

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

**“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
SUSTITUCIÓN DE UNA GRÚA DE IZAJE EN LA EMPRESA REPARACIÓN
DE MAQUINAS INDUSTRIALES LA CALERA LTDA.”**

Trabajo de titulación para optar al
Titulo de Ingeniero en Mantenimiento
Industrial

Alumno: Felipe Samuel Gutiérrez
Quezada

Profesora guía: Vanessa Mella Lorca



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: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA SUSTITUCIÓN DE UNA GRUA DE IZAJE EN LA EMPRESA REPARACIÓN DE MAQUINAS INDUSTRIALES LA CALERA LTDA.

Nombre del candidato(a): Felipe Samuel Gutiérrez Quezada

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: Viña del Mar ; Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Vanessa Mella Lorca, 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

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:

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: 28-08-25

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28-08-25

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

La presente tesis está dedicada a mis padres y a mi tata, por su amor incondicional, por enseñarme con el ejemplo y por estar siempre a mi lado. Y, con todo mi corazón, a mi abuelita, quien estuvo presente en cada etapa de mi vida, incluso desde antes de que yo naciera, y que, aunque no alcanzó a verme titulado, me acompañó siempre con su amor, su paciencia y su fe en mí. Como solía decir ella: “todo a su tiempo” ... esta meta también es tuya.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo principal proponer el reemplazo de la grúa de izaje que actualmente utiliza la empresa Reparación de Máquinas Industriales La Calera Ltda., que forma parte del grupo Wilde Empresas. La propuesta nace a partir del mal estado en que se encuentra la grúa actual, que con el paso del tiempo ha empezado a fallar de forma constante. Esto se debe tanto al desgaste natural por años de uso, como a la falta de un mantenimiento adecuado, lo que ha llevado a que la empresa tenga que contratar servicios externos para poder seguir operando con normalidad.

Para desarrollar esta propuesta, primero se hizo un análisis detallado de la situación actual de la grúa, revisando sus principales problemas y limitaciones. En base a esto, se plantea la compra de una nueva grúa que se ajuste a las necesidades reales de la empresa. Junto con esto, se incluye un plan de mantenimiento específico para asegurar su buen funcionamiento a largo plazo, se identifican los recursos que se necesitarán para implementarlo correctamente, y también se considera una capacitación para los operarios que estarán a cargo del nuevo equipo. Aunque en un comienzo se pensó en la posibilidad de reacondicionar la grúa que ya está en uso, esta opción se descartó, ya que el nivel de deterioro es tan alto que no justifica la inversión, y además representa un riesgo para la seguridad y continuidad de las operaciones. Desde el punto de vista económico, se realizó un análisis que incluye la proyección de un flujo de caja, lo que permitió calcular indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo necesario para recuperar la inversión. Con estos datos fue posible comparar los costos de adquirir una nueva grúa con los beneficios que traería a la empresa.

En definitiva, esta propuesta busca mejorar el funcionamiento general del área de montaje de la empresa, reemplazando un equipo obsoleto por uno que cumpla con las exigencias actuales, tanto en términos de seguridad como de eficiencia. Se espera que con esta medida no solo se optimicen los procesos internos, sino que también se refuerce la posición de la empresa en el rubro metalmecánico y minero, haciéndola más competitiva y preparada para el futuro.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPEÍFICOS	2
1. CAPÍTULO 1: “ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL”	3
1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA	4
1.1.1. Maestranza Wilde.....	4
1.1.2. Antecedentes históricos.....	6
1.2. SITUACIÓN ACTUAL	9
1.2.1. Productos y servicios	12
1.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EXISTENTE.....	13
1.3.1. Problemática.....	15
1.3.2. Análisis de fallos y problemas	18
1.3.3. Análisis de causas de fugas y pérdida de capacidad de izaje	21
1.3.4. Metodología AMFEC.....	23
1.3.5. Conclusiones del análisis	29
1.4. FUNDAMENTOS PARA RECHAZAR EL OVERHAUL	30
1.4.1. Ciclo de vida útil de la maquinaria	31
1.4.2. Estimación preliminar de costos y limitaciones.....	32
1.4.3. Consideraciones técnicas y operativas	33
2. CAPÍTULO 2: “EVALUACIÓN TÉCNICA Y ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN”	35
2.1. SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.....	36
2.1.1. Especificaciones necesarias de la grúa.....	38
2.2. EVALUACIÓN DE ADQUISICIÓN DE UNA GRÚA NUEVA	42
2.2.1. Grúa Grove GRT655	43
2.2.2. Costos estimados de adquisición.....	48

