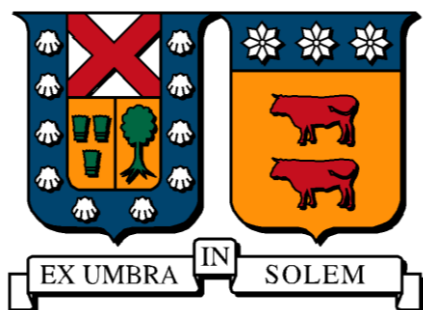


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO – CHILE



“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS FLEXIBLES  
HIDRÁULICOS DE GRÚAS HORQUILLAS PARA REDUCIR SU  
FRECUENCIA DE CAMBIO Y MEJORAR LA OPERACIÓN.”

PABLO ANDRÉS MONROY ZAMBRANO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA:

ING. RAFAEL MENA Y.

PROFESOR CORREFERENTE:

ING.MBA.ANDRÉS BREGANTE B.

[OCTUBRE] – [2025]



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

**Tipo de monografía (marcar una opción):** ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

**Título del trabajo:** Propuesta de Optimización Para el Mantenimiento Preventivo de los Flexibles Hidráulicos de Grúas Horquillas Para Reducir su Frecuencia de Cambio Y Mejorar la Operación

**Nombre del candidato(a):** Pablo Andrés Monroy Zambrano

**Carrera / Grado:** Ingeniería Civil Mecánica

**Campus:** Casa Central

**Departamento:** Mecánica

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Rafael Mena Yanssen, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

**Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):**

---

---

---

### 4.- FIRMAS

**Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:**

**Fecha:** 9 de marzo de 2026 **Firma:** 

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 06/03/2026

**Firma:** 



*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

## *Dedicatoria*

A mi madre y padre, Elisa Zambrano y Víctor Monroy, que me han dado la vida

A mi hermano Francisco Monroy, que nos hemos acompañado desde que tenemos memoria

A mis abuelas Etelbina Melo y Guacolda Albornoz, me hacen falta cada día

A mi abuelo José Zambrano, el cual es mi único abuelo vivo, que me quiere y apoya incondicionalmente. Abuelo a través de tus acciones también me enseñaste lo que es amar

A mi abuelo Julio Monroy, me hubiese encantado preguntarte mil cosas sobre tu experiencia laboral como mecánico de la Fuerza Aérea, pero te fuiste cuando yo era muy pequeño

A mi madrina Carolina Zambrano y a quien yo hubiese elegido mi padrino, Hardy Thomas

A mi tía Patricia Zambrano y a mi primo Máximo

A mi querida Amaranta, que nos enseñó que es posible amar solo con actos y junto con decir una sola palabra: miau. Te extrañamos todos los días

A mis mejores amigos: Javier Panozzo, Joaquín Dubó, Pablo Romeu e Ignacio Cea. Sin el apoyo de ustedes no estaría donde estoy

A J. Felipe Molina Lavandera, por dejarme unirme al Coro de Cámara de la UTFSM, lo cual cambió mi vida para siempre y me brindó muchos recuerdos que jamás olvidaré

A Federico Santa María Carrera, sin usted no habría tenido el privilegio de estudiar en la universidad que forma a los mejores ingenieros de Chile

Al Papa Francisco, por demostrar al mundo entero el verdadero significado de la Humildad, Amor, Dedicación y Fe.

A todos mis compañeros de generación que por distintas razones no pudieron terminar la carrera. Lo hago por ustedes

A Jesús, a La Virgen María y a Dios

## *Agradecimientos*

Profesor Rafael Mena, Profesor Andrés Bregante, Profesor Guillermo González B., Profesor Udo Rheinschmidt, Profesor Sergio Véliz, Profesor Gorazd Cvetic, Profesor M.A.O.B, Profesor Harvey Zambrano, Profesor Christopher Cooper, Profesor Pedro Sariego, Profesor Romain Gers, Profesor Valdenegro, Profesor Juan Donoso, Profesor Pacheco, Profesor Carlos García, Profesor Carlos Fernández, Profesor Wladimir Ibáñez, Profesor Carlos Rosales, Profesor Medina, Profesor Osorio, Profesor Raúl Stegmaier, Profesor Franco Perazzo, Profesor Fernando Rojas, Profesora Gladys Figueroa, Profesora Lazarus, Profesor Hinrichsen, Profesor Pierluigi Peirano, Profesora Watson, Profesor Mendoza, Profesor Germán Amador, Profesor Tapia, Profesor Varas, Profesor Yurjevic, Profesor Mario Toledo, Profesor Alex Flores, Profesor Figueroa, Profesor Kevin Mitchell, Profesor Roberto Yunge, Tía Edelmira, Nicolás Castillo B., Felipe Cuéllar M., Jesús Cuéllar, Susi, Profesor Chandía, Profesora Maite Barros, Profesor Octavio Henríquez, Profesor Nelson Donoso, Profesor Milton Lemarie, Profesor Jaime Espinoza, Profesor Ignacio Vásquez, Michael Haacke Concha, Alejandro Amadio, Carlos Garay, Stephanie Maulen, Calderón de Calidad, Juan Pablo, Martín Mardones, Sebi, Luis Palominos, Germanía Naranjo, Nallip Del Canto Pacheco, Vecina Andrea, Vecino Víctor, Beto, Wilson Dubó, Felipe Leiva, Juan Carlos Llaitul, Fabián Hernández, Francisco Martineau, Felipe Caro, Joaquín Jaque, Jeremy Dick, Dragos Avram, Karen Enero, Linnéa Petersson, Esther Beyer, Matías Coddou, Samuel Norambuena, Martín Álvarez, Profesor Sergio Álvarez, Soledad Araya, Juanito, Javier Ross, Robert La cruz, David Pizarro, Vania Olivares, Ronny Vallejos, Héctor Marulanda, Ricardo Valencia, Nicolás Arancibia, Araceli Muñoz, Geraldinne Muñoz, Lucas Salazar, Javier Milla Tamblay, Mauri, Don Jorge, Hugo Monsalves C. (Q.E.P.D), Profesor Iván Aravena, Don Pedro, Camilo, Ignacio Cárcamo, Miguel Sanz, David Reyes, Ricardo Valdivia, Reinaldo Plaza, Ahamed Nicolás, Kuky, Felipe Solorza, Bastián González, Héctor Riquelme, Yeferson Pereira, Claudio Cruz, Aldo Varas, Profesor Zerwekh, Jarek Otoka, Andrzej Suska, Alfredo Pizarro, James Hetfield, Kirk Hammett, Lars Ulrich, Cliff Burton, Roberto Trujillo, Jason Newsted, Dave Mustaine, Grzegorz Sikorski, Zuzanna Pawlak, Vania Barrera, Tía Mónica Pizarro, Tío Miguel Mieres Edzel Espinoza, Enzo Puebla, Joaquín Alfaro, W.A. Mozart,

Alejandra Moya, Joaquín Ayala, Julie Tamblay Frez, A la Familia Bustos, Amicitiae Vocis, Coro Comunitario de Valparaíso y a su director Bernardo Vargas, Max, Juan Ramos, Luis Lagunas, Mauricio Sanhueza, Alexander Ferreira, Vicente Bórquez, Elian, Joaquín Naranjo, Coro de cámara UTFSM y a todos los mecánicos y técnicos que me ayudaron a mejorar la base de datos.

## *Resumen*

El presente trabajo desarrolla una propuesta técnica orientada a optimizar el mantenimiento de los flexibles hidráulicos en grúas horquillas, con el objetivo de reducir su frecuencia de reemplazo y mejorar la confiabilidad operativa de la flota. El estudio se llevó a cabo en el taller de una empresa de transportes, utilizando herramientas de mejora continua y estructurando el desarrollo bajo la metodología **CAPDO** (Check–Act–Plan–Do).

Esta metodología permitió abordar el problema de manera secuencial y sistemática: primero diagnosticando la situación actual, luego identificando las causas raíz de las fallas, planificando acciones de mejora, ejecutándolas de forma controlada y, finalmente, evaluando sus resultados para retroalimentar el proceso.

Durante la etapa de análisis se aplicaron herramientas como el diagrama de **Pareto**, los **5 Porqués**, el **Ishikawa** y el diagrama **Jack Knife**, los cuales permitieron priorizar las causas más críticas, principalmente asociadas a la mala operación, el exceso de presión, el desgaste, la tracción en los extremos y las filtraciones.

A partir de estos hallazgos se diseñó un protocolo de inspección preventiva y un plan de mejora basado en el ciclo **PHVA**, con énfasis en la capacitación operativa y la estandarización de procedimientos. El cálculo del **MTTR** permitió priorizar acciones sobre los componentes más críticos y establecer métricas de seguimiento para futuras evaluaciones.

Esta propuesta no solo busca reducir el número de reposiciones de flexibles hidráulicos, sino también aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, impulsando una gestión del mantenimiento más predictiva, proactiva y basada en datos.

## *Abstract*

This thesis presents a technical proposal aimed at optimizing the maintenance of hydraulic hoses in forklifts, with the objective of reducing their replacement frequency and improving fleet reliability. The study was conducted in the workshop of a transport company, using continuous improvement tools and structured under the **CAPDO** (Check–Act–Plan–Do) methodology.

This approach allowed the problem to be addressed in a sequential and systematic way: first by assessing the current state, then identifying root causes of failures, planning improvement actions, executing them in a controlled manner, and finally evaluating the outcomes to provide feedback for continuous improvement.

During the analysis stage, tools such as the Pareto chart, the **5 Whys**, the **Ishikawa diagram**, and the **Jack Knife** method were applied to identify and prioritize the most critical causes, mainly related to improper operation, excessive pressure, wear, end traction, and leakage.

Based on these findings, a preventive inspection protocol and an improvement plan were developed using the **PDCA** cycle, emphasizing operator training and standardized procedures. The calculation of **MTTR** helped prioritize critical components and define monitoring metrics for future evaluations.

This proposal not only aims to reduce the number of hydraulic hose replacements but also to enhance equipment availability and reliability, fostering a more predictive, proactive, and data-driven maintenance management culture.

## *Glosario*

- CAPDO: Check – Analyze – Plan – Do (Chequear – Analizar – Planificar – Hacer)
- PHVA: Planificar – Hacer – Verificar – Actuar
- KPI: Key Performance Indicator (Indicador clave de desempeño)
- Fractal One: Plataforma de Gestión del Mantenimiento
- PESTEL: herramienta estratégica que permite a las empresas evaluar el macroentorno en el que operan, identificando factores externos que pueden representar oportunidades o amenazas para su negocio
- CMMS: Computerized Maintenance Management System (Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado)
- IoT: Internet of Things (Internet de las cosas)
- MTTR: Mean Time To Repair (Tiempo Medio De Reparación)
- MTBF: Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas)
- RCM: Reliability Centered Maintenance
- TPM: Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total)
- AMEF: Análisis de Modos y Efectos de Fallas
- OT: Órdenes de Trabajo
- 5 Why: Herramienta de mejora continua que permite identificar la causa raíz de un problema
- S.O.P.: Standard Operational Procedure (Procedimiento Operacional Estándar)

## *Índice general*

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Dedicatoria.....                                               | 3  |
| Agradecimientos .....                                          | 5  |
| Resumen .....                                                  | 7  |
| Abstract.....                                                  | 8  |
| Glosario .....                                                 | 9  |
| Índice general .....                                           | 10 |
| Índice de Ecuaciones .....                                     | 13 |
| Índice de figuras .....                                        | 14 |
| Índice de tablas .....                                         | 16 |
| 1. Introducción.....                                           | 17 |
| 2. Objetivos.....                                              | 18 |
| 2.1. Objetivo general .....                                    | 19 |
| 2.2. Objetivos específicos .....                               | 19 |
| 3. Contexto .....                                              | 20 |
| 3.1. Contexto utilizando Herramienta PESTEL .....              | 21 |
| 3.1.1. Factores Económicos .....                               | 22 |
| 3.1.2. Factores Tecnológicos .....                             | 23 |
| 3.1.3. Factores Ecológicos.....                                | 23 |
| 3.1.4. Factores Legales .....                                  | 24 |
| 4. Logística interna en plantas y centros de distribución..... | 24 |
| 5. Mantenimiento y Confiabilidad de la flota.....              | 25 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1. Conclusión del punto .....                                           | 26 |
| 6. Marco Teórico.....                                                     | 26 |
| 6.1. Grúa Horquilla Definición y Funcionamiento.....                      | 27 |
| 6.2. Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 320.....                             | 29 |
| 6.3. Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 535.....                             | 30 |
| 6.4. Mantenimiento.....                                                   | 32 |
| 6.5. TPM.....                                                             | 32 |
| 6.6. Matriz GUT .....                                                     | 33 |
| 6.7. Ciclo CAPDO (Check-Act-Plan-Do-Optimize) .....                       | 34 |
| 6.8. Flexibles Hidráulicos.....                                           | 35 |
| 6.9. Ciclo PHVA (Plan-Do-Check-Act).....                                  | 36 |
| 6.10. Tiempo medio entre fallas .....                                     | 36 |
| 6.11. Tiempo medio de reparación .....                                    | 37 |
| 6.12. Indicadores de Disponibilidad.....                                  | 37 |
| 6.12.1. Confiabilidad .....                                               | 38 |
| 6.13. Mantenimiento centrado en la confiabilidad .....                    | 39 |
| 6.14. Gestión de activos.....                                             | 39 |
| 7. Diagnóstico de la problemática actual.....                             | 40 |
| 7.1. Consideraciones Sobre la Exclusión del MTBF y La Disponibilidad..... | 41 |
| 7.2. Diagrama de Pareto .....                                             | 43 |
| 7.3. Diagrama de Jack-Knife por Elemento .....                            | 46 |
| 7.3.1. Zona aguda (Zona superior izquierda).....                          | 49 |
| 7.3.2. Zona crónica (Zona inferior derecha).....                          | 50 |
| 7.3.3. Zona aguda-crónica (Zona superior derecha).....                    | 51 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.3.4. Zona ideal (Zona inferior izquierda) .....                          | 52 |
| 7.4. Causas De entrada De Los Flexibles Hidráulicos .....                  | 53 |
| 7.5. Modos de Falla Principales Hallados .....                             | 55 |
| 7.6. Conclusión del Análisis de la Problemática .....                      | 60 |
| 8. Análisis causa raíz .....                                               | 62 |
| 8.1. Diagrama de Ishikawa .....                                            | 63 |
| 8.2. 5 WHY .....                                                           | 65 |
| 9. Propuesta y priorización de soluciones .....                            | 67 |
| 9.1. Matriz GUT de las Propuestas .....                                    | 71 |
| 9.1.1. Carta Gantt.....                                                    | 72 |
| 10. Propuesta de Implementación y seguimiento mediante el ciclo PHVA ..... | 72 |
| 11. Estimación del Impacto Técnico y Operativo.....                        | 75 |
| 11.1. Sinergia del Ciclo PHVA Sobre los Indicadores Técnicos .....         | 78 |
| 12. Conclusiones.....                                                      | 79 |
| Bibliografía.....                                                          | 81 |

## *Índice de Ecuaciones*

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1: Cálculo del Mean Time Between Failure ..... | 37 |
| Ecuación 2: Cálculo del Mean Time To Repair.....        | 37 |
| Ecuación 3: Cálculo de la Disponibilidad .....          | 37 |
| Ecuación 4: Cálculo del Límite Agudo.....               | 47 |
| Ecuación 5: Cálculo del Límite Crónico .....            | 48 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Registros de Órdenes de Trabajo en Fracttal One.....                                                                                                                                           | 21 |
| Figura 2: Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 320 .....                                                                                                                                                      | 30 |
| Figura 3: Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 535 .....                                                                                                                                                      | 31 |
| Figura 4: Matriz GUT para la Toma de Decisiones. Fuente: Método GUT para Priorizar Actividades - Action Group, Education & Consulting .....                                                              | 34 |
| Figura 5: Flexibles Hidráulicos. Fuente: <a href="https://sopra.cl/producto/flexibles-hidraulicos/">https://sopra.cl/producto/flexibles-hidraulicos/</a> ...                                             | 36 |
| Figura 6: Catastro de OTs sin Horómetro.....                                                                                                                                                             | 42 |
| Figura 7: Diagrama de Pareto de Todos los Elementos.....                                                                                                                                                 | 43 |
| Figura 8: Diagrama de Pareto luego de aplicar criterio 80/20.....                                                                                                                                        | 44 |
| Figura 9: Diagrama de Jack-Knife por elementos .....                                                                                                                                                     | 46 |
| Figura 10: Cuadrantes dentro del Diagrama Jack Knife.....                                                                                                                                                | 48 |
| Figura 11: Zona Aguda del Diagrama Jack Knife .....                                                                                                                                                      | 50 |
| Figura 12: Zona Crónica del Diagrama Jack Knife .....                                                                                                                                                    | 51 |
| Figura 13: Zona Aguda crítica del Diagrama Jack Knife .....                                                                                                                                              | 52 |
| Figura 14: Zona Ideal del Diagrama Jack Knife.....                                                                                                                                                       | 53 |
| Figura 15: Diagrama de Pareto de Causas de Entrada de los Flexibles Hidráulicos.....                                                                                                                     | 54 |
| Figura 16: Gráfico de las 5 Razones de Entrada Principales de los Flexibles Hidráulicos..                                                                                                                | 55 |
| Figura 17: Mala Operación de la Grúa Horquilla.....                                                                                                                                                      | 56 |
| Figura 18: Fuga por Exceso de Presión en Flexible Hidráulico .....                                                                                                                                       | 57 |
| Figura 19: Desgaste cerca de la conexión del Flexible. Fuente: <a href="https://kingdaflex.com/es/how-to-replace-a-hydraulic-hose/">https://kingdaflex.com/es/how-to-replace-a-hydraulic-hose/</a> ..... | 58 |
| Figura 20: Desgaste en el Flexible Hidráulico. Fuente: <a href="https://kingdaflex.com/es/how-to-replace-a-hydraulic-hose/">https://kingdaflex.com/es/how-to-replace-a-hydraulic-hose/</a> .....         | 59 |
| Figura 21: Filtración en flexible Hidráulico. Fuente: <a href="https://kingdaflex.com/es/how-to-repair-a-hydraulic-hose/">https://kingdaflex.com/es/how-to-repair-a-hydraulic-hose/</a> .....            | 60 |
| Figura 22: Diagrama de Ishikawa.....                                                                                                                                                                     | 63 |
| Figura 23: S.O.P. de Buena Operación .....                                                                                                                                                               | 69 |
| Figura 24: Impacto Estimado en KPIs por Escenario.....                                                                                                                                                   | 76 |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| Figura 25: Sinergia del Ciclo PHVA ..... | 78 |
|------------------------------------------|----|

## *Índice de tablas*

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Análisis 5 Por Qué de los Flexibles Hidráulicos ..... | 65 |
| Tabla 2: Matriz GUT Para Priorizar Propuestas .....            | 71 |
| Tabla 3: Carta Gantt del Ciclo PHVA.....                       | 72 |

## *1. Introducción*

En el contexto actual de la industria logística, el mantenimiento eficiente de equipos móviles representa un factor determinante para garantizar la continuidad operacional, la seguridad y la optimización de los recursos técnicos y económicos. Uno de los componentes más críticos en la operación de grúas horquillas es el conjunto de flexibles hidráulicos, cuya función es permitir la transmisión segura de fluido a presión hacia los distintos actuadores del sistema. La falla repentina o el deterioro prematuro de estos elementos no solo interrumpe el funcionamiento del equipo, sino que también puede representar un riesgo para los operadores y afectar negativamente los costos de mantenimiento y la disponibilidad general de la flota.

