

Diseño e Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para Camión Grúa Sterling-Terex RS60100

Carlos Luis Vélez Espinoza
Ingeniería Civil Mecánica
24/12/2023

Índice

1.	Resumen.....	4
2.	Abstract	5
3.	Introducción	7
3	Objetivos	9
3.1	Objetivo General	9
3.2	Objetivos Específicos.....	9
4	Estado del arte	9
4.1.	Gestión de activos	9
4.2.	Tipos de Mantenimiento	10
4.2.1.	Mantenimiento Reactivo.....	10
4.2.2.	Mantenimiento preventivo	10
4.2.3.	Mantenimiento Predictivo	11
4.3.	Actividades del mantenimiento preventivo	11
5	Propuestas y soluciones	12
6.	Evaluación económica.....	13
6.1.	Costos mano de obra	13
6.2.	Costos de Insumos	14
6.3.	Depreciación.....	15
6.4.	Valor Actual Neto (VAN).....	16
6.5.	Sensibilidad	17
7	Metodologías	19
7.1	Medidas de desempeño.....	21
8	Conociendo el equipo	22
8.1	Fichas técnicas.....	22
8.2	Sistemas y subsistemas	24
8.3	Sistema hidráulico	26
8.3.1.	Datos medidos.....	26
8.3.2	Cálculos Hidráulicos.....	27
8.4	Determinación de Criticidad	28

8.4.1	AMEF	28
8.4.2	Análisis del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) según AMEF	29
9	Antecedentes del equipo	30
9.1.	Fallas.....	31
10	Plan de Implementación	32
10.1	Matriz de riesgo.....	33
11	Mantenimiento	35
11.1	Objetivos del Plan de Mantenimiento Preventivo:.....	35
11.2	Frecuencia de Mantenimiento:.....	36
11.3	Procedimientos Específicos:.....	37
11.4	Registro y Documentación:	37
11.5	Entrenamiento del Personal:	37
12	KPIs	38
13	Conclusiones y recomendaciones	41
14	Bibliografía	43
15	Anexos	44

1. Resumen

Este informe analiza la propuesta de implementar un plan de mantenimiento preventivo en un camión grúa utilizado en operaciones industriales, situándose en el contexto de ACAR, una empresa líder con experiencia en el transporte de carga y logística. La empresa opera una flota diversa de camiones grúas, horquillas y maquinaria pesada, brindando soluciones de transporte y manipulación de carga a una amplia gama de industrias. Dentro de las responsabilidades del Área de Mecánica de la empresa, está el asegurar que la flota de equipos esté en condiciones óptimas de funcionamiento, garantizando su continuidad y eficiencia en las operaciones. Este análisis se enfoca en un camión grúa específico, destacando su relevancia dentro del marco operativo de ACAR y resaltando la importancia de mantener el equipo en óptimas condiciones.

La evaluación de sistemas y modos de falla se llevó a cabo mediante Índices de Prioridad de Riesgos (IPR), ajustando la tabla para reflejar los riesgos de cada componente. Se crearon tablas detalladas que describen modos de falla, gravedad, frecuencia y detectabilidad, con acciones correctivas recomendadas. Estableciendo un rango de riesgos para cada subsistema, se destacan las áreas críticas que necesitan atención inmediata. La implementación de un plan de mantenimiento preventivo enfatiza la importancia de acciones proactivas para garantizar eficiencia y seguridad operativa, respaldado por el costo proyectado y un aumento del 36.3% en los ingresos mensuales promedio. A pesar de desafíos, especialmente con la bomba hidráulica, el proyecto es replicable, contribuyendo a la eficiencia operativa y sostenibilidad económica. El éxito del Plan de Mantenimiento Preventivo destaca la eficacia de las estrategias aplicadas, mejorando el rendimiento operativo. Aunque el Valor Actual Neto (VAN) inicial mostró resultados positivos, se identificó un desafío clave relacionado con la bomba hidráulica y el desarrollo de nuevas tecnologías en el rubro, reduciendo la expectativa del proyecto a 3 años en lugar de los 16 inicialmente contemplados.

Esta propuesta pretende ser un modelo replicable para futuras iniciativas tanto dentro del equipo de estudio como en la flota vehicular de ACAR. La adopción de las metodologías propuestas impulsará las ganancias y asegurará la operatividad eficiente de la maquinaria. A pesar de los logros, se reconoce una limitación en la reducción de los tiempos de reparación debido a restricciones presupuestarias y logísticas. La visión de contar con repuestos disponibles en el taller para reparaciones inmediatas sigue siendo un objetivo ambicioso que requiere atención continua.



En resumen, el proyecto representa un paso significativo hacia la eficiencia operativa y la rentabilidad económica, proporcionando lecciones aprendidas y una base sólida para futuras mejoras en la gestión de la flota vehicular y el mantenimiento preventivo, anticipando una trayectoria prometedora hacia la excelencia operativa y la sostenibilidad económica en la gestión de activos.

2. Abstract

This report analyzes the proposal to implement a preventive maintenance plan on a crane truck used in industrial operations, placing itself in the context of ACAR, a leading company with experience in cargo transportation and logistics. The company operates a diverse fleet of truck cranes, forks and heavy machinery, providing transportation and cargo handling solutions to a wide range of industries. Among the responsibilities of the company's Mechanical Area is ensuring that the fleet of equipment is in optimal operating conditions, guaranteeing its continuity and efficiency in operations. This analysis focuses on a specific crane truck, highlighting its relevance within ACAR's operational framework and highlighting the importance of maintaining the equipment in optimal condition.

The evaluation of systems and failure modes was carried out using Risk Priority Indices (RPI), adjusting the table to reflect the risks of each component. Detailed tables were created describing failure modes, severity, frequency and detectability, with recommended corrective actions. By establishing a range of risks for each subsystem, critical areas that need immediate attention are highlighted. Implementing a preventive maintenance plan emphasizes the importance of proactive actions to ensure operational efficiency and safety, supported by projected cost and a 36.3% increase in average monthly revenue. Despite challenges, especially with the hydraulic pump, the project is replicable, contributing to operational efficiency and economic sustainability. The success of the Preventive Maintenance Plan highlights the effectiveness of the strategies applied, improving operational performance. Although the initial Net Present Value (NPV) showed positive results, a key challenge was identified related to the hydraulic pump and the development of new technologies in the field, reducing the expectation of the project to 3 years instead of the 16 initially contemplated.



This proposal aims to be a replicable model for future initiatives both within the study team and in ACAR's vehicle fleet. Adoption of the proposed methodologies will boost profits and ensure efficient operation of machinery. Despite the achievements, a limitation is recognized in the reduction of repair times due to budgetary and logistical constraints. The vision of having spare parts available in the workshop for immediate repairs remains an ambitious goal that requires continued attention.

In summary, the project represents a significant step towards operational efficiency and economic profitability, providing lessons learned and a solid foundation for future improvements in vehicle fleet management and preventive maintenance, anticipating a promising trajectory towards operational excellence and economic sustainability in asset management.

3. Introducción

El proyecto que se presenta surge en el contexto de ACAR, una empresa con más de 30 años de experiencia en el sector de transporte de carga y logística. Como se mencionó la empresa opera una flota diversa de camiones grúas, horquillas y maquinaria pesada, brindando soluciones de transporte y manipulación de carga a una amplia gama de industrias. A pesar de esto también opera con arriendos de bodegaje y de container de tipo oficina o de carga. Como parte esencial de su operación, ACAR gestiona una flota diversa de vehículos, entre ellos, el camión grúa Sterling equipado con un brazo grúa tipo Terex RS-60100.

La iniciativa surge como respuesta a un desafío operativo que ha impactado negativamente la eficiencia y rentabilidad de la empresa. El camión grúa mencionado enfrenta detenciones inesperadas de manera recurrente, generando considerables impactos económicos. Desde inconvenientes menores, como cambios de retenes o mangueras, hasta problemas más sustanciales que requieren intervenciones en componentes críticos, como la bomba hidráulica o el motor, contribuyen a esta problemática.

Se estimó que estas detenciones ocurren aproximadamente una vez por semana, ya sea por motivos graves como la falla en un sistema crítico o fallas leves como el ajuste o cambio de una manguera. Lo que conlleva a atrasos en la ejecución de trabajos, pudiendo la máquina estar inoperable de 1 a 3 días en los casos más graves. Considerando que se estima un promedio de 22 días hábiles al mes y 9 horas diarias (datos establecidos por la empresa), se concluye que el equipo debiera trabajar un máximo de 198 horas al mes.

Tiempo	Min.	Máx.	Prom.
Atrasos (horas)	2	6	4
Paradas (horas)	8	30	19

Tabla 1: Atrasos y paradas semanales

Al analizar los datos de la tabla 1, se observa que cada vez que la máquina presenta una detención, existe un riesgo de que no se trabaje durante 23 horas cada semana, equivalente a 92 horas mensuales. Resultando en una pérdida promedio de \$3,258,333 al mes solo en concepto de lucro cesante. También se estima que se conlleva un gasto promedio de \$ 2,518,750 pesos en repuestos. Dejando afuera gastos menores como cables del sistema eléctrico o pernos rotos, por lo que una investigación más profunda permitirá afinar estos valores. Esto se representa en la figura 1:

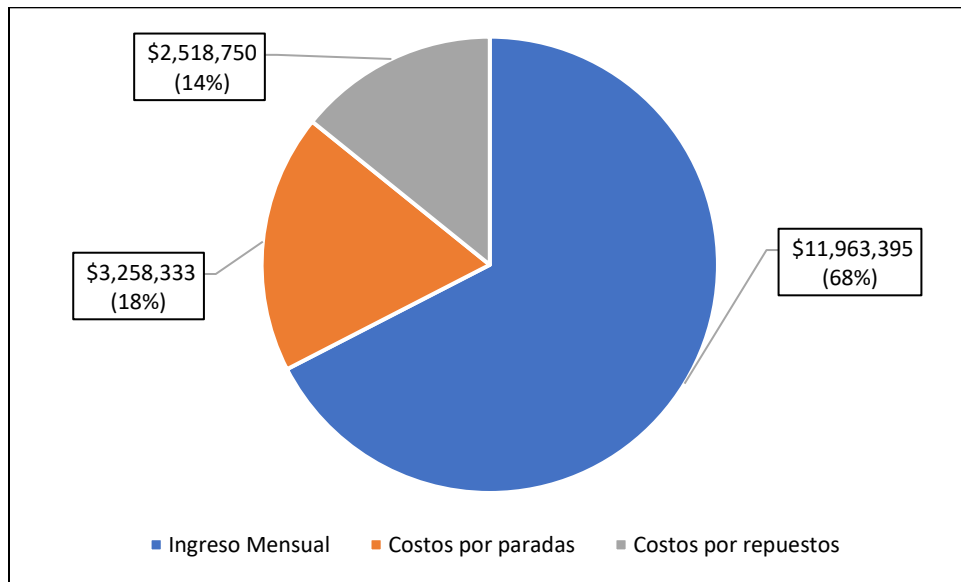


Figura 1: Cuantificación ingresos y pérdidas camión Sterling

El propósito fundamental de este proyecto es diseñar e implementar un Plan de Mantenimiento Preventivo específico para el camión grúa mencionado. Este enfoque tiene como objetivo mitigar las incidencias de fallos, mejorar el tiempo operativo del vehículo y reducir las pérdidas económicas asociadas a detenciones no planificadas.

La relevancia de este proyecto radica en su capacidad para buscar el equilibrio entre costos de mantenimiento y rendimiento operativo. La ejecución exitosa de este plan se traducirá en una mejora cuantificable de la disponibilidad operativa del camión, lo que, a su vez, fortalecerá la posición competitiva de ACAR en el mercado de transporte y logística.

Este informe técnico detalla el enfoque metodológico, los procesos de implementación y los resultados esperados del Plan de Mantenimiento Preventivo propuesto, destacando la contribución significativa que se espera lograr en términos de eficiencia operativa y sostenibilidad económica para ACAR.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo con el propósito de mejorar o prolongar la vida útil del camión grúa Sterling y sus componentes, reduciendo el riesgo de detenciones no planificadas y costos de reparación, buscando que los ingresos del equipo aumenten en un 10%, mejorando así la rentabilidad directa y asegurando una eficiencia operativa sostenible a largo plazo.

3.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar estado actual del equipo
- b) Identificar y catalogar componentes críticos del equipo
- c) Identificar patrones y tendencias de fallos
- d) Establecer un sistema de chequeo y registro de mantención y fallas

4 Estado del arte

El Estado del Arte proporciona el contexto teórico necesario para abordar el problema de mantenimiento preventivo en equipos de transporte pesado, centrándose en el caso específico de las grúas. Se ha llevado a cabo un estudio bibliográfico exhaustivo para comprender las mejores prácticas y enfoques utilizados en situaciones similares.

4.1. Gestión de activos

La gestión de activos se presenta como un componente fundamental en la operación eficiente de cualquier empresa. Su objetivo principal es maximizar los beneficios a lo largo de la vida operativa de los activos, al mismo tiempo que se minimizan los costos asociados. Es esencial tener en cuenta la probabilidad de que un activo pueda sufrir una falla inesperada debido al azar. Por lo tanto, una gestión adecuada permite prepararse para este tipo de riesgos y equilibrar el rendimiento esperado mediante una evaluación cuidadosa de oportunidades y amenazas. La importancia de la gestión de activos radica en su capacidad para anticipar y mitigar los riesgos, permitiendo a la empresa mantener un nivel óptimo de rendimiento y eficiencia en sus operaciones. Al gestionar adecuadamente los activos, una organización puede optimizar su inversión, alargar la vida útil de los equipos y reducir los tiempos de inactividad no planificados.

