados está en la primera casilla, indicando que aunque las fallas que se presentan en esta zona no necesariamente implican un paro inmediato de máquina, si requiere de una programación de paro de máquina y realizar un mantenimiento a esta.

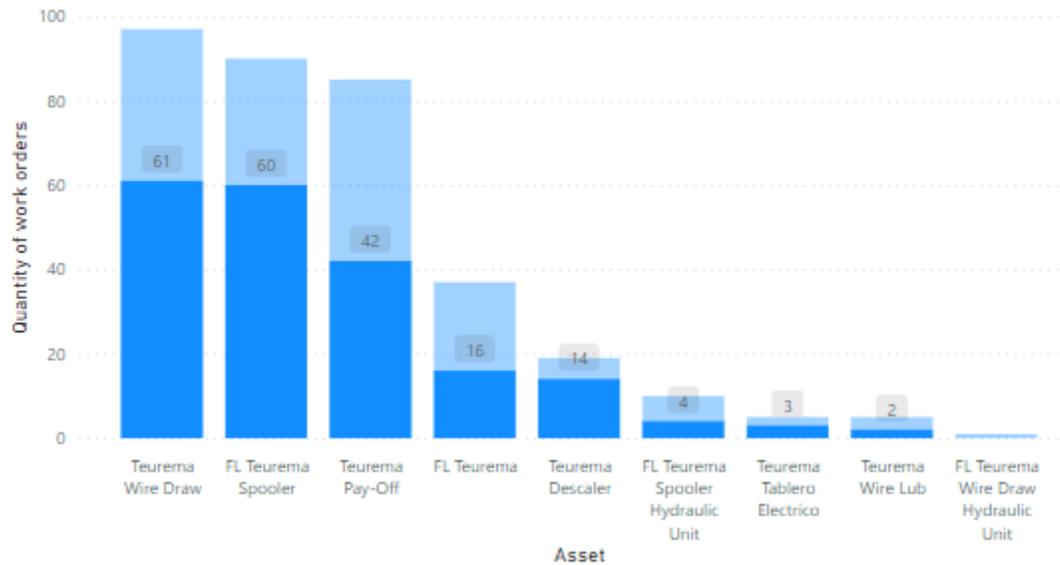


Figura 6. Cantidad de ordenes de trabajo de mantenimiento correctivo por zona de máquina.

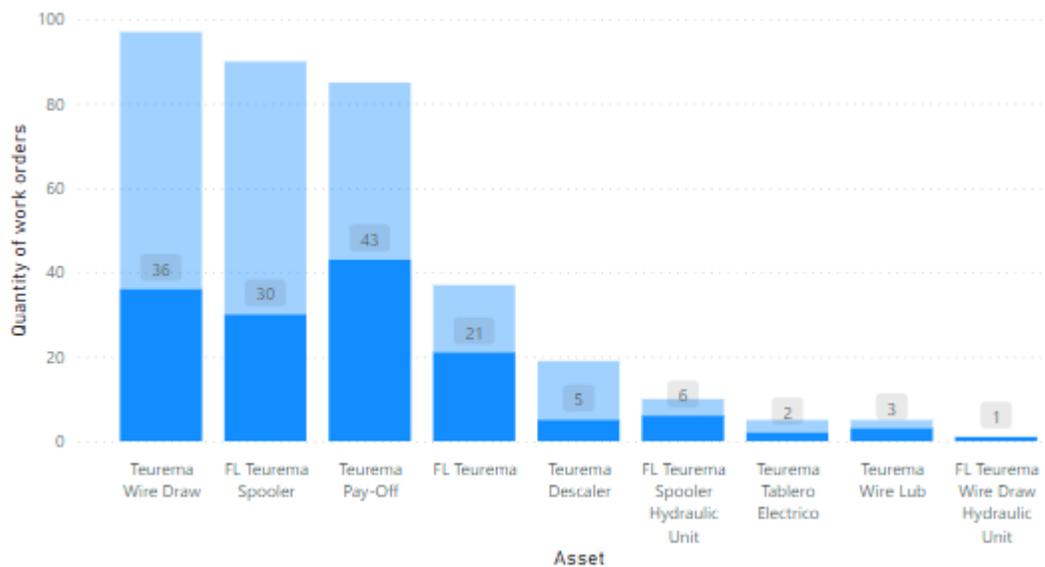


Figura 7. Cantidad de ordenes de trabajo de mantenimiento correctivo planificado por zona de máquina.

Con el fin de mostrar la cantidad de horas invertidas tanto en mantenimiento correctivo, como en mantenimiento correctivo programado se realiza el gráfico de horas invertidas por zona de máquina en la *figura 8*, donde se evidencia que el tiempo de reparación de fallas de zonas como el Pay Off y Wire Draw representan el 57% de todo el tiempo invertido en mantenimientos correctivos y correctivos programados.

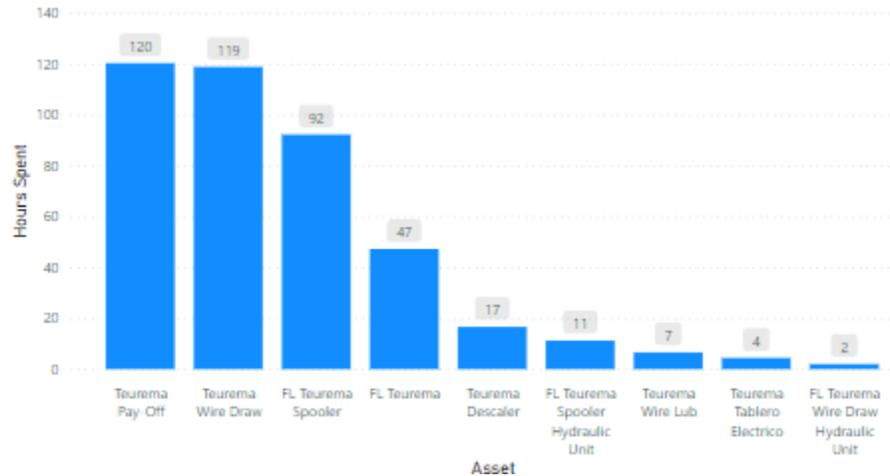


Figura 8. Cantidad de horas de trabajo invertidas en mantenimiento correctivo y mantenimiento correctivo planificado por zona de máquina.

De manera detallada, se muestra la cantidad de horas invertidas de mantenimiento correctivo en la *figura 9* en la que el protagonismo se lo lleva la zona wire draw con un total de 88 horas invertidas en mantenimiento correctivo, por su parte, en la *figura 10* se aprecia la zona que más demanda de tiempo de reparación tuvo fue el pay-off, con un total de 71 horas.

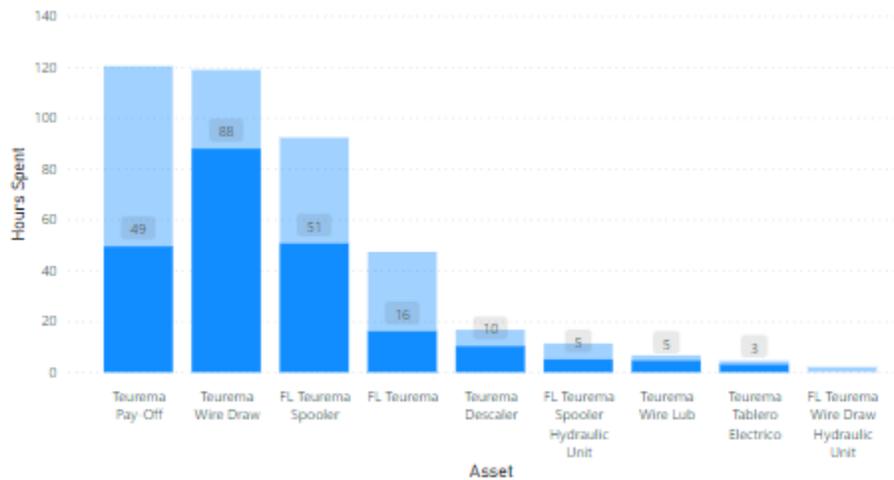


Figura 9. Cantidad de horas de trabajo invertidas en mantenimiento correctivo por zona de máquina.