Durante el desarrollo de la práctica profesional realizada en una empresa del rubro logístico (no identificada directamente por motivos de confidencialidad), se detectó una situación repetitiva y preocupante: un elevado número de ingresos al taller por conceptos de fallas, roturas o reemplazos de flexibles hidráulicos, incluso en componentes recientemente sustituidos. Esta situación motivó la necesidad de realizar un análisis más profundo respecto de los modos de falla, la calidad de los repuestos, las condiciones de operación y el protocolo de inspección vigente.

Este trabajo de memoria tiene como objetivo principal desarrollar una propuesta orientada a reducir la frecuencia de cambio de flexibles hidráulicos en las grúas horquillas de la empresa. Para alcanzar este objetivo, se realiza una evaluación de datos históricos, la clasificación de causas de ingreso al taller, el análisis causal de los principales modos de falla y la evaluación del tiempo medio de reparación (**MTTR**) asociado a estos eventos.

Uno de los principales desafíos metodológicos del presente estudio es la ausencia de datos completos y confiables para calcular métricas tradicionales como la disponibilidad o la confiabilidad acumulada de los equipos. Esta limitación no es inusual en entornos industriales donde los registros no han sido sistematizados con enfoque analítico. Ante esta dificultad, se decidió complementar el análisis mediante el uso de herramientas prácticas como el diagrama de **Pareto**, los **5 porqués**, el **diagrama de Ishikawa** y el diagrama de **Jack Knife**, lo que permitió identificar de forma visual y técnica los factores críticos que deben abordarse con prioridad.

La importancia de este estudio radica en su aplicabilidad directa en el ámbito del mantenimiento industrial, no solo por la mejora operativa que puede significar para la empresa en estudio, sino también como una metodología replicable en otras organizaciones del sector logístico e industrial que enfrenten problemas similares. De esta forma, el trabajo busca generar valor no solo desde lo académico, sino también desde la perspectiva de mejora continua y gestión eficiente de activos.

## **2. Objetivos**

Los objetivos de este estudio están diseñados para abordar de forma integral la problemática relacionada con el mantenimiento y operación de los flexibles hidráulicos en grúas horquillas **Jungheinrich EFG 320 y EFG 535** dentro de una empresa de transporte. Estos componentes, esenciales para el correcto funcionamiento del sistema hidráulico, presentan una alta frecuencia de fallas, lo que afecta la confiabilidad operativa y puede, eventualmente, generar costos adicionales. En este contexto, los objetivos planteados buscan mejorar la gestión del mantenimiento mediante estrategias preventivas y operativas que permitan reducir la frecuencia de fallas y optimizar los recursos disponibles.

El objetivo general del trabajo es **desarrollar una propuesta para optimizar el mantenimiento de los flexibles hidráulicos**, reduciendo su frecuencia de cambio y analizando su impacto potencial en términos de mantenimiento y operación. Esto se

logrará a través de la identificación de las causas raíz de las fallas recurrentes, el diseño de estrategias de inspección preventiva y la aplicación de herramientas de mejora continua como el ciclo **CAPDO** y **PHVA**. La propuesta también se basa en el análisis técnico y operativo para asegurar su viabilidad y eficacia.

Los **objetivos específicos** permiten desglosar esta meta principal en una serie de acciones concretas. Entre ellos se incluyen la contextualización del problema, el diagnóstico de la gestión actual de los flexibles hidráulicos, el análisis de fallas mediante herramientas como Ishikawa, 5 porqués y Pareto, y el diseño de un protocolo de inspección preventiva que se adapte a las necesidades operativas. Además, se propone la definición de indicadores clave de desempeño (**KPIs**), que permitan monitorear la efectividad de las mejoras implementadas, así como la elaboración de recomendaciones finales que consideren tanto el mantenimiento como la operación de las grúas.

Este enfoque estructurado garantiza que la propuesta no solo se centre en reducir los costos de mantenimiento, sino que también mejore la confiabilidad operativa y fomente la adopción de buenas prácticas de gestión de activos. De esta manera, el estudio aportará soluciones prácticas y sostenibles, con un impacto positivo tanto en la operación como en la planificación estratégica del mantenimiento.

## ***2.1. Objetivo general***

Desarrollar una propuesta para optimizar el mantenimiento de grúas horquilla, enfocada en los flexibles hidráulicos, mediante estrategias preventivas, reduciendo la frecuencia de cambio y analizando su potencial impacto en términos de mantenimiento y operación

## ***2.2. Objetivos específicos***

- Analizar la problemática de la mantención en las grúas horquillas, identificando el impacto de los flexibles hidráulicos y estableciendo un marco teórico que respalde estrategias de mejora.

- Diagnosticar la situación actual, analizando tendencias de falla, causas raíz y deficiencias operativas que afectan la vida útil de los flexibles. Utilizar el ciclo **CAPDO** como herramienta de mejora continua para estructurar y validar las acciones propuestas de mantenimiento y operación.
- Generar propuestas y recomendaciones que puedan ayudar a reducir la frecuencia de cambio de Flexibles Hidráulicos, con el objetivo de mejorar la disponibilidad de las Grúas Horquillas
- Evaluar la viabilidad y el impacto técnico del plan propuesto, considerando beneficios esperados en términos de mantenimiento y operación.
- Formular conclusiones y recomendaciones finales que consoliden las soluciones planteadas y sugieran líneas de acción para futuras mejoras.

### **3. Contexto**

El mantenimiento de los flexibles hidráulicos en grúas horquillas representa un desafío importante en la gestión operativa de equipos logísticos, debido a su elevada tasa de fallas evidenciadas en los registros de ordenes de trabajo de **Fracttal One** y su impacto en la disponibilidad de estos. Para abordar esta problemática de manera efectiva, es fundamental

establecer un marco contextual y teórico que permita entender las causas técnicas y operativas del deterioro de estos componentes. Este análisis preliminar es clave para desarrollar una propuesta que optimice las estrategias de mantenimiento y mejore la confiabilidad de los equipos.

| Orden de Trabajo | Clasificación | Tarea                                                                                                                                | Razones de entrada de | Código | Activo                          |
|------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|---------------------------------|
| OT35757          | Flexibles     | TENSAR FLEXIBLE Y LUBRICAR INCLINACIÓN                                                                                               | Mala Operación        | GG15   | (GG15) GRUA ELECTRICA GG15 JUNG |
| OT35777          | Flexibles     | SE CAMBIA FLEXIBLE DE CARRO CASCADE                                                                                                  | Mala Operación        | GG11   | (GG11) GRUA ELECTRICA GG11 JUNG |
| OT35779          | Flexibles     | FLEXIBLE SE CAMBIA                                                                                                                   | Degaste               | GG15   | (GG15) GRUA ELECTRICA GG15 JUNG |
| OT35815          | Flexibles     | MANGUERA ROTA                                                                                                                        | Mala Operación        | GG27   | (GG27) GRUA ELECTRICA GG27 JUNG |
| OT35827          | Flexibles     | MANGUERA ROTA                                                                                                                        | Mala Operación        | G251   | (G251) GRUA ELECTRICA G251 JUNG |
| OT35864          | Flexibles     | FLEXIBLE ROTO                                                                                                                        | Mala Operación        | GG03   | (GG03) GRUA ELECTRICA GG03 JUNG |
| OT35865          | Flexibles     | MANGUERA ROTA CAMBIO DE 2 FLEXIBLES DE APERTURA DE HORQUILLAS SE REVIS EN GENERAL LAVADO DE MAQUINA                                  | Mala Operación        | GG59   | (GG59) GRUA ELECTRICA GG59 JUNG |
| OT35868          | Flexibles     | Manguera rota CAMBIO DE FLEXIBLE CORTO DE APERTURA DE HORQUILLAS REVISION LAVADO MAQUINA                                             | Exceso de Presión     | GG63   | (GG63) GRUA ELECTRICA GG63 JUNG |
| OT35883          | Flexibles     | CAMBIO DE FLEXIBLE POR FILTRACION / FUGA                                                                                             | Filtración            | GG10   | (GG10) GRUA ELECTRICA GG10 JUNG |
| OT35914          | Flexibles     | Flexible roto                                                                                                                        | Mala Operación        | GG63   | (GG63) GRUA ELECTRICA GG63 JUNG |
| OT35915          | Flexibles     | Flexible roto                                                                                                                        | Mala Operación        | GG46   | (GG46) GRUA ELECTRICA GG46 JUNG |
| OT35917          | Flexibles     | FLEXIBLES MASTIL, CADENAS RODAMIENTOS DE CADENA                                                                                      | Mala Operación        | GG59   | (GG59) GRUA ELECTRICA GG59 JUNG |
| OT35975          | Flexibles     | MANGUERA DESMONTADA                                                                                                                  | Mala Operación        | GG10   | (GG10) GRUA ELECTRICA GG10 JUNG |
| OT35976          | Flexibles     | Manguera desmontada y respaldo de asiento malo                                                                                       | Mala Operación        | GG09   | (GG09) GRUA ELECTRICA GG09 JUNG |
| OT35993          | Flexibles     | FLEXIBLE ROTO; SE CAMBIA 2 FLEXIBLES DE APERTURA DE HORQUILLAS SE LAVA EQUIPO SE REVIS EN GENERAL Y LOS NIVELES DE ACEITE            | Exceso de Presión     | GG63   | (GG63) GRUA ELECTRICA GG63 JUNG |
| OT35996          | Flexibles     | CAMBIO DE 2 FLEXIBLES DEL DESPLAZADOR LATERAL REVIN DE NIVELES LAVADO DE EQUIPO                                                      | Degaste               | G187   | (G187) GRUA ELECTRICA G187 JUNG |
| OT36094          | Flexibles     | CAMBIO DE FLEXIBLE DE DESPLAZADOR DE CARRO EN MAL ESTADO                                                                             | Degaste               | G155   | (G155) GRUA ELECTRICA G155 JUNG |
| OT36112          | Flexibles     | CAMBIO DE FLEXIBLE DE DESPLAZADOR CARRO EN MAL ESTADO FILTRACION / FUGA                                                              | Filtración            | G198   | (G198) GRUA ELECTRICA G198 JUNG |
| OT36120          | Flexibles     | MONTAJE DE FLEXIBLES Y SE TENSAN LOS 4 FLEXIBLES LAVADO DE MAQUINA REVISION EN GENERAL                                               | Mala Fijación         | GG11   | (GG11) GRUA ELECTRICA GG11 JUNG |
| OT36163          | Flexibles     | REGULACION DE CADENAS Y LUBRICACION TENSION DE FLEXIBLES LUBRICACION DE MASTIL Y PUNTOS DE ENGRASE                                   | Mala Operación        | G156   | (G156) GRUA ELECTRICA G156 JUNG |
| OT36164          | Flexibles     | MONTAJE DE FLEXIBLES CAMBIO DE ABRAZADERA PLASTICA TENSION DE FLEXIBLES LAVADO DE MAQUINA REVISION EN GENERAL                        | Mala Operación        | G225   | (G225) GRUA ELECTRICA G225 JUNG |
| OT36202          | Flexibles     | CAMBIO DE FLEXIBLES DE DESPLAZADOR DE CARRO EN MAL ESTADO DESPRENIMIENTO DE FLEXIBLE                                                 | Degaste               | G263   | (G263) GRUA ELECTRICA G263 JUNG |
| OT36254          | Flexibles     | PROTECCION DE TECHO VIDRIO SUELTO SE COLOCAN TODOS LOS PERROS CON TUERCAS NUEVOS Y SE FIJA REJILLA REGULACION DE FLEXIBLES Y CADENAS | Mala Operación        | GG11   | (GG11) GRUA ELECTRICA GG11 JUNG |
| OT36255          | Flexibles     | SE CAMBIAN 2 FLEXIBLES DE APERTURA DE HORQUILLAS EN MAL ESTADO REVISION EN GENERAL LAVADO DE MAQUINA                                 | Degaste               | GG27   | (GG27) GRUA ELECTRICA GG27 JUNG |
| OT36258          | Flexibles     | FLEXIBLE DESMONTADO                                                                                                                  | Mala Operación        | GG08   | (GG08) GRUA ELECTRICA GG08 JUNG |

Figura 1: Registros de Órdenes de Trabajo en Fractal One

El primer objetivo específico se enfoca en analizar el problema existente y contextualizarlo, proporcionando una comprensión integral del entorno interno y externo que afecta al sistema de mantenimiento. Para ello, se realiza un análisis del contexto utilizando herramientas como el marco **PESTEL**, con el fin de identificar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que influyen en el mantenimiento de la flota de grúas horquillas.

A continuación, se analizan los procesos logísticos internos, describiendo la estructura de las operaciones en plantas y centros de distribución, así como el rol crítico que desempeñan las grúas horquillas en la eficiencia operativa. Esto permite identificar cómo las fallas en los flexibles hidráulicos afectan el flujo de trabajo y los costos asociados al mantenimiento correctivo.

### 3.1. Contexto utilizando Herramienta PESTEL

Para entender la problemática del mantenimiento de los flexibles hidráulicos en grúas horquillas dentro del taller de una empresa de transporte logístico, es importante hacer un

análisis del Contexto. Utilizando la herramienta de análisis PESTEL, se puede evaluar cómo el entorno político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal impacta en las actividades de mantenimiento.

Después de una evaluación crítica, se determinó que los factores más relevantes para el análisis del mantenimiento en el taller de grúas horquillas, transpaletas y tractores pequeños son los de índole económica, tecnológica, ecológica y legal. Estos factores inciden de manera directa en las operaciones del taller, influyendo en la gestión de recursos, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad de los procesos de mantenimiento. Por otro lado, los factores políticos y sociales se excluyen del análisis, dado que su impacto es menor o indirecto en este contexto particular.

### ***3.1.1. Factores Económicos***

Los factores económicos afectan directamente los costos de mantenimiento, la disponibilidad de repuestos y la eficiencia operativa del taller. Las fluctuaciones en el mercado, la inflación y las condiciones macroeconómicas influyen en la capacidad del taller para optimizar recursos y reducir tiempos de inactividad.

- **Costos de repuestos e insumos:** La adquisición de piezas como flexibles hidráulicos puede encarecerse debido a la inflación o fluctuaciones en los precios internacionales. Esto puede afectar el presupuesto asignado al mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Productividad y tiempos de inactividad:** El tiempo de inactividad de los equipos debido a fallas recurrentes impacta negativamente la logística de la empresa. Un manejo eficiente del mantenimiento permite disminuir estos tiempos, lo que se traduce en una mejora en la productividad general.
- **Optimización de recursos:** A través del monitoreo de indicadores como el **MTBF** y el **MTTR**, el taller puede implementar mejores estrategias para maximizar la vida útil de los componentes, evitando gastos innecesarios por reemplazos prematuros.

### ***3.1.2. Factores Tecnológicos***

La adopción de tecnologías avanzadas es clave para mejorar la gestión del mantenimiento en el taller. La innovación tecnológica permite mejorar tanto la inspección preventiva como la programación de reparaciones, optimizando así la confiabilidad operativa de los equipos.

- **Gestión digital del mantenimiento:** El uso de **CMMS** ayuda a monitorear el estado de los equipos, planificar intervenciones y gestionar el inventario de repuestos de manera más eficiente.
- **Monitoreo predictivo:** Tecnologías como los sensores y el Internet de las Cosas (**IoT**) permiten detectar condiciones críticas en componentes como los flexibles hidráulicos, anticipando fallas antes de que se conviertan en problemas operativos mayores.
- **Automatización:** Implementar herramientas para la automatización de inspecciones y diagnósticos puede reducir los tiempos de intervención y mejorar la precisión en la identificación de fallas.

### ***3.1.3. Factores Ecológicos***

El impacto ambiental de las actividades del taller es un aspecto importante, especialmente en lo relacionado con la gestión de residuos peligrosos. El cumplimiento de las normativas ambientales no solo es obligatorio, sino que también puede mejorar la reputación de la empresa y su compromiso con la sostenibilidad.

- **Gestión de residuos peligrosos:** El taller maneja líquidos hidráulicos, aceites y otros materiales contaminantes. La adecuada disposición de estos residuos es esencial para cumplir con las regulaciones ambientales y evitar sanciones.
- **Sostenibilidad operativa:** Las empresas están cada vez más comprometidas con la reducción de su impacto ambiental. La adopción de procesos y materiales más sostenibles, así como la reducción de residuos, es una prioridad en las operaciones industriales modernas.

- **Adaptación al cambio climático:** Las condiciones climáticas extremas, como olas de calor o lluvias intensas, pueden afectar tanto el mantenimiento como el transporte logístico. Estos cambios climáticos pueden acelerar el desgaste de componentes críticos, lo que exige estrategias de mantenimiento más proactivas.

### ***3.1.4. Factores Legales***

Las leyes y regulaciones influyen significativamente en las operaciones del taller. Cumplir con las normativas laborales, de seguridad y ambientales es fundamental para garantizar la continuidad de las operaciones sin interrupciones legales ni sanciones.