Además, una gestión efectiva también puede contribuir significativamente a la continuidad operativa, mejorando así la confiabilidad de los servicios o productos que la empresa ofrece. Es crucial resaltar cómo una gestión sólida de activos no solo mejora el mantenimiento, sino que también tiene un impacto directo en la rentabilidad y la reputación de la empresa. Al adoptar un enfoque proactivo hacia la gestión de activos, las organizaciones pueden enfrentar los desafíos de manera más eficaz, preparándose para las eventualidades y asegurando una operación suave y eficiente a lo largo del tiempo.

4.2. Tipos de Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de actividades realizadas para conservar los activos de una empresa de manera eficiente y funcional. En el contexto de los estudios sobre conservación industrial, que buscan prevenir fallos y detenciones inesperadas en las empresas, se lleva a cabo un análisis detallado de parámetros, tiempos y actividades. Se destaca la importancia de clasificar el mantenimiento adecuado para abordar eficientemente los desafíos específicos de cada enfoque. Estas categorías comprenden:

4.2.1. Mantenimiento Reactivo

Tiene el objetivo de abordar e implementar la solución una vez ya ocurrida la falla, a diferencia de un mantenimiento predictivo y preventivo, el reactivo no se planifica de manera anticipada, es una respuesta ante una situación de emergencia o imprevista. Este tipo usualmente tiende a crear tiempos de inactividad más prolongados y costos más altos ya que implica intervenciones urgentes y ante la posible situación, una sustitución de componentes costosos.

4.2.2. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo de forma planificada y regular con el fin de prevenir posibles fallos o problemas antes de que ocurran. Se basa en inspecciones periódicas, ajustes y reemplazo de piezas desgastadas para prolongar la vida útil de los equipos y evitar interrupciones no programadas en la producción. El mantenimiento preventivo se realiza de acuerdo con un calendario predeterminado o el número de horas de funcionamiento y tiene como objetivo principal aumentar la confiabilidad y eficiencia de los sistemas, reduciendo así los costos asociados a reparaciones mayores y tiempos de

inactividad no planificados. Este enfoque proactivo ayuda a mantener el rendimiento óptimo de los equipos y a garantizar un funcionamiento suave de las operaciones industriales.

4.2.3. Mantenimiento Predictivo

Tiene el objetivo de reducir la probabilidad de fallos, detenciones inesperadas o desgaste progresivo de algún componente. Se lleva a cabo mediante la monitorización y análisis continuo de datos y parámetros específicos para prever cuándo es probable que ocurran problemas. Estas se basan en el historial de funcionamiento y las observaciones durante el monitoreo regular. Este mantenimiento permite intervenir y actuar antes que ocurra la falla.

4.3. Actividades del mantenimiento preventivo

Dentro del ámbito del mantenimiento preventivo, se llevan a cabo una serie de actividades esenciales que juegan un papel fundamental para asegurar el rendimiento óptimo de los equipos industriales. Estas actividades se diseñan cuidadosamente para garantizar el funcionamiento sin problemas de las maquinarias y evitar interrupciones no programadas en la producción. Una de las tareas principales es la limpieza, que va más allá de la apariencia superficial. Eliminar el polvo, los residuos y otros contaminantes, contribuye a prevenir el desgaste prematuro de las piezas y a mantener una operación eficiente.

Las inspecciones periódicas son otro pilar del mantenimiento preventivo. A través de estas evaluaciones detalladas, los técnicos pueden identificar signos tempranos de desgaste, corrosión o cualquier otro problema potencial. Estas inspecciones no solo ayudan a anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallos costosos, sino que también ofrecen datos valiosos para la toma de decisiones informadas. Los ajustes precisos son cruciales para asegurar que los componentes estén operando dentro de los parámetros especificados, lo que mejora la eficiencia y prolonga la vida útil del equipo.

Además, el mantenimiento preventivo implica cambios de piezas según un programa predeterminado o en función de las condiciones de desgaste. Sustituir piezas desgastadas o defectuosas antes de que causen un fallo no solo garantiza la continuidad de la operación, sino que también evita daños secundarios que podrían surgir debido a una pieza defectuosa. La

lubricación adecuada es también esencial para minimizar la fricción y el desgaste, lo que prolonga la vida útil de los componentes móviles y asegura un rendimiento suave y eficaz.

En resumen, las actividades del mantenimiento preventivo no solo se centran en la reparación anticipada, sino que también están orientadas a la optimización del rendimiento y la eficiencia a largo plazo. Al invertir en estas prácticas, las empresas pueden reducir significativamente los costos asociados a las averías y los tiempos de inactividad, al tiempo que mejoran la confiabilidad de sus operaciones industriales, lo que es esencial para el éxito continuado en cualquier entorno empresarial competitivo.

5 Propuestas y soluciones

Ante los desafíos de detenciones inesperadas y costos asociados al camión grúa Sterling, se exploraron alternativas estratégicas para mejorar su rendimiento y extender su vida útil.

- **Cambio Total del Equipo:**

Características: La actualización a un equipo más moderno implicaría la adopción de tecnologías avanzadas y, potencialmente, una mejora sustancial en la eficiencia operativa. Además, podría ofrecer características de seguridad mejoradas y una mayor capacidad de carga.

Desventajas: La inversión inicial significativa es la principal desventaja, con costos que oscilan entre \$50.000.000 y \$70.000.000 CLP para un tractocamión usado y \$800.000.000 CLP para el brazo grúa. Además, la logística de adquisición y despliegue puede ser compleja y costosa.

- **Mantenimiento Predictivo:**

Características: Este enfoque implica un monitoreo avanzado del estado del equipo, utilizando tecnologías como sensores y análisis de datos para prever posibles fallos. Proporciona una mayor precisión en la anticipación de problemas mecánicos y permite la programación de intervenciones antes de que ocurran fallas graves.

Desventajas: Requiere personal altamente capacitado para operar y analizar los datos recopilados. La adquisición de equipos especializados para el monitoreo puede tener un

costo elevado, estimado en al menos \$17.000.000 CLP. Además, el mantenimiento predictivo puede generar un aumento en los costos operativos.

- **Mantenimiento Preventivo:**

Características: La viabilidad económica es la principal ventaja del mantenimiento preventivo, ya que, si se ejecuta adecuadamente, puede evitar pérdidas significativas en horas de trabajo y reducir los costos asociados a repuestos. Además, este enfoque mejora la fiabilidad del equipo y aumenta su vida útil.

Desventajas: Requiere una planificación detallada para la ejecución de las actividades de mantenimiento, lo que implica una dedicación de recursos en términos de tiempo y personal.

Después de un análisis exhaustivo, la solución propuesta es la implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo. Este enfoque destaca por su viabilidad económica, garantizando un rendimiento eficiente del camión grúa y minimizando las interrupciones no planificadas, a pesar de requerir una planificación detallada, pero a un costo más accesible.

6. Evaluación económica

Para evaluar la viabilidad económica de la propuesta, se llevará a cabo un análisis detallado de los costos y beneficios asociados con la implementación del plan de mantenimiento preventivo. Los principales elementos que considerar en esta evaluación son:

6.1. Costos mano de obra

El enfoque financiero de la propuesta se centra en la gestión eficiente de los costos asociados al mantenimiento. Se busca equilibrar la necesidad de intervenciones con los gastos de mano de obra. Para ello, se ha desarrollado un análisis anual detallado que comprende el costo de mano de obra por horas hombre, considerando la jornada laboral de los mecánicos, sus salarios mensuales y las horas de trabajo ejecutadas. En la figura 2 se ilustra estos datos, permitiendo tomar decisiones informadas para optimizar el programa de mantenimiento y alinear los objetivos financieros de la empresa.

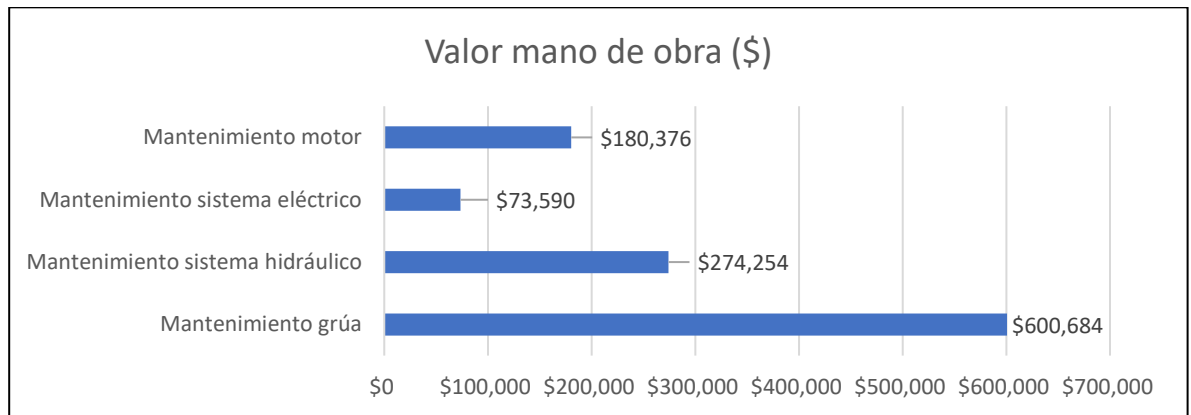


Figura 2: Costo mano de obra anual

6.2. Costos de Insumos

En este apartado, se detallan los costos asociados a los insumos necesarios para llevar a cabo las intervenciones de mantenimiento. En la tabla 2 se presenta un desglose que incluye elementos como gasas, aceites, guaipes, brochas, guantes, lentes de seguridad, filtros hidráulicos, filtros de aceites y desengrasante, elementos usados comúnmente a lo largo del año. Estos insumos representan un total de \$897,847 CLP anuales.

Insumos	Precio unitario	Unidad	Precio total
Gasa Balde 12 KG	\$ 83,000	1	\$ 83,000
Aceite hidráulico DS 68 (20L)	\$ 68,847	1	\$ 68,847
Saco guaipes	\$ 60,000	1	\$ 60,000
Brochas	\$ 10,000	14	\$ 140,000
Guantes	\$ 18,000	7	\$ 126,000
Lentes de Seguridad	\$ 4,000	2	\$ 8,000
Filtros Hidráulico	\$ 45,000	4	\$ 180,000
Filtro Aceites	\$ 40,000	5	\$ 200,000
Desengrasante EOX 5L	\$ 16,000	2	\$ 32,000

Tabla 2: Insumos del taller

Fuente: Acar

Finalmente, como se resume en la figura 3, se proyecta que el desarrollo del plan de mantenimiento generará un costo anual de aproximadamente \$ 13,363,001 CLP para la empresa.

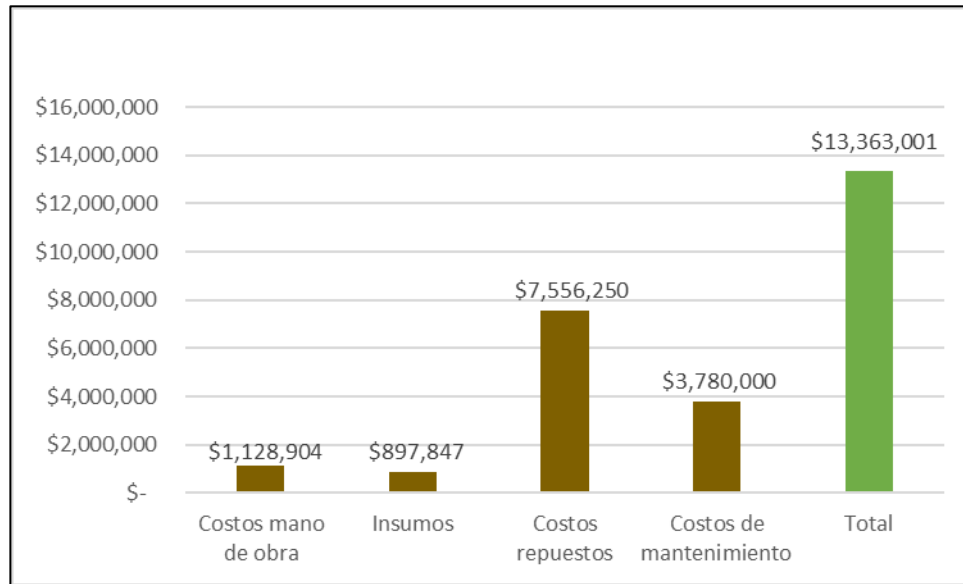


Figura 3: Costo mantención anual

6.3. Depreciación

La depreciación de un activo es un componente esencial al evaluar la viabilidad económica de su mantenimiento. En nuestro caso, nos centramos en la depreciación de la máquina adquirida en 2009 a un costo total de \$170,000 USD, que no incluye costos de importación, impuestos y flete. Considerando que la empresa estima una vida útil de 30 años, al momento de la adquisición del camión Sterling. La elección del método de depreciación lineal se justifica por su simplicidad y transparencia, al distribuir uniformemente el costo a lo largo de la vida útil del activo. Esto facilita la previsión y comprensión de los costos asociados, contribuyendo a una evaluación clara y objetiva de los costos anuales, simplificando así la toma de decisiones para la empresa. La fórmula de depreciación lineal se expresa como:

$$\text{Depreciación anual} = \frac{\text{Costo inicial} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil restante}}$$

Sustituyendo los valores pertinentes, donde el valor residual se establece en \$0 USD y la vida útil restante es de 16 años (considerando la vida útil total de 30 años y los años transcurridos desde la adquisición en 2009 hasta el 2023):

En este contexto, se asigna un valor residual de \$0 para el equipo, respaldado por la estrategia del proyecto que no busca extender la vida útil más allá del periodo planificado, sino centrarse

en su operatividad durante dicho ciclo. Se contempla una reevaluación de estrategias para el equipo en el futuro una vez este pronto de acabarse su ciclo de vida.

$$\text{Depreciación anual} = \frac{170.000 - 0}{16} = 10,625 \text{ USD}$$

Teniendo finalmente una depreciación aproximada de \$10,625 USD anualmente, unos \$8.500.000CLP.