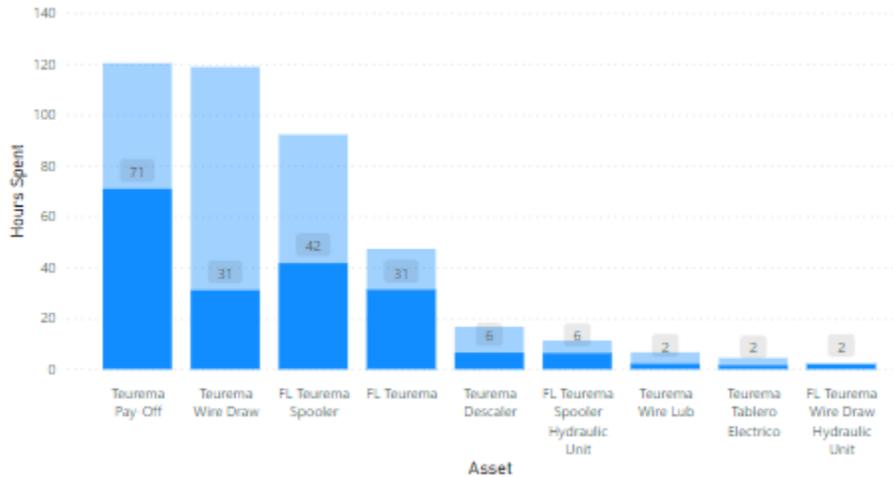


Figura 10. Cantidad de horas de trabajo invertidas en mantenimiento correctivo planificado por zona de máquina.

3.2. Definición de la taxonomía.

De acuerdo con la norma ISO 14224 industria del petróleo y del gas natural-recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipo, se recomienda una estructura de taxonomía tal como se mostró en la *figura 1*. Con el fin de ampliar esta información se muestra la *tabla 1*, tomada de la norma, donde se detalla el nivel jerárquico, su definición y algunos ejemplos que se pueden dar en estos.

Tabla 1. Ejemplo de taxonomía

	Nivel	Descripción	Definición	ejemplo
Datos de uso/localización	1	Industria	Tipo principal de industria	Petróleo, petroquímico, alimentos, minería
	2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o proceso	Extracción, producción, refinación, petroquímica
	3	Categoría de la instalación	Tipo de facilidad	Producción, transporte, perforación
	4	Planta/unidad	Tipo de planta o unidad	Plataforma, estación de compresión, planta de metanol
	5	Sección/sistema	Sección principal/ sistemas de la planta	Compresión, licuefacción, regeneración, oxidación
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo	Clase de equipos similares. Cada clase contiene unidades de equipos comparables	Intercambiador de calor, compresor, tubería, bomba, caldera
	7	Subsistema	Subsistema necesario para que el equipo funcione	Lubricación, enfriamiento, control, calentamiento
	8	Componente/ítem mantenible	Grupo de partes del equipo que son mantenidos (reparación/ restaurados) como un todo	Enfriador, reductor, bomba de aceite, loop de instrumentos, válvula
	9	Parte	Una pieza o repuesto de un equipo	Sello, tubo, carcasa, impeller

Fuente: ISO 14224 industria del petróleo y del gas natural-recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipo

Como muestra la *tabla 1* los niveles que van desde el 1 hasta el 5 pertenecen a la localización, y estos permiten identificar y clasificar el sistema, tipo actividad que se lleva a cabo, hasta el sector de la industria al que pertenece. Por su parte, los niveles que van desde el 6 hasta el 9 pertenecen a la subdivisión de equipos, los cuales permiten conocer las características al nivel más bajo, donde se puede evidenciar el modo de falla. Para este estudio en particular se omiten los niveles 1, 2, 3 y 9. Ya que los niveles 1, 2 y 3 no son relevantes dentro del análisis de fallas y el nivel 9 es un nivel muy detallado, que para el objetivo del proyecto aún no es necesario llegar.

3.2.1. Localización

Tal como se mencionó anteriormente, solo se tiene en cuenta el nivel 4 y el nivel 5 del orden jerárquico tal como lo propone la norma. El nivel 4 va a ir asociado a la planta Florida, dado que WMC tiene 9 plantas repartidas en el país. De la misma manera, como la compañía tiene

producción de alambre trefilado y mallas para la construcción. En este caso el nivel 5 será asociado a Trefilado.

3.2.1.1. Codificación de localización.

Se debe realizar una codificación que muestre de manera clara y concisa el activo y la planta donde se encuentra ubicado este. En este caso las letras FL hacen alusión a la planta florida. El nivel 5 que se refiere a la sección o sistema, debe catalogarse con las letras “WD” que son las iniciales de “Wire Draw”, ya que su traducción es “Trefilado”, seguidamente debe llevar los números 01, que la identifican como la trefiladora #1 con respecto a las demás que tiene la planta.

Tabla 2. Taxonomía de niveles de localización.

Planta/Unidad	Sección/Sistema	Codificación
Florida	WD1	FL/WD1

3.2.2. Subdivisión de equipos

La subdivisión del equipo comienza desde la clase de equipo que se refiere al nivel 6 en la escala jerárquica, dicho nivel en este caso va a ser ocupado por las clases de equipo que tiene la trefiladora, posteriormente se hace la clasificación de sus subsistemas, y componentes o ítems mantenibles. La clasificación de subsistemas e ítems mantenibles se hizo a partir del manual brindado por el fabricante, además con el apoyo de personal especializado que se encuentra en planta y tiene experiencia en el uso, montaje y desmontaje del activo.

3.2.2.1. Codificación de equipos.

Ahora que se tienen definidos los niveles para la taxonomía se procede a dar una codificación a estos, de manera que los códigos permitan identificar dónde está ubicado el ítem mantenible. Esta clasificación y codificación puede verse en la *Tabla 2*. Primeramente, se cataloga la clase de equipo, seguidamente se cataloga el subsistema y finalmente el ítem mantenible que es quien va a llevar la codificación completa.

Tabla 3. Taxonomía subdivisión de equipos.

Clase de equipo	Subsistema	Componente/Ítem mantenible	Codificación
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Pay-Off 1	FL/WD1/ DEV/SDV/PO1
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Pay-Off 2	FL/WD1/ DEV/SDV/PO2
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Carro	FL/WD1/ DEV/SDV/CAR
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Polipasto	FL/WD1/ DEV/SDV/PPT
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Sistema de seguridad de torre	FL/WD1/ DEV/SDV/SSG
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Estructura de torre	FL/WD1/ DEV/SDV/ETR
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Bomba hidráulica	FL/WD1/ DEV/SDV/BHD
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Red hidráulica	FL/WD1/ DEV/SDV/RHD
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Actuadores hidráulicos	FL/WD1/ DEV/SDV/AHD
Devanadora	Sub-unidad de devanado	Control devanadora	FL/WD1/ DEV/SDV/CDV
Decalaminadora	Sub-unidad de decapado	Direccionamiento	FL/WD1/ DEC/SDC/DIR
Decalaminadora	Sub-unidad de decapado	Control decalaminadora	FL/WD1/ DEC/SDC/CDC
Decalaminadora	Sub-unidad de decapado	Sistema neumático	FL/WD1/ DEC/SDC/SNM
Jabonera	Sub-unidad de lubricación	Sistema de conducción	FL/WD1/ JAB/SLB/SCD
Jabonera	Sub-unidad de lubricación	Control jabonera	FL/WD1/ JAB/SLB/CJB
Banco de tambores y caseteras	Carcasa	Sistema hidráulico	FL/WD1/ TRE/CCS/SHD
Banco de tambores y caseteras	Carcasa	Sistema de seguridad	FL/WD1/ TRE/CCS/SSG
Banco de tambores y caseteras	Carcasa	Sistema neumático	FL/WD1/ TRE/CCS/SNM
Banco de tambores y caseteras	Carcasa	Control carcasa	FL/WD1/ TRE/CRC/CCR
Banco de tambores y caseteras	Unidad hidráulica pasos 1, 2 y 3.	Bomba hidráulica	FL/WD1/ TRE/UNH/BHD
Banco de tambores y caseteras	Unidad hidráulica pasos 1, 2 y 3	Control hidráulico	FL/WD1/ TRE/UNH/CHD
Banco de tambores y caseteras	Unidad hidráulica pasos 1, 2 y 3	Red hidráulica	FL/WD1/ TRE/UNH/RHD
Banco de tambores y caseteras	Unidad hidráulica pasos 1, 2 y 3	Actuadores hidráulicos	FL/WD1/ TRE/UNH/AHD