2.2.3.	Capacitación operador.....	50
2.3.	ADQUISICIÓN DE UNA GRÚA USADA.....	50
2.3.1.	Opciones de grúas RT usadas.....	52
2.3.2.	Análisis comparativo: matriz de ponderación.....	56
2.3.3.	Grúa Grove RT765E-2	58
2.3.4.	Capacitación operador.....	59
2.4.	PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	60
2.4.1.	Consideraciones Operacionales	60
2.4.2.	Planificación de Intervalos de Mantenimiento.....	61
2.4.3.	Consideraciones sobre Mano de Obra	62
2.4.4.	Insumos y repuestos	64
2.4.5.	Consideraciones del mantenimiento	67
2.4.6.	Plan de mantenimiento grúa Grove GRT655	70
2.4.7.	Plan de mantenimiento grúa Grove RT765E-2	75
2.5.	CONTRATO ACTUAL DE ARRIENDO DE GRÚAS	81
3.	CAPÍTULO 3: “EVALUACIÓN FINANCIERA Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD”	82
3.1.	INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS FINANCIERO	83
3.2.	METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS.....	84
3.2.1.	Grúa nueva	86
3.2.2.	Flujo de caja grúa Grove GRT655	87
3.2.3.	Grúa usada.....	89
3.2.4.	Flujo de caja grúa Grove RT765E-2	90
3.2.5.	Análisis comparativo y evaluación económica	92
3.3.	CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS	94
	RECOMENDACIONES FINALES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logotipo corporativo de Maestranza Wilde	4
Figura 1-2. Ubicación geográfica de la empresa.....	6
Figura 1-3. Edificio principal de Maestranza Wilde	8
Figura 1-4. Grúa Coles Hydra 300T en el área de montaje.....	10
Figura 1-5. Organigrama jerárquico de Maestranza Wilde	11
Figura 1-6. Distribución general de la Maestranza Wilde.....	11
Figura 1-7. Chancador Symons reacondicionado por Maestranza Wilde	12
Figura 1-8. Ábaco de carga de la grúa Coles Hydra 300T	15
Figura 1-9. Estado actual de la grúa de izaje	16
Figura 1-10. Operación de izaje con apoyo de grúa externa.....	18
Figura 1-11. Maniobra de izaje con accesorio de grúa Coles Hydra 300T	19
Figura 1-12. Curva de la bañera: ciclo de vida de una grúa telescópica industrial.....	31
Figura 2-1. Modelo de Grúa Rough Terrain (RT)	38
Figura 2-2. Grúa Grove GRT655: modelo Rough Terrain	43
Figura 2-3. Diagrama de alcance y ángulos operativos Grove GRT655.....	47
Figura 2-4. Grúa Grove 760E: modelo Rough Terrain	53
Figura 2-5. Grúa Grove RT765-2: modelo Rough Terrain.....	54
Figura 2-6. Grúa Terex RT555: modelo Rough Terrain	55
Figura 2-7. Pauta de mantenimiento primeras 50 horas.....	70
Figura 2-8. Pauta de mantenimiento 300 horas.....	71
Figura 2-9. Pauta de mantenimiento 600 horas.....	72
Figura 2-10. Pauta de mantenimiento 1.200 horas.....	72
Figura 2-11. Pauta de mantenimiento 2.500 horas	73
Figura 2-12. Pauta de mantenimiento 5.000 horas.....	73
Figura 2-13. Pauta de mantenimiento 10.000 horas.....	74
Figura 2-14. Pauta de mantenimiento 0 horas (3.200 horas activo).....	75
Figura 2-15. Pauta de mantenimiento 300 horas.....	76