6.4. Valor Actual Neto (VAN)

La evaluación del Valor Actual Neto (VAN) representa un componente esencial para determinar la viabilidad económica del proyecto de implementación del plan de mantenimiento preventivo. El VAN se calcula considerando los flujos de efectivo generados a lo largo de la vida útil del proyecto. Inicialmente, se contemplaba un horizonte temporal de 16 años. No obstante, se reconsideró esta perspectiva, ya que dicho periodo se percibió como extenso, especialmente cuando los ingresos proyectados superan la inversión inicial.

Con el objetivo de acelerar la recuperación de la inversión y adaptarse a posibles cambios en la industria, se optó por reducir el horizonte de evaluación a un periodo final de 3 años. Esta decisión se respalda en la práctica común de los fabricantes de equipos pesados, quienes suelen introducir actualizaciones o nuevos modelos cada 3 a 5 años. Se debe tener presente que esta estimación es general y fue establecida por los históricos en el mercado.

Además, se considera prudente dejar un margen adicional de tiempo, dada la posibilidad de cambios en las condiciones del mercado que podrían afectar los ingresos del proyecto. Con una tasa de descuento proporcionada por la empresa del 7.3%, se aplicará la siguiente fórmula para realizar el cálculo correspondiente:

$$VAN = \sum \left(\frac{\text{Flujo de Caja}}{(1 + \text{Tasa de Descuento})^{\text{Años}}} \right) - \text{Inversión}$$

Donde:

- Flujo de Caja representa los ingresos netos generados anualmente por la operación del equipo, su costo de mantención e insumos y el costo de implementación del proyecto

- Tasa de descuento es la tasa de interés utilizada para calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros con un valor de 7.3% determinado por la empresa
- Años denota el periodo correspondiente dejándose en 16 años

En este caso, con ingresos anuales aproximados de \$143,560,742 CLP y una inversión inicial constante de \$3,409,000 CLP trimestral, aplicando una depreciación lineal, se obtiene un flujo final \$3,980,379 CLP y un VAN positivo de \$36,093,660 CLP. Este resultado refleja la rentabilidad financiera del proyecto, indicando que los beneficios esperados superan los costos asociados

$$VAN = \left(\frac{\$3,980,379}{(1 + 7.3\%)^{36}} \right) - \$3,409,000 = \$36,093,660 \text{ CLP}$$

El VAN positivo respalda la toma de decisiones estratégicas, mostrando que la implementación del plan de mantenimiento preventivo es económicamente ventajosa y contribuirá al ahorro de costos a largo plazo, optimizando la eficiencia operativa y preservando el valor del activo. Se puede apreciar el Flujo de caja completo en el Anexo 3, donde se establecen los 3 años en periodos mensuales para una apreciación más detallada.

Después de realizar una evaluación exhaustiva de los costos asociados con la implementación del plan de mantenimiento para el equipo, se ha llegado a la conclusión de que, a pesar de las inversiones requeridas, los beneficios resultantes en términos de eficiencia operativa y la preservación del valor del activo son considerablemente superiores a los gastos. Este análisis respalda firmemente la decisión de avanzar con la implementación del plan de mantenimiento preventivo. No solo se trata de una medida financiera y estratégica acertada, sino que también demuestra una comprensión proactiva de la importancia de maximizar la vida útil del equipo y garantizar un rendimiento operativo en el largo plazo.

6.5. Sensibilidad

En adición a la evaluación a corto plazo del Valor Actual Neto (VAN), resulta crucial considerar la sensibilidad del proyecto ante variaciones en los parámetros clave. La sensibilidad financiera se refiere a la manera en que los resultados del análisis cambian en respuesta a modificaciones en factores críticos, tales como los costos de insumos, mano de obra, mantenimiento y las ventas que representan los ingresos generados por el servicio del equipo.

Específicamente, las fluctuaciones en los costos de insumos pueden impactar directamente en la rentabilidad del proyecto, afectando los márgenes operativos y la capacidad para cubrir los gastos. Del mismo modo, las variaciones en los costos de mano de obra y mantenimiento pueden influir significativamente en los costos operativos totales, impactando la eficiencia y sostenibilidad financiera del proyecto.

Por otra parte, la sensibilidad de las ventas a cambios en la demanda del servicio del equipo es crucial para comprender cómo el proyecto responde no solo a variaciones en el mercado, sino también cómo la disponibilidad operativa afecta directamente a los ingresos. Un análisis detallado de la demanda y la capacidad del proyecto para ajustarse a cambios en los ingresos es esencial para evaluar la viabilidad a largo plazo.

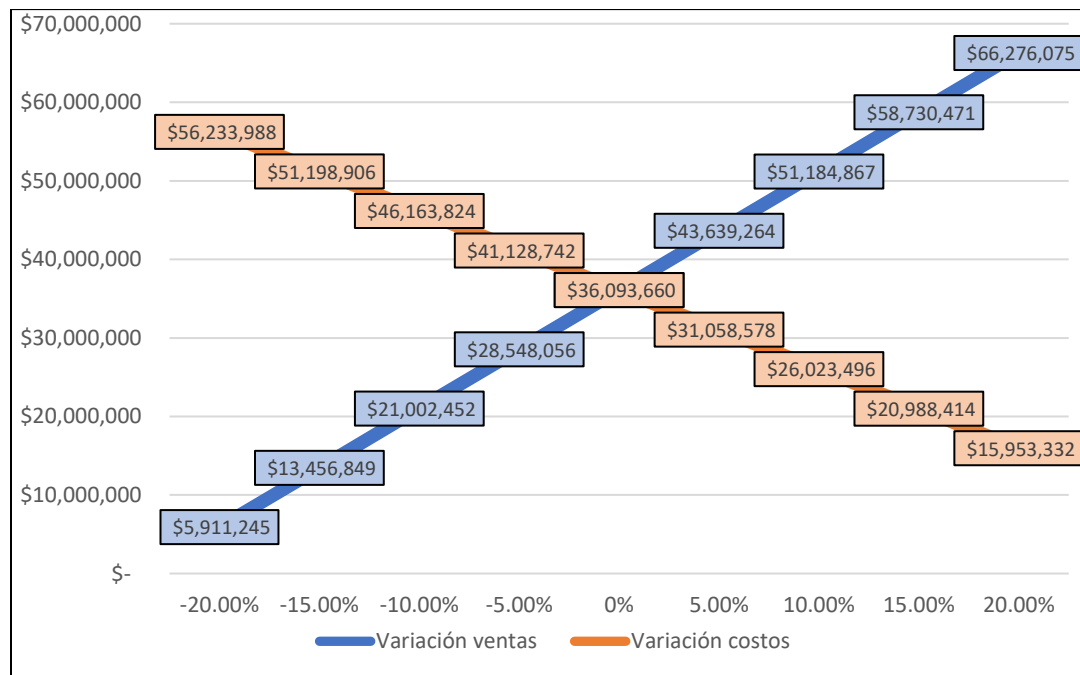


Figura 4: Impacto Variables

Como se observa en la figura 4, a pesar de que ambas variables presentan una pendiente notoria, la que tiene una mayor inclinación es la correspondiente a ventas, que representa los ingresos generados por la máquina. En otras palabras, el proyecto se vería afectado de manera más significativa si estas disminuyen o aumentan, en comparación con los costos asociados. En resumen, la evaluación de la sensibilidad financiera frente a cambios en costos y ventas

proporciona una visión más completa de la solidez del proyecto y su capacidad para adaptarse a condiciones dinámicas del mercado y operativas.

En la tabla presentada en el anexo 9, se observa detalladamente cómo se modifica el VAN según ambas variables, mostrando que solo en el caso en el que los ingresos disminuyen en un 10% y los costos aumentan también un 10%, el proyecto deja de ser rentable. En los anexos 10 y 11 se aprecia de manera independiente cómo se ajusta el VAN según cada variable.

7 Metodologías

Las metodologías mencionadas en el proyecto de mantenimiento preventivo tienen su base en el libro de Campbell, J., Jardine, A. & McGlynn, J. (2010), "Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions", publicado por CRC. Estos autores proporcionan un enfoque integral y basado en la excelencia para la gestión de activos, abordando la evaluación, diseño e implementación de estrategias efectivas de mantenimiento:

- **Sistemas y Subsistemas:**

La identificación y catalogación de sistemas y subsistemas en el equipo se llevó a cabo mediante un enfoque detallado que involucra la participación de operadores, mecánicos y la recopilación de registros. Esta metodología garantiza una comprensión completa de los componentes críticos y permite una planificación precisa del mantenimiento.

- **Determinación de Criticidad:**

Se implementó la metodología AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla) para evaluar la criticidad de cada sistema y subsistema. Este enfoque proporciona una clasificación basada en gravedad, frecuencia y detectabilidad, generando un Índice de Prioridad de Riesgo (IPR). Los resultados del AMEF orientan la priorización de acciones de mantenimiento preventivo.

- **Análisis de Fallas:**

El análisis de fallas se realizó con el objetivo de identificar patrones recurrentes y determinar las causas fundamentales detrás de las averías. Se utilizó un enfoque estadístico para evaluar la frecuencia de fallas por sistema y los costos asociados. Este análisis proporciona información valiosa para la planificación de mantenimiento y la asignación de recursos.

- **Evaluación del Sistema Hidráulico:**

Se llevará a cabo una evaluación integral del sistema hidráulico, centrándose en el rendimiento del brazo hidráulico y sus componentes asociados. Este proceso implicará pruebas de presión, inspecciones minuciosas de mangueras, conexiones y cilindros, así como la identificación de posibles fugas. La evaluación hidráulica permitirá detectar cualquier anomalía en el sistema, asegurando un funcionamiento óptimo y prolongando la vida útil de los componentes hidráulicos.

Las ecuaciones para usar son las siguientes:

• **Cilindros:**

$$\begin{aligned}
 - \text{ Fuerza extensión (lbf)} &= \frac{\pi * De^2(in)}{4} * P (psi) \\
 - \text{ Fuerza retracción(lbf)} &= \frac{\pi * (De^2 - Dv^2)(in)}{4} * P (psi) \\
 - \text{ Velocidad extensión } \left(\frac{m}{s}\right) &= \frac{0.0258 * 4 * Q \left(\frac{L}{min}\right)}{\pi * De^2(in)} \\
 - \text{ Velocidad retracción } \left(\frac{m}{s}\right) &= \frac{0.0258 * 4 * Q \left(\frac{L}{min}\right)}{\pi * (De^2 - Dv^2)(in)}
 \end{aligned}$$

• **Bomba:**

$$\begin{aligned}
 - \text{ Cilindrada } \left(\frac{cm^3}{s}\right) &= \frac{Q \left(\frac{L}{min}\right) * 1000}{n} \\
 - \text{ Potencia bomba (HP)} &= \frac{P (bar) * Q \left(\frac{L}{min}\right)}{450}
 \end{aligned}$$

Donde:

- *De*: Diámetro del émbolo del cilindro
- *Dv*: Diámetro del vástago del cilindro
- *P*: Presión
- *Q*: Caudal bomba
- *n*: RPM

Estas metodologías seleccionadas, esenciales para la implementación exitosa del proyecto, aseguran un enfoque estructurado y la identificación proactiva de problemas en las estrategias de mantenimiento. Y se derivan directamente de las mejores prácticas y enfoques respaldados por la literatura para el proyecto de mantenimiento preventivo.

La evaluación específica del sistema hidráulico mediante cálculos se justifica debido a su papel crucial en el rendimiento global del equipo, que incluye tanto el camión como la grúa. Dada la influencia directa del sistema hidráulico en operaciones críticas como el levantamiento y la estabilidad de la grúa, su evaluación detallada a través de pruebas de presión y cálculos ofrece una visión cuantitativa de su eficiencia y confiabilidad. Este enfoque, al anticipar posibles problemas y prevenir fallas, contribuye a prolongar la vida útil del equipo y a reducir los costos asociados con reparaciones no planificadas. La decisión de centrarse en el sistema hidráulico se alinea con la estrategia de mantenimiento preventivo, priorizando la eficiencia y seguridad del equipo en su conjunto.

7.1 Medidas de desempeño

Las métricas asociadas a cada etapa son fundamentales para comprender la extensión del equipo y sus componentes, permitiendo así la planificación precisa de las intervenciones. Estas métricas incluyen:

- **Identificación y Catalogación de Sistemas y Subsistemas:**
 - Total, de sistemas y subsistemas propuestos para identificación y catalogación.
- **Determinación de Criticidad (AMEF):**
 - Valor objetivo del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) propuesto para cada componente evaluado.
 - Proporción esperada de componentes críticos con acciones preventivas implementadas.
 - Comparación propuesta de la frecuencia y gravedad de fallas antes y después del plan.
- **Análisis de Fallas:**
 - Análisis de Pareto efectuado.
 - Costos totales esperados de reparación y tiempo de inactividad.
 - Tiempo medio de reparación (MTTR) esperado y otros KPIs.

- **Evaluación del Sistema Hidráulico:**

- Pruebas de presión y su conformidad con los estándares.
- Registro esperado de fugas y problemas
- Comparación esperada antes y después de las intervenciones propuestas.

8 Conociendo el equipo

La grúa Terex RS 60100 montada en el camión Sterling destaca como una máquina diseñada específicamente para realizar elevaciones de carga en espacios delimitados. Su funcionamiento posibilita el desplazamiento autónomo de objetos de un lugar a otro, capitalizando la movilidad inherente que le otorga el vehículo de transporte al que está acoplada. Es importante destacar que, a diferencia de otras máquinas en la empresa, este camión se distingue por ser el único con capacidad de rotación completa de 360°. Esta característica única amplía significativamente la accesibilidad de la grúa, permitiéndole ajustar fácilmente su radio de trabajo, ya sea para acortarlo o agrandarlo, según las necesidades específicas de la tarea en cuestión.