Banco de tambores y caseteras	Paso 1 trefilado	Casetera	FL/WD1/ TRE/P1T/CST
Banco de tambores y caseteras	Paso 1 trefilado	Bloque	FL/WD1/ TRE/P1T/BQE
Banco de tambores y caseteras	Paso 1 trefilado	Transmisión	FL/WD1/ TRE/P1T/TRM
Banco de tambores y caseteras	Paso 1 trefilado	Dancer	FL/WD1/ TRE/P1T/DAN
Banco de tambores y caseteras	Paso 1 trefilado	Control paso 1	FL/WD1/ TRE/P1T/CP1
Banco de tambores y caseteras	Paso 2 trefilado	Casetera	FL/WD1/ TRE/P2T/CST
Banco de tambores y caseteras	Paso 2 trefilado	Bloque	FL/WD1/ TRE/P2T/BQE
Banco de tambores y caseteras	Paso 2 trefilado	Transmisión	FL/WD1/ TRE/P2T/TRM
Banco de tambores y caseteras	Paso 2 trefilado	Dancer	FL/WD1/ TRE/P2T/DAN
Banco de tambores y caseteras	Paso 2 trefilado	Control paso 2	FL/WD1/ TRE/P2T/CP2
Banco de tambores y caseteras	Paso 3 trefilado	Casetera	FL/WD1/ TRE/P3T/CST
Banco de tambores y caseteras	Paso 3 trefilado	Bloque	FL/WD1/ TRE/P3T/BQE
Banco de tambores y caseteras	Paso 3 trefilado	Transmisión	FL/WD1/ TRE/P3T/TRM
Banco de tambores y caseteras	Paso 3 trefilado	Dancer	FL/WD1/ TRE/P3T/DAN
Banco de tambores y caseteras	Paso 3 trefilado	Control paso 3	FL/WD1/ TRE/P3T/CP3
Banco de tambores y caseteras	Paso 4 trefilado	Casetera	FL/WD1/ TRE/P4T/CST
Banco de tambores y caseteras	Paso 4 trefilado	Bloque	FL/WD1/ TRE/P4T/BQE
Banco de tambores y caseteras	Paso 4 trefilado	Transmisión	FL/WD1/ TRE/P4T/TRM
Banco de tambores y caseteras	Paso 4 trefilado	Dancer	FL/WD1/ TRE/P4T/DAN
Banco de tambores y caseteras	Paso 4 trefilado	Control paso 4	FL/WD1/ TRE/P4T/CP4
Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Guía hilos	FL/WD1/ ENC/SEC/GHL
Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Transmisión guía hilo	FL/WD1/ ENC/SEC/TRM
Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Bomba hidráulica	FL/WD1/ ENC/SEC/BHD
Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Red hidráulica	FL/WD1/ ENC/SEC/RHD
Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Actuadores hidráulicos	FL/WD1/ ENC/SEC/AHD

Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Control encarretadora	FL/WD1/ ENC/SEC/CET
Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Mesa giratoria	FL/WD1/ ENC/SEC/EMB
Encarretadora	Sub-unidad de encarretado	Transmisión encarretador	FL/WD1/ ENC/SEC/TRM
Sistema eléctrico	Sub-unidad de control	Tablero eléctrico	FL/WD1/ SEL/SCT/TEL
Sistema eléctrico	Sub-unidad de control	Red eléctrica	FL/WD1/ SEL/SCT/REL
Sistema eléctrico	Sub-unidad de enfriamiento	Aire acondicionado	FL/WD1/ SEL/SEF/AAC

3.3. Identificación de modos de falla

Los modos de falla pueden definirse como la forma en que un activo pierde la capacidad para desempeñar correctamente su función. Para definir los modos de falla de la trefiladora Teurema se realizan 2 análisis; uno de ellos basado en la documentación extraída de FIIX, y el otro se hace a partir de la definición de las funciones que tiene cada ítem mantenible y sus posibles fallas funcionales.

3.3.1. Modos de falla en base a histórico de CM y PCM

Todos los mantenimientos correctivos y correctivos programados que se mostraron en la *figura 4* tienen asociado un modo de falla, pero este debe ser identificado por el analista de datos, siguiendo la documentación de cada orden de trabajo, tal como se muestra en la *figura 3*. De acuerdo con esto, se hizo el análisis de las 349 averías que se presentaron y se obtuvieron un total de 83 modos de falla, y de estos se trató de identificar su causa en los que la documentación permitiera conocerla. En la *tabla 4* se muestra cada modo de falla y su causa.

Tabla 4. Modos de falla en base a históricos de mantenimientos correctivos y mantenimientos correctivos programados

Modo de falla	Causas
Acople desajustado	Vibración de la máquina
Acople desgastado	Exposición al ambiente
Acople roto	No analizable
Alambre reventado	Encoder sobrecargado
Alarma en devanadora	Polea desgastada
Alarma en jabonera	No analizable
Balancin faltante	No analizable
Bandas de transmisión desajustadas	Ausencia de mantenimiento preventivo
Bandas de transmisión reventadas	No analizable
Bomba atorada	Caudal de agua bajo
Botón desprendido	Mal uso por parte de operadores
Botón roto	No analizable
Cableado quemado	Corto circuito
Cableado suelto	Alambre se sale de guías
Carrete atorado	Carrete mal ubicado
Carro detenido	Alamabre atorado, sensor con lectura incorrecta, sensor quemado, no suelta gancho de sujeción
Chumacera rota	No analizable
Contrapunto atorado	Parámetros desajustados, electroválvula dañada
Control desajustado	No analizable
Dedo desajustado	Sensor desconectado, sensor sucio, pistón con fugas
Dedo ranurado	Mal uso por parte de operadores
Depósito roto	No analizable
Eje roto	Alambre se sale de guías
Empaque roto	Mal ajuste, desgaste
Encarretadora detenida	No analizable
Enderezador deformado	No analizable
Fluído contaminado con calamina	No analizable
Guardas de protección faltantes	Ausencia de mantenimiento correctivo
Guía de hilo atorado	Cadena reventada, posicionador quebrado, cable de profibus dañado, drive quemado

Guías desfasadas	No analizable
Impulsor bloqueado	Baja presión de agua
Incendio	Corto circuito
Manguera obstruída	Conexión de componentes incorrecta
Manguera rota	No analizable
Manometro roto	No analizable
Máquina apagada	Corto circuito
Motor detenido	Encoder sobrecargado
Motor sobrecalentado	Bajo nivel de aceite, motor sobrecargado
No analizable	No analizable
Pantalla apagada	Cable desconectado
Pantalla incompatible	Pantalla mal programada
Parametros desajustados	No analizable
Piedra inadecuada	Falta de mantenimiento preventivo
Piston atorado	Vástago doblado
Piston frenado	Ausencia de lubricación
Piston roto	No analizable
Plataforma detenida	No analizable
Polea atorada	Exceso de suciedad, rodamiento no gira
Polea desajustada	Tope de polea faltante
Polea desgastada	Falta de mantenimiento preventivo
Polea faltante	Tope de polea faltante
Polea incompatible	No analizable
Polea ranurada	Alambre atorado, exceso de fricción con cable
Puerta caída	Falta de mantenimiento preventivo
Puerta desajustada	Falta de mantenimiento preventivo
Pulidor detenido	Fusible quemado
Resorte roto	Exceso de carga
Rodaja desajustada	No analizable
Rodamiento atorado	Falta de lubricación, exceso de suciedad, desgaste por uso
Rodillo atorado	Rodamientos dañados, sobrecalentamiento de sistema
Rodillo desgastado	No analizable
Rodillo faltante	Mal montaje

Rodillo ranurado	Desgaste por fricción con alambre
Rodillo roto	No analizable
Sensor desconectado	Alambre se sale de guías
Sensor deshabilitado	Mal montaje
Sensor faltante	Mal montaje
Sensor mal posicionado	Alambre se sale de guías
Sensor quemado	Corto circuito
Sensor sucio	Falta de mantenimiento preventivo
Sistema de detección de nudos desahabilitado	No analizable
Soldadora apagada	Cable desconectado
SopORTE roto	Espesor de placa base muy delgada
Tablero eléctrico sobrecalentado	Aire acondicionado sin funcionamiento
Tambor desajustado	Encoder sobrecargado
Tambor desgastado	Desgaste natural por fricción con alambre
Tambor ranurado	Desgaste por fricción con alambre
Tornillo desajustado	Vibración de la máquina
Tornillo faltante	Vibración de la máquina
Tornillo roto	Exceso de carga
Tubería obstruída	No analizable
Tubería rota	No analizable
Unidad hidráulica sobrecalentada	Bomba dañada, mangueras obstruídas
Valvula rota	No analizable

La documentación de mantenimientos correctivos y correctivos programados en muchas ocasiones no tenía la suficiente información para determinar el modo de falla, y en algunos casos en los que se encontraba el modo de falla, la causa de esta no estaba documentada, por lo cual se clasificaron como “No analizable” Los modos de falla definidos anteriormente pueden segmentarse en las zonas actualmente existentes en FIIX.

Las 97 fallas que se presentaron en el Wire Draw, correspondiente a la zona donde se da el proceso de disminución de la sección transversal del alambre, pueden dividirse en los modos de falla mostrados en la *figura 11*. Más del 20% de los datos no son analizables por una

documentación pobre realizada por los técnicos de mantenimiento en el sistema FIIX, sin embargo, de la documentación analizable se evidencia que los rodamientos atorados son el modo de falla que más se repite para esta zona.