Figura 2-16. Pauta de mantenimiento 600 horas.....	77
Figura 2-17. Pauta de mantenimiento 1200 horas.....	78
Figura 2-18. Pauta de mantenimiento 2500 horas.....	79
Figura 2-19. Pauta de mantenimiento 5.000 horas.....	80
Figura 2-20. Pauta de mantenimiento 10.000 horas.....	80
Figura 3-1. Flujo de caja escenario optimista Grove GRT655.....	87
Figura 3-2. Flujo de caja escenario conservador Grove GRT655.....	88
Figura 3-3. Flujo de caja escenario optimista Grove RT765E-2.....	90
Figura 3-4. Flujo de caja escenario conservador Grove RT765E-2.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Especificaciones técnicas de la grúa Coles Hydra 300T	14
Tabla 1-2. Criterios de evaluación de severidad	24
Tabla 1-3. Criterios de evaluación de ocurrencia.....	24
Tabla 1-4. Criterios de evaluación de detección	24
Tabla 1-5. Descripción funcional de sistemas y subsistemas críticos.....	26
Tabla 1-6. Matriz AMFEC: modos de falla y criticidad.....	28
Tabla 2-1. Comparación técnica entre grúa tipo TM y grúa tipo RT	40
Tabla 2-3. Ficha técnica: Grúa Grove GRT655L	46
Tabla 2-4. Estimación del costo total de adquisición de la grúa Grove GRT655	48
Tabla 2-5. Especificaciones generales de la grúa Grove 760E	53
Tabla 2-6 . Especificaciones generales de la grúa Grove RT765E-2	54
Tabla 2-7. Especificaciones generales de la grúa Terex RT555	55
Tabla 2-8. Matriz de ponderación multicriterio para evaluación comparativa	56
Tabla 2-9. Resultado final de evaluación ponderada.....	56
Tabla 2-10. Especificaciones técnicas de la grúa Grove RT765E-2	58
Tabla 2-11. Estimación del costo total de adquisición de la grúa Grove RT765E-2.....	59
Tabla 2-12. Insumos requeridos para planes de mantenimiento	65
Tabla 2-13. Detalle de componentes del kit de overhaul para motor Cummins QSB6.7	66

Tabla 2-14. Puntos críticos de lubricación en componentes estructurales	67
Tabla 2-15. Actividades clave de inspección para evaluación de desgaste mecánico	68
Tabla 2-16. Actividades incluidas en el overhaul de motor diésel	69

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

AMFE	: Análisis de Modos de Falla y Efectos
AMFEC	: Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad
FMEC	: Failure Modes and Effects and Criticality (equivalente en inglés de AMFEC)
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa Interna de Retorno
PAYBACK	: Tiempo de recuperación de la inversión
HP	: Hora Persona
HH	: Hora Hombre
P	: Persona
Hp	: Horse Power (Caballos de fuerza)
RPM	: Revoluciones por Minuto
kW	: Kilowatt
Nm	: Newton Metro
Kg	: Kilogramo
Mm	: Milímetro
L	: Litro
°C	: Grado Celsius

% : Porcentaje

\$: Dólar estadounidense (USD)

USD : United States Dollar

Ton : Toneladas

NPR : Número de Prioridad de Riesgo

END / NDT : Ensayos No Destructivos (Non-Destructive Testing)

INTRODUCCIÓN

En el ámbito industrial, la presencia de activos y maquinarias diversas es crucial para llevar a cabo una amplia variedad de tareas. Dentro del mantenimiento correctivo de maquinaria minera, es esencial considerar equipos de alto tonelaje cuya manipulación directa por parte del personal es muchas veces imposible. En este contexto, el uso de vehículos y maquinaria de izaje resulta fundamental tanto para el traslado como para la maipulación de estos equipos, asegurando operaciones eficientes y seguras.

En el caso de Reparación de Máquinas Industriales La Calera Ltda., también conocida como Servicios y Maquinarias Wilde, la grúa de izaje se destaca como uno de los activos principales de la maestranza. Esta grúa cumple un rol esencial desde el inicio del proceso, suministrando apoyo logístico a sus operaciones, encargándose de descargar y posicionar las grandes piezas y equipos de chancado en el área de montaje. Además, su función incluye constantemente girar, mover y voltear muchas veces cada una de estas piezas, participando activamente en la mayor parte del proceso de desarme y montaje de equipos de trituración, chancadores cónicos, de mandíbulas, y otros repuestos. El correcto funcionamiento de la grúa de izaje es vital para los procesos de la empresa, siendo indispensable desde el comienzo hasta el final de las operaciones. No obstante, la grúa actual presenta múltiples problemas que afectan su rendimiento y ponen en riesgo tanto la seguridad de los trabajadores como la eficiencia operativa.

Ante estos desafíos, surge la necesidad de desarrollar un proyecto de sustitución de la grúa de izaje. Este proyecto tiene como objetivo proporcionar a la empresa un equipo que se ajuste a sus necesidades actuales, mejorando significativamente la seguridad, eficiencia y rentabilidad de sus operaciones , y eliminando la dependencia constante de empresas externas en los procesos de la maestranza.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de sustitución de la grúa de izaje principal en la empresa Reparación de Máquinas Industriales La Calera Ltda., con el fin de mejorar la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las operaciones de montaje, contribuyendo al crecimiento y competitividad de la organización en el sector metalmecánico y minero.