8.1 Fichas técnicas

En las tablas 3 y 4 y Figura 5, se presentan las fichas técnicas del equipo, transcritas del Manual de operador del equipo.

Altura máxima / Largo máximo	110 ft. (33.5 m)
Capacidad máxima	60,000 lbs. (27,215 kg)
Peso	24539 kg
Apertura estabilizadores (medio/completo)	6ft/12ft (1.82m/3.65m)
Ángulo de giro	360°
Presión de trabajo máxima	250 bar (3625.94 psi)
Caudal de la bomba	200 L/min
Velocidad del eje	1200 RPM

Tabla 3: Ficha técnica grúa Terex RS-60100
Fuente: Manual de operador Terex RS60100

RS-60100	Velocidad (FPM)	Velocidad (m/s)
Extensión	108	0.548
Retracción	43	0.218
Elevación	34	0.177
Descenso	25	0.127

Tabla 4: Velocidades grúa Terex RS-60100
Fuente: Manual de operador Terex RS60100

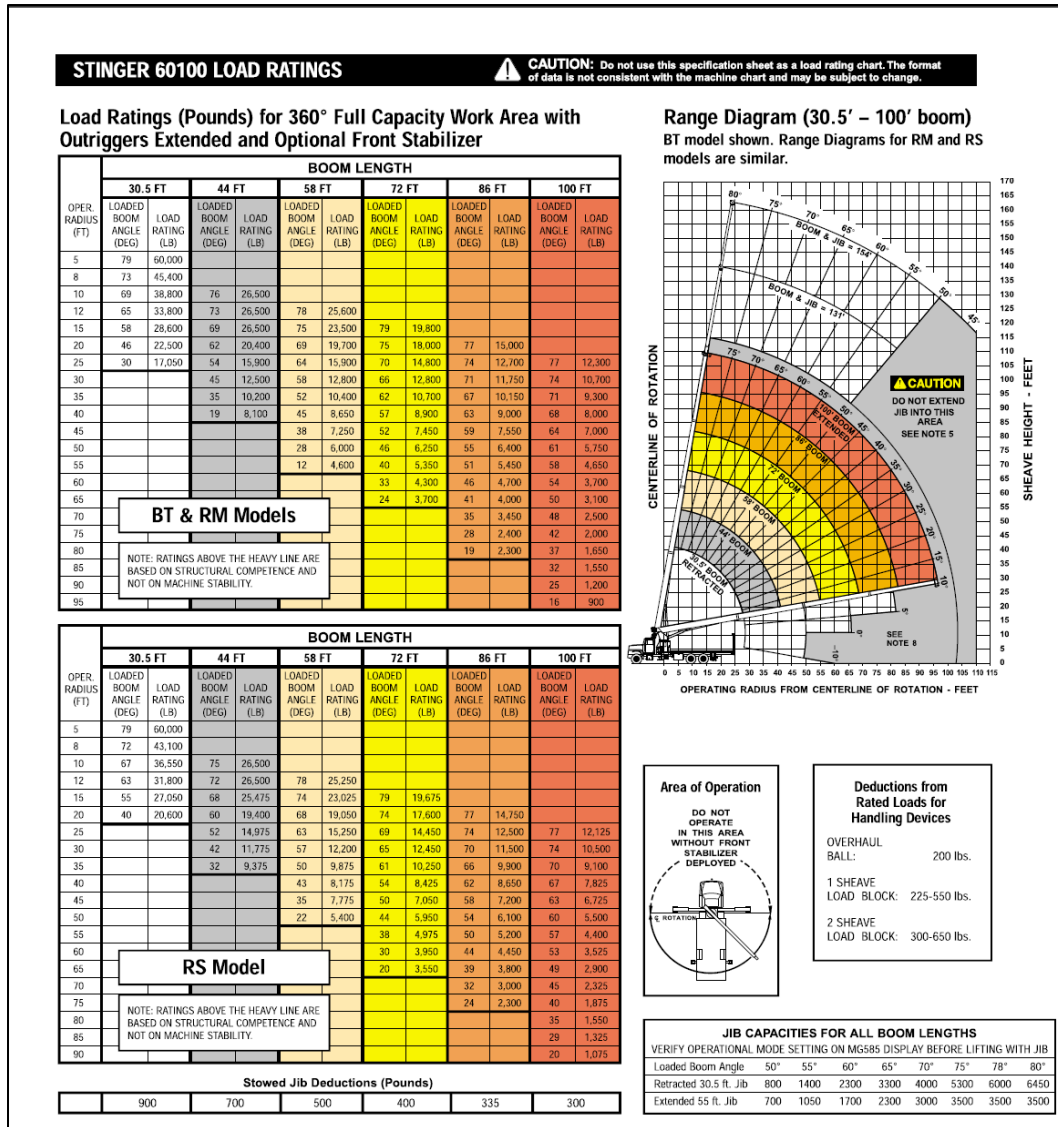


Figura 5: Capacidad mínima y máxima según distancia del brazo
Fuente: Manual de operador Terex RS60100

8.2 Sistemas y subsistemas

Se comenzó el levantamiento del proyecto, recopilando la mayor cantidad de datos obtenidos del equipo mediante los operadores, mecánicos, registros que poseen e investigación. Iniciando con la evaluación de fallos y criticidad, se realiza una catalogación de sistemas y subsistemas dentro del equipo, analizando la mayor cantidad de elementos y partes que componen cada sistema, en la tabla 5 se muestra esta información separada en dos partes principales: los sistemas del camión y los sistemas de la grúa.

Camión		
Sistemas	Subsistemas	Descripción
Dirección		Facilita el giro del volante, especialmente en vehículos grandes, mediante la asistencia hidráulica o eléctrica
Eléctricos	Batería	Almacena energía eléctrica para arrancar el motor y alimentar otros sistemas eléctricos
	Alternador	Genera electricidad para recargar la batería y alimentar los componentes eléctricos.
	Arranque	Genera electricidad para recargar la batería y alimentar los componentes eléctricos.
	Cableado y Fusibles	Conducen la electricidad y protegen el sistema contra sobrecargas.
	Interruptores y controles eléctricos	Controlan la iluminación y otros dispositivos eléctricos del vehículo.
Estructura	Bastidor	Lo referente a la carrocería, pintura suelda y otros elementos
Frenos	Frenos de Tambor	Crean fricción para detener las ruedas cuando se aplica el freno.
	Balata	Evita el bloqueo de las ruedas durante el frenado, mejorando el control del vehículo.
Motor	Admisión	Suministra aire al motor para la mezcla con el combustible antes de la combustión
	Alimentación	Compuesto por inyectores, bombas y demás elementos anexos al sistema
	Combustible	Suministra el combustible al motor para su funcionamiento adecuado.
	Escape	Elimina los gases de combustión del motor y reduce las emisiones contaminantes.
	Lubricación	Proporciona aceite para reducir la fricción y el desgaste en las partes móviles del motor.

	Refrigeración	Mantiene el motor a una temperatura segura mediante la circulación de líquido refrigerante.
Suspensión	Amortiguadores	Controlan el rebote de los resortes y mantienen las ruedas en contacto con la carretera.
	Bujes y rodamientos	Reducen la fricción y permiten el movimiento suave de las partes móviles.
Trasmisión	Caja de cambio	Permite al conductor cambiar las marchas y controlar la velocidad y la potencia del vehículo.
	Embrague	Conecta y desconecta el motor de la transmisión para cambiar de marcha
	Diferencial y ejes de trasmisión	Distribuyen la potencia del motor a las ruedas.
Grúa		
Sistemas	Subsistemas	Descripción
Bloqueo	Limitadores de Carga	Evitan que la grúa levante cargas que excedan su capacidad nominal, garantizando operaciones seguras
	Bloqueo de movimiento	Garantiza la seguridad durante las operaciones, asegurando la posición del brazo, estabilizadores, giro y otros
Estabilizadores	Patas estabilizadores	Proporcionan estabilidad al desplegarse y fijar el camión en su lugar durante las operaciones de elevación
	Sensores de Nivelación	Detectan la inclinación y aseguran que la grúa esté nivelada para operaciones seguras
Hidráulico	Bomba hidráulica	Genera presión para operar los cilindros hidráulicos y otros dispositivos.
	Cilindros	Convierten la energía hidráulica en movimiento lineal para operar la grúa
	Deposito	Almacena el aceite hidráulico y ayuda a mantener la temperatura adecuada
	Válvulas de control	Regulan el flujo y la dirección del fluido hidráulico en el sistema.
Pluma y gancho	Cabrestante	Enrolla y desenrolla el cable para levantar objetos.
	Gancho de Carga	Accesorios de Izaje: Sostiene y asegura la carga durante el levantamiento.
	Pluma Telescópica	Proporciona alcance y altura para levantar cargas.

Tabla 5: Sistemas y Subsistemas del equipo

8.3 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico de la grúa desempeña un papel crucial en su funcionamiento al permitir un control preciso de los movimientos y operaciones de elevación. En este contexto, se lleva a cabo un análisis detallado de las partes que componen el puente grúa. Este análisis se realizará mediante cálculos estructurales que abordarán aspectos clave para evaluar la eficiencia y el rendimiento del sistema hidráulico. El enfoque estará específicamente orientado hacia la comprensión de la capacidad de carga y otros parámetros fundamentales que influyen en la operatividad y seguridad de la grúa. A continuación, se presentarán los resultados de estos cálculos y las mediciones realizadas:

8.3.1. Datos medidos

Cilindro	Elevación (bar)	Descenso (bar)	Entrada (bar)	Salida (bar)	Desplazamiento (cm)	Diámetro émbolo (mm)	Diámetro vástago (mm)
Elevación	200	170	-	-	100	180	130
Telescopio	-	-	210	180	800	150	100

Tabla 6: Datos técnicos medidos de los cilindros hidráulicos

La tabla 6 detalla información fundamental recopilada durante la medición de los dos cilindros hidráulicos esenciales en la grúa. Estos cilindros desempeñan roles cruciales en las operaciones del equipo: el cilindro de elevación, responsable de levantar el brazo y proporcionar el ángulo de trabajo necesario, y el cilindro telescópico, encargado de extender y retraer la pluma de la grúa. Estos datos, que incluyen su desplazamiento, diámetro del émbolo y vástago, así como otros parámetros técnicos, son fundamentales para comprender y evaluar el rendimiento de estos componentes hidráulicos clave. La bomba hidráulica, mediante una medición con rotámetro arrojó un caudal de 150 l/min (40 GPM aprox.). El análisis detallado de estas características permitirá una mejor comprensión de la capacidad y eficiencia de los cilindros en las distintas funciones de la grúa.

8.3.2 Cálculos Hidráulicos

Los siguientes cálculos fueron realizados con el objetivo de comparar el rendimiento real con el rendimiento esperado para evaluar el estado del sistema hidráulico. (Donde 1 representa el cilindro de elevación y 2 el cilindro telescópico):

- Velocidad de extensión:

$$- V_{e1} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot Q}{\pi \cdot D e^2} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot 150}{\pi \cdot 7^2} = 0.101 \text{ m/s}$$

$$- V_{e2} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot Q}{\pi \cdot D e^2} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot 150}{\pi \cdot 6^2} = 0.137 \text{ m/s}$$

- Velocidad de retracción

$$- V_{r1} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot Q}{\pi \cdot (D e^2 - D v^2)} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot 150}{\pi \cdot (7^2 - 5^2)} = 0.205 \text{ m/s}$$

$$- V_{r2} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot Q}{\pi \cdot (D e^2 - D v^2)} = \frac{0.0258 \cdot 4 \cdot 150}{\pi \cdot (6^2 - 4^2)} = 0.245 \text{ m/s}$$

- Fuerza de extensión

$$- F_{e1} = \frac{\pi \cdot D e^2}{4} \cdot P = \frac{\pi \cdot 7^2}{4} \cdot 2900.75 = 111605.079 \text{ lbf} = 50.643 \text{ T}$$

$$- F_{e2} = \frac{\pi \cdot D e^2}{4} \cdot P = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} \cdot 2610.68 = 73815.237 \text{ lbf} = 33.433 \text{ T}$$

- Fuerza de retracción:

$$- F_{r1} = \frac{\pi \cdot (D e^2 - D v^2)}{4} \cdot P = \frac{\pi \cdot (7^2 - 5^2)}{4} \cdot 2465.64 = 46476.22 \text{ lbf} = 20.995 \text{ T}$$

$$- F_{r2} = \frac{\pi \cdot (D e^2 - D v^2)}{4} \cdot P = \frac{\pi \cdot (6^2 - 4^2)}{4} \cdot 3045.8 = 47843.314 \text{ lbf} = 21.641 \text{ T}$$

- Cilindrada de la bomba:

$$- \text{Cilindrada} = \frac{Q \cdot 1000}{n} = \frac{150 \cdot 1000}{1200} = 125 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

- Potencia de la bomba:

$$- Pot = \frac{P \text{ (bar)} \cdot Q \left(\frac{L}{min} \right)}{450} = \frac{220 \cdot 150}{450} = 73.36 \text{ HP}$$

Según estos cálculos, y comparándolos con los datos del fabricante, se puede observar una disminución significativa en el rendimiento real en comparación con el rendimiento esperado. Esto se refleja en la ficha técnica, donde se aprecia una reducción en las velocidades y caudal del sistema, una reducción general de aproximadamente 27%.