- **Normativas de seguridad laboral:** Las regulaciones sobre el uso seguro de equipos y el manejo de materiales peligrosos requieren que el personal del taller esté debidamente capacitado y certificado.
- **Regulaciones ambientales:** Las leyes sobre el manejo de residuos y la emisión de contaminantes son estrictas. El taller debe cumplir con estas disposiciones para evitar sanciones regulatorias.
- **Contratos y acuerdos con proveedores:** Las relaciones contractuales con proveedores de repuestos y servicios técnicos también deben estar alineadas con las normativas legales, lo que afecta la gestión de los recursos del taller.

## ***4. Logística interna en plantas y centros de distribución***

La logística interna es clave en las operaciones de una empresa de transporte, ya que gestiona el flujo eficiente de materiales, productos y equipos dentro de plantas de producción y centros de distribución. Esto incluye la recepción, almacenamiento, manipulación y despacho, tareas que requieren alta coordinación para cumplir plazos y mantener la calidad del servicio.

En las plantas, la logística interna asegura el suministro continuo de insumos a producción, con apoyo de grúas horquillas y transpaletas. En los centros de distribución, estos equipos

permiten una gestión ágil del almacenamiento, la clasificación y la preparación de pedidos, impactando directamente en la respuesta al mercado y la satisfacción del cliente.

No obstante, el correcto funcionamiento de estos equipos depende del mantenimiento. Fallas recurrentes, como las de los flexibles hidráulicos, provocan tiempos de inactividad que afectan el flujo logístico, generan retrasos y comprometen los despachos.

Por ello, implementar estrategias de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de los equipos y reduce interrupciones. Esta propuesta de optimización, enfocada en los flexibles hidráulicos, busca no solo reducir fallas, sino también fortalecer la eficiencia global de la logística interna.

## ***5. Mantenimiento y Confiabilidad de la flota***

El mantenimiento de una flota de máquinas, como grúas horquillas, es un aspecto fundamental en la gestión operativa de una empresa de transporte logístico. El objetivo del mantenimiento es asegurar que los equipos estén disponibles y operativos el mayor tiempo posible, minimizando los tiempos de inactividad, las fallas inesperadas y los costos asociados a reparaciones correctivas. Esto es crucial para garantizar que las operaciones de carga, descarga y movimiento de productos en las plantas y centros de distribución se realicen sin interrupciones:

El mantenimiento se clasifica principalmente en tres tipos: mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.

- El mantenimiento preventivo se realiza de manera programada para prevenir fallas antes de que ocurran, mediante inspecciones periódicas, reemplazo de piezas críticas y ajustes necesarios.
- El mantenimiento correctivo, en cambio, se aplica después de que se produce una falla, lo que genera interrupciones no planificadas en las operaciones.

La confiabilidad de la flota está estrechamente vinculada al mantenimiento. Conceptos como el Tiempo Medio Entre Fallas (**MTBF**) y el Tiempo Medio de Reparación (**MTTR**) son

indicadores clave para medir la eficacia del mantenimiento. Un alto **MTBF** indica que los equipos presentan pocas fallas en un período de tiempo, mientras que un bajo **MTTR** refleja que las reparaciones se realizan de manera eficiente. Mantener una baja frecuencia de fallas y minimizar el tiempo de inactividad mejora significativamente la productividad de la empresa.

Los flexibles hidráulicos, componentes críticos en el sistema de las grúas horquillas, son un ejemplo de cómo la gestión ineficaz del mantenimiento puede afectar la confiabilidad de la flota. Estas piezas están sometidas a condiciones operativas exigentes, lo que las hace propensas a fallas recurrentes. Sin estrategias preventivas claras, los fallos en estos componentes generan interrupciones operativas frecuentes, lo que impacta negativamente en la capacidad de la empresa para mantener el flujo logístico.

Por lo tanto, es necesario implementar un enfoque integral de mantenimiento que combine estrategias preventivas, una planificación adecuada de inspecciones y la formación del personal en buenas prácticas operativas. Además, la aplicación de herramientas de análisis de fallas, como el diagrama de Ishikawa y el ciclo **CAPDO**, permite identificar y mitigar las causas raíz de los problemas, aumentando la confiabilidad de los equipos.

### ***5.1. Conclusión del punto***

En resumen, la propuesta de optimización que será planteada en este estudio busca mejorar la gestión del mantenimiento en el taller, aumentando la disponibilidad de los equipos y reduciendo los costos asociados a fallas recurrentes. Esto, a su vez, contribuirá a una operación logística más eficiente, garantizando que los recursos estén siempre disponibles para las actividades críticas de la cadena de suministro.

## ***6. Marco Teórico***

Este marco teórico aborda los conceptos fundamentales necesarios para el desarrollo de la propuesta de optimización del mantenimiento de los flexibles hidráulicos en grúas horquillas. Se incluyen definiciones de mantenimiento, modelos operativos de equipos, herramientas de

análisis y métricas de rendimiento, con el fin de proporcionar una base técnica sólida que sustente el análisis y las estrategias preventivas propuestas.

## ***6.1. Grúa Horquilla Definición y Funcionamiento***

Una grúa horquilla es un equipo esencial para el manejo de materiales pesados en plantas de producción y centros de distribución. Está equipada con un sistema hidráulico que permite el movimiento vertical de las horquillas y la manipulación de cargas. Las grúas horquillas pueden clasificarse en dos tipos principales:

- **Grúas horquillas de combustión interna:** Utilizan motores diésel, gas o gasolina. Son adecuadas para operaciones en exteriores o entornos bien ventilados.
- **Grúas horquillas eléctricas:** Funcionan con baterías recargables, lo que las hace ideales para operaciones en interiores debido a su baja emisión de ruido y contaminantes.

El sistema hidráulico es uno de los principales mecanismos de las grúas horquillas, ya que permite realizar las funciones de elevación, descenso, inclinación y desplazamiento de las horquillas de carga. Este sistema se basa en la transmisión de presión a través de un fluido, generalmente aceite hidráulico, que circula por una serie de componentes críticos: bombas hidráulicas, cilindros hidráulicos, válvulas de control y flexibles hidráulicos. La eficiencia y fiabilidad del sistema dependen directamente del mantenimiento adecuado de cada uno de estos elementos.

La bomba hidráulica es el componente que genera la presión necesaria para mover el fluido a través del sistema. Su función es convertir la energía mecánica (proveniente del motor de la grúa) en energía hidráulica. Si la bomba presenta fallas, como pérdida de presión o fugas internas, el sistema se verá gravemente afectado, lo que resultará en una disminución del rendimiento de la grúa horquilla. Un mantenimiento preventivo adecuado implica inspecciones regulares del estado de los sellos, filtros y presión de salida.

Los cilindros hidráulicos son los actuadores que convierten la presión del fluido en fuerza mecánica. Estos cilindros controlan el movimiento vertical de las horquillas, así como la inclinación del mástil de la grúa. Están compuestos por un pistón interno que se mueve dentro de un tubo cilíndrico, impulsado por la presión del fluido. Entre las fallas comunes de los cilindros se encuentran:

- **Fugas de fluido:** Causadas por desgaste en los sellos o daños en el pistón.
- **Daños estructurales:** Grietas o deformaciones que afectan la alineación y el funcionamiento del cilindro.

El mantenimiento de los cilindros implica la verificación periódica de la estanqueidad, la alineación y el desgaste de sus componentes.

Las válvulas regulan el flujo del fluido hidráulico, permitiendo controlar la dirección, presión y velocidad de los movimientos. Si una válvula falla, puede provocar problemas como movimientos bruscos o bloqueos en el sistema hidráulico. La acumulación de partículas contaminantes en el aceite es una causa frecuente de obstrucción en las válvulas, lo que subraya la importancia de mantener el fluido limpio mediante filtros de alta eficiencia.

Los flexibles hidráulicos conectan los distintos componentes del sistema y permiten la transmisión de presión y flujo de fluido entre ellos. Están diseñados para soportar presiones elevadas y deben ser flexibles para adaptarse a los movimientos de la grúa. No obstante, están expuestos a condiciones de operación exigentes, como:

- **Vibraciones constantes:** Lo que puede generar desgaste por fatiga en las capas internas del flexible.
- **Cambios de temperatura:** Los ciclos térmicos aceleran el envejecimiento del material del flexible.
- **Abrasión:** Contacto con superficies externas que provoca daños en el recubrimiento protector.

El deterioro de los flexibles es una de las principales causas de fallas en el sistema hidráulico de las grúas horquillas. Un mantenimiento preventivo efectivo implica inspecciones periódicas visuales, la verificación de fugas y el reemplazo preventivo de flexibles antes de que ocurran fallas críticas.

## ***6.2. Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 320***

La grúa horquilla **Jungheinrich EFG 320** es una grúa horquilla eléctrica de tres ruedas diseñada para operaciones en interiores y exteriores de baja a media intensidad. Su sistema de propulsión eléctrica la hace una opción eficiente y ecológica para la manipulación de materiales en centros de distribución y almacenes.

Esta grúa se caracteriza por su sistema de dirección en la rueda trasera, lo que le otorga una gran maniobrabilidad en espacios reducidos. Está equipada con un motor de corriente alterna que optimiza el consumo de energía y reduce la necesidad de mantenimiento en comparación con motores de corriente continua. Además, el sistema hidráulico de la **Jungheinrich EFG 320** permite una manipulación eficiente de cargas mediante un control preciso de los movimientos del mástil y los accesorios.



*Figura 2: Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 320*

Los principales componentes hidráulicos incluyen bombas de presión, cilindros de elevación y flexibles hidráulicos. Estos últimos son críticos, ya que están expuestos a presiones elevadas y flexiones constantes durante la operación, lo que los convierte en un punto recurrente de falla en la flota. La **EFG 320** es utilizada en el taller de mantenimiento para el transporte y almacenamiento de cargas de tamaño medio, desempeñando un papel clave en las operaciones logísticas.

### ***6.3. Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 535***

La Jungheinrich **EFG 535** es una grúa horquilla eléctrica de mayor capacidad en comparación con la **EFG 320**, diseñada para aplicaciones industriales más exigentes donde se requiere una manipulación de cargas más pesadas. Este modelo se distingue por su sistema de estabilidad avanzada, que proporciona mayor seguridad al operar con cargas elevadas.

El sistema hidráulico de la **EFG 535** incorpora una bomba de alto rendimiento que permite un control eficiente del mástil y los accesorios. Además, su sistema de frenos regenerativos

ayuda a reducir el consumo energético, aumentando la autonomía operativa en comparación con modelos más pequeños.



*Figura 3: Grúa Horquilla Jungheinrich EFG 535*

Al igual que la **EFG 320**, este modelo presenta un conjunto de flexibles hidráulicos expuestos a condiciones operativas exigentes. La diferencia radica en que, debido a su mayor capacidad de carga y la presión de trabajo más alta, los flexibles de la **EFG 535** pueden estar sujetos a un desgaste acelerado si no se siguen protocolos adecuados de mantenimiento preventivo. Su uso en entornos de alto tráfico y carga pesada la convierte en una de las grúas horquillas de mayor demanda en el taller.

## 6.4. Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de actividades técnicas, administrativas y de gestión dirigidas a garantizar que un activo o equipo conserve su capacidad operativa.

El mantenimiento se clasifica principalmente en tres tipos: mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. (Moubray, 1997):

- **Mantenimiento preventivo:** Consiste en acciones planificadas para prevenir fallas, como inspecciones periódicas, reemplazo de piezas antes de que presenten fallas críticas y ajustes necesarios.
- **Mantenimiento correctivo:** Se realiza una vez que ha ocurrido una falla. Este enfoque, aunque necesario en algunos casos, genera tiempos de inactividad no planificados y mayores costos operativos.
- **Mantenimiento predictivo:** Basado en el monitoreo de condiciones en tiempo real. Utiliza tecnologías avanzadas, como sensores y análisis de datos, para prever cuándo es probable que ocurra una falla, permitiendo intervenciones anticipadas.

Además, las estrategias de mantenimiento deben alinearse con los objetivos de operación para maximizar el desempeño global del sistema productivo, estableciendo un vínculo entre la confiabilidad de los activos y los objetivos operativos (Swanson, 2001).

Un enfoque moderno del mantenimiento incluye también estrategias basadas en la confiabilidad, conocidas como **RCM**. Este método se centra en identificar los modos de falla más críticos y priorizar las acciones preventivas en función del riesgo y el impacto operativo.

## 6.5. TPM

El Mantenimiento Productivo Total, conocido como **TPM** por sus siglas en inglés, es una metodología de gestión que busca maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos productivos, involucrando a toda la organización en el cuidado de los activos. Esta filosofía

no solo se centra en el área de mantenimiento, sino que extiende la responsabilidad del cuidado de los equipos a los operadores y demás personal operativo.

El TPM se estructura sobre ocho pilares fundamentales: mejora enfocada, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, capacitación y formación, gestión temprana de equipos, control de calidad, **TPM** en áreas administrativas y seguridad, salud y medio ambiente.

En el caso de la empresa de transporte donde se desarrolló este estudio, el enfoque principal recae sobre el pilar de mantenimiento autónomo, que busca empoderar a los operadores para realizar inspecciones diarias, limpieza, lubricación y detección temprana de anomalías, fomentando su participación en la prevención de fallas. Este enfoque se complementa con el mantenimiento planificado, orientado a reducir tiempos de inactividad y aumentar la confiabilidad de los equipos.

De acuerdo con Wireman (2010), “el mantenimiento total productivo busca integrar la operación y el mantenimiento, mejorando la disponibilidad de los equipos y promoviendo la participación del personal en la gestión de fallas”. Esta integración facilita el desarrollo de competencias técnicas y operativas en los colaboradores, reforzando el sentido de propiedad sobre los equipos que utilizan diariamente y fortaleciendo la cultura organizacional orientada a la sostenibilidad y el compromiso con la calidad del servicio.

## **6.6. Matriz GUT**

La Matriz GUT es una herramienta de priorización utilizada en la toma de decisiones dentro de procesos de mejora continua. Su nombre proviene de las iniciales de tres criterios de evaluación: **Gravedad**, **Urgencia** y **Tendencia**. Cada uno de estos aspectos se califica con una escala del 1 al 10, siendo 10 el valor más crítico. La *Gravedad* evalúa el impacto que tiene el problema si no se aborda, la *Urgencia* mide la necesidad de actuar rápidamente, y la *Tendencia* estima cómo evolucionará el problema si no se interviene. La puntuación final se obtiene multiplicando los valores asignados a cada dimensión ( $G \times U \times T$ ), lo que permite jerarquizar los problemas según su puntuación total. Esta matriz es especialmente útil en contextos de mantenimiento, donde múltiples fallas compiten por recursos limitados,

permitiendo a los equipos enfocar sus esfuerzos en los problemas que representan mayores riesgos operacionales y económicos. Su implementación facilita una toma de decisiones más objetiva y alineada con los principios del mantenimiento proactivo y la gestión de activos.

### GUT: Toma de decisiones

| Puntos | GRAVEDAD<br>El problema / factor en sí es... | URGENCIA<br>Es necesaria una acción... | TENDENCIA<br>Si no actuamos, la situación... |
|--------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| 10     | En extremo grave                             | Inmediata                              | Saldrá de control                            |
| 8      | Muy Grave                                    | Con alguna urgencia                    | Será muy difícil de manejar                  |
| 6      | Grave                                        | Lo más rápido posible                  | Va a complicarse                             |
| 3      | Poco Grave                                   | Puede esperar                          | Podría complicarse                           |
| 1      | Sin Gravedad                                 | No hay apuro                           | No pasará nada, o podría mejorar.            |

Figura 4: Matriz GUT para la Toma de Decisiones. Fuente: [Método GUT para Priorizar Actividades - Action Group. Education & Consulting](#)

### 6.7. Ciclo CAPDO (Check-Act-Plan-Do-Optimize)

El ciclo CAPDO es una herramienta de mejora continua diseñada para sistematizar procesos y optimizar resultados.

El ciclo CAPDO se utiliza como herramienta de mejora continua para optimizar los procesos de mantenimiento, facilitando un control y ajuste sistemático de las actividades propuestas.

Según Ramos, Almeida y Silva (2018), la aplicación de este tipo de ciclos contribuye a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las estrategias de mantenimiento, permitiendo la corrección oportuna de desviaciones detectadas durante la ejecución.

Este ciclo se basa en cuatro etapas:

1. **Check:** Verificar los resultados actuales mediante indicadores de rendimiento.
2. **Act:** Implementar acciones correctivas según los hallazgos.
3. **Plan:** Establecer planes de mejora basados en los datos analizados.
4. **Do:** Ejecutar los planes formulados.

El **CAPDO** permite mejorar progresivamente la gestión del mantenimiento, enfocándose en resultados medibles.

## ***6.8. Flexibles Hidráulicos***

Los flexibles hidráulicos (mangueras y sus conjuntos) son elementos flexibles que transportan fluido presurizado entre componentes del sistema (bomba, válvulas, cilindros). Su construcción típica considera un **tubo interno** compatible con el fluido, una o varias capas de **refuerzo** textil o metálico (trenza/espiral) que resisten la presión, y una **cubierta** externa que protege frente a abrasión, temperatura y agentes ambientales. En equipos móviles como las grúas horquillas, los flexibles acompañan los movimientos del mástil y del carro, por lo que sufren flexión, torsión, pulsos de presión y contacto con bordes, condiciones que aceleran su deterioro si no se gestionan con diseño y mantenimiento adecuados. Estándares internacionales como **ISO 18752** y **SAE J517** fijan criterios de desempeño, clases de presión y requisitos de impulsos, temperatura y compatibilidad de fluidos para mangueras y ensambles hidráulicos.



*Figura 5: Flexibles Hidráulicos. Fuente: <https://sopra.cl/producto/flexibles-hidraulicos/>*

## ***6.9. Ciclo PHVA (Plan-Do-Check-Act)***

El ciclo PHVA permite establecer una metodología cíclica de mejora continua, aplicada en procesos industriales como el mantenimiento, siguiendo el enfoque de mejora iterativa propuesto por Deming (1986).

Este ciclo compone de cuatro fases:

1. Plan: Identificar problemas y planificar soluciones.
2. Do: Implementar las acciones planificadas.
3. Check: Evaluar los resultados obtenidos.
4. Act: Estandarizar las mejoras o realizar ajustes según los resultados.

Esta metodología es ampliamente utilizada en la gestión de calidad y mantenimiento preventivo, ya que permite una mejora iterativa basada en datos.