OBJETIVOS ESPEÍFICOS

- Describir el estado actual de la grúa de izaje y su relevancia en los procesos de montaje, identificando los problemas operacionales, mecánicos, estructurales y de seguridad que presenta, con el fin de justificar la necesidad de contar con un equipo propio y reducir la dependencia de subcontratación.
- Evaluar las diferentes alternativas de adquisición, considerando planes de mantenimiento, capacitación del personal, así como aspectos técnicos, económicos y operativos, con el objetivo de determinar la opción más viable para la empresa.
- Realizar un análisis de rentabilidad, elaborando un flujo de caja comparativo que contemple los costos y beneficios de las alternativas evaluadas, calculando indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión.

1. **CAPÍTULO 1: “ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL”**

1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

1.1.1. Maestranza Wilde

Reparación De Maquinas Industriales La Calera Ltda., perteneciente al grupo Wilde Empresas, se dedica principalmente a la importación, comercialización y reparación de chancadores para las industrias minera y de áridos en todo el país. La empresa posee la capacidad y la experiencia para efectuar las tareas de maquinado, instalación y prueba de repuestos y piezas para chancadores de cono y de mandíbula.

Además, Servicios y Maquinarias Wilde ofrece el diseño, fabricación y montaje de soluciones integrales para la trituración, molienda, beneficio de minerales y manejo de materiales. Asimismo, la empresa cuenta con los equipos y el personal necesario para brindar el mejor servicio postventa a sus clientes.



Figura 1-1. Logotipo corporativo de Maestranza Wilde

Visión

Wilde será el referente nacional y sudamericano en pantas de trituración y manejo de materiales para las industrias minera, de la construcción y de la producción de áridos.

Misión

Serviremos a la industria superando la expectativa de nuestros clientes, aportando soluciones oportunas, eficientes y económicamente viables convirtiéndonos en referentes cuando se hable de trituración

Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en Chile, en la V Región, en la comuna de La Calera, específicamente en la calle Caupolicán N° 1161, en pleno centro de la ciudad, por lo que goza de varios beneficios estratégicos como lo son:

- Cercanía a los principales centros mineros: La Región de Valparaíso se encuentra próxima a algunas de las zonas mineras más importantes de Chile, como la Región de Atacama y la Región de Coquimbo. Esta ubicación facilita el acceso rápido y eficiente a los clientes de la empresa en la industria minera, permitiendo una respuesta ágil a sus necesidades de reparación, mantenimiento y suministro de equipos.
- Conexión con rutas de transporte: La Calera se ubica cerca de importantes rutas de transporte terrestre, como la Ruta 5 y la Ruta 68, que conectan con Santiago y otras regiones del país. Esta conexión vial facilita el traslado de maquinaria, repuestos y personal hacia los diferentes centros mineros y proyectos en los que Maestranza Wilde presta sus servicios.
- Acceso a puertos marítimos: La Región de Valparaíso cuenta con puertos marítimos clave, como el Puerto de Valparaíso y el Puerto de Ventanas. Esto brinda a la empresa la posibilidad de importar y exportar equipos y repuestos de manera eficiente, facilitando su comercio internacional y el suministro a clientes en países de la región andina.



Figura 1-2. Ubicación geográfica de la empresa

1.1.2. Antecedentes históricos

La empresa Maestranza Wilde Ltda. fue fundada en el año 1956 por Oscar Wilde Serrano. En sus inicios, se trataba de un modesto taller dedicado al maquinado y rectificado de piezas, brindando servicios principalmente a un grupo reducido pero importantes clientes, como la Compañía de Cemento Melón y la extinta Fundación Aceros Andes.

A partir de 1968, la empresa comenzó un plan de inversiones para la adquisición de nuevos equipos y maquinarias. Inicialmente, se importaron tornos y fresadoras desde Italia. En 1970, se instaló el primer torno vertical y Maestranza Wilde amplió su ámbito de acción para prestar servicios a las industrias minera y de áridos. En esa fecha, se inició el maquinado y reparación de bowls y mantles para la gran minería (chancadores de 5½ y 7 pies) que se exportaban a Perú y Canadá.