8.4 Determinación de Criticidad

8.4.1 AMEF

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una metodología sistemática empleada en este proyecto para evaluar la criticidad de los modos de falla potenciales en los sistemas y subsistemas de la grúa. Este enfoque se centra en identificar los posibles escenarios de fallo, evaluar sus consecuencias y asignar valores de severidad, ocurrencia y detección en una escala de 1 a 10. La aplicación del AMEF permite priorizar las acciones de mantenimiento preventivo, concentrándose en los componentes con mayor índice de criticidad. La decisión de utilizar el AMEF en este proyecto se basa en su capacidad para mejorar la confiabilidad del equipo, prevenir fallas anticipadamente y optimizar los recursos de mantenimiento de manera eficiente. Las tablas 7, 8 y 9 presentan las clasificaciones del AMEF consideradas:

Gravedad	Criterio	Nivel
Muy Baja	Fallas que tienen poco o ningún impacto significativo en el rendimiento del camión grúa y son altamente improbables.	1
Baja	Fallas que causan inconvenientes menores y tienen un impacto leve en el funcionamiento del camión grúa. Pueden ser corregidas fácilmente.	2-3
Moderada	Fallas que resultan en molestias y afectan moderadamente el rendimiento del camión grúa.	4-5
Alta	Fallas críticas que pueden incapacitar el camión grúa y generan insatisfacción significativa.	6-8
Muy Alta	Fallas altamente críticas que afectan gravemente el funcionamiento y la seguridad del camión grúa y/o incumplen normativas importantes.	9-10

Tabla 7: Grado de gravedad de la falla

Frecuencia	Criterio	Nivel
Muy Baja	Fallas extremadamente raras que no se han observado en el pasado, aunque son concebibles.	1
Baja	Fallas aisladas razonablemente esperables en la vida del camión grúa, pero poco probables.	2-3
Moderada	Fallas que aparecen ocasionalmente con probabilidad de ocurrir algunas veces durante la vida del equipo	4-5
Alta	Fallas que han ocurrido anteriormente, indicando una probabilidad significativa de reaparición.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

Tabla 8: Grado de frecuencia de la falla

Detectabilidad	Criterio	Nivel
Muy Baja	Defectos que son extremadamente difíciles de detectar con los procedimientos y controles existentes.	1
Baja	Defectos que son difíciles de detectar y podrían pasar desapercibidos en un primer control, pero se descubrirán posteriormente.	2-3
Moderada	Defectos detectables, pero que podrían no ser identificados antes de que el componente entre en el servicio.	4-5
Alta	Defectos que son fácilmente detectables mediante controles establecidos.	6-8
Muy Alta	Defectos obvios que son altamente improbables de pasar desapercibidos incluso en los controles más básicos.	9-10

Tabla 9: Grado de detección de la falla

Para determinar la criticidad de los componentes clave en los sistemas del camión y la grúa, se emplea el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR), calculado mediante la fórmula $IPR = Gravedad \times Detección \times Frecuencia$. Los rangos de riesgo asociados a este índice permiten clasificar los sistemas en términos de su impacto potencial.

En las tablas del anexo 17 y 18, se detallan los componentes específicos de cada sistema junto con sus valores, centrándonos en su gravedad, frecuencia y detectabilidad. Estos datos se evalúan utilizando una escala que culmina en la obtención del IPR final. Este índice proporciona una visión holística del impacto del mantenimiento en los sistemas críticos, facilitando la priorización y planificación estratégica de las acciones correctivas necesarias para asegurar la confiabilidad y eficiencia continua del equipo.

8.4.2 Análisis del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) según AMEF

El análisis del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) a partir del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) proporciona una visión integral de la criticidad de los modos de falla potenciales en los sistemas del camión y la grúa. Con la tabla del anexo 1 (el cual nos da la prioridad según el rango del riesgo en los subsistemas) y la información de los anexos 17 y 18, se determinan los componentes más críticos del equipo:

Camión:

1. **Dirección:** La falla en el sistema de dirección presenta el IPR más alto (252), indicando una alta criticidad. Las acciones correctivas, como la revisión y reparación, deben abordarse con urgencia para garantizar la seguridad y funcionalidad del vehículo.
2. **Eléctricos:** Varios subsistemas eléctricos muestran IPR significativos, destacando la batería, el alternador y el sistema de arranque. Las acciones correctivas incluyen el reemplazo de la batería y la inspección/reparación de componentes clave.

Grúa:

1. **Hidráulico:** Los componentes hidráulicos, como la bomba y los cilindros hidráulicos, exhiben IPR elevados. La reparación o reemplazo de estos elementos es esencial para mantener la operatividad de la grúa.
2. **Pluma y Gancho:** Tanto el cabrestante como la pluma telescópica presentan IPR significativos. Se requieren revisiones y reparaciones para garantizar un rendimiento óptimo durante las operaciones de elevación.

En general, el IPR proporciona una guía valiosa para priorizar las acciones correctivas. Las intervenciones deben centrarse en los componentes con IPR más alto, mitigando así los riesgos asociados y mejorando la confiabilidad operativa de ambos equipos.

9 Antecedentes del equipo

En la planificación del mantenimiento preventivo, se identificó que, al presentarse una avería, las funciones no se cumplen de manera correcta o simplemente no existen procedimientos establecidos; en lugar de abordar el problema de raíz, se recurre al mantenimiento correctivo. Esta práctica impide una solución integral, lo que podría dar lugar a desgastes prematuros de partes y piezas, generando fallas en cadena. El diagnóstico interno ha confirmado la presencia de restricciones de capacidad física y de materiales, es decir, la falta de repuestos previos o la repetición de errores en un mismo sistema debido a soluciones parche.

9.1. Fallas

En el análisis de las fallas comúnmente encontradas en el equipo, se han identificado diversas problemáticas, que incluyen fugas de refrigerante debido a roturas en los flexibles, excesos de presión o cambios bruscos de temperatura, fallos en la bomba hidráulica, deficiencias en el motor y los sistemas de toma fuerza, desgaste en empaquetaduras, entre otros. Durante el periodo de evaluación, se procedió a registrar y listar las fallas actuales, detalladas en la tabla del anexo 4. Este registro facilita la realización de un análisis de Pareto, con el objetivo de identificar las principales averías que surgen. Los resultados destacan al motor y al sistema hidráulico como causantes de la mayoría de las fallas, en consonancia con la metodología de Pareto, donde el 80% de las fallas son causadas por el 20%. La elección del método de Pareto para el análisis de las fallas se justifica por sus ventajas, ya que permite asignar un orden de prioridades para la toma de decisiones. Los resultados de este análisis se reflejan resumidos en la figura 6:

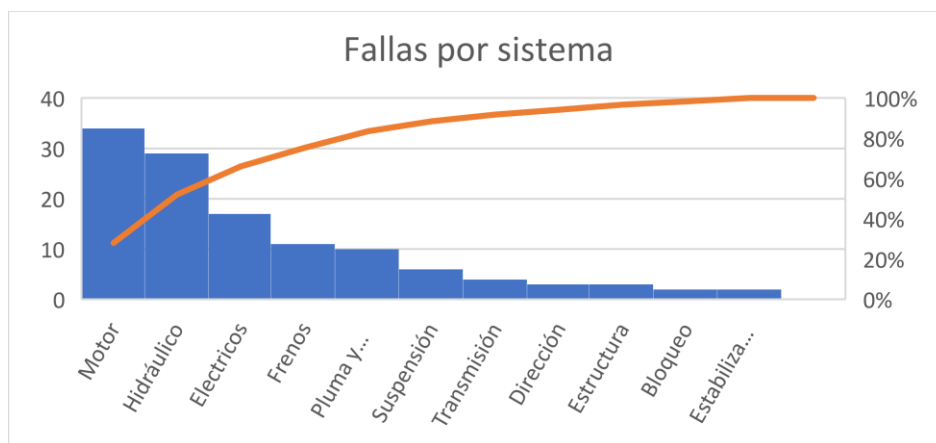


Figura 6: Pareto de fallas por sistema

Donde se muestra, de manera general, una estadística actualizada de la frecuencia de fallas por sistema. Se determina que los fallos más comunes parten del motor y el sistema hidráulico para luego ir progresando a los otros sistemas. Esto nos permite ver de manera simple qué sistemas deberían tener prioridad y cómo se va diversificando el desgaste de los demás componentes o subsistemas.

Gracias a las metodologías del AMEF y Pareto y el historial de fallos se muestra en la figura 7, el diagrama Causa – Efecto simple, el cual representa de manera visual los principales factores que impiden el buen desempeño de la grúa.

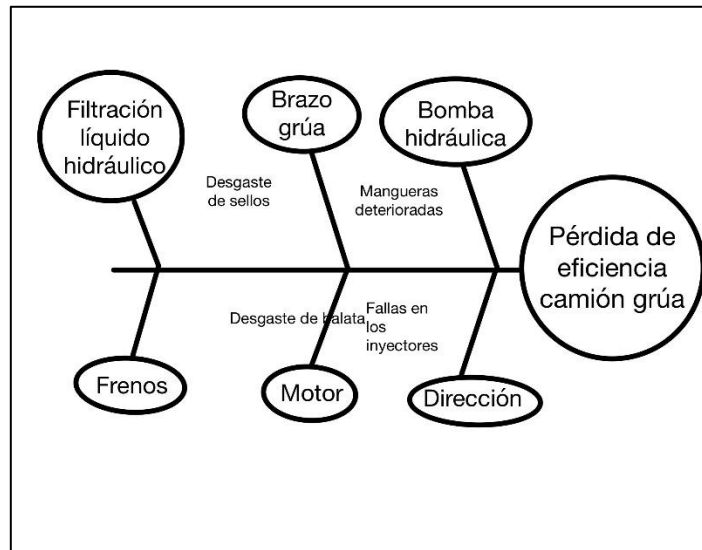


Figura 7: Diagrama Ishikawa de la pérdida de eficiencia

10 Plan de Implementación

En este apartado se muestra el desarrollo del plan de mantenimiento para el camión grúa:

1. Evaluación y Priorización:

- Asegurarse de tener un criterio claro para identificar equipos críticos. Puede ser útil basarse en la criticidad operativa, seguridad y costo de reparación.
- Considerar la utilización de técnicas como el Análisis de Criticidad y Consecuencia (ACC) para una evaluación más detallada.

2. Desarrollo del Plan:

- Los procedimientos deben ser redactados de manera clara y accesible. Incluye imágenes, diagramas o listas de verificación si es necesario.
- La frecuencia de las actividades preventivas debe basarse en las recomendaciones del fabricante y en la experiencia del equipo de mantenimiento.

3. Implementación y Monitoreo:

- Realizar sesiones prácticas de entrenamiento para el personal de mantenimiento.
- Establecer un sistema de seguimiento y registro eficiente para garantizar que todas las actividades de mantenimiento se realicen según lo planificado.

4. Evaluación y Ajustes:

- La evaluación de resultados debe incluir métricas clave, como tiempo de actividad mejorado, reducción de fallas, y eficiencia operativa.
- Considerar la posibilidad de establecer un equipo de mejora continua para abordar constantemente las áreas de mejora identificadas.

5. Matriz de Riesgo:

- Es importante revisar y actualizar la matriz de riesgo periódicamente a medida que el proyecto avanza.
- Asegurarse de que las estrategias de mitigación sean específicas y prácticas.

Este enfoque en 5 pasos proporciona una estructura clara y concisa para implementar un programa de mantenimiento preventivo, permitiendo una ejecución efectiva y una mejora continua en el rendimiento y la confiabilidad de los equipos.

10.1 Matriz de riesgo

Crear una matriz de riesgo es una forma eficiente donde se puede identificar y gestionar los posibles problemas que podrían surgir en el proyecto. Lo que se puede evaluar a través del modelo de matriz procedente de la empresa Asana, que se presenta en la tabla 10:

		Probabilidad				
		1	2	3	4	5
Impacto	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

Tabla 10: Matriz de riesgo 5x5

Fuente: Asana

Se identificaron los siguientes riesgos para el proyecto:

A) Cambios en la operación (12):

- **Probabilidad:** 3
- **Impacto:** 4
- **Mitigación:** Establecer un proceso de gestión del cambio que incluya la comunicación efectiva con el personal, la capacitación adecuada y la retroalimentación continua.

B) Falta de recursos (12):

- **Probabilidad:** 3
- **Impacto:** 4
- **Mitigación:** Realizar una evaluación exhaustiva de los recursos necesarios para el proyecto y trabajar en la obtención de los recursos faltantes a través de asignaciones presupuestarias o adquisiciones.

C) Problemas tecnológicos (8):

- **Probabilidad:** 2
- **Impacto:** 4
- **Mitigación:** Implementar un plan de contingencia para abordar problemas tecnológicos, incluyendo redundancias en sistemas críticos y herramientas bien calibradas.

D) Retroceso en la productividad (3):

- **Probabilidad:** 1
- **Impacto:** 3
- **Mitigación:** Implementar prácticas de gestión del rendimiento y establecer metas claras cuando sea necesario para mejorar la productividad.

E) Errores en la implementación (10):

- **Probabilidad:** 2
- **Impacto:** 5
- **Mitigación:** Realizar pruebas exhaustivas antes de la implementación completa y validar procedimientos para minimizar errores.

F) Falla en la comunicación interna (6):

- **Probabilidad:** 2
- **Impacto:** 3
- **Mitigación:** Establecer canales de comunicación claros, fomentar la retroalimentación abierta y periódica para mejorar la comunicación interna.

G) Fracaso en la capacitación del personal (6):

- **Probabilidad:** 2
- **Impacto:** 3
- **Mitigación:** Desarrollar un programa de capacitación integral, evaluar continuamente la efectividad de la capacitación y proporcionar recursos adicionales si es necesario.

H) Incumplimiento en registros u órdenes de trabajo (12):

- **Probabilidad:** 3
- **Impacto:** 4
- **Mitigación:** Implementar un sistema de auditorías periódicas para garantizar el cumplimiento.