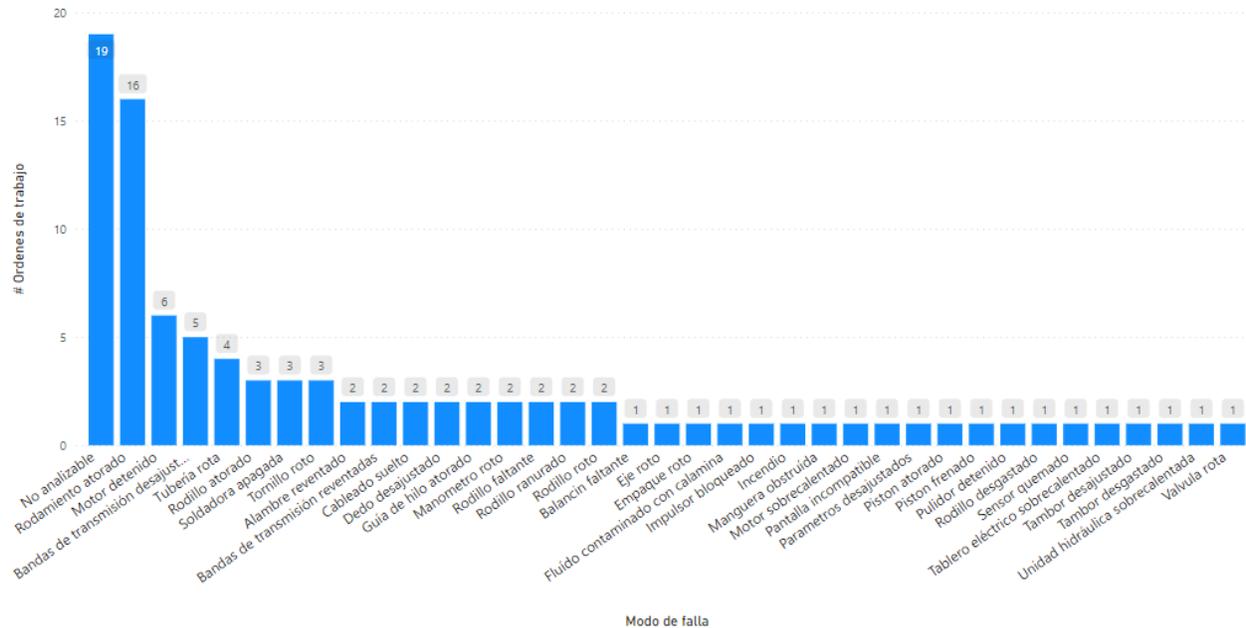


Figura 11. Modos de falla en Wire Draw

Las 90 fallas que se presentaron en el Spooler, correspondiente a la zona donde se da el proceso de encarretado, pueden dividirse en los modos de falla mostrados en la figura 12, donde la mayoría de estos no fueron analizables y seguidamente, el modo de falla mas recurrente es el guía de hilo atorado.

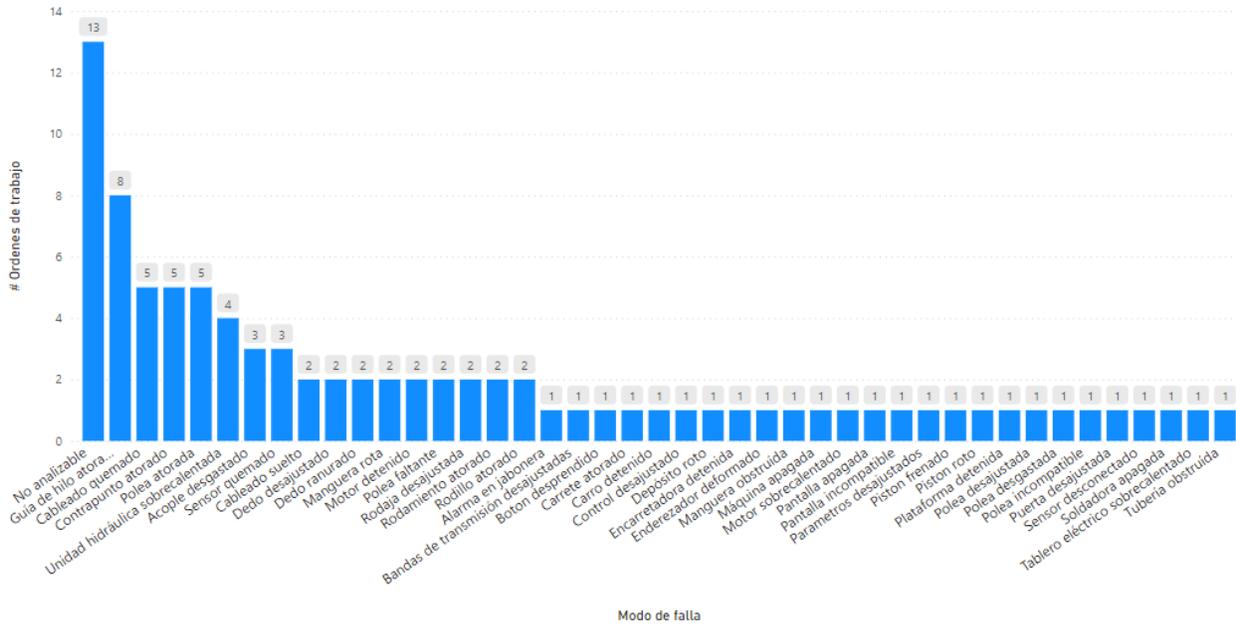


Figura 12. Modos de falla en Spooler

Las 85 fallas que se presentaron en el Pay-off, correspondiente a la zona donde se da el proceso de devanado, pueden dividirse en los modos de falla mostrados en la figura 13, donde el carro detenido es el modo de falla que más se repite con un total de 19 eventos, seguidamente el tambor desgastado es el modo de falla que se repitió en 14 órdenes de trabajo diferentes.

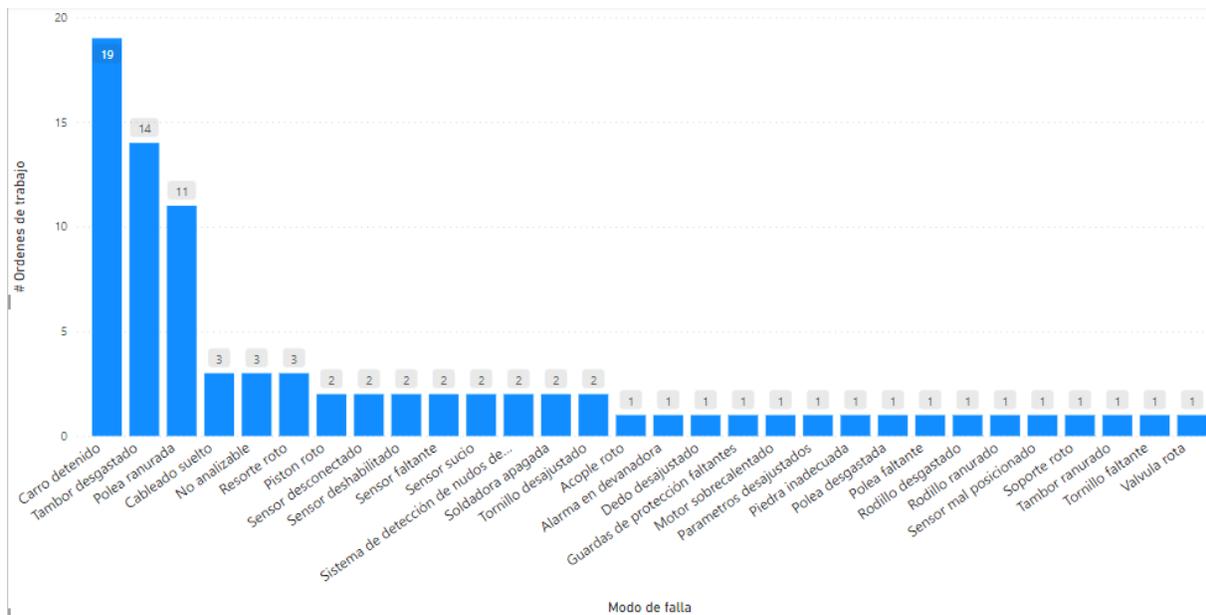


Figura 13. Modos de falla en Spooler

Las 37 fallas que se documentaron de manera errónea, es decir, a la máquina general, pueden dividirse en los modos de falla mostrados en la *figura 14*, donde la mayoría de estas no son analizables y seguidamente están modos de falla como polea ranurada, tornillo roto y unidad hidráulica sobrecalentada que debieron ser asignados a una de las zonas estipuladas para la máquina.