## ***6.10. Tiempo medio entre fallas***

El **MTBF** es una métrica utilizada para evaluar la confiabilidad de un equipo. Representa el tiempo promedio que un sistema opera sin interrupciones por fallas. Un **MTBF** alto indica que el equipo presenta una baja frecuencia de fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total Disponible} - \text{Tiempo de Inactividad}}{\text{Número de paradas}} \quad (6.1)$$

*Ecuación 1: Cálculo del Mean Time Between Failure*

### 6.11. Tiempo medio de reparación

El **MTTR** mide el tiempo promedio necesario para reparar un equipo tras una falla. Es un indicador clave de la capacidad del equipo de mantenimiento para resolver problemas de manera eficiente. Un **MTTR** bajo es crucial para reducir los tiempos de inactividad.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}} \quad (6.2)$$

*Ecuación 2: Cálculo del Mean Time To Repair*

### 6.12. Indicadores de Disponibilidad

Los indicadores de disponibilidad son métricas que miden la capacidad de un equipo o sistema para estar operativo durante un período de tiempo determinado. Conceptos como el Tiempo Medio Entre Fallas (**MTBF**) y el Tiempo Medio de Reparación (**MTTR**) son indicadores clave para medir la eficacia del mantenimiento (Mobley, 2002). La disponibilidad es una medida clave en la gestión de mantenimiento, ya que refleja tanto la confiabilidad del equipo (**MTBF**) como la eficiencia en su reparación (**MTTR**).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6.3)$$

*Ecuación 3: Cálculo de la Disponibilidad*

Existen tres tipos principales de disponibilidad:

- **Disponibilidad Intrínseca:** Basada únicamente en el rendimiento de los componentes sin considerar factores externos.
- **Disponibilidad operativa:** Considera los tiempos de espera o retrasos en la reparación debido a falta de repuestos o personal.
- **Disponibilidad efectiva:** Incluye tanto la eficiencia operativa como la capacidad de mantenimiento, siendo una visión más integral.

Un valor alto de disponibilidad indica que los equipos están operativos durante la mayor parte del tiempo, lo que es esencial para garantizar la continuidad de las operaciones logísticas. La implementación de estrategias preventivas y la reducción de tiempos de inactividad son factores clave para mejorar estos indicadores.

### ***6.12.1. Confiabilidad***

La confiabilidad es una métrica clave en ingeniería de mantenimiento que evalúa la probabilidad de que un sistema opere sin fallas durante un tiempo determinado ( $t$ ). En equipos industriales como las grúas horquillas, una alta confiabilidad se traduce en menos paradas inesperadas y mayor eficiencia. Aunque su cálculo requiere datos completos de fallas y operación, su comprensión es esencial para la mejora continua. Indicadores como el **MTBF** y el **MTTR** permiten estimaciones indirectas de confiabilidad, apoyando estrategias preventivas y correctivas que mejoran la continuidad operativa y reducen costos por mantención no planificada.

$$R(t) = e^{\left(\frac{-t}{MTBF}\right)} \quad (6.4)$$

*Ecuación 4: Cálculo de la Confiabilidad*

### ***6.13. Mantenimiento centrado en la confiabilidad***

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (**RCM**) es una estrategia estructurada para maximizar la confiabilidad de los activos físicos a través de un enfoque basado en la evaluación de riesgos. Fue desarrollado inicialmente en la industria aeronáutica en los años 70 y ha sido adoptado por diversos sectores industriales. Esta metodología se basa en identificar los modos de falla que podrían afectar los activos críticos y establecer acciones de mantenimiento específicas para cada uno, según su probabilidad de ocurrencia y el impacto asociado. La confiabilidad es una característica clave en la gestión de activos industriales, representada por indicadores como el **MTBF** y la disponibilidad operativa, los cuales son ampliamente utilizados en la ingeniería de sistemas (Blanchard, 2010).

Los pasos principales del **RCM** incluyen:

- **Identificación de funciones del activo:** Definir qué debe hacer el equipo o sistema en condiciones normales.
- **Análisis de modos y efectos de falla (AMEF):** Determinar cómo pueden fallar los componentes y cuáles serían las consecuencias.
- **Clasificación de fallas críticas:** Priorizar aquellas que representan mayor riesgo para la seguridad, operación o costos.
- **Planificación de estrategias de mantenimiento:** Diseñar intervenciones preventivas, correctivas o predictivas, según la criticidad del componente.

El RCM se enfoca en evitar fallas catastróficas y optimizar el uso de los recursos de mantenimiento, mejorando la confiabilidad operativa a largo plazo.

### ***6.14. Gestión de activos***

La gestión de activos es un enfoque integral que busca maximizar el valor que una organización obtiene de sus activos físicos a lo largo de su ciclo de vida. Incluye la planificación, adquisición, operación, mantenimiento y disposición final de los equipos, con un equilibrio adecuado entre costos, riesgos y desempeño. Siguiendo las directrices

establecidas por la norma **ISO 55001**, estas actividades buscan asegurar la creación de valor a través de una gestión eficiente y estructurada (International Organization for Standardization, 2014)

La norma **ISO 55001** establece los principios para una gestión eficiente de activos, los cuales incluyen:

- **Planificación estratégica:** Definir objetivos claros para la gestión de activos, alineados con los objetivos organizacionales.
- **Evaluación de riesgos:** Identificar los factores que pueden afectar el rendimiento de los activos, como fallas o condiciones operativas adversas.
- **Optimización del mantenimiento:** Implementar políticas de mantenimiento adecuadas para cada activo, minimizando los costos de ciclo de vida.
- **Monitoreo y mejora continua:** Evaluar el desempeño de los activos mediante indicadores clave, como disponibilidad, costos operativos y tiempo medio entre fallas (MTBF).

La gestión adecuada de activos mejora la capacidad operativa, reduce los costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de los equipos, lo que se traduce en mayor eficiencia en las operaciones.

## ***7. Diagnóstico de la problemática actual***

En este apartado se hace énfasis en analizar la problemática asociada a las fallas en los flexibles hidráulicos, delimitando el estudio a dos modelos de grúas horquillas utilizados en el taller: **Jungheinrich EFG 320** y **Jungheinrich EFG 535**. Aunque el taller atiende una variedad de máquinas y herramientas, la elección de estos modelos se justifica por su relevancia en las operaciones logísticas, así como por la frecuencia y características de sus ingresos al área de mantenimiento.

Todo el análisis presentado se basa en los datos recopilados en el sistema de gestión de mantenimiento **Fractal One**, una herramienta que centraliza información sobre tiempos de reparación, frecuencia de fallas y diagnósticos previos. A partir de estos registros, se genera un estudio detallado que permite identificar patrones de falla, tiempos medios de reparación (**MTTR**) y otras métricas clave. Esta información es fundamental para estructurar un análisis basado en métodos de mejora continua, como el ciclo **CAPDO**, comenzando con una evaluación inicial de los datos disponibles.

En el marco del ciclo **CAPDO**, el primer paso es la recopilación de datos que permitan entender la magnitud del problema. Para ello, se inicia con un análisis de la frecuencia de fallas mediante un diagrama de Pareto. Este diagrama identifica los elementos con mayores incidencias de fallos.

## *7.1. Consideraciones Sobre la Exclusión del MTBF y La Disponibilidad*

En el desarrollo del presente trabajo de título, se contempló inicialmente la posibilidad de utilizar indicadores clásicos de confiabilidad y desempeño, tales como el Mean Time Between Failures (**MTBF**) y la disponibilidad. No obstante, tras un análisis preliminar de la base de datos disponible, se determinó que la información relacionada con el registro del horómetro no era consistente ni confiable para una evaluación precisa.

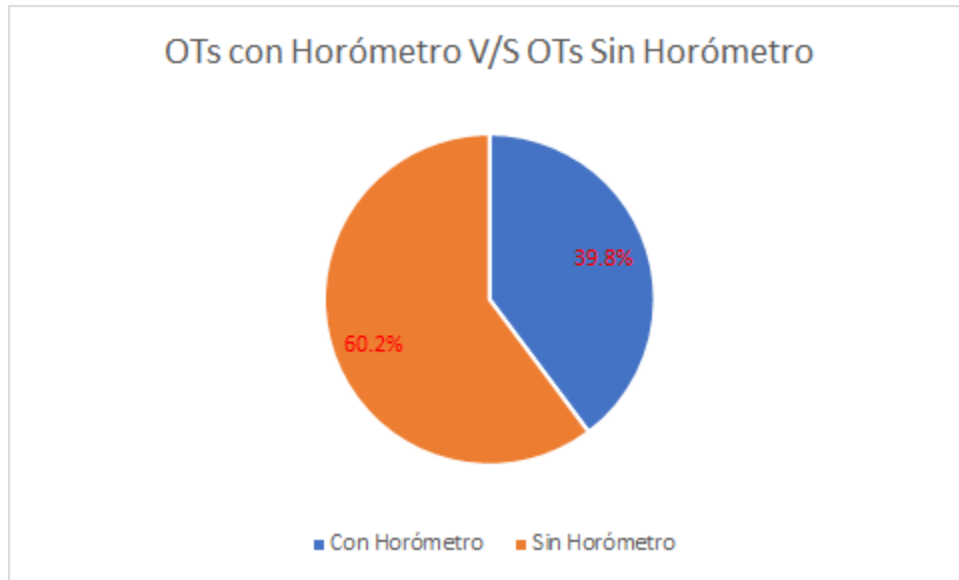


*Figura 6: Catastro de OTs sin Horómetro*

Como se observa en la Figura 3, más del 60% de las órdenes de trabajo analizadas carecen de un registro de horómetro. Esta carencia impide conocer con certeza el tiempo real de operación entre fallas, lo cual introduce un sesgo importante en el cálculo del **MTBF**, haciendo inviable su uso como indicador riguroso. Del mismo modo, la estimación de la disponibilidad operativa se ve afectada por esta misma falta de información confiable sobre los tiempos reales de funcionamiento y detención de los equipos.

Dado este contexto, se optó por centrar el análisis en indicadores más robustos dentro de las condiciones actuales de registro, priorizando el **MTTR** (Tiempo Medio de Reparación) y la frecuencia de fallas como los principales indicadores para evaluar oportunidades de mejora en el mantenimiento de los equipos. Esta decisión se alinea con el principio de utilizar datos de alta calidad y bajo nivel de incertidumbre para respaldar cualquier propuesta técnica y de operación.

## 7.2. Diagrama de Pareto

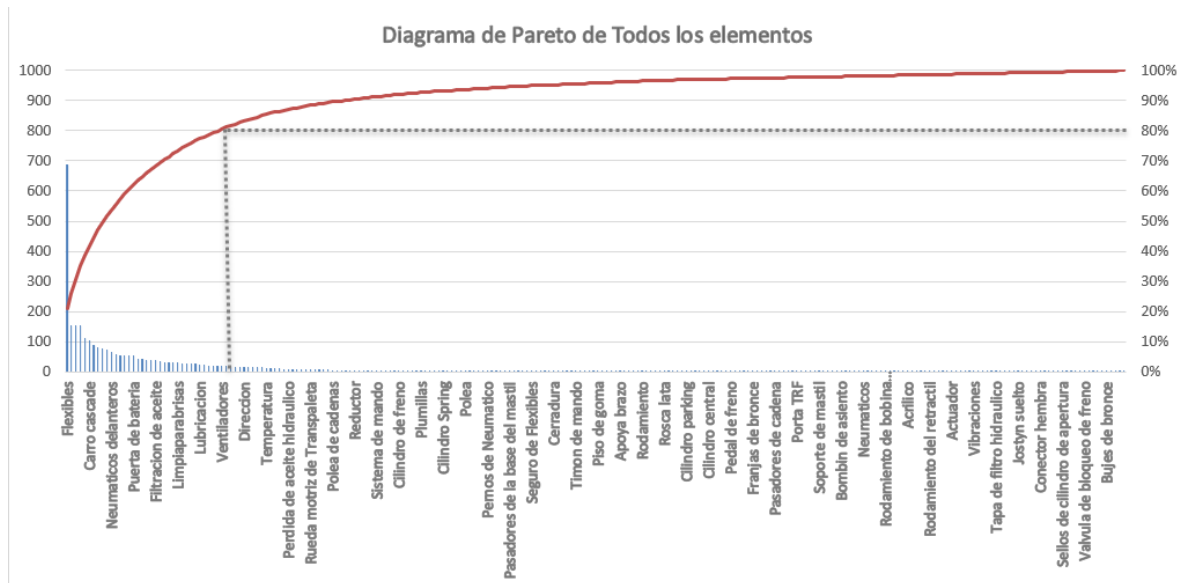


Figura 7: Diagrama de Pareto de Todos los Elementos

El primer diagrama de Pareto presentado tiene una gran cantidad de categorías de elementos fallidos, lo que lo convierte en una visualización compleja y de difícil interpretación. Aunque muestra claramente que los flexibles hidráulicos representan la mayor frecuencia de fallas, el número de elementos incluidos en el gráfico genera un exceso de información que dificulta el análisis y la toma de decisiones estratégicas.

Este tipo de representación es útil para identificar de manera preliminar las áreas que requieren atención, pero su sobrecarga de datos puede llevar a una confusión si no se priorizan adecuadamente las causas más relevantes. En este caso, la curva acumulada indica que pocos componentes, como los flexibles hidráulicos, concentran un alto porcentaje de las fallas totales, mientras que una larga cola de categorías con fallas menores contribuye de manera marginal al problema general.

Para resolver esta dificultad, se aplica el principio de Pareto o criterio 80/20, el cual establece que el 80% de los problemas generalmente provienen del 20% de las causas. Este criterio ayuda a simplificar el diagrama reduciendo las categorías a aquellas que tienen mayor

impacto. De esta manera, se obtiene un gráfico más conciso, donde los componentes críticos quedan mejor identificados y jerarquizados, permitiendo enfocar los esfuerzos de mantenimiento en las áreas con mayor retorno en términos de mejora operativa. Sin esta simplificación, el análisis corre el riesgo de dispersar los recursos en múltiples puntos de menor relevancia.

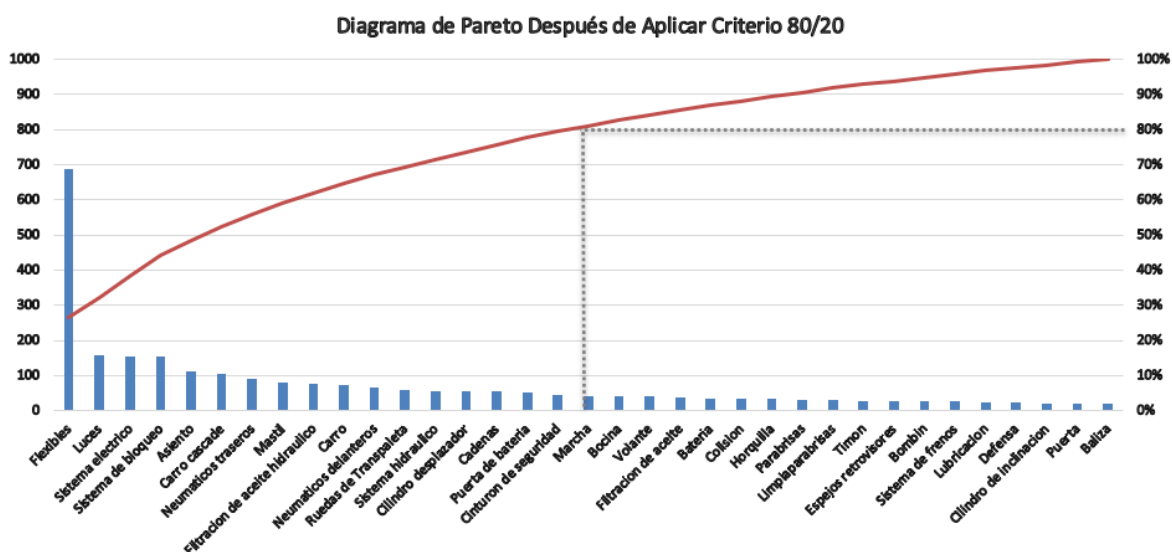


Figura 8: Diagrama de Pareto luego de aplicar criterio 80/20

El segundo **diagrama de Pareto** es una versión optimizada del anterior, en la que se ha aplicado el criterio 80/20 para reducir el número de categorías presentadas. Este ajuste permite una representación mucho más clara y comprensible de los elementos que generan la mayor cantidad de fallas. A diferencia del primer gráfico, aquí se observa cómo los elementos críticos se destacan con mayor precisión, facilitando el análisis y la toma de decisiones.

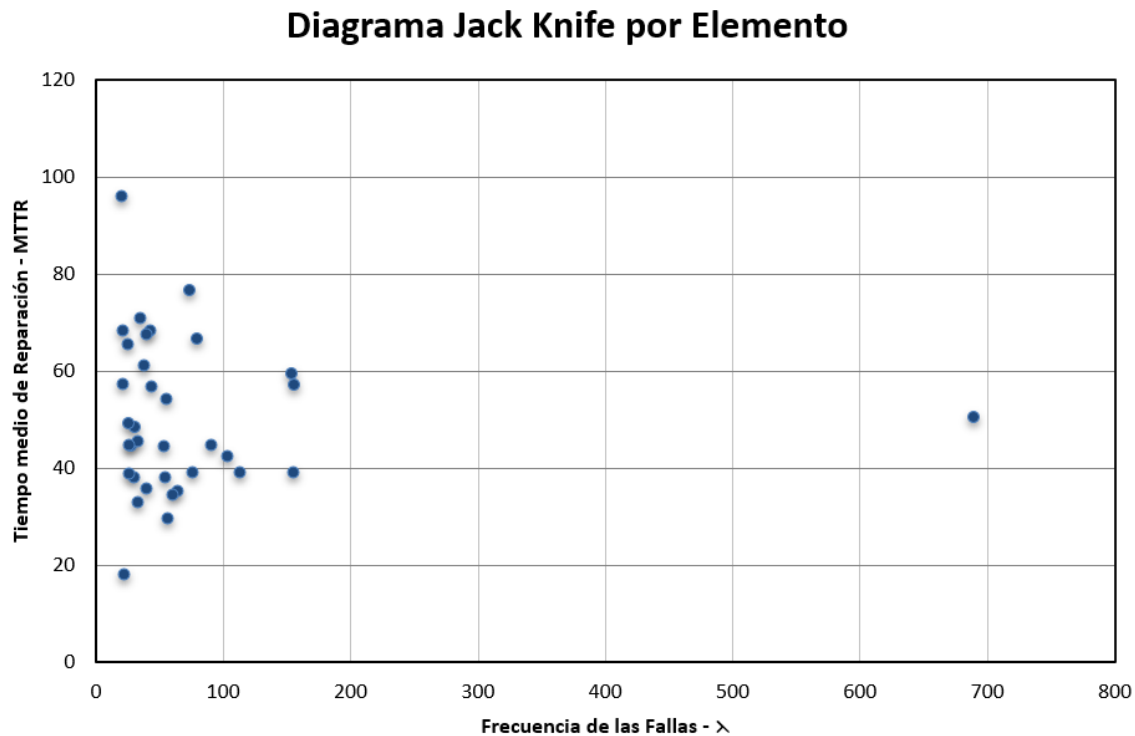
El componente más relevante sigue siendo el flexible hidráulico, pero ahora se encuentra acompañado por otros elementos significativos, como el sistema eléctrico, el sistema de luces, el sistema de bloqueo y el asiento. Estos componentes, aunque no tienen tantas incidencias como los flexibles, representan una fracción considerable de las fallas totales.