En resumen, la matriz de riesgo proporciona una herramienta valiosa para la identificación y gestión proactiva de los posibles problemas en el proyecto. Al abordar estos riesgos de manera estratégica, el equipo está mejor preparado para garantizar la eficiencia en cada etapa y el exitoso del proyecto.

11 Mantenimiento

En este capítulo se presenta el Plan de Mantenimiento para el camión grúa, resultado del análisis y diagnóstico realizado en el taller de mantenimiento. Se plantean cambios sustanciales basados en información valiosa y cuantitativa recopilada. A continuación, se detalla el enfoque del plan:

11.1 Objetivos del Plan de Mantenimiento Preventivo:

El plan tiene como objetivos principales garantizar la seguridad en las operaciones, maximizar la vida útil de los componentes, minimizar el riesgo de fallas y paradas no programadas, y optimizar la eficiencia operativa. Es recomendable establecer indicadores clave de

rendimiento (KPI) para evaluar el éxito en el logro de los objetivos, como la reducción de paradas no programadas, aumento de la disponibilidad del equipo, etc.

11.2 Frecuencia de Mantenimiento:

Se establece una frecuencia de mantenimiento basada en horas de operación para abordar proactivamente posibles problemas. Las categorías de mantenimiento y sus respectivas actividades son:

- **Mantenimiento Diario (a las 18 horas):**
 - Realizado por el operador.
 - Inspección visual de componentes clave.
 - Verificación de niveles de fluidos y lubricantes.
 - Duración: 20 minutos.
- **Mantenimiento Semanal (a las 70 horas):**
 - Inspección detallada de sistemas hidráulicos y eléctricos.
 - Verificación de la tensión de las cadenas y cables.
 - Duración: 1 hora.
- **Mantenimiento Mensual (a las 250 horas):**
 - Realizado por técnicos certificados.
 - Inspección de componentes internos de los cilindros hidráulicos.
 - Inspección de componentes y sistema del motor.
 - Verificación y ajuste de sistemas de frenos.
 - Lubricación de puntos críticos.
 - Duración: 4 horas.
- **Mantenimiento Semestral (a las 1300 horas):**
 - Realizado por técnicos certificados.
 - Pruebas de carga para componentes críticos.
 - Evaluación de sistemas eléctricos.
 - Duración: 8 horas.

11.3 Procedimientos Específicos:

- **Mantenimiento de Cilindros Hidráulicos:**
 - Inspección y limpieza, desmontaje si es necesario.
 - Reemplazo de sellos y empaquetaduras.
 - Verificación de alineación y ajuste.
- **Inspección de Cables y Poleas:**
 - Evaluación visual de desgaste.
 - Pruebas de carga para garantizar la integridad estructural.
 - Lubricación de poleas y revisión de sistemas de poleas.
- **Sistema Eléctrico:**
 - Verificación de conexiones y cables.
 - Evaluación de controles remotos y sistemas de seguridad.

11.4 Registro y Documentación:

Se mantendrá un archivo detallado de cada actividad de mantenimiento, incluyendo fecha, duración, actividades realizadas y hallazgos relevantes. Esta documentación permitirá un seguimiento efectivo del historial de mantenimiento.

11.5 Entrenamiento del Personal:

Se implementará un programa de capacitación continua para el personal de mantenimiento, asegurando su conocimiento actualizado de las mejores prácticas y procedimientos de seguridad. Desarrolla sesiones prácticas como parte del programa de capacitación, permitiendo al personal aplicar directamente lo aprendido. Actualizar periódicamente el programa de capacitación para incluir nuevas tecnologías o mejores prácticas.

Los planes de mantenimiento son esenciales para garantizar la seguridad, eficiencia y ahorro económico en la empresa. Cada trabajo debe realizarse con la máquina apagada y garantizando la ausencia de energía residual. En los anexos 6 y 7, se presentan la lista de chequeo e inspecciones del proceso. Las órdenes de trabajo ya son de conocimiento y están en posesión del Área de Mecánica de la empresa.

12 KPIs

En esta sección, se detallan los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) seleccionados para evaluar la efectividad del proyecto de mantenimiento preventivo:

- **Disponibilidad:** La disponibilidad es crucial para asegurar que la flota de equipos esté operativa cuando se necesita. Este KPI se calcula mediante la fórmula

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Tiempo Nominal}} * 100$$

Durante el período hasta noviembre, el proyecto ha logrado un promedio de disponibilidad del 57.08%. Este indicador refleja la eficiencia operativa del equipo actualmente.

- **Tiempo medio entre fallas (MTBF):** El MTBF mide el tiempo promedio en horas entre una falla y la siguiente, siendo un indicador clave de la confiabilidad del equipo. La fórmula es:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Nº de fallas}}$$

El MTBF promedio hasta noviembre fue de 25.18 horas, proporcionando información valiosa sobre la fiabilidad del equipo y su capacidad para evitar fallas frecuentes

- **Tiempo medio de reparación (MTTR):** El MTTR evalúa la eficiencia del proceso de mantenimiento al medir el tiempo promedio de duración de la mantención o reparación de los equipos:

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Horas de mantención}}{\text{Nº de fallas}}$$

Reducir el MTTR es esencial para aumentar la disponibilidad. Hasta Octubre, el MTTR fue de 13.11 horas, indicando la eficacia de las intervenciones de mantenimiento

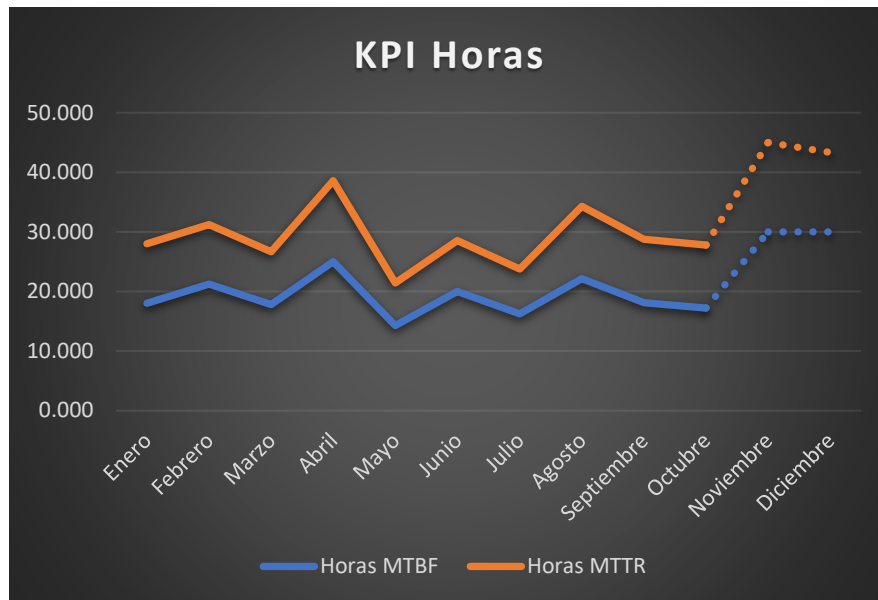


Figura 8: Resultados KPIs

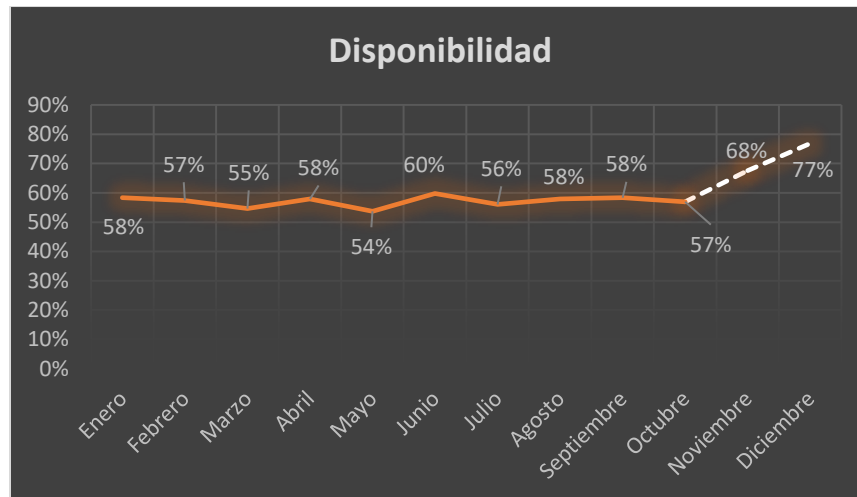


Figura 9: Resultados disponibilidad

A través de los datos recolectados, los resultados de las figuras 8 y 9 y la información recopilada en la tabla del anexo 8, se crea la tabla 11, donde se sintetiza los resultados de las métricas calculadas:

KPI	Promedio real	Promedio Proyectado
Disponibilidad	57.08%	60%
MTBF	24.19	35.577
MTTR	12.59	13.077

Tabla 11: Resumen resultados

Al examinar la Tabla 11, se nota que, al implementar correctamente el plan, la disponibilidad anual del equipo aumentaría en un 3%, en lugar del 5% esperado. A pesar de este aumento en la disponibilidad, tanto el tiempo entre fallas como el tiempo medio de reparación experimentaron un incremento, que aunque no es significativo como para indicar problemas graves en el desarrollo del proyecto, es lo bastante notable como para considerar la revisión de la metodología utilizada o el proceso de investigación preliminar. Esto se debe a que el tiempo medio de reparación debería haber disminuido; al buscar una mayor disponibilidad, se esperaría que los períodos en los que la máquina esté inoperativa por reparaciones fueran lo más breves posibles, o por lo menos, debieron haberse mantenido, pero no aumentado.

Ahora con estas proyecciones de los KPIs se espera determinar la variación de los ingresos mensuales y los costos hundidos, como la disponibilidad promedio aumentó, esto significa que del ingreso promedio mensual de \$11,963,395 pasaría a ser \$12,543,579, es decir se tendría un aumento del 4.5%. Para los costos hundidos se calculó que con la proyección pasaría de \$3,258,333 a \$2,678,149, lo que representaría una disminución del 17.8%, mientras que los costos de mantención que inicialmente eran de \$4.724,683 se redujeron a aproximadamente \$4.441.202. Resumiendo, se tiene:

- **Antes de las Proyecciones:**
 - **Ingresos Mensuales:** \$11,963,395
 - **Costos Hundidos:** \$3,258,333
 - **Costos de Mantenimiento:** \$4,724,683
 - **Resultado neto Antes:** $\$11,963,395 - (\$3,258,333 + \$4,724,683) = \$3,980,379$

- **Después de las Proyecciones:**
 - **Ingresos Mensuales:** \$12,543,579
 - **Costos Hundidos:** \$2,678,149
 - **Costos de Mantenimiento:** \$4,441,202
 - **Resultado neto proyectado:** $\$12,543,579 - (\$2,678,149 + \$4,441,202) = \$5,424,228$

Estos son los resultados netos antes y después de las proyecciones, considerando los costos deducidos de los ingresos, lo que resulta en una diferencia porcentual del 36.28% en los resultados.

13 Conclusiones y recomendaciones

El proyecto ha superado las expectativas al lograr un incremento del 36.3% en los ingresos mensuales promedio, superando el objetivo del 10%. Este éxito resalta la eficacia de las estrategias implementadas y la importancia clave del mantenimiento preventivo para mejorar el rendimiento operativo y económico.

El análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) proporcionó una comprensión detallada de los posibles escenarios de falla en los sistemas clave del camión grúa. Esto permitió la priorización de acciones correctivas y la asignación de Índices de Prioridad de Riesgo (IPR), destacando áreas críticas para intervenciones inmediatas. La identificación de antecedentes, fallas comunes y la aplicación de la metodología de Pareto permitieron detectar patrones y áreas de enfoque clave, indicando la necesidad de pasar de un enfoque reactivo a un mantenimiento preventivo, abordando restricciones de capacidad y materiales.

El Plan de Implementación proporcionó un marco sólido para la transición hacia un mantenimiento preventivo efectivo, estableciendo procesos claros y capacitando al personal para garantizar una ejecución eficaz. La evaluación de KPIs, como la disponibilidad, MTBF y MTTR, brindó una visión cuantitativa del impacto del plan. Aunque se logró un aumento en la disponibilidad, se identificó la necesidad de revisar el MTTR para mantener reducido el tiempo de reparación.

Al realizar una evaluación económica pormenorizada, se identificó un desafío significativo relacionado con la bomba hidráulica. Aunque el Valor Actual Neto (VAN) mostró resultados positivos inicialmente, el estado actual de la bomba hace poco probable alcanzar la vida útil estimada. La proyección inicial de 30 años se basó en datos de adquisición, pero investigaciones posteriores revelaron un historial de uso desde 1996. Se propuso ajustar la proyección a 3 años, considerando también las nuevas tecnologías en desarrollo de maquinarias pesadas.

El proyecto aspira a ser un modelo para futuras iniciativas dentro del equipo y la flota vehicular de la empresa. La replicación de metodologías propuestas contribuirá a aumentar ganancias y garantizar la operatividad de la maquinaria. A pesar de los éxitos, se reconoce la limitación actual en la reducción de tiempos de reparación debido a restricciones de presupuesto y espacio. La visión de tener repuestos disponibles en el taller para reparaciones inmediatas debe llegar a ejecutarse. Se destaca la importancia de abordar estas limitaciones en el futuro para mitigar costos asociados a



la inoperatividad del equipo y a la compra de repuestos de última hora, señalando este motivo como la razón por la cual el MTTR no logró disminuir.

La medición de la disponibilidad del equipo durante el periodo evaluado reveló un impacto significativo en el rendimiento operativo. El aumento del 36.3% en los ingresos mensuales promedio, subraya el éxito de las estrategias implementadas, refuerza la importancia del mantenimiento preventivo en la mejora tanto de la eficiencia operativa como también de la rentabilidad económica a corto plazo y establece las bases para un crecimiento sostenido.