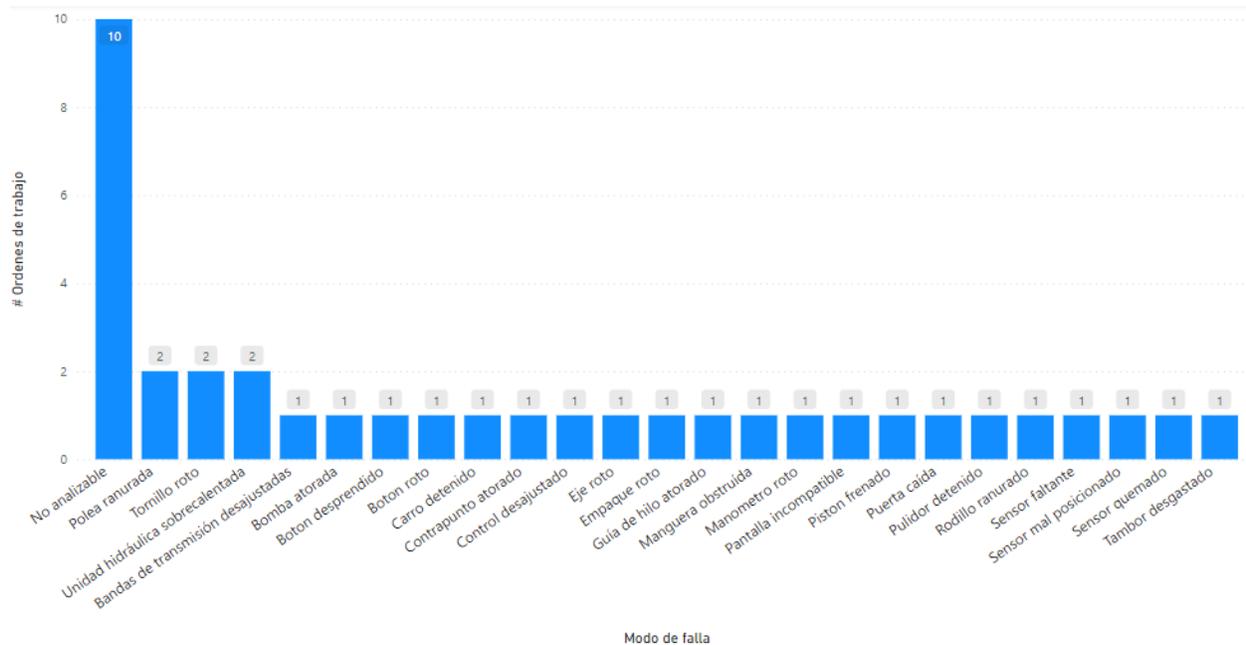


Figura 14. Modos de falla en Teurema

Las 19 fallas que se presentaron en el Descaler, correspondiente a la zona donde se da el proceso de decalaminado, la *figura 15* permite evidenciar que el rodamiento atorado es el modo de falla que más se repite con un total de 7 eventos.

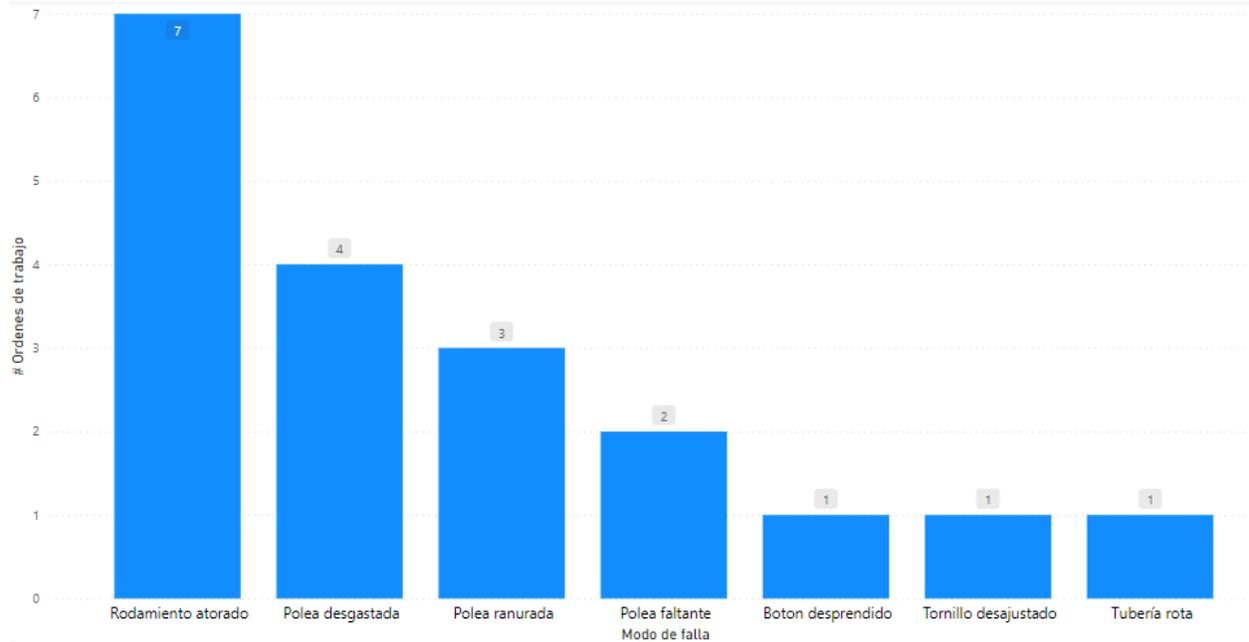


Figura 15. Modos de falla en Descaler

Las 10 fallas que se presentaron en el Spooler Hydraulic unit, correspondiente al sistema hidráulico de la zona donde se da el proceso de encarretado, pueden dividirse en los modos de falla mostrados en la *figura 16*, evidenciando que el modo de falla más recurrente es el empaque roto con 2 eventualidades, mientras que acople desajustado, acople desgastado, depósito roto y unidad hidráulica sobrecalentada solo ocurrieron una vez en el tiempo analizado.

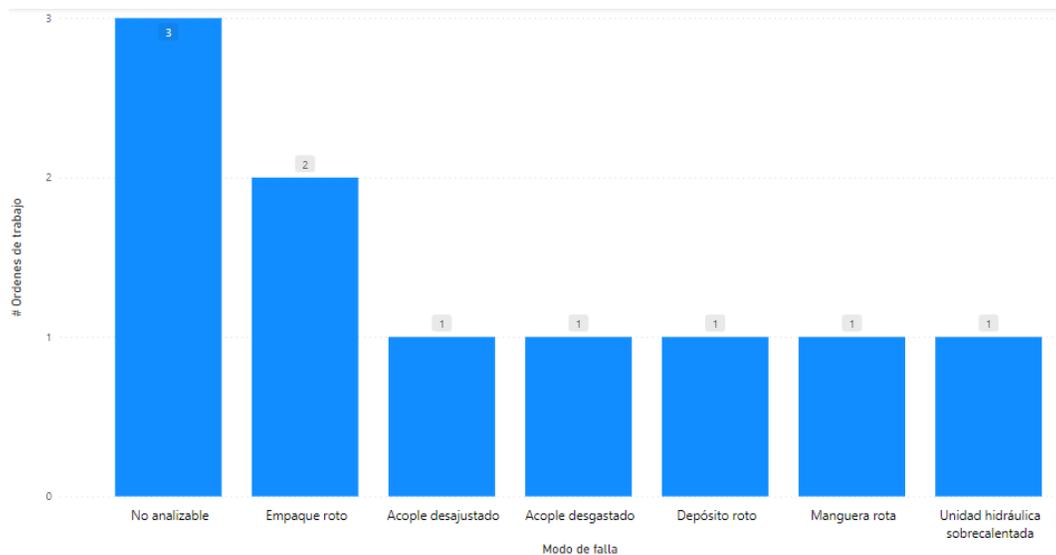


Figura 16. Modos de falla en Spooler Hydraulic unit

Las 5 fallas que se presentaron en el Tablero eléctrico, correspondiente al sistema donde se dan las ordenes de control de máquina, la *figura 17*, da evidencia de que pantalla incompatible es el modo de falla más recurrente en esta zona.