Este enfoque permite priorizar las acciones correctivas en una serie de elementos clave en lugar de dispersar los esfuerzos en una multitud de fallos menores.

La reducción en el número de categorías también contribuye a que la curva acumulada sea más representativa de las áreas críticas. En este nuevo gráfico, se visualiza con claridad que un pequeño grupo de componentes concentra la mayor parte de los problemas, lo que refuerza la necesidad de enfocar los recursos en ellos para maximizar la efectividad del mantenimiento. Además, este diagrama ofrece un punto de partida más práctico para una estrategia de mejora continua, ya que facilita la comunicación de las prioridades a los equipos de mantenimiento y a los responsables de la toma de decisiones.

Sin embargo, pese a esta simplificación, el diagrama de Pareto por sí solo no es suficiente para determinar con exactitud cuál es el impacto operativo de estos componentes críticos. Por ejemplo, aunque un elemento como los flexibles hidráulicos tenga una frecuencia elevada, es necesario evaluar también otros factores, como el tiempo medio de reparación (**MTTR**) y la duración acumulada de las fallas. Este análisis es fundamental para obtener una visión completa de las implicancias operativas, lo cual requiere el uso complementario de un **diagrama Jack knife**. Este diagrama permitirá correlacionar frecuencia de fallas con tiempo de reparación, proporcionando una comprensión más profunda de la criticidad de los componentes analizados.

### 7.3. Diagrama de Jack-Knife por Elemento



Un elemento crucial al momento de elaborar el **diagrama Jack Knife** es la Frecuencia de falla:

$$\lambda_i = \frac{N_i}{T} \quad (7.1)$$

*Ecuación 5: Cálculo de la Frecuencia de Falla*

Donde  $N_i$  es el número de entradas al taller del elemento en particular y  $T$  es el horizonte temporal de estudio, que en este caso es 1 año para todos los elementos.

Para orientar la decisión, el diagrama se **divide en cuatro cuadrantes** mediante dos umbrales: un **límite vertical** asociado a la **cronicidad** (frecuencia objetivo o promedio de fallas) y un **límite horizontal** asociado a la **agudeza** (MTTR objetivo o promedio). Así se obtienen cuatro zonas de interpretación:

- **Crónica** (alta  $\lambda$ , bajo MTTR)
- **Aguda** (baja  $\lambda$ , alto MTTR)
- **Aguda-Crónica** (alta  $\lambda$  y alto MTTR, la más crítica)
- **Deseable** (baja  $\lambda$  y bajo MTTR)

Una correcta priorización de componentes críticos dentro de un sistema de mantenimiento requiere contar con indicadores confiables como la disponibilidad, la confiabilidad y el tiempo medio entre fallas (MTBF). No obstante, en el presente estudio, no fue posible calcular de manera precisa la **disponibilidad** ni la **confiabilidad acumulada** de los equipos debido a la falta de datos representativos sobre los tiempos efectivos de operación continua y los históricos completos de funcionamiento sin fallas. En este contexto, se optó por la utilización del **diagrama Jack Knife**, una herramienta gráfica que permite **clasificar componentes según su frecuencia de fallas ( $\lambda$ ) y su tiempo medio de reparación (MTTR)** (Knights, 1977).

$$\text{Límite Agudo} = \frac{\sum \text{Downtime de todos los Componentes}}{\sum \text{Frecuencia de fallas de todos los componentes}} \quad (7.2)$$

*Ecuación 6: Cálculo del Límite Agudo*

$$\text{Límite Crónico} = \frac{\sum \text{Número de Entradas del componente al taller}}{\text{Número Total de Componentes}} \quad (7.3)$$

*Ecuación 7: Cálculo del Límite Crónico*

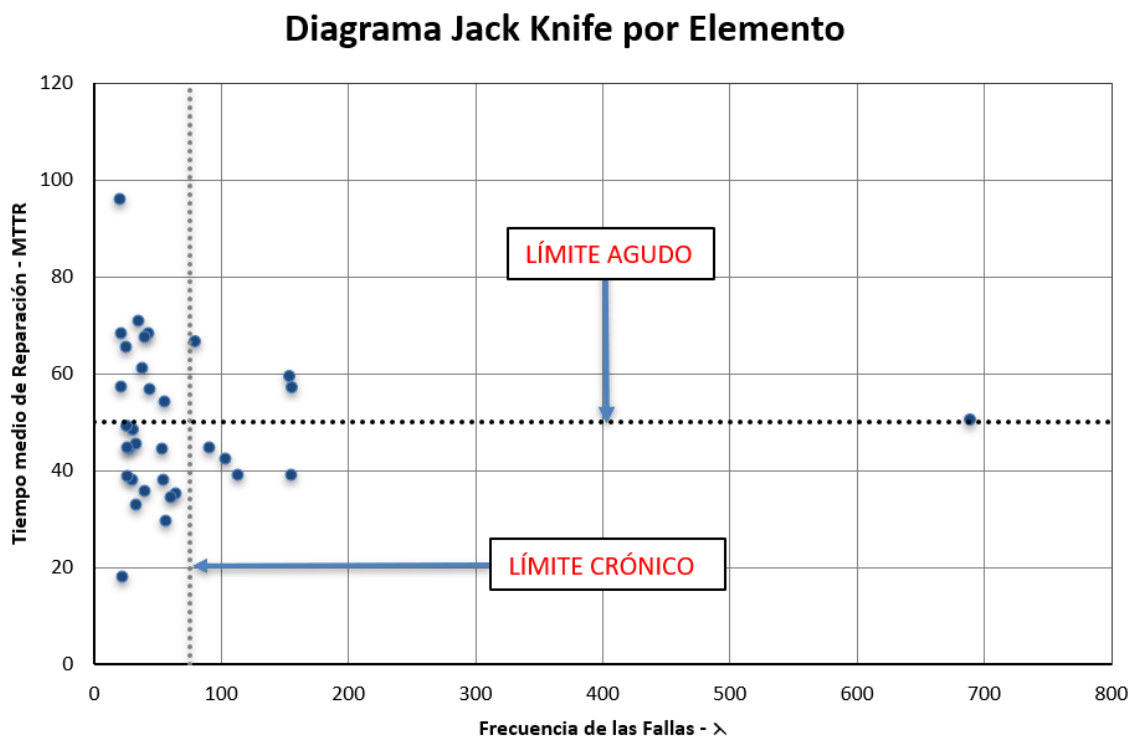


*Figura 10: Cuadrantes dentro del Diagrama Jack Knife*

Estos límites permiten establecer rangos de comportamiento para cada componente analizado, facilitando la visualización y clasificación de aquellos que presentan mayor criticidad. El **diagrama de Jack Knife**, al basarse en estos valores de referencia, entrega una herramienta gráfica efectiva para diferenciar entre fallas de tipo agudo y crónico, y para identificar patrones o tendencias que podrían pasar desapercibidas en un análisis convencional. De este modo, se posibilita una toma de decisiones más informada en torno a estrategias de mantenimiento.

Uno de los hallazgos más relevantes del gráfico es la posición destacada de los flexibles hidráulicos, los cuales se ubican en el cuadrante superior derecho, evidenciando tanto una alta cantidad de fallas como un **MTTR** superior al promedio. Este comportamiento refuerza lo observado previamente en el **diagrama de Pareto**, consolidando a los flexibles como el componente más crítico dentro del sistema. Al profundizar en cada zona del diagrama, se identifican los siguientes patrones:

### ***7.3.1. Zona aguda (Zona superior izquierda)***

En esta región se encuentran elementos como la baliza, caracterizados por una baja frecuencia de fallas, pero con tiempos de reparación elevados. Este patrón puede deberse a dificultades técnicas en la reposición, poca disponibilidad de repuestos o necesidad de intervención especializada. Véase Figura 11

Figura 11: Zona Aguda del Diagrama Jack Knife

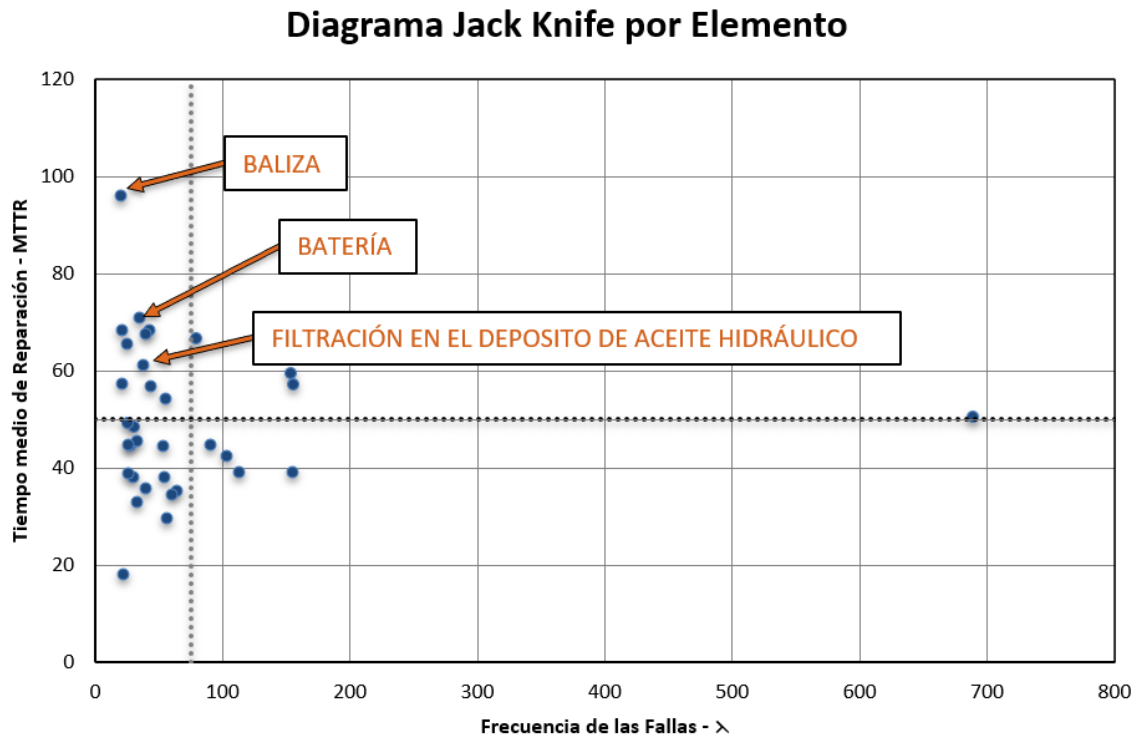


Figura 11: Zona Aguda del Diagrama Jack Knife

En esta zona se encuentran razones de entrada como: Batería, Baliza y Filtración del Sistema Hidráulico

### 7.3.2. Zona crónica (Zona inferior derecha)

Aquí se posicionan componentes como los Neumáticos traseros, el sistema eléctrico y el asiento, los cuales presentan una alta frecuencia de fallas, pero con tiempos de reparación relativamente cortos. Esto indica que, aunque se reparan con facilidad, su recurrencia genera carga operativa constante al taller, afectando la disponibilidad de los equipos. Véase Figura 12

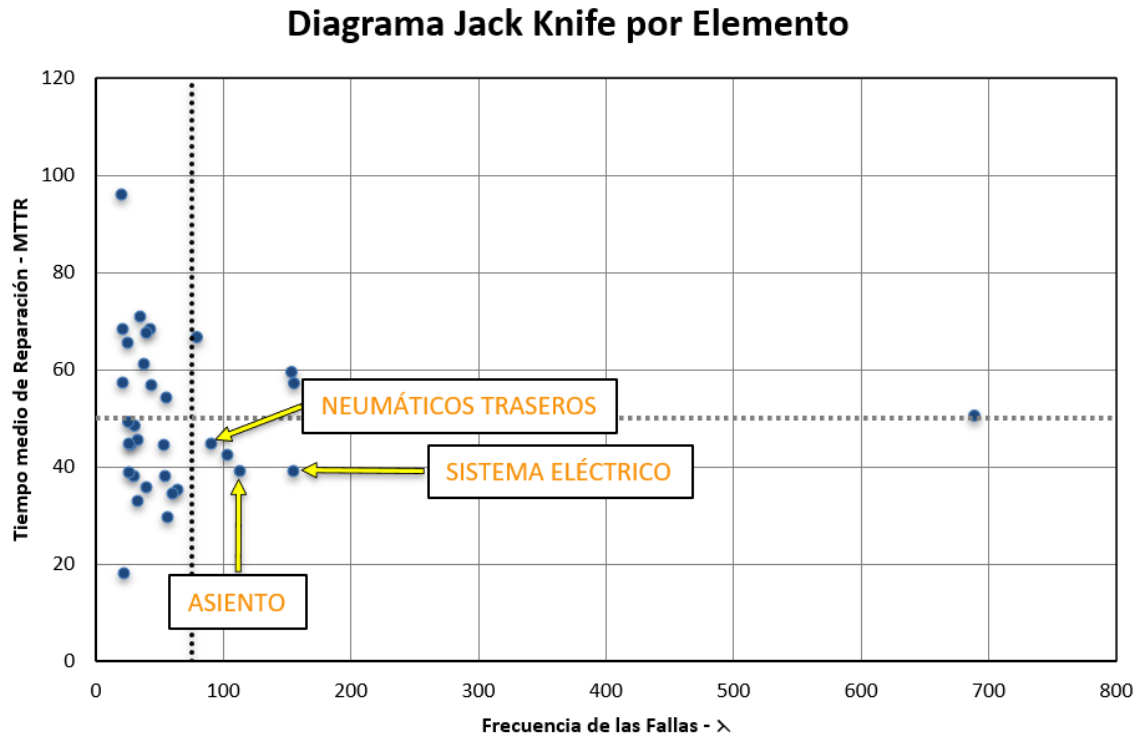


Figura 12: Zona Crónica del Diagrama Jack Knife

### 7.3.3. Zona aguda-crónica (Zona superior derecha)

Esta es la zona más crítica del diagrama, donde se ubican los flexibles hidráulicos, el sistema de luces, el mástil y el sistema de bloqueo. Véase Figura 13

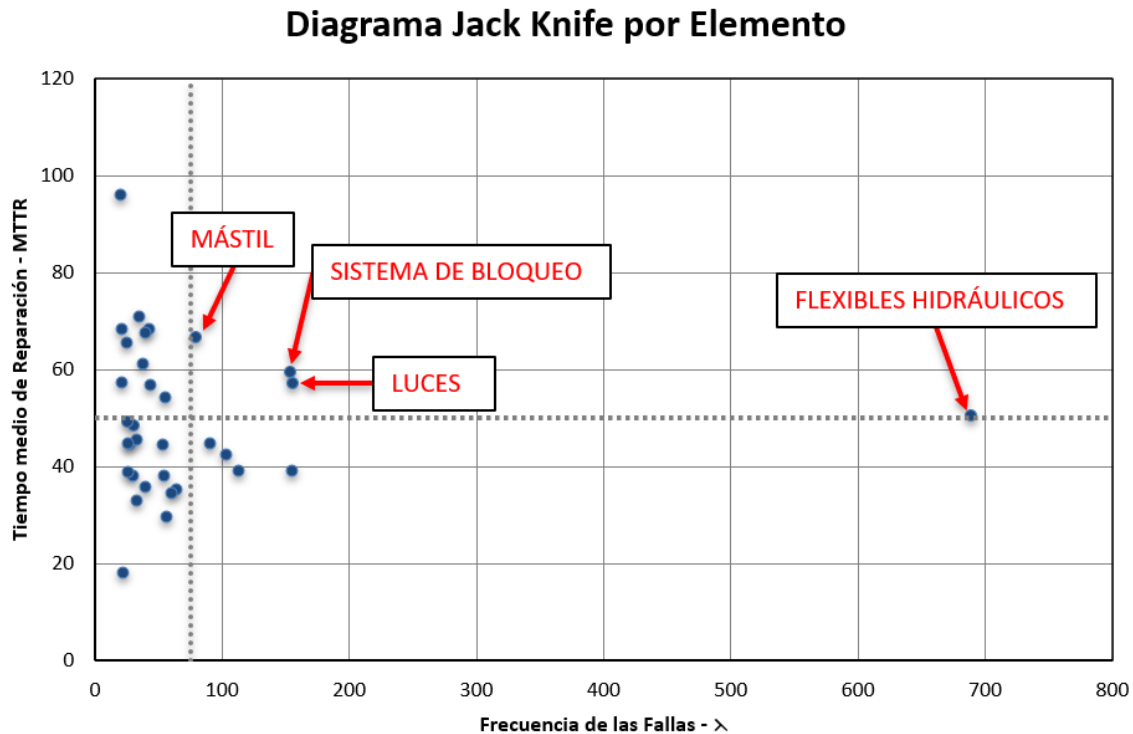


Figura 13: Zona Aguda crítica del Diagrama Jack Knife

Estos elementos combinan alta frecuencia con altos **MTTR**, lo que evidencia una necesidad urgente de acciones correctivas preventivas, rediseño operacional o mejoras en los procedimientos de instalación y supervisión.