Este proyecto aspira a abrir el camino para futuras iniciativas, consolidando la importancia estratégica del mantenimiento preventivo en la gestión efectiva de la flota vehicular. Se espera que el próximo año se obtengan proyecciones aún más positivas, contribuyendo así al éxito continuo de la empresa. Este proyecto no solo representa un hito significativo en la mejora de las operaciones, sino que también marca el comienzo de una nueva era en la gestión de activos y el mantenimiento preventivo en la organización.

14 Bibliografía

1. Antofagasta Minerals. (2017). *Directriz reportabilidad de tiempos e índices para equipos mineros*.
2. Gálvez, C. (2016). *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de ciencias aplicadas, Perú.
3. Córdova, G. (2017). *Mejoramiento de prácticas operacionales para el aumento de horas efectivas camiones de extracción gerencia mina, división Ministro Hales Codelco Chile* (Tesis de magister). Universidad de Chile, Chile.
4. Fernández, F. (2003). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Engineering.
5. Campbell, J., Jardine, A. & McGlynn, J. (2010). *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions*, Boca Ratón. Estados Unidos, CRC Press
6. <https://trekrental.cl/venta-usados-camiones/>
7. <https://www.terex.com/rough-terrain-cranes/en/product/rough-terrain/rt-1045>
8. <https://www.ingenieriamuresi.com/>
9. <https://www.nyxuz.cl/>
10. <https://blog.infraspeak.com/es/plan-de-mantenimiento-preventivo/>
11. <https://spectroline.com/es/preventative-maintenance-plan-hydraulic/>
12. <https://www.munciepower.com/cms/files/Products/Literature/Documents/Training/TR-G93-01S.pdf>
13. <https://asana.com/es/resources/risk-matrix-template>

15 Anexos

- Anexo 1: IPR Sistemas

Prioridad	Rango de IPR
Riesgo Bajo	1-8
Riesgo Medio	27-204
Riesgo Alto	512-1000

En este anexo se visualiza el rango de IPR y el riesgo en que se cataloga

- Anexo 2: Costos mantención (Fuente ACAR)

N° de Fallos	Sistema	Actividad	Costos (CLP)
2	Dirección	Cambio de la barra de dirección	\$ 250,000
3	Eléctricos	Revisión y reparación del sistema eléctrico	\$ 300,000
2		Reemplazo del sistema de batería	\$ 200,000
3		Reparación del alternador	\$ 150,000
3		Reparación del sistema de arranque	\$ 150,000
3		Reemplazo del cableado defectuoso	\$ 180,000
2		Reemplazo de fusibles y interruptores defectuosos	\$ 120,000
3	Estructura	Inspección y reparación de daños estructurales	\$ 350,000
2	Frenos	Revisión y ajuste del sistema de frenos	\$ 200,000
3		Reemplazo de balatas desgastadas	\$ 180,000
3	Motor	Revisión y reparación del sistema de admisión	\$ 300,000
2		Limpieza o reemplazo de inyectores y bombas defectuosos	\$ 250,000
3		Inspección y reparación de líneas de combustible	\$ 200,000
2		Reparación o reemplazo de componentes del escape	\$ 180,000
3		Cambio de aceite y filtro, revisión de la bomba de aceite	\$ 150,000
1		Revisión del radiador, bomba de agua y termostato	\$ 200,000
4	Suspensión	Reemplazo de los amortiguadores desgastados	\$ 180,000
4		Reemplazo de bujes y rodamientos defectuosos	\$ 180,000
3	Transmisión	Engrase de componentes, cambio de juntas del eje	\$ 500,000
2	Bloqueo	Inspección y recalibración del sistema de bloqueo	\$ 300,000
2	Estabilizadores	Lubricación y revisión de patas niveladoras	\$ 150,000
3	Hidráulico	Inspección y reparación del sistema hidráulico	\$ 100,000
4		Reparación o reemplazo de los cilindros hidráulicos	\$ 250,000
2		Reparación o reemplazo del depósito con fugas	\$ 300,000
4		Revisión y reparación del motor hidráulico	\$ 200,000
3		Reemplazo de las válvulas de control defectuosas	\$ 250,000
2	Pluma y gancho	Revisión y reparación del sistema del cabrestante	\$ 250,000
2		Inspección y reemplazo del gancho de carga	\$ 200,000
3		Revisión y recalibración del sistema de extensión	\$ 180,000

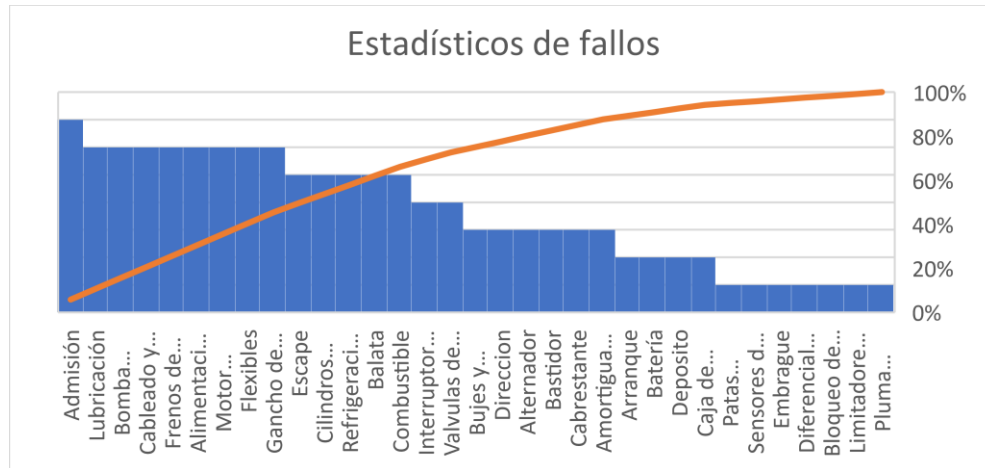
Tabla recopilada con el área de marketing y finanza para cuantificar los costos generales en los que incurren cuando realizan mantención y gastos en los repuestos.

- Anexo 3: Tabla Flujo de caja completo (Periodo en meses)

Periodo	flujo	VPN	TIR
0	-\$3,409,000	-\$3,409,000	-\$3,409,000
1	\$3,272,046	\$3,049,437	-\$359,563
2	\$3,980,379	\$3,457,204	\$3,097,641
3	\$3,980,379	\$3,221,998	\$6,319,639
4	\$571,379	\$431,048	\$6,750,686
5	\$3,980,379	\$2,798,503	\$9,549,190
6	\$3,980,379	\$2,608,111	\$12,157,301
7	\$3,980,379	\$2,430,672	\$14,587,973
8	\$571,379	\$325,182	\$14,913,155
9	\$3,980,379	\$2,111,188	\$17,024,343
10	\$3,980,379	\$1,967,556	\$18,991,899
11	\$3,980,379	\$1,833,697	\$20,825,596
12	\$571,379	\$245,317	\$21,070,913
13	\$3,272,046	\$1,309,251	\$22,380,164
14	\$3,980,379	\$1,484,323	\$23,864,487
15	\$3,980,379	\$1,383,339	\$25,247,826
16	\$571,379	\$185,067	\$25,432,893
17	\$3,980,379	\$1,201,515	\$26,634,407
18	\$3,980,379	\$1,119,772	\$27,754,179
19	\$3,980,379	\$1,043,590	\$28,797,769
20	\$571,379	\$139,614	\$28,937,383
21	\$3,980,379	\$906,422	\$29,843,804
22	\$3,980,379	\$844,755	\$30,688,559
23	\$3,980,379	\$787,283	\$31,475,842
24	\$571,379	\$105,325	\$31,581,167
25	\$3,272,046	\$562,116	\$32,143,283
26	\$3,980,379	\$637,282	\$32,780,565
27	\$3,980,379	\$593,925	\$33,374,491
28	\$571,379	\$79,457	\$33,453,948
29	\$3,980,379	\$515,861	\$33,969,808
30	\$3,980,379	\$480,765	\$34,450,573
31	\$3,980,379	\$448,057	\$34,898,630
32	\$571,379	\$59,942	\$34,958,572
33	\$3,980,379	\$389,165	\$35,347,737
34	\$3,980,379	\$362,689	\$35,710,426
35	\$3,980,379	\$338,014	\$36,048,439
36	\$571,379	\$45,220	\$36,093,660
VAN		\$36,093,660	

El flujo cambia cada cierto periodo ya que la inversión se estableció que sea trimestralmente para el mantenimiento del equipo

- Anexo 4: Estadísticos de fallos por sistema



- Anexo 5: Costos repuestos

Repuesto	Costo total
Batería 200	\$ 350,000
Bomba	\$ 450,000
Aceite 22L	\$ 300,000
Filtro aire	\$ 160,000
Rodamientos	\$ 625,000
Radiador	\$ 222,500
Neumáticos	\$ 1,900,000
Filtro aceite	\$ 90,000
Filtro petróleo	\$ 90,000
Flexibles	\$ 850,000

- Anexo 6: Checklist para el operador.
Con B: Bueno - M: Malo - N/A: No aplica

Ítem	Acción	Estado		Observaciones
		B	M	
Inspección Visual General	Verificar el estado exterior de la grúa/camión.			
	Identificar posibles fugas de líquidos.			
	Observar cualquier daño evidente en la estructura.			
Niveles de Fluidos	Verificar niveles de aceite del motor.			
	Verificar niveles de líquido de frenos.			
	Revisar niveles de líquido refrigerante.			
Componentes Eléctricos	Verificar luces de señalización y faros.			
	Comprobar el estado de las conexiones eléctricas.			
	Probar el sistema de bocina.			
Neumáticos	Verificar la presión de los neumáticos.			
	Inspeccionar visualmente desgaste irregular.			
	Asegurarse de que no haya objetos incrustados en las llantas.			
Sistema de Frenos	Probar la efectividad de los frenos.			
	Verificar el nivel de desgaste de las pastillas de freno.			
	Asegurarse de que no haya fugas en el sistema de frenos.			

- Anexo 7: Registro de mantención

Registro de mantenimiento N°:				
Responsable:				
Fecha:	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Tipo de Mantenimiento				
Tiempo:				
Materiales empleados	Descripción			
Observaciones:				

- Anexo 8: Resumen KPIs

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio real	Promedio Proyectado
Disponibilidad	58%	57%	55%	58%	54%	60%	56%	58%	58%	57%	68%	77%	57.08%	60%
MTBF	25.714	26.429	21.250	29.500	15.600	31.500	19.111	30.500	16.600	25.714	92.5	92.5	24.19	35.577
MTTR	12.857	13.143	12.25	15.167	10	14.5	10.556	15.167	9.0	13.286	16	15	12.59	13.077

- Anexo 9: Sensibilidad económica

	Variación ventas									
Variación costos	\$36,093,660	-20.00%	-15.00%	-10.00%	-5.00%	0%	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
	-20.00%	\$26,051,573	\$33,597,177	\$41,142,781	\$48,688,384	\$56,233,988	\$63,779,592	\$71,325,196	\$78,870,799	\$86,416,403
	-15.00%	\$21,016,491	\$28,562,095	\$36,107,698	\$43,653,302	\$51,198,906	\$58,744,510	\$66,290,113	\$73,835,717	\$81,381,321
	-10.00%	\$15,981,409	\$23,527,013	\$31,072,616	\$38,618,220	\$46,163,824	\$53,709,428	\$61,255,031	\$68,800,635	\$76,346,239
	-5.00%	\$10,946,327	\$18,491,931	\$26,037,534	\$33,583,138	\$41,128,742	\$48,674,346	\$56,219,949	\$63,765,553	\$71,311,157
	0%	\$5,911,245	\$13,456,849	\$21,002,452	\$28,548,056	\$36,093,660	\$43,639,264	\$51,184,867	\$58,730,471	\$66,276,075
	5.00%	\$876,163	\$8,421,766	\$15,967,370	\$23,512,974	\$31,058,578	\$38,604,182	\$46,149,785	\$53,695,389	\$61,240,993
	10.00%	-\$4,158,919	\$3,386,684	\$10,932,288	\$18,477,892	\$26,023,496	\$33,569,099	\$41,114,703	\$48,660,307	\$56,205,911
	15.00%	-\$9,194,001	-\$1,648,398	\$5,897,206	\$13,442,810	\$20,988,414	\$28,534,017	\$36,079,621	\$43,625,225	\$51,170,829
	20.00%	-\$14,229,083	-\$6,683,480	\$862,124	\$8,407,728	\$15,953,332	\$23,498,935	\$31,044,539	\$38,590,143	\$46,135,747

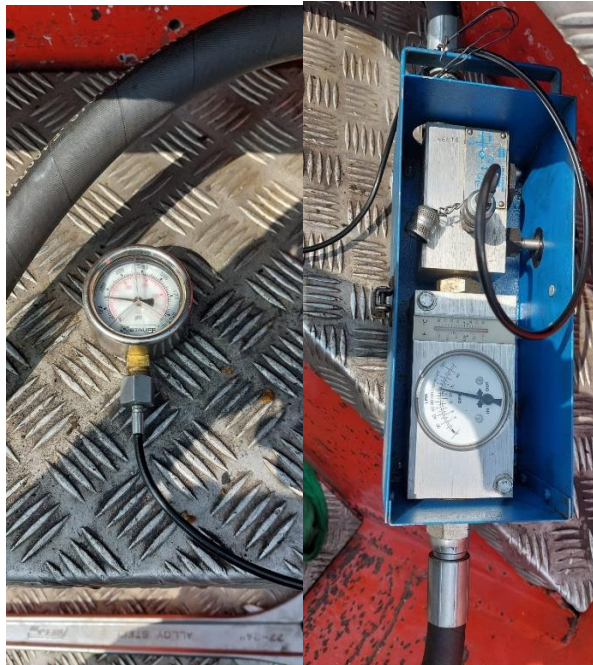
- Anexo 10: Variación del VAN según los ingresos