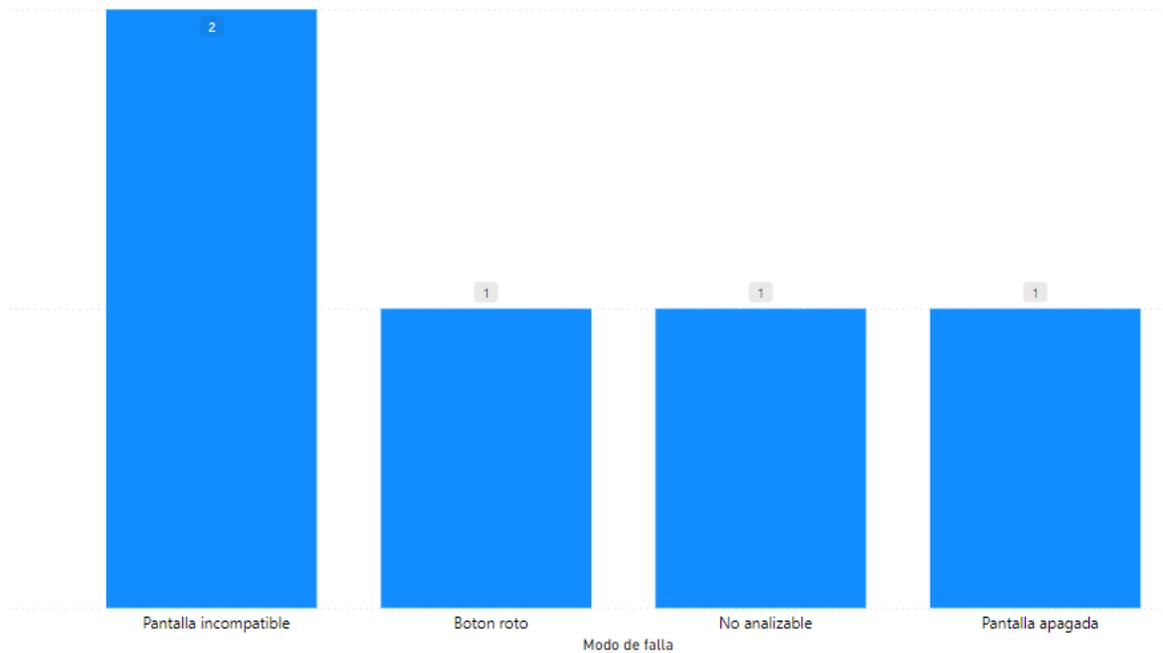


Figura 17. Modos de falla en Tablero eléctrico

Las 5 fallas que se presentaron en el Wire lub, correspondiente al sistema donde se da la lubricación del cable, pueden dividirse en los modos de falla mostrados en la *figura 18*. Debido a la pobre documentación casi el 50% de los mantenimientos reportados en esta zona no son analizables, seguidamente el rodamiento atorado es el modo de falla más repetido.

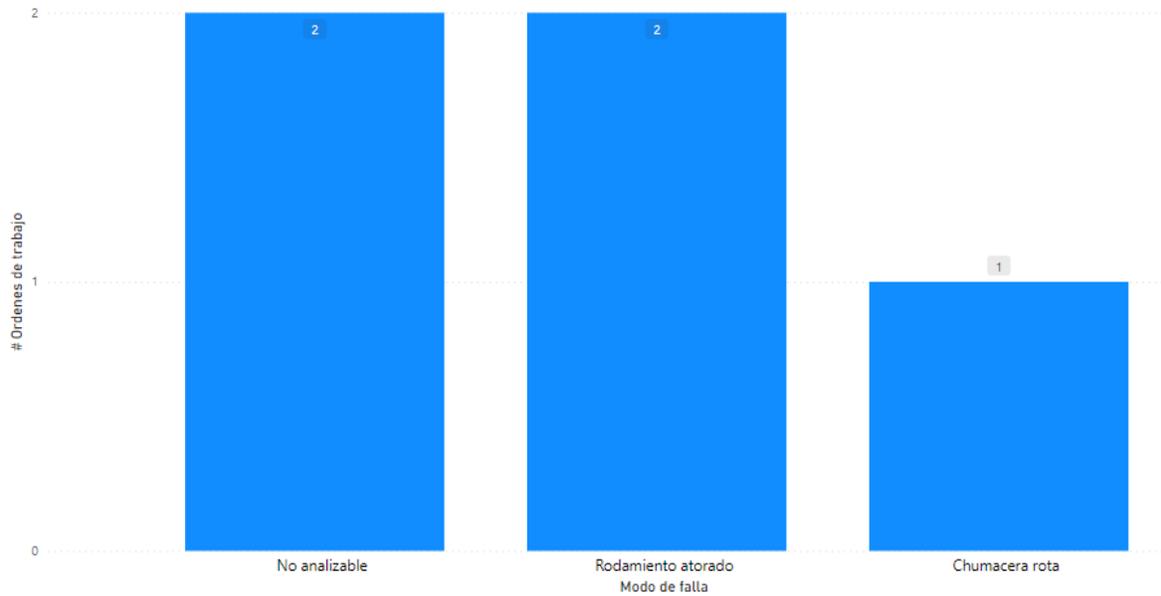


Figura 18. Modos de falla en Wire lub

Finalmente, la única falla que se presentó en el Wire Draw hydraulic unit correspondiente al sistema hidráulico de la zona donde se da el proceso de reducción de sección transversal del cable, fue guías desfasadas, tal como se aprecia en la *figura 19*.

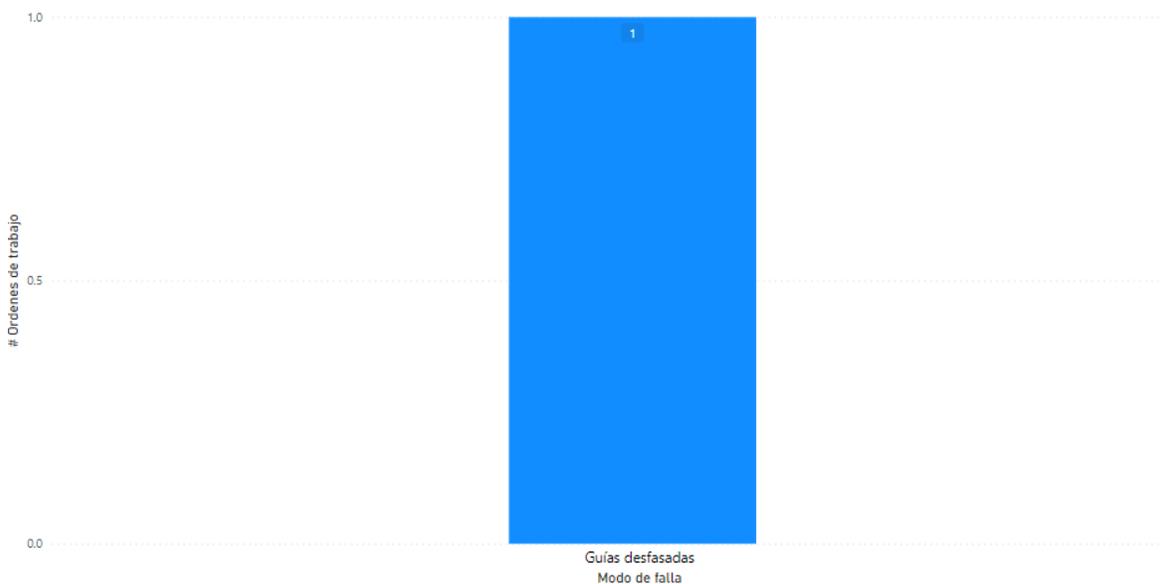


Figura 19. Modos de falla en Wire Draw hydraulic unit

Una vez hecho este análisis se pueden destacar algunos puntos y entender los modos de falla más recurrentes en cada una de las zonas que ya se han establecido. Sin embargo, muchos de los modos de falla no pueden asociarse directamente al ítem mantenible, sino hasta un nivel 6 y 7 de la taxonomía por la documentación tan poco específica.

3.3.2. Modos de falla en base a función y falla funcional de cada ítem mantenible

Las averías documentadas en el histórico de mantenimientos correctivos y correctivos programados no representan el 100% de los modos de falla a los que está expuesto el equipo, adicionalmente, tal como se evidenció en la *tabla 4* la mayoría de la documentación de mantenimientos correctivos y correctivos programados no son analizables, por lo tanto, se debe realizar un estudio más específico de cada uno de los ítems mantenibles presentados en la *tabla 3*. Para lo cual se realiza un estudio en el que se identifica cuál es la actividad o actividades que realiza cada ítem mantenible, cuales son aquellos eventos que no permiten que se realice dicha actividad y finalmente se asocian los modos de falla de cada uno de estos eventos. En la *figura 20* se muestra el proceso a realizar para dicho estudio.

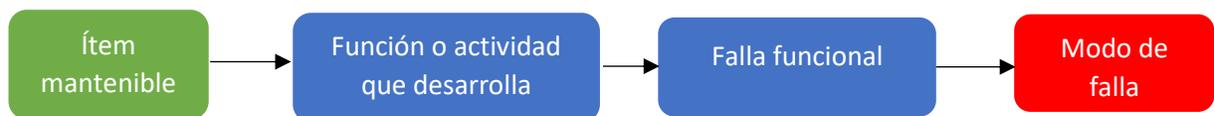


Figura 20. Esquema para la definición de modo de falla

El proceso mostrado en la *figura 20* se aplica en todos los ítems mantenibles. Describiendo todas y cada una de las funciones que este desarrolla, posteriormente, identificando las posibles fallas funcionales y finalmente encontrando todos y cada uno de los modos de falla que imposibilitan al ítem mantenible a desarrollar su función.