#### 7.3.4. Zona ideal (Zona inferior izquierda)

Algunos elementos como la defensa muestran una baja incidencia de fallas y reducidos tiempos de reparación, lo cual sugiere un buen desempeño operativo y una adecuada estrategia de mantenimiento, o bien que su exposición a condiciones críticas es limitada. Véase Figura 14

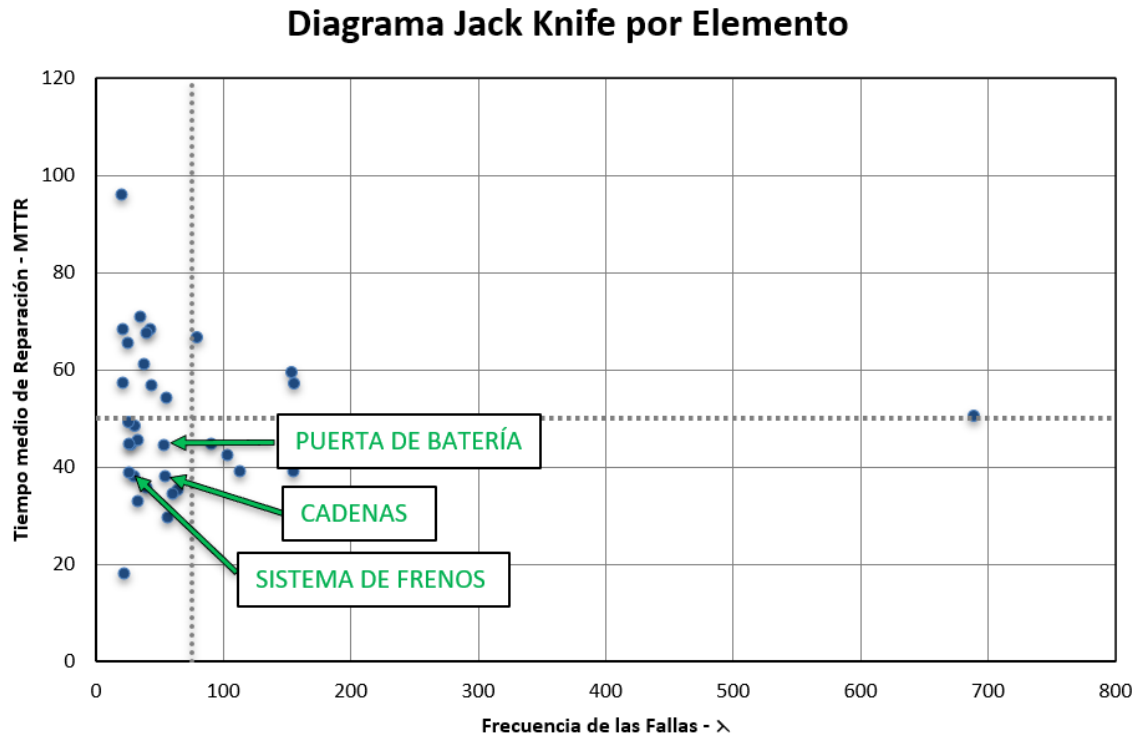


Figura 14: Zona Ideal del Diagrama Jack Knife

## 7.4. Causas De entrada De Los Flexibles Hidráulicos

El diagrama de Pareto de razones de entrada de los flexibles hidráulicos se construye tras restringir la base de datos exclusivamente a las **OTs** asociadas a flexibles, utilizando las descripciones de falla registradas por los operarios como fuente primaria de clasificación. Con este universo depurado, se aplica el criterio 80/20, priorizando las categorías que explican la mayor parte de los incidentes. El resultado muestra que cinco causas concentran alrededor del 80 % de los problemas: mala operación (maniobras bruscas o uso inadecuado del equipo), tracción sobre el flexible, exceso de presión (picos sobre los límites de diseño), desgaste (abrasión, envejecimiento de cubierta o fatiga por flexión repetida) y filtración (pérdidas por deterioro local o uniones deficientes). Esta lectura permite orientar los

esfuerzos hacia acciones de control operativo y capacitación, verificación de presiones, ajuste de fijaciones y estándares de inspección e instalación para reducir la recurrencia.

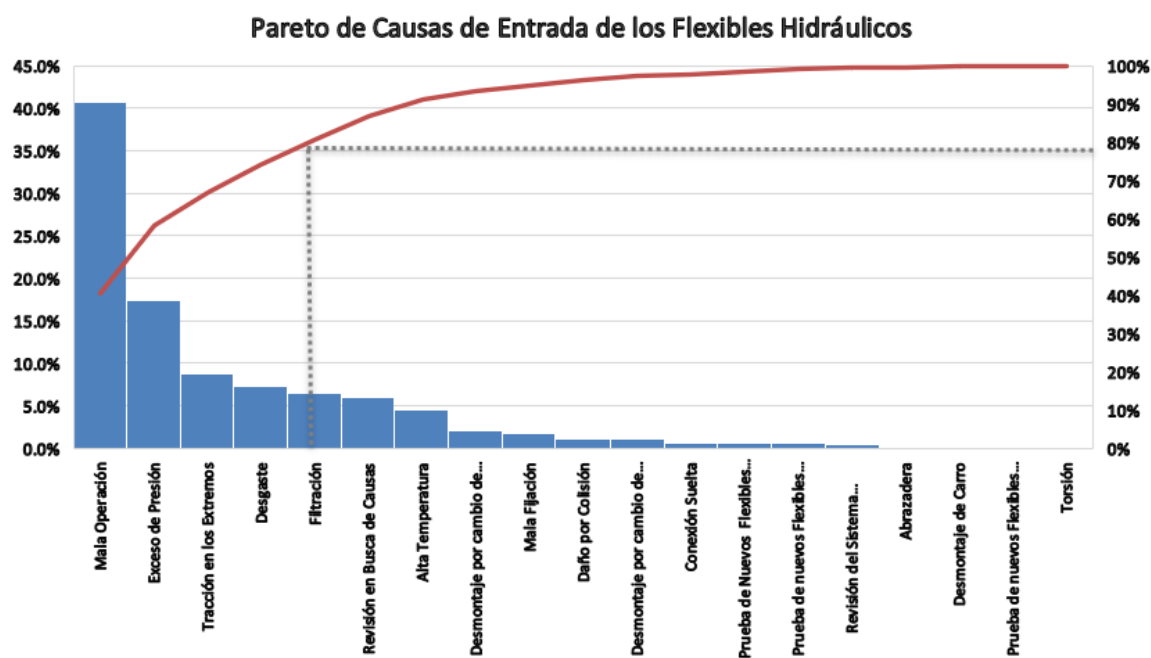


*Figura 15: Diagrama de Pareto de Causas de Entrada de los Flexibles Hidráulicos*

Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar tanto factores técnicos como operativos en el análisis. Por lo tanto, no solo es necesario evaluar el estado físico de los flexibles y sus componentes, sino también implementar estrategias que mejoren la formación y sensibilización de los operadores. Esto permitiría reducir significativamente las fallas asociadas a la operación inadecuada, complementando así las propuestas de mantenimiento preventivo.

Para profundizar en este enfoque, el análisis del ciclo **CAPDO** también debe integrar indicadores relacionados con la calidad de la operación. La revisión de los registros puede servir de punto de partida para diseñar recomendaciones de mejora operativa, como la incorporación de protocolos estandarizados, evaluaciones periódicas del desempeño de los operadores y el desarrollo de manuales de buenas prácticas, todo con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los equipos.

## 7.5. Modos de Falla Principales Hallados



*Figura 16: Gráfico de las 5 Razones de Entrada Principales de los Flexibles Hidráulicos*

A partir del análisis de las órdenes de trabajo asociadas a los flexibles hidráulicos, fue posible categorizar las razones de ingreso al taller en distintos modos de falla. La identificación de estas causas se realizó a partir de la descripción proporcionada por los operarios en los reportes, posteriormente agrupadas y cuantificadas. Aplicando el principio de Pareto (criterio 80/20), se identificaron las cinco causas más recurrentes, responsables del 80% de las incidencias: mala operación, exceso de presión, tracción en los extremos, desgaste y filtración. A continuación, se detallan:

- **Mala Operación:**

La mala operación se relaciona con prácticas inapropiadas del operador, como dejar caer bruscamente la horquilla de la grúa al finalizar ciertas maniobras. Esta acción genera un impacto repentino en el sistema hidráulico, lo que puede provocar el desprendimiento de los flexibles de sus posiciones de operación. Se sospecha que esta práctica puede deberse a hábitos adquiridos para reducir el tiempo de operación o por fatiga acumulada del operador, aunque se requiere más investigación para validar esta hipótesis.



*Figura 17: Mala Operación de la Grúa Horquilla*

- **Exceso de Presión:**

Este modo de falla se produce cuando la presión del fluido dentro del sistema hidráulico excede los límites especificados por el fabricante. Como resultado, el flexible puede presentar hinchazón, deformación o incluso reventar. Esto suele deberse a bloqueos momentáneos, válvulas defectuosas o un uso incorrecto del sistema.



*Figura 18: Fuga por Exceso de Presión en Flexible Hidráulico*

- **Tracción en los Extremos:**

Este tipo de falla ocurre cuando los extremos del flexible están sometidos a tensiones longitudinales excesivas, lo que genera desgaste o corte en las conexiones. En algunos casos, se ha observado que las grúas horquillas operan al límite de su altura útil, obligando a los flexibles a extenderse demasiado, generando así zonas de tracción concentrada.



Figura 19: Desgaste cerca de la conexión del Flexible. Fuente: <https://kingdaflex.com/es/how-to-replace-a-hydraulic-hose/>

- **Desgaste:**

Como componente flexible sujeto a movimiento constante, el flexible hidráulico está expuesto a un desgaste progresivo que no puede eliminarse totalmente, solo moderarse. Este deterioro se origina en el contacto repetitivo contra guías, rodillos, cables, o incluso con otros flexibles, y se agrava por la curvatura natural del tendido. El resultado es una **pérdida gradual del grosor de la cubierta**, desgaste del refuerzo y potencial inicio de grietas longitudinales. Si bien no se puede evitar del todo, se puede **mitigar mediante rutinas de inspección, rotación del flexible, uso de fundas protectoras, separación adecuada y rutas optimizadas**.



Figura 20: Desgaste en el Flexible Hidráulico. Fuente: <https://kingdaflex.com/es/how-to-replace-a-hydraulic-hose/>

- **Filtración:**

La **filtración en un flexible hidráulico** es una condición crítica que ocurre cuando el fluido a presión comienza a escapar por el cuerpo del flexible o por sus extremos, producto del deterioro del material o fallas en el ensamblaje del terminal con la manguera. Este tipo de falla puede manifestarse como micro fugas difíciles de detectar a simple vista, especialmente cuando se trata de conexiones con rosca cónica o conexiones de sellado con anillo tórico, donde el asiento de sellado puede presentar desgaste localizado. También puede producirse una pérdida de estanqueidad en conexiones de cara plana con junta tórica, ya sea por fatiga del o-ring o por un mal apriete durante la instalación.

Desde el punto de vista operativo, una filtración es peligrosa ya que puede provocar una pérdida de presión en el circuito hidráulico, disminuyendo la eficiencia del sistema y generando riesgos por el goteo de aceite caliente o derrames sobre superficies de trabajo, aumentando las probabilidades de accidentes. Estas filtraciones suelen aparecer tras un periodo de uso prolongado, cuando los materiales han estado sometidos a ciclos de presión y temperatura constantes, o bien por un montaje defectuoso que acorta significativamente la vida útil del componente.



Figura 21: Filtración en flexible Hidráulico. Fuente: <https://kingdaflex.com/es/how-to-repair-a-hydraulic-hose/>

## 7.6. Conclusión del Análisis de la Problemática

En conclusión, el segundo objetivo específico ha facilitado un análisis exhaustivo de la problemática relacionada con los flexibles hidráulicos en los modelos de grúa horquilla **Jungheinrich EFG 320** y **EFG 535**. Los datos obtenidos de la base de mantenimiento **Fracttal One** han permitido una evaluación detallada que destaca la criticidad de estos componentes en el taller. A través del uso de herramientas como los **diagramas de Pareto** y **Jack Knife**, se identifica que los flexibles representan la mayor incidencia de fallas en el equipo de manutención. El **diagrama de Pareto** inicial mostró una concentración de fallos significativa, lo que dio lugar a la aplicación del criterio 80/20, permitiendo un enfoque en los elementos con mayor impacto operativo. A partir de ello, el análisis mediante el diagrama **Jack Knife** reforzó esta conclusión, evidenciando patrones claros respecto a la frecuencia de fallas y tiempos de reparación (**MTTR**) por máquina y por componente.

Un aspecto clave que surgió de los registros de mantenimiento fue la identificación de la mala operación como una de las principales causas de falla. Los datos indican que en muchos casos los flexibles se desconectan o sufren daños debido a maniobras inadecuadas, tales como movimientos bruscos, giros cerrados o la sobrecarga constante de las máquinas, estas prácticas generan tensiones excesivas y una mayor probabilidad de desgaste prematuro. Este hallazgo es relevante porque demuestra que no basta con implementar mejoras técnicas; es esencial también abordar factores operativos mediante la formación y capacitación del personal que opera las grúas.

Adicionalmente, el análisis de la problemática se enmarca en la fase de "**Check**" dentro del ciclo **CAPDO**, que permite sentar una base sólida para la toma de decisiones futuras. Este enfoque asegura que las soluciones propuestas no solo se limiten a mejoras en el mantenimiento preventivo, sino que también incluyan medidas orientadas a prevenir errores operativos, tales como protocolos de inspección, guías de operación segura y auditorías periódicas de desempeño.

El análisis cruzado de diversos tipos de datos, como las frecuencias de ingreso al taller, los tiempos de reparación (**MTTR**) y las condiciones de operación, subraya la necesidad de un enfoque integral. En este sentido, los resultados obtenidos demuestran que los flexibles hidráulicos, al estar sometidos a un desgaste constante, presentan una incidencia crítica en las fallas registradas. Esta situación requiere que las estrategias de mejora se centren en dos aspectos fundamentales: el refuerzo de las inspecciones preventivas, que permitirían detectar a tiempo señales de deterioro, y la reducción de las fallas operativas causadas por el manejo inadecuado de los equipos. A lo largo de esta etapa, aunque no se ha abordado aún el análisis detallado de las causas raíz, los datos de **Fractal One** ya han permitido evidenciar ciertos patrones operativos que influyen en la vida útil de los flexibles, como desmontajes accidentales debido a malas maniobras de los operadores. Este enfoque inicial establece las bases para las siguientes fases del ciclo **CAPDO**, donde se planificarán y validarán las acciones necesarias para optimizar tanto el mantenimiento como la operación de las grúas horquillas.

## ***8. Análisis causa raíz***

El análisis de causa raíz es una herramienta fundamental en la gestión del mantenimiento, ya que permite identificar los factores que originan las fallas recurrentes y no solo sus consecuencias. Comprender el origen de las fallas en los flexibles hidráulicos es esencial para desarrollar soluciones efectivas y sostenibles, que eviten la repetición de los problemas y mejoren la confiabilidad de los equipos. A través de este enfoque, se busca abordar tanto los aspectos técnicos como operacionales que inciden en el desgaste prematuro y la rotura de los flexibles.

En este contexto, se aplicó el **diagrama de Ishikawa**, también conocido como diagrama de causa-efecto, para categorizar y visualizar las principales causas asociadas a la alta reposición de flexibles hidráulicos en las grúas horquillas analizadas. Este método permitió estructurar las causas en categorías clave como Método, Materiales y Mano de obra, evidenciando factores recurrentes como la ausencia de protocolos de instalación, deficiencias en la calidad de los componentes y errores operativos.

## 8.1. Diagrama de Ishikawa

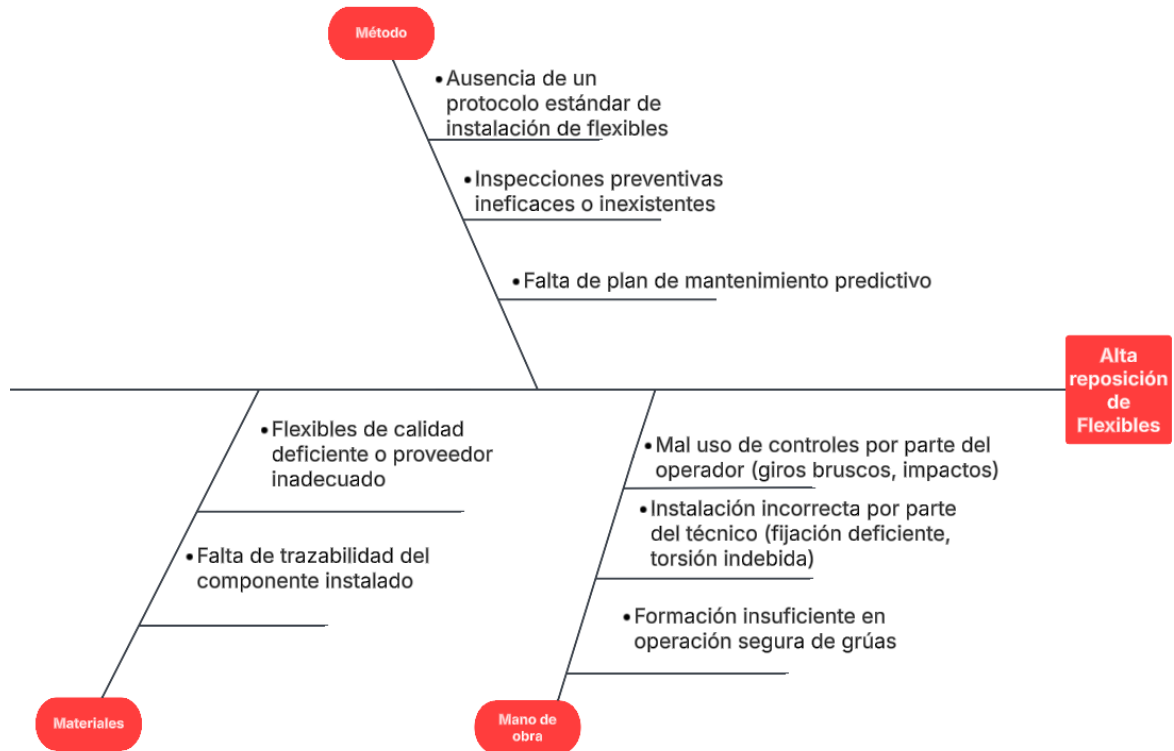


Figura 22: Diagrama de Ishikawa

En el análisis de causa raíz, se elaboró un **diagrama de Ishikawa** que permite visualizar los principales factores que contribuyen a la alta reposición de flexibles hidráulicos. La estructura del diagrama se centra exclusivamente en tres categorías: Método, Materiales y Mano de obra. Esta selección responde a los ámbitos donde fue posible recopilar información durante el desarrollo de la investigación y la experiencia práctica en el taller. Otras categorías tradicionales del diagrama, como Maquinaria, Medio Ambiente o Medición, no fueron consideradas debido a la ausencia de datos concretos, herramientas de medición adecuadas o evidencias que justificaran su inclusión en este estudio.