	Variación ventas									
		-20.00%	-15.00%	-10.00%	-5.00%	0%	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
VPN	\$36,093,660	\$ 5,911,245	\$ 13,456,849	\$ 21,002,452	\$ 28,548,056	\$ 36,093,660	\$ 43,639,264	\$ 51,184,867	\$ 58,730,471	\$ 66,276,075

- Anexo 11: Variación del VAN según los costos generales

	Variación costos									
		-20.00%	-15.00%	-10.00%	-5.00%	0%	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
VPN	\$36,093,660	\$ 56,233,988	\$ 51,198,906	\$ 46,163,824	\$ 41,128,742	\$ 36,093,660	\$ 31,058,578	\$ 26,023,496	\$ 20,988,414	\$ 15,953,332

- Anexo 12: Herramientas usadas en mediciones hidráulicas: Barómetro y flujómetro



- Anexo 13: Especificaciones técnicas de la grúa (Manual de operador Terex RS60100)

2.2.1 VALVE SPECIFICATIONS AND PRESSURE SETTINGS		
FUNCTION	CONFIGURATION	PRESSURE
WINCH	OPEN CENTER/OPEN PORT (MOTOR)	3200 PSI
BOOM	OPEN CENTER/CLOSED PORT	3500 PSI
SWING	OPEN CENTER/OPEN PORT (MOTOR)	1800 PSI

S-0379A

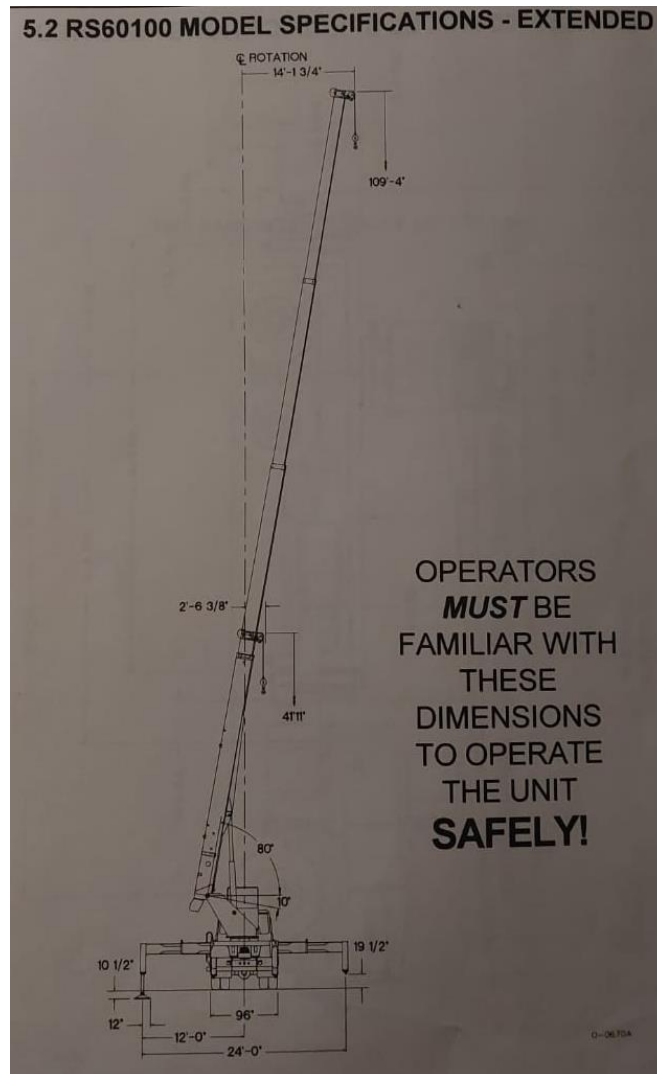
3.3.1 SYSTEM FLOWS			
RS-60100	GPM @ 1200 RPM	GPM @ 2300 RMP	FUNCTION
	21 GPM	36 GPM	WINCH
	11 GPM	20 GPM	BOOM
	5 GPM	11 GPM	SWING

S-0682A

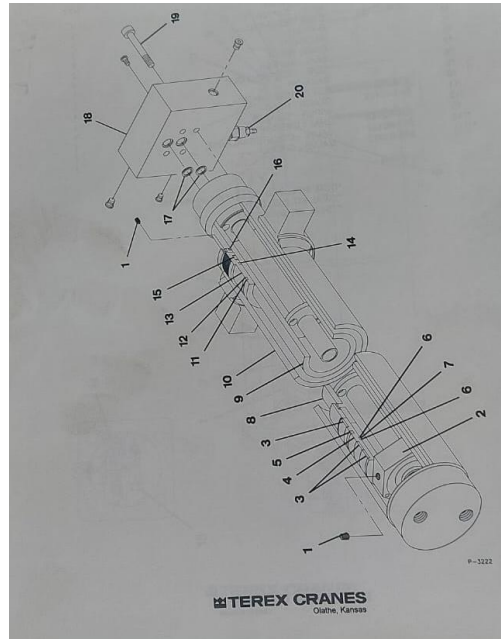
3.3.3 FUNCTION SPEEDS					
The following chart is a list of the speeds you can expect from the RS crane. All speeds are noted as being one (1) complete cycle. For instance, the swing time is for one 370° rotation, (stop to stop) at the full 2,300 RPM - and all times are in seconds.					
MODEL	SWING	EXTEND	RETRACT	BOOM UP	BOOM DOWN
RS-60100	48	108	43	34	25
WINCH SPEEDS		STANDARD 150 FPM		2 SPEED HI 220 FPM	

S-0382B

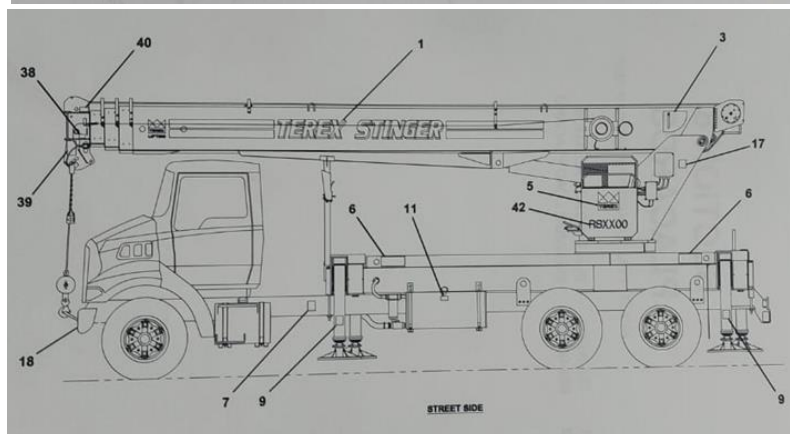
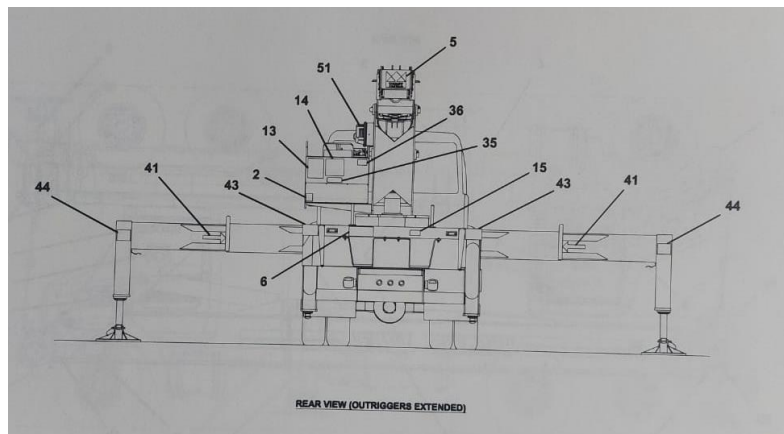
- Anexo 14: Planos de la grúa Terex



- Anexo 15: Plano cilindros hidráulicos de la grúa Terex



- Anexo 16: Planos de la grúa Terex



- Anexo 17: Tabla IPR de sistemas del camión

Camión							
Sistema	Subsistema	Modo de Falla	Gravedad	Frecuencia	Detectabilidad	IPR	Acciones Correctivas
Dirección		Falla en el sistema de dirección que afecta la capacidad de girar del vehículo.	9	4	7	252	Revisión y reparación del sistema de dirección.
Eléctricos	Batería	Falla en la batería que impide el arranque del motor y el funcionamiento eléctrico.	9	3	8	216	Reemplazo de la batería.
	Alternador	Fallo del alternador que no recarga la batería correctamente.	8	3	8	192	Inspección y reparación del alternador.
	Arranque	Problemas en el sistema de arranque que afectan el encendido del motor.	8	3	8	192	Reparación del sistema de arranque.
	Interruptores y controles eléctricos	Cortocircuitos en el cableado que pueden causar fallos eléctricos.	7	3	8	168	Inspección y reemplazo del cableado defectuoso.
	Cableado y Fusibles	Falla en interruptores eléctricos clave.	8	3	8	192	Reemplazo de interruptores defectuosos.
Estructura	Bastidor	Daños estructurales que comprometen la integridad del vehículo.	9	2	9	162	Reparación de los daños estructurales.
Frenos	Frenos de Tambor	Falla en los frenos que impide detener el vehículo adecuadamente.	9	3	8	216	Reparación o reemplazo de las balatas y ajuste del sistema de frenos.
	Balata	Desgaste o falla de las balatas que afecta la capacidad de frenado.	8	3	8	192	Reemplazo de las balatas desgastadas.
Motor	Admisión	Problemas en el sistema de admisión que afectan la mezcla de aire y combustible.	9	3	8	216	Reparación o reemplazo de componentes del sistema de admisión.

	Alimentación	Fallas en los inyectores o bombas de combustible que afectan la entrega de combustible.	8	3	8	192	Limpieza o reemplazo de inyectores y bombas defectuosos.
	Combustible	Problemas en el suministro de combustible que afectan el funcionamiento del motor.	8	3	8	192	Inspección y reparación de líneas de combustible obstruidas o dañadas.
	Escape	Falla en el sistema de escape que puede causar emisiones peligrosas.	7	3	8	168	Reparación o reemplazo de componentes del sistema de escape.
	Lubricación	Problemas en el sistema de lubricación que afectan la lubricación adecuada.	8	3	8	192	Cambio de aceite y filtro, revisión de la bomba de aceite.
	Refrigeración	Fallas en el sistema de refrigeración que pueden llevar al sobrecalentamiento.	9	3	8	216	Revisión del radiador, bomba de agua y termostato.
Suspensión	Amortiguadores	Problemas en los amortiguadores que afectan la capacidad del vehículo para absorber golpes.	8	3	8	192	Reemplazo de los amortiguadores desgastados.
	Bujes y rodamientos	Desgaste o falla en los bujes y rodamientos que afectan la suavidad del viaje.	8	3	8	192	Reemplazo de los bujes y rodamientos defectuosos.
Transmisión	Caja de cambio	Problemas en la caja de cambios que afectan la capacidad de cambiar marchas.	9	3	8	216	Reparación o reemplazo de componentes internos de la caja de cambios.
	Embrague	Fallas en el sistema de embrague que afectan el cambio de marchas.	9	3	8	216	Ajuste o reemplazo del embrague y el cableado asociado.
	Diferencial y ejes de transmisión	Problemas en el diferencial o ejes que afectan la distribución de potencia a las ruedas.	9	2	9	162	Revisión del diferencial y reemplazo de los ejes dañados.

- Anexo 18: Tabla IPR de sistemas del camión

Grúa							
Sistema	Subsistema	Modo de Falla	Gravedad	Frecuencia	Detectabilidad	IPR	Acciones Correctivas
Bloqueo	Bloqueo de movimiento	Falla en el sistema de bloqueo durante las operaciones	8	4	7	224	Revisión y recalibración del sistema de bloqueo.
	Limitadores de Carga	Limitador de carga defectuoso	9	3	8	216	Reemplazo del limitador de carga.
Estabilizadores	Patatas estabilizadoras	Falla en el sistema de nivelación de las patatas	8	3	8	192	Inspección y lubricación de las patatas niveladoras.
	Sensores de Nivelación	Falla en los sensores de nivelación	7	3	8	168	Calibración o reemplazo de los sensores de nivelación.
Hidráulico	Bomba Hidráulica	Fallo en la bomba hidráulica	9	2	9	162	Reparación o reemplazo de la bomba hidráulica.
	Cilindros hidráulicos	Fugas o bloqueo de los cilindros hidráulicos	10	2	9	180	Reparación o reemplazo de los cilindros defectuosos.
	Deposito	Fugas en el depósito del aceite hidráulico	8	3	8	192	Reparación o reemplazo del depósito con fugas.
	Motor Hidráulico	Falla en el motor hidráulico que controla los movimientos	9	2	9	162	Revisión y reparación del motor hidráulico.
	Válvulas de control	Falla en las válvulas de control del sistema hidráulico	9	2	9	162	Reemplazo de las válvulas de control defectuosas.
Pluma y gancho	Cabrestante	Falla en el sistema del cabrestante	10	2	9	180	Revisión y reparación del sistema del cabrestante.
	Gancho de Carga	Falla del gancho de carga	9	3	8	216	Inspección y reemplazo del gancho de carga.
	Pluma Telescópica	Falla en el sistema de extensión de la pluma telescópica	8	3	8	192	Revisión y recalibración del sistema de extensión

- Anexo 19: Procesos de revisión del camión



- Anexo 20: Filtros del camión y proceso de filtrado