En la *figura 21* se muestra el análisis realizado para el Dedo 1, este es uno de los ítems mantenibles de la subunidad de devanado, el cual tiene como funciones soportar la bobina del alambre y restringir el desplazamiento de la bobina de alambre, tanto en el eje Y como en el eje X. Las posibles fallas funcionales a las que está expuesto este ítem es a soportar menos de 1980 kg, lo que imposibilita al ítem a realizar la función de soportar la bobina de alambre; otra posible

falla funcional a la que está expuesto el ítem es que el desplazamiento de la bobina en el eje Y o en el eje X sea mayor a 6 cm, lo que indica que el ítem no es capaz de mantener la bobina de alambre en la posición requerida. Estas dos fallas funcionales pueden ser provocadas por modos de falla como, estructura metálica agrietada, deformada, tornillo desajustado, faltante, y todas las demás que se aprecian en la *figura 21*.

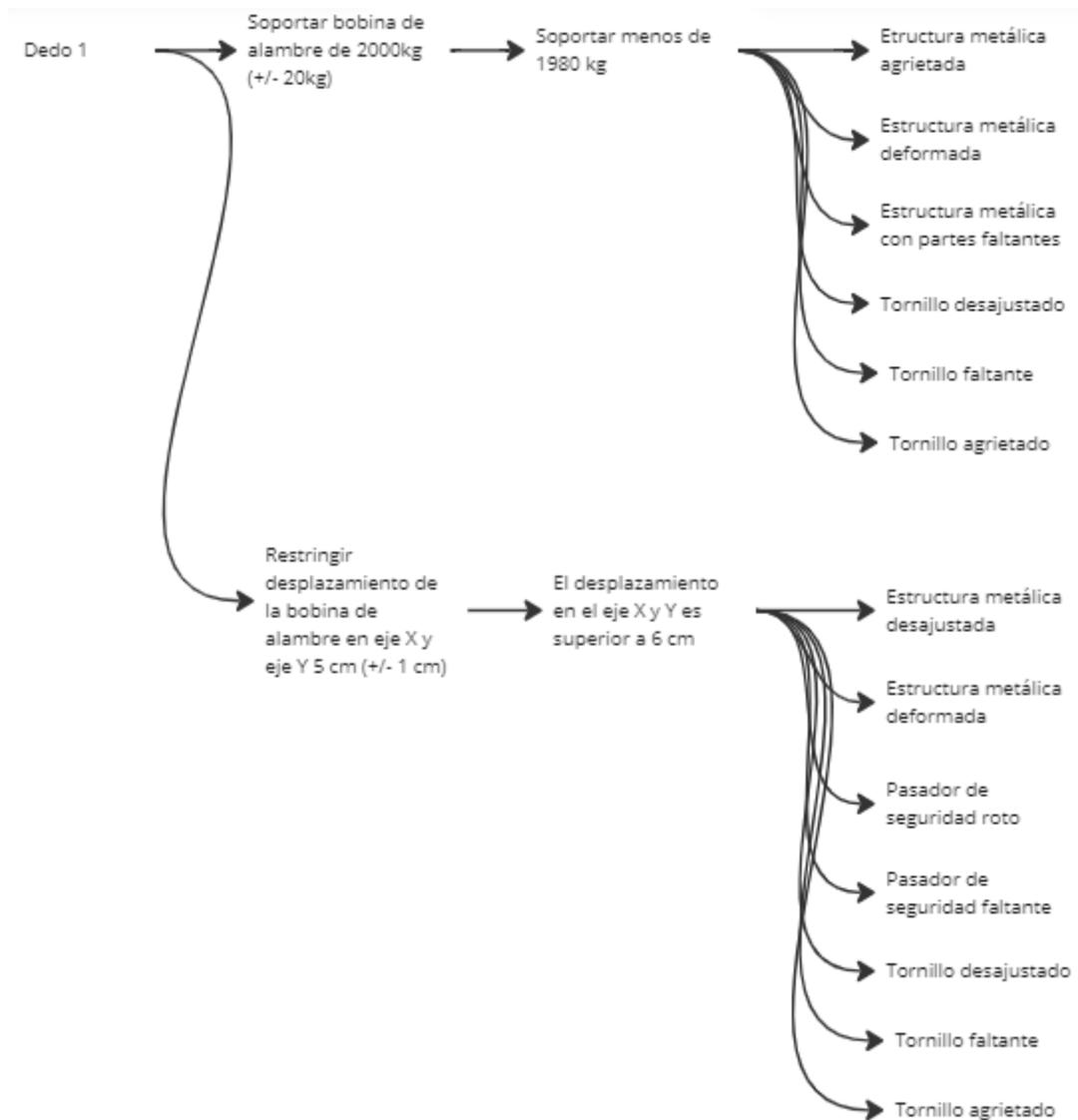


Figura 21. Modos de falla para FL/WDI/ DEV/SDV/DE1

Una vez es realizado este análisis para todos los ítems mantenibles, el cual puede consultarse con detalle en el *anexo 1*, quedan definidos los modos de falla para cada uno de ellos de la siguiente manera:

Tabla 5. Modos de falla para cada ítem mantenible.

Ítem mantenible	Código ítem	Modos de falla
Dedo 1, Dedo 2	FL/WD1/ DEV/SDV/DE1, FL/WD1/ DEV/SDV/DE2	Estructura metálica agrietada, estructura metálica deformada, estructura metálica con partes faltantes, tornillo desajustado, tornillo faltante, tornillo roto, estructura metálica desajustada, estructura metálica deformada, pasador de seguridad roto, pasador de seguridad faltante
Carro	FL/WD1/ DEV/SDV/CAR	Gancho de sujeción agrietado, pistón con recorrido incompleto, gancho de sujeción agrietado, pistón con recorrido incompleto, polea rota, polea faltante, rodamiento desgastado
Polipasto	FL/WD1/ DEV/SDV/PPT	Cadena rota, cadena rota, gancho de sujeción roto, catarina desgastada, cadena atorada
Sistema de seguridad	FL/WD1/ DEV/SDV/SSG, FL/WD1/ TRE/CCS/SSG	Puerta caída, puerta faltante, puerta deformada, cerradura de puerta rota
Estructura de torre	FL/WD1/ DEV/SDV/ETR	Tornillo faltante, tornillo roto, perfil agrietado perfil agrietado, perfil desajustado, perfil oxidado
Bomba hidráulica	FL/WD1/ DEV/SDV/BHD, FL/WD1/ TRE/UNH/BHD, FL/WD1/ ENC/SEC/BHD	Bomba con sobrecarga, bomba sobrecalentada, bajo nivel de fluido
Red hidráulica	FL/WD1/ DEV/SDV/RHD, FL/WD1/ TRE/UNH/RHD, FL/WD1/ ENC/SEC/RHD	Manguera obstruida, manguera con fuga de aceite, electroválvula sucia, baja presión de fluido, electroválvula quemada
Actuadores hidráulicos	FL/WD1/ DEV/SDV/AHD	Pistón deformado, pistón roto, pistón sin suministro de fluido
Control devanadora, Control decalaminadora, Control jabonera, Control carcasa, Control hidráulico,	FL/WD1/ DEV/SDV/CDV, FL/WD1/ DEC/SDC/CDC, FL/WD1/ JAB/SLB/CJB, FL/WD1/ TRE/CRC/CCR,	Cableado suelto, microcontrolador sin código, falta de electricidad, sensor quemado, sensor sucio, sensor mal posicionado, pantalla quemada