- **Método:**

En esta categoría se identificaron deficiencias relacionadas con los procedimientos y prácticas operativas. Se constató la ausencia de un protocolo estándar para la instalación de flexibles, lo que genera variabilidad en la calidad del montaje. Asimismo, las inspecciones preventivas resultan ineficaces o inexistentes, lo cual impide detectar fallos incipientes antes de que se transformen en problemas mayores. Finalmente, se observó la falta de un plan de mantenimiento predictivo que permita anticipar el desgaste de los flexibles en función de sus condiciones de operación.

- **Materiales:**

Este ámbito contempla causas asociadas a la calidad y trazabilidad de los componentes. Se detectó el uso de flexibles de calidad deficiente o provenientes de proveedores inadecuados, lo que compromete su vida útil. Además, se identificó la falta de un sistema de trazabilidad que permita conocer qué flexible fue instalado, cuándo y bajo qué condiciones, dificultando así el seguimiento y control de componentes defectuosos o de corta duración.

- **Mano de Obra:**

En cuanto a la mano de obra, se evidenciaron causas relacionadas tanto con la operación como con el montaje de los flexibles. Se observaron prácticas inadecuadas por parte de los operadores, quienes ejecutan maniobras bruscas que generan tensiones adicionales sobre los componentes. Asimismo, los técnicos presentan deficiencias en la instalación, tales como fijaciones inadecuadas o torsión indebida del flexible. A esto se suma una formación insuficiente del personal en temas de operación segura y montaje adecuado, lo cual limita la prevención de estos errores recurrentes.

## 8.2. 5 WHY

| Problema visible:                           | CAUSAS POTENCIALES                                                   |                                                                                                                |                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                                                                            |  |  | CAUSA(S) RAZ                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             | POR QUE 1                                                            | POR QUE 2                                                                                                      | POR QUE 3                                                                                          | POR QUE 4                                                                                     | POR QUE 5                                                                                                                                  |  |  |                                                                                                                                                                                                            |
| Fallas en los Flexibles de Equipos Móviles. | Se desconoce el por qué de la falla                                  | El reporte en la plataforma de gestión no incluye la razón de falla                                            | los técnicos encargados no realizan una observación o diagnóstico correspondiente a la situación   | La plataforma no exige de manera obligatoria una descripción mas detallada de la falla        | El sistema no está configurado para hacerlo, lo cual denota una falta de enfoque en mejora continua dentro de la gestión del mantenimiento |  |  | La causa de la falla se desconoce por que no se exige ingresar un diagnóstico técnico detallado. La plataforma no está configurada para obligar ese nivel de descripción en los registros de mantenimiento |
|                                             | Flexible muestra desgaste y transpiración                            | Es probable que el Flexible tenga fisuras o microfisuras por las cuales el aceite Hidráulico se esta filtrando | Es posible que el Flexible Hidráulico esté rozando demasiado con algún elemento                    | El flexible no cumple con las prestaciones necesarias para la operación                       |                                                                                                                                            |  |  | No hay un estudio claro sobre cuales deben ser las especificaciones del flexible para que éste pueda cumplir con un periodo de operación mas largo                                                         |
|                                             | Flexible se rompe y muestra esquirlas debido a movimientos bruscos   | El operador realiza movimientos muy bruscos con el equipo                                                      | Posiblemente el operador no ha recibido una instrucción mas minuciosa sobre un buen uso del equipo | Por que no existe un programa formal ni refuerzo periódico sobre manejo preventivo de equipos | No se ha asociado la operación deficiente con fallas técnicas específicas como las de los flexibles                                        |  |  | El flexible se rompió debido a las maniobras bruscas del operador, quien no ha recibido instrucción específica ni refuerzo formal sobre el uso preventivo del equipo ni su impacto en los flexibles        |
|                                             | El Flexible se deteriora cerca de las conexiones debido a la tensión | Al elevar la horquilla se observa que el flexible queda excesivamente tirante                                  | El flexible no cumple con la longitud necesaria                                                    |                                                                                               |                                                                                                                                            |  |  | No existe un procedimiento estandarizado de chequeo de flexibles que contemple la operación y longitud necesaria del flexible                                                                              |
|                                             | Exceso de presión.Flexible no aguanta la presión                     | El sistema puede estar siendo operado por encima de los parámetros de diseño del flexible                      | No se monitorea la presión de manera adecuada o de manera constante                                | No hay un protocolo de revisión de presión de los equipos                                     |                                                                                                                                            |  |  | Falta de monitoreo y control de la presión del sistema - Falta de sensores y registros técnicos de presión que permitan identificar y prevenir condiciones de operación por sobrepresión.                  |
|                                             |                                                                      |                                                                                                                |                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                                                                            |  |  |                                                                                                                                                                                                            |

Tabla 1: Análisis 5 Por Qué de los Flexibles Hidráulicos

Con el fin de profundizar en la identificación de las causas raíz de las fallas en los flexibles hidráulicos de equipos móviles, se aplicó la metodología de los **5 Por Qué (5 Why)**. Esta herramienta permite formular una secuencia lógica de interrogantes orientadas a rastrear el origen fundamental de un problema, y no quedarse en sus manifestaciones superficiales.

A continuación, se detallan los resultados más relevantes derivados del análisis 5 Por Qué, ordenados según los modos de falla observados:

- Se detectó que en muchas ocasiones se desconoce el motivo real de la falla, ya que los reportes en la plataforma de gestión no incluyen la causa específica. Esto ocurre porque los técnicos no siempre registran un diagnóstico técnico detallado, y la plataforma no exige de forma obligatoria una descripción estructurada de la falla. A esto se suma una falta de enfoque en la mejora continua desde la gestión del mantenimiento.
- En segundo lugar, se observó que muchos flexibles presentan **transpiración o fisuras**, lo que indica un deterioro progresivo por desgaste o por roce con componentes del sistema. Adicionalmente, en varias situaciones se constató que los materiales utilizados no siempre son los más adecuados para resistir los rangos de presión o temperatura presentes en el sistema. Esto se vincula a la inexistencia de documentación clara respecto a las **especificaciones técnicas del flexible**, así como a la ausencia de verificación de compatibilidad en la instalación.
- Otra causa crítica detectada corresponde a **movimientos bruscos del operador**, que generan roturas o esquilas en los flexibles. Esto está directamente relacionado con una carencia de formación específica en el impacto que tiene el mal uso del equipo sobre los componentes hidráulicos. No existen instancias de capacitación periódica ni programas de manejo preventivo que refuercen estas prácticas.

- En ciertos casos, se observó que el flexible **se deteriora cerca de las conexiones** debido a tensiones excesivas. Esto ocurre porque el flexible instalado no cumple con la **longitud mínima adecuada**, generando una tracción innecesaria cuando el mástil de la grúa se eleva. Este detalle técnico no está estandarizado ni contemplado en un protocolo de instalación.
- Finalmente, también se detectaron fallas relacionadas con **sobrepresión en el sistema hidráulico**, que provocan la ruptura del flexible al superar sus parámetros de diseño. Esto se debe a la inexistencia de un sistema de monitoreo constante de presión, sumado a la falta de sensores y controles que adviertan sobre estas condiciones anómalas.

## *9. Propuesta y priorización de soluciones*

Luego del análisis realizado mediante el **diagrama de Ishikawa** y la herramienta de los **5 Por Qué**, fue posible identificar las principales causas raíz que originan la alta reposición de flexibles hidráulicos en las grúas horquillas. Estos análisis permitieron estructurar un conjunto de propuestas de mejora orientadas a mitigar las causas técnicas y operativas detectadas, enfocándose tanto en aspectos procedimentales como en el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento y la operación segura de los equipos.

Cada una de las propuestas fue priorizada según su impacto técnico y su facilidad de implementación, considerando criterios como la capacidad de reducir fallas, mejorar la confiabilidad del mantenimiento y optimizar la operación de los equipos. A continuación, se describen las propuestas formuladas:

- Implementar sistema de registro fotográfico y trazabilidad para flexibles hidráulicos

Consiste en incorporar un sistema sistemático de **registro fotográfico** al momento del **montaje y desmontaje de flexibles hidráulicos**, complementado con un **formulario estandarizado de trazabilidad** que incluya información clave como:

- ❖ Fecha de instalación y retiro del flexible
  - ❖ Tipo de falla observada
  - ❖ Estado visual del flexible (con foto)
  - ❖ Observaciones de daño (abrasión, fugas, desgaste, etc.)
- Capacitación operativa específica sobre el impacto del mal uso en los flexibles:

Se propone desarrollar e implementar un programa de capacitación dirigido a los operadores, orientado a explicar cómo sus acciones afectan la confiabilidad del equipo. La operación inadecuada ha demostrado ser un factor clave en la frecuencia de fallas, por lo que esta propuesta busca reducir significativamente las intervenciones asociadas a errores operativos. Su prioridad es alta, debido a su impacto inmediato en la reducción de fallas.

Como parte de la propuesta de mejora continua, se elaboró un Procedimiento Operativo Estandarizado (**S.O.P.**) orientado a evitar los descensos bruscos de horquilla durante el retiro de carga, buscando reducir fallas en los flexibles hidráulicos y mejorar la seguridad operativa.

| EMPRESA DE TRANSPORTES                                                                                                                                                                                 |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE OPERACIÓN                                                                                                                                                                    |                                                     | CODIGO DE DOCUMENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                        |                                                     | REVISIÓN: 00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                          |
| Equipo Taller de Mantenimiento Equipos                                                                                                                                                                 |                                                     | EDICIÓN: Octubre 2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                        |                                                     | Procedimiento Relacionado:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                          |
| Taller de grúas                                                                                                                                                                                        |                                                     | ESTANDARIZACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                          |
| Clasificación                                                                                                                                                                                          |                                                     | Categoría                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                          |
| Conocimiento Básico <input checked="" type="checkbox"/>                                                                                                                                                | Casos Problemas <input checked="" type="checkbox"/> | Calidad/Inocuidad <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Medio Ambiente <input type="checkbox"/>                  |
| Caso de Mejora <input checked="" type="checkbox"/>                                                                                                                                                     | Paso a Paso <input type="checkbox"/>                | Seguridad <input checked="" type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Otro <input checked="" type="checkbox"/> Estandarización |
|                                                                                                                       |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                          |
| <b>1.- Utilizar todos los EPP y herramientas adecuadas:</b><br>Utilizar lentes de seguridad, calzado de seguridad, guantes, vestuario corporativo o traje tyrek para llevar a cabo la tarea.           |                                                     | <b>2.- Posicionamiento de la carga:</b><br>Apoye completamente el pallet en la superficie/rack; detén el equipo (sin avance/retroceso)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                          |
|                                                                                                                     |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                          |
| <b>4.- Instalación de la cadena adecuada:</b><br>•Acciona con el mando de descenso en forma progresiva y continua.<br>•No sueltes la palanca de golpe ni realices micro-golpes para "soltar" la carga. |                                                     | <b>3.- Liberación suave de contacto:</b><br>Incline el mástil hacia adelante solo lo necesario para liberar presión de contacto entre horquilla y carga.<br><br><b>5.- Retiro, Cierre y Control:</b><br>•Retroceda en línea recta y a baja velocidad, sin girar el volante durante la salida de las horquillas.<br>•Detenga el equipo, registra cualquier desviación (golpe, vibración, fuga) y reporte al encargado de Mantenimiento                                                                                                                                                                                            |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                        |                                                     | <b>OBJETIVO:</b><br>Estandarizar el retiro de las horquillas al dejar una carga para evitar descensos bruscos del sistema hidráulico, disminuyendo fallas en flexibles, fugas y riesgos operacionales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                        |                                                     | <b>8.- RIESGOS :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Golpe hidráulico interno, causado por descenso rápido de la horquilla, que puede dañar sellos, cilindros o flexibles.</li> <li>• Fatiga prematura de flexibles hidráulicos por sobrepresión o vibraciones repetitivas.</li> <li>• Pérdida de control de la carga, provocando caída del pallet o desplazamiento del producto.</li> <li>• Golpe o colisión con estructuras al retroceder bruscamente después de soltar la carga.</li> <li>• Inestabilidad del equipo o de la carga, que puede generar vuelco parcial del pallet o desplazamiento lateral.</li> </ul> |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                        |                                                     | <b>MEDIDAS PREVENTIVAS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accionar la palanca hidráulica lentamente, manteniendo un flujo de aceite progresivo durante el descenso.</li> <li>• Verificar visualmente que el pallet esté completamente apoyado antes de iniciar el descenso.</li> <li>• Retirar las horquillas rectas y sin acelerar el retroceso, evitando tirones o giros durante la maniobra.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                            |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                        |                                                     | <b>PROHIBICIONES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajar sin EPP</li> <li>• Utilizar joyas y/o accesorios</li> <li>• Realizar este procedimiento si usted no está capacitado</li> <li>• Dejar caer la horquilla bruscamente</li> <li>• Retirar la horquilla con el pallet aún en contacto</li> <li>• Ignorar ruidos o vibraciones anormales durante el descenso o retiro.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                              |                                                          |
| Preparado por:<br>Pablo Monroy Zambrano                                                                                                                                                                | Revisado por:<br>INGENIERO DEL ÁREA                 | Aprobado Por:<br>JEFE DE MANTENIMIENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | DOCUMENTO CONTROLADO                                     |

Figura 23: S.O.P. de Buena Operación

- Estandarizar la verificación técnica al instalar flexibles (temperatura, fijaciones y presión):

Se sugiere implementar procedimientos de verificación durante la instalación de flexibles, garantizando que los componentes seleccionados sean aptos para las condiciones de operación. Esta medida evita errores graves por selección o instalación incorrecta, y es de fácil aplicación con bajo costo adicional. Su prioridad es alta.

- Instalación de sensores de presión con alertas para prevenir sobrepresión (sistema de monitoreo en línea, registro):

Se plantea incorporar sensores de presión que permitan monitorear en tiempo real el sistema hidráulico y generar alertas cuando se excedan los límites de operación. Esta solución busca prevenir fallas catastróficas por sobrepresión. Si bien su impacto técnico es elevado, su prioridad se considera **media** debido a que implica un mayor costo y gestión con proveedores externos.

- Auditorías mensuales:

Se recomienda implementar auditorías internas mensuales para revisar instalaciones, procedimientos y cumplimiento de protocolos. Estas auditorías permitirán detectar desviaciones tempranas, fortalecer la disciplina operativa y generar información clave para la toma de decisiones. La prioridad es media, dado que no requiere inversiones adicionales significativas.

## 9.1. Matriz GUT de las Propuestas

| Nº | Propuesta                                                                       | G | U | T | Puntaje GUT | Prioridad Final |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|-------------|-----------------|
| 1  | Implementar protocolo obligatorio de diagnóstico técnico en Fracttal One        | 5 | 5 | 5 | 125         | Muy Alta        |
| 2  | Capacitación operativa específica sobre impacto del mal uso en los flexibles    | 5 | 5 | 4 | 100         | Muy Alta        |
| 3  | Estandarizar verificación técnica al instalar flexibles (temperatura y presión) | 4 | 4 | 5 | 80          | Alta            |
| 4  | Instalación de sensores de presión con alertas para prevenir sobrepresión       | 5 | 3 | 4 | 60          | Media           |
| 5  | Auditorias Mensuales                                                            | 4 | 3 | 3 | 36          | Media-Baja      |

Tabla 2: Matriz GUT Para Priorizar Propuestas

Para priorizar las propuestas de mejora orientadas a reducir la frecuencia de fallas en los flexibles hidráulicos, se aplicó la matriz **GUT** (Gravedad, Urgencia y Tendencia). Esta herramienta permitió clasificar las acciones según su impacto en la operación, la necesidad de implementación inmediata y la posibilidad de que el problema empeore si no se actúa. El análisis evidenció que la implementación de un protocolo obligatorio de diagnóstico técnico en Fracttal One y la capacitación operativa sobre el mal uso de los flexibles son las acciones con prioridad **Muy Alta**, debido a su elevada puntuación total (125 y 100, respectivamente). Estas medidas se enfocan directamente en las causas principales de ingreso de flexibles al taller y se consideran críticas para fortalecer la trazabilidad y la conducta operativa.

### 9.1.1. Carta Gantt

El siguiente cronograma representa la planificación general de las actividades de mejora propuestas, estructuradas según el ciclo **PHVA** (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). Se incluyen las principales acciones, responsables, y su duración estimada en semanas y meses.

| PROPUESTA                           | TAREA                            | FASE PHVA  | RESPONSABLE                                             | SUPERVISOR                       | DURACIÓN EN SEMANAS O MESES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------|----------------------------------|------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
|                                     |                                  |            |                                                         |                                  | 1                           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| PROTOCOLO EN FRACTAL ONE            | CREAR PROTOCOLO + CAPACITACIONES | PLANIFICAR | INGENIERO DE MANTENIMIENTO                              | JEFE DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | APLICACIÓN EN OTs                | HACER      |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | AUDITORIAS MENSUALES             | VERIFICAR  |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | AJUSTES SEGÚN HALLAZGOS          | ACTUAR     |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| CAPACITACIÓN OPERATIVA              | DISEÑO DE CONTENIDOS             | PLANIFICAR | JEFE DEL TALLER                                         | INGENIERO DE MANTENIMIENTO       |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | EJECUCIÓN PILOTO Y GENERAL       | HACER      |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | EVALUACIÓN POR CUESTIONARIO      | VERIFICAR  |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | REFUERZO Y DISEÑO TRIMESTRAL     | ACTUAR     |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| VERIFICACIÓN TÉCNICA EN INSTALACIÓN | DISEÑO DEL PROTOCOLO             | PLANIFICAR | INGENIERO DE MANTENIMIENTO                              | JEFE DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | APLICACIÓN INMEDIATA             | HACER      |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | REVISIÓN DE INSTALACIONES        | VERIFICAR  |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | ACTUALIZACIÓN DEL CHECKLIST      | ACTUAR     |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| INSTALACIÓN DE SENSORES DE PRESIÓN  | COTIZACIÓN E INSTALACIÓN         | PLANIFICAR | INGENIERO DE MANTENIMIENTO / ANALISTA DE DATOS DEL ÁREA | JEFE DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | ACTIVAR ALERTAS Y PRUEBAS        | HACER      |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | REVISIÓN DE DATOS                | VERIFICAR  |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | AJUSTE DE PARÁMETROS             | ACTUAR     |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| AUDITORIAS MENSUALES                | DISEÑO DEL PLAN MENSUAL          | PLANIFICAR | JEFE DEL TALLER                                         | INGENIERO DE MANTENIMIENTO       |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | EJECUCIÓN MENSUAL                | HACER      |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | REPORTES DE HALLAZGOS            | VERIFICAR  |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|                                     | REVISIÓN DE PROTOCOLOS           | ACTUAR     |                                                         |                                  |                             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |

Tabla 3: Carta Gantt del Ciclo PHVA

Este cronograma permite visualizar la secuencia lógica de las acciones de mejora, garantizando su control y seguimiento mediante auditorías y revisiones periódicas.

## 10. Propuesta de Implementación y seguimiento mediante el ciclo PHVA

Para garantizar la sostenibilidad y efectividad de las soluciones planteadas, se propone implementar el ciclo **PHVA** como metodología de mejora continua. Esta herramienta permitirá estructurar la ejecución inicial de cada propuesta, monitorear su progreso y ajustar las acciones según los resultados obtenidos.

A continuación, se presenta el detalle de cada propuesta, considerando su duración estimada, recursos requeridos, indicadores de progreso y aplicación del ciclo **PHVA**:

- Implementar protocolo obligatorio de diagnóstico técnico en **Fractal One**:
  - Duración estimada: 2 meses + 1 mes piloto
  - Recursos requeridos: Ingeniero de Mantenimiento, técnicos de sistemas y capacitaciones internas
  - Indicadores de progreso: % de ordenes de trabajo con diagnostico completo / exactitud del diagnóstico / cumplimiento del protocolo
  - Aplicación del ciclo **PHVA**:
    - **P (Planificar)**: Crear el protocolo y capacitar
    - **H (Hacer)**: Aplicarlo en todas las órdenes de trabajo
    - **V (Verificar)**: Auditar la información registrada y revisar mensualmente.
    - **A (Actuar)**: Ajustar el formato o pasos del protocolo si hay desviaciones.
- Capacitación operativa específica sobre impacto del mal uso en los flexibles:
  - **Duración estimada**: 1 mes de preparación + 1 mes de ejecución inicial + sesiones trimestrales.
  - **Recursos requeridos**: Capacitador interno, material visual, manual actualizado, registros firmados.
  - **Indicadores de progreso**: % de operadores capacitados / reducción en fallas atribuibles a mal uso.
  - Aplicación del ciclo **PHVA**:
    - **P**: Diseñar contenido técnico claro.
    - **H**: Ejecutar capacitaciones periódicas.
    - **V**: Evaluar con cuestionarios y seguimiento post-capacitación.
    - **A**: Reforzar contenidos según errores frecuentes.
- Estandarizar verificación técnica en la instalación (temperatura, fijaciones y presión)

- **Duración estimada:** 1 mes de desarrollo del protocolo + implementación inmediata.
- **Recursos requeridos:** Ingeniero mecánico, validación de proveedor, formato de checklist.
- **Indicadores de progreso:** % de instalaciones con checklist completo / errores detectados antes de operar.
- Aplicación del ciclo **PHVA**:
  - **P:** Diseñar procedimiento de verificación.
  - **H:** Aplicarlo a toda instalación.
  - **V:** Verificar cumplimiento en terreno.
  - **A:** Modificar el procedimiento si hay brechas o aparecen nuevas fallas.
- Instalar sensores de presión con alertas
  - **Duración estimada:** 3 a 4 meses (compra, instalación, pruebas).
  - **Recursos requeridos:** Compra de sensores, soporte del proveedor, integración al sistema.
  - **Indicadores de progreso:** N° de alertas detectadas / reducción de fallas por sobrepresión / % sensores operativos.
  - Aplicación del ciclo **PHVA**:
    - **P:** Cotizar e instalar sensores.
    - **H:** Activar alertas.
    - **V:** Monitorear fallas y presión.
    - **A:** Ajustar parámetros o zonas críticas según datos recopilados.
- Auditorías mensuales a instalaciones y procedimientos
  - **Duración estimada:** Continuo (mensual).
  - **Recursos requeridos:** Encargado de mantenimiento, checklist, bitácora digital.
  - **Indicadores de progreso:** N° de hallazgos / % de cumplimiento a protocolos / acciones correctivas cerradas.
  - Aplicación del ciclo **PHVA**:
    - **P:** Crear plan mensual de auditorías.

- **H:** Realizar visitas y auditorías.
- **V:** Verificar hallazgos y cierre.
- **A:** Ajustar protocolos en los puntos débiles detectados. (Lira, 2003)

## *11. Estimación del Impacto Técnico y Operativo*

Para evaluar el impacto técnico derivado de la propuesta de mejora, se definió la situación actual de los indicadores de mantenimiento como una línea base equivalente a 100 puntos, representando el nivel de desempeño vigente del taller.

El uso de una escala relativa de base 100 permite establecer un punto de referencia uniforme que facilita la comparación entre distintos indicadores (**MTBF**, **MTTR**, **Confiabilidad** y **Disponibilidad**), incluso cuando estos poseen unidades de medida diferentes.

Este método, ampliamente utilizado en análisis comparativos, simplifica la interpretación al expresar los cambios como porcentajes de mejora o reducción respecto de la situación inicial, ofreciendo una visión clara del progreso potencial sin depender de valores absolutos.

De acuerdo con (Kumar, 2009), las métricas de mantenimiento no solo miden la eficiencia del proceso, sino que permiten visualizar el valor agregado de las acciones de mejora continua al vincular resultados operacionales con desempeño técnico.

En este contexto, la escala 100 actúa como un índice base de desempeño a partir de la cual se proyectan los efectos esperados tras la implementación de las medidas de mejora.

Los escenarios de proyección fueron definidos según el nivel de aplicación del plan.

El escenario realista considera una adopción gradual del procedimiento operativo estandarizado (**S.O.P.**), la capacitación de los operadores y la ejecución de auditorías periódicas.

El escenario optimista, en cambio, representa la consolidación completa del ciclo **PHVA** (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar), junto con la madurez del mantenimiento autónomo y el fortalecimiento de la gestión digital mediante Fractal One.

Este enfoque se alinea con lo planteado por (Wireman, 2010), quien señala que el Mantenimiento Productivo Total (TPM) impulsa la reducción sostenida de fallas y tiempos de reparación mediante la participación activa del personal y la estandarización de tareas críticas.

De manera complementaria, (Weber, 1999) destaca que el uso de indicadores comparativos sobre bases relativas permite cuantificar la efectividad del mantenimiento en términos técnicos, operativos y económicos, generando una visión integral del rendimiento.

### Impacto Estimado en KPIs por Escenario

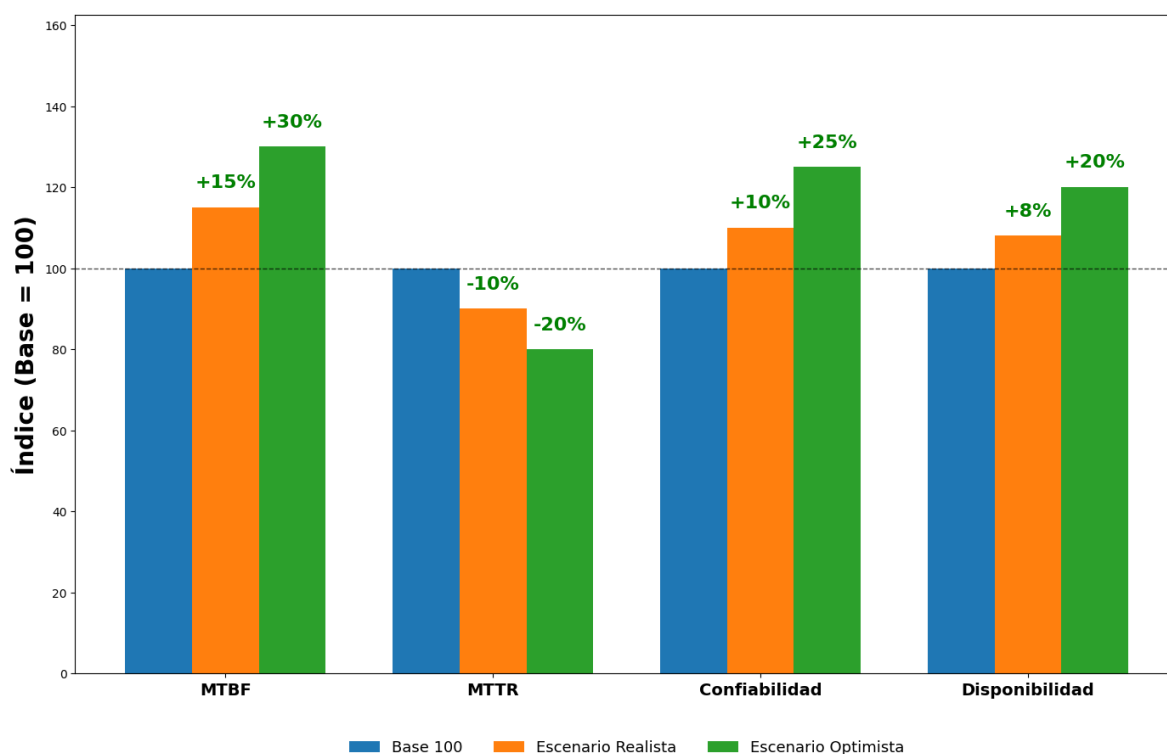


Figura 24: Impacto Estimado en KPIs por Escenario

En la figura anterior se presenta el gráfico de barras comparativo que resume los resultados estimados de los principales indicadores bajo los tres escenarios: situación actual (Base 100), escenario realista y escenario optimista.

El gráfico muestra que los indicadores **MTBF**, **Confiabilidad** y **Disponibilidad** presentan un incremento progresivo, reflejando el impacto positivo de las estrategias preventivas y de la estandarización de procedimientos, mientras que el **MTTR** exhibe una disminución, lo cual es técnicamente favorable, ya que indica una reducción en los tiempos medios de reparación.

La representación visual permite apreciar que, en el escenario realista, las mejoras se mantienen dentro de márgenes alcanzables en el corto plazo; mientras que en el escenario optimista, el aumento es más pronunciado, evidenciando el potencial de un sistema de mantenimiento maduro y completamente implementado.

En términos globales, el gráfico demuestra que la propuesta tiene un efecto sinérgico sobre la **confiabilidad**, la **disponibilidad** y el **MTBF**, consolidando el impacto técnico de las acciones desarrolladas.

Este efecto se explica porque los indicadores están interrelacionados dentro del comportamiento general del sistema de mantenimiento: una mejora en uno de ellos repercute directamente en los demás.

## 11.1. Sinergia del Ciclo PHVA Sobre los Indicadores Técnicos

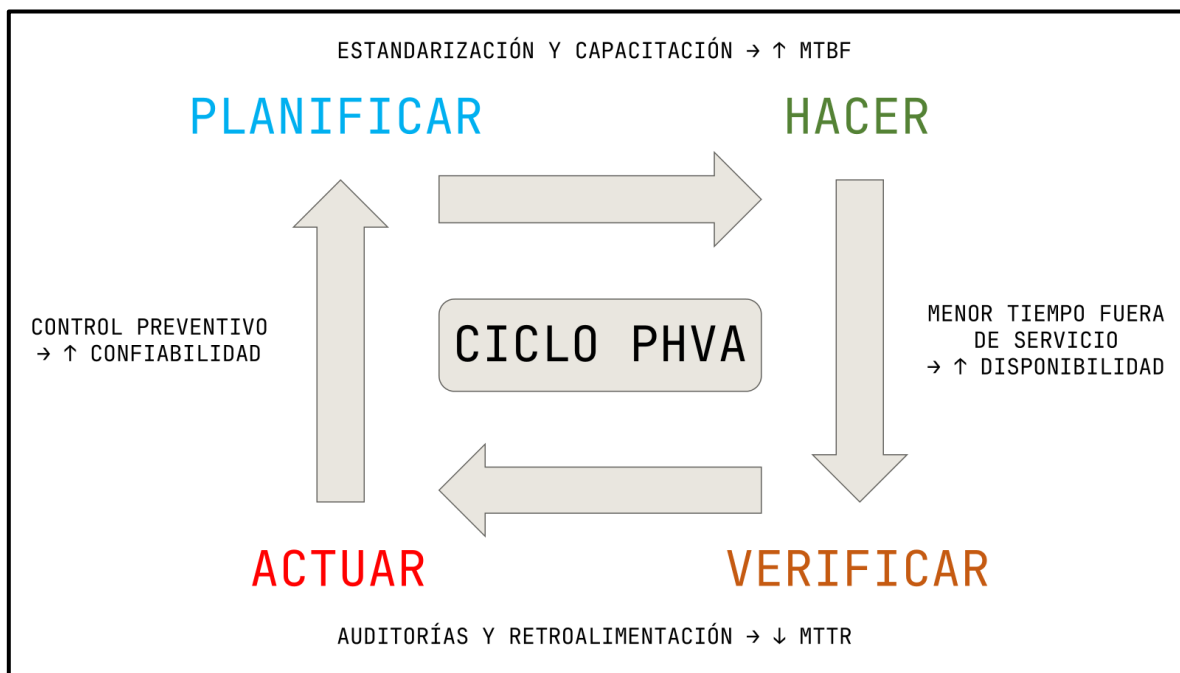


Figura 25: Sinergia del Ciclo PHVA

La figura 24 ilustra el efecto sinérgico del ciclo **PHVA**, mostrando cómo la interacción entre sus etapas produce mejoras coordinadas sobre los indicadores técnicos del sistema de mantenimiento.

Durante la fase de Planificar, la identificación de causas raíz y la definición de estándares (como el nuevo **S.O.P.**) reducen la variabilidad en las operaciones y eliminan malas prácticas.

En Hacer, la aplicación del procedimiento estandarizado y la capacitación operativa aseguran intervenciones más consistentes y con menor probabilidad de error, incrementando el **MTBF**.

La etapa de Verificar incorpora auditorías mensuales y el seguimiento de indicadores en Fractal One, lo que permite detectar desviaciones tempranas y reducir fallas repetitivas.

Finalmente, en Actuar, las correcciones y ajustes preventivos refuerzan la **confiabilidad** estructural de los equipos y estabilizan el sistema.

A partir de esta interacción, la confiabilidad mejora porque los equipos fallan menos y de forma más predecible; la disponibilidad aumenta al reducirse tanto los tiempos de reparación (**MTTR**) como la frecuencia de fallas (**MTBF**); y el propio **MTBF** se extiende como resultado de una operación más controlada.

De este modo, las mejoras introducidas no operan de manera aislada, sino como un sistema integrado de mejora continua, donde cada componente del ciclo PHVA refuerza el desempeño del conjunto.

Finalmente, tal como se menciona en la guía de Upkeep (Upkeep Technologies, 2021), la aplicación estructurada de métricas facilita la toma de decisiones, la priorización de recursos y la comunicación de resultados en entornos industriales, incluso cuando no se dispone de información histórica completa.

Por tanto, el modelo de proyección basada en una escala relativa de base 100 constituye una herramienta práctica y estandarizada para visualizar el impacto técnico del plan de mejora, otorgando una base comparativa clara entre el estado actual y el potencial de evolución del sistema de mantenimiento.

## ***12. Conclusiones***

En definitiva, este trabajo no solo permitió elaborar una propuesta concreta de mejora, sino también sentar las bases para una futura sistematización del mantenimiento preventivo en la empresa, abriendo el camino hacia una cultura de mantenimiento más predictiva, proactiva y basada en datos.

Desde el punto de vista ingenieril, la aplicación del ciclo **PHVA** en el taller proporciona un marco metodológico para la evaluación y control de los procesos de mantenimiento. Las acciones propuestas, como la estandarización de inspecciones, la capacitación de operadores y la implementación de indicadores como el **MTTR**, fortalecen el control preventivo y

aumentan la **confiabilidad** de los equipos, traducándose en una mejora sustancial de la disponibilidad y una reducción de los tiempos fuera de servicio.

Si bien el análisis económico detallado no forma parte del alcance de este estudio, los resultados sugieren un impacto financiero indirecto positivo para la empresa. Una menor frecuencia de fallas implica menos detenciones imprevistas, reducción de horas-hombre en reparaciones, ahorro en repuestos y optimización del inventario de flexibles. Estos efectos contribuyen a disminuir el costo total de mantenimiento y a mejorar la eficiencia global del sistema logístico.

Además, la propuesta facilita la trazabilidad y el aprendizaje organizacional: cada acción implementada dentro del ciclo **PHVA** retroalimenta la planificación y permite proyectar una gestión de mantenimiento sustentable a largo plazo. Con ello, el estudio se consolida como un aporte tangible a la mejora continua, integrando fundamentos técnicos de ingeniería mecánica con una visión moderna de gestión de activos industriales.

## *Bibliografia*

- Blanchard, B. S. (2010). *Systems engineering and analysis (5th ed.)*. Pearson.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: MIT Press.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55001:2014 Asset management — Management systems — Requirements*. Ginebra: ISO.
- Knights, H. (1977). The Jackknife technique: A graphical method for prioritizing maintenance actions. *Reliability Engineering*, 313-320.
- Kumar, U. G. (2009). Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 277 - 294.
- Lira, I. &. (2003). Multivariate statistical process control: A Jackknife perspective. *Journal of Quality Technology*, 45–56.
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance (2nd ed.)*. Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance (RCM II). *Industrial Press*.
- Ramos, A. M. (2018). Continuous improvement in maintenance: A study applied in the aerospace industry. *Procedia Manufacturing*, 622-629.
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 237–244.
- Upkeep Technologies. (2021). *www.upkeep.com*. Retrieved from *www.upkeep.com*: <https://upkeep.com/downloads/the-ultimate-guide-to-maintenance-metrics-and-kpis/>
- Weber, A. (1999). Maintenance performance measurement: benchmarking and indicators management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 264 - 270.
- Wireman, T. (2010). *Total productive maintenance*. Industrial Press.