La reparación y mantenimiento de chancadores comenzó en 1974 con los equipos de la Planta Cerro Negro. En 1978, se iniciaron las reparaciones de equipos neumáticos para perforación al interior de las minas. En 1979, la empresa comenzó la reparación, mantenimiento y fabricación de piezas para equipos chancadores de 7 pies en CODELCO, en su División Andina, y la Compañía Minera Disputada de Las Condes (CMD), en sus plantas de Los Bronces y El Soldado. Posteriormente, se realizaron reparaciones de tapas de molinos en plantas mineras, tareas que se llevaron a cabo durante seis años en el caso de CODELCO y cuatro años en el caso de CMD.

A partir de 1990, Maestranza Wilde inició la importación directa, acondicionamiento, reparación y venta de chancadores desde Europa. Hasta la fecha, la empresa ha comercializado más de 150 chancadores, destacando el año 1998 cuando se vendieron 26 equipos. En el año 2000, se amplió la maestranza y se comenzó la producción de bronce para chancadores de cono. En 2003, se inició la fabricación y venta de corazas para chancadores de cono de 3 y 4 pies.

En 2005, la empresa obtuvo la certificación ISO 9001-2000 para los procesos de reparación, fabricación y montaje de repuestos para chancadores.

Después de la muerte de don Oscar Wilde Serrano, el fundador de Maestranza Wilde Ltda., la empresa pasó a estar a cargo de sus hijos. A lo largo de los años, los herederos realizaron una serie de malas gestiones administrativas, que se sumaron a problemas internos de la empresa. Estas dificultades llevaron a la decadencia gradual de Maestranza Wilde Ltda.

En un intento por diversificar y mantener la presencia en el mercado, los hijos de don Oscar decidieron crear una empresa aparte llamada "Surgem Servicio Reparación y Montaje". Esta nueva empresa se situó en la ciudad de Nogales y se enfocó principalmente en la mantención en terreno de equipos de chancado. A pesar de los desafíos que enfrentaba Maestranza Wilde Ltda., Surgem logró mantenerse activa y continúa operando hasta el día de hoy.

Sin embargo, los problemas financieros y administrativos de Maestranza Wilde Ltda. siguieron agravándose. A pesar de los esfuerzos realizados por la familia Wilde para mantener a flote la empresa, la situación se tornó insostenible. Finalmente, en diciembre de 2015, Maestranza Wilde Ltda. se declaró en quiebra, poniendo fin a casi 60 años de historia y dejando un vacío en la industria de reparación y mantenimiento de maquinaria para la minería.

No obstante, la familia Wilde no se dio por vencida. En junio de 2016, apenas seis meses después de la quiebra, la empresa resurgió bajo una nueva razón social: Reparación De Maquinas Industriales La Calera Ltda. Esta nueva empresa se enfocó en la reparación de maquinaria metalúrgica para la minería, especializándose en chancadores de todo tipo.

Con la experiencia adquirida a lo largo de los años y el conocimiento técnico heredado de Maestranza Wilde Ltda., Reparación De Maquinas Industriales La Calera Ltda. ha logrado establecerse en el mercado, ofreciendo servicios de alta calidad a sus clientes en la industria minera. La empresa ha aprovechado las lecciones aprendidas del pasado y ha implementado mejores prácticas administrativas y de gestión para asegurar su sostenibilidad a largo plazo.



Figura 1-3. Edificio principal de Maestranza Wilde

1.2. SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente, Servicios y Maquinarias Wilde se ha consolidado como una empresa reconocida en el sector metalmecánico y experta en equipos de minería. Se posiciona como una de las mejores alternativas para proyectos medianos donde se requiera diseño, fabricación, montaje y mantenimiento de sistemas de trituración, molienda, beneficio de minerales y sistemas de manejo de materiales.

La empresa entrega productos y servicios de alta calidad, los cuales, unidos a una atención y preocupación por el negocio del cliente que sobrepasa las más exigentes situaciones y circunstancias, permiten a la empresa sentirse orgullosa de poder colaborar en el éxito de empresas en los sectores minero y de la construcción, que han acudido a ellos para obtener soluciones técnicamente impecables, económicamente factibles y funcionalmente oportunas.



Figura 1-4. Grúa Coles Hydra 300T en el área de montaje

La empresa cuenta con instalaciones administrativas, talleres de torneado, rectificado, fresado y soldadura, así como un patio central. El área de montaje es el lugar donde se realiza el ensamblaje e instalación de los chancadores y maquinaria pesada, siendo una zona de alta circulación de vehículos especializados, como grúas de izaje, horquillas y vehículos de traslado de gran tamaño. Además, es en esta área donde se