Control paso 1, Control paso 2, Control paso 3, Control paso 4, Control encarretadora	FL/WD1/ TRE/UNH/CHD, FL/WD1/ TRE/P1T/CP1, FL/WD1/ TRE/P1T/CP2, FL/WD1/ TRE/P1T/CP3, FL/WD1/ TRE/P1T/CP4, FL/WD1/ ENC/SEC/CET	
Direccionamiento	FL/WD1/ DEC/SDC/DIR	Polea rota, polea desgastada, polea fuera de posición
Sistema neumático	FL/WD1/ DEC/SDC/SNM	Pistón deformado, pistón roto, pistón sin suministro de fluido
Sistema de conducción	FL/WD1/ JAB/SLB/SCD	Motorreductor sobrecargado, motorreductor quemado, cadena reventada, hélice horizontal suelta
Red neumática	FL/WD1/ TRE/CCS/SNM	Manguera obstruida, manguera con fuga de aceite, electroválvula sucia, baja presión de fluido, electroválvula quemada
Casetera	FL/WD1/ TRE/P1T/CST, FL/WD1/ TRE/P2T/CST, FL/WD1/ TRE/P3T/CST, FL/WD1/ TRE/P4T/CST	Casetera descalibrada, rodillo desgastado, rodillo atorado, rodillo sobrecalentado, rodillo con exceso de suciedad
Bloque	FL/WD1/ TRE/P1T/BQE, FL/WD1/ TRE/P2T/BQE, FL/WD1/ TRE/P3T/BQE, FL/WD1/ TRE/P4T/BQE	Tambor sin lubricación, tambor desgastado, chumacera rota, motor sobrecalentado, motor sobrecargado, motor quemado, encoder quemado, acople roto, eje roto, eje desgastado, base con suciedad acumulada
Transmisión	FL/WD1/ TRE/P1T/TRM, FL/WD1/ TRE/P2T/TRM, FL/WD1/ TRE/P3T/TRM, FL/WD1/ TRE/P4T/TRM	Engranaje desgastado, engranaje roto, eje desgastado, eje roto, acople desgastado, chaveta desgastada, chavetero desgastado, banda sin tensión, banda rota, banda desgastada, polea rota, polea desgastada, motor sobrecalentado, motor sobrecargado, motor quemado.
Bailarín o palpador	FL/WD1/ TRE/P1T/DAN,	Sensor desposicionado, pistón con recorrido incompleto, pistón sin movimiento, rodamiento

	FL/WD1/ TRE/P2T/DAN, FL/WD1/ TRE/P3T/DAN, FL/WD1/ TRE/P4T/DAN	atorado, polea rota, presión insuficiente, Pistón sin suministro de fluido
Guía hilos	FL/WD1/ ENC/SEC/GHL	Guías deformadas, rodamiento desgastado, Topes con límites fuera de rango, motor sobrecalentado, motor sobrecargado, motor quemado, encoder quemado, encoder desgastado
Transmisión	FL/WD1/ ENC/SEC/TRM	Engranaje desgastado, engranaje roto, eje desgastado, eje roto, acople desgastado, chaveta desgastada, chavetero desgastado, cadena sin tensión, cadena rota, cadena desgastada, catarina rota, catarina desgastada, motor sobrecalentado, motor sobrecargado, motor quemado
Mesa giratoria	FL/WD1/ ENC/SEC/MGR	Rodamiento desgastado, falta de lubricación, freno atorado, eje desgastado, eje roto, motor sobrecalentado, motor sobrecargado, motor quemado, contrapunto atorado, contrapunto desposicionado
Plataforma giratoria	FL/WD1/ ENC/SEC/PGR	Rodamiento desgastado, eje roto, eje desgastado, motor sobrecalentado, motor sobrecargado, motor quemado, catarina desgastada, sensor sucio, sensor quemado, Sensor desconectado, pistón desgastado, pistón roto, pasador mecánico desgastado
Transmisión	FL/WD1/ ENC/SEC/TRM	Banda sin tensión, banda rota, banda desgastada, polea rota, polea desgastada, motor sobrecalentado, motor sobrecargado, motor quemado
Tablero eléctrico	FL/WD1/ SEL/SCT/TEL	Cableado suelto, microcontrolador sin código, microcontrolador quemado, falta de electricidad, contactos con suciedad, tablero sobrecalentado, botón faltante, botón sin identificación
Red eléctrica	FL/WD1/ SEL/SCT/REL	Cableado suelto, suministro de energía deficiente, cableado deteriorado, cableado quemado, sistema sobrecargado, distribución de energía incorrecta, corto circuito, fusible quemado, sistema de protección quemado, transformador quemado
Aire acondicionado	FL/WD1/ SEL/SEF/AAC	Parámetros desajustados, exceso de suciedad, filtro desgastado, cableado suelto, tarjeta quemada, bajo nivel de gas

4. Resultados

Se recolectó el histórico de mantenimientos correctivos y correctivos programados para la máquina en los últimos 2 años y posteriormente se manipularon para tener una información mucho más clara y analizable.

Se mostró de qué manera está definida la taxonomía de la máquina actualmente, y como es el proceso para la documentación de mantenimientos correctivos y correctivos programados en el CMMS FIIX.

Se desarrolló la taxonomía del activo en base a la norma ISO 14224, definiendo planta, sección o sistema, clase de equipo, subsistema e ítem mantenible, adicionalmente, se realizó la codificación de cada uno de estos.

Se definieron los modos de falla para cada ítem mantenible, en base a la documentación extraída del CMMS FIIX y en base al análisis hecho para conocer cada posible falla funcional que no le permite al ítem mantenible realizar su función.

Se disminuyó la alta generación de ordenes de trabajo con documentación incompleta o errónea implementando la definición y asignación de modos de falla a cada ítem mantenible, ya que, si bien el equipo de mantenimiento tiene un conocimiento más amplio sobre componentes y sistemas del activo, no se debe olvidar que los operarios y supervisores de producción también pueden documentar las fallas, por lo que, un listado de modos de falla y una correcta taxonomía del activo, sirven de guía para la documentación en el CMMS FIIX.

5. Análisis

La taxonomía que se tenía definida de la máquina Teurema no tenía una estructura tal como lo sugiere una norma, se acercaba más a una segmentación de zonas o subprocesos que se llevan a cabo en el proceso de trefilado de alambre, por lo tanto, designar una correcta taxonomía en base a la norma ISO 14224 permite identificar clases de equipo, subsistemas e ítems mantenibles que conforman el activo.

La documentación que se realiza de los mantenimientos correctivos y correctivos planificados se hace a libre criterio y expresión por parte del técnico, por otro lado, dado que es una empresa ubicada en Estados Unidos, el personal puede ser local o de países como México y Colombia en su gran mayoría; esto significa que algunas piezas, ítems mantenibles o sistemas sean conocidos en cada cultura de una manera diferente, incluso hasta en expresar un verbo representativo de una falla, por lo que realizar un análisis de averías se convierte en un proceso de alta complejidad y de baja confiabilidad. Es por esto que, definir los modos de falla se convierte en una necesidad, para conseguir una documentación esquematizada y posteriormente realizar análisis con una calidad y confiabilidad alta. De la misma manera, la estandarización del idioma complementaría aún más el proyecto.

En la compañía se cuenta con un CMMS o software de mantenimiento de alta calidad y con herramientas que facilitan la documentación, una de ellas es que cada activo, subsistema, ítem mantenible o incluso hasta una pieza, tenga asociado sus diferentes modos de falla, por lo que es de suma importancia y necesidad definir el modo de falla del nivel más detallado de la escala de la taxonomía, en este caso el nivel 8 correspondiente a ítem mantenible, y de esta manera, cada vez que el técnico quiera reportar un nuevo mantenimiento correctivo o correctivo programado ya no tenga que describir con sus palabras el modo de falla, sino que lo elija de la lista en la que se encuentran definidos.

6. Conclusiones

Se encontraron un total de 37 eventos correspondientes a mantenimientos correctivos y correctivos programados documentados en la máquina general “FL Teurema”, esto quiere decir que al momento de registrar el mantenimiento en FIIX, el técnico no encontraba en la base de datos el subsistema en el que se había presentado la falla, por lo que la zona más específica a la que podía llegar era al nivel 5 de la taxonomía correspondiente a la máquina general. Esto muestra la necesidad de hacer una definición correcta de la taxonomía del activo.

La zona de máquina donde se presentó el mayor número de averías es en el Wire draw, es decir, el subsistema donde se da el proceso de disminución de la sección transversal, sin embargo, este subsistema tiene muchos ítems mantenibles, tal como se aprecia en la *tabla 3*. Por lo que si se quiere intervenir en un punto específico de este subsistema se tiene que hacer una segmentación de estas 97 fallas en cada uno de los ítems mantenibles. Ahora con la definición de la taxonomía hasta este nivel, ya se puede asociar una falla en un nivel 8 de taxonomía según la norma ISO 14224 y no a un nivel 7.

En los datos mostrados desde la *figura 11* hasta la *figura 19*, se da evidencia de que 51 mantenimientos no son analizables, lo que corresponde a un 15% del total de eventos correctivos reportados en el CMMS FIIX, ya que la documentación era tan poco específica, que no se podía asociar ningún modo de falla, es por esto, que se necesita hacer una estandarización de modos de falla, para que todos los eventos que sucedan en máquina puedan ser identificados, catalogados y analizados. Por lo que se siguió el modelo presentado en la *figura 20* y se obtuvo la estandarización completa de los modos de falla para cada ítem mantenible mostrados en la *tabla 5*.

Referencias

García, O. (2007). El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado

Torres, C. (2020). Taxonomía para la jerarquía de activos

¿Qué es el trefilado? (2022). Perfiles de Aluminio

Estándar europeo. (2016). Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016).

SAE, International JA1012, A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. (SAE JA 1012:2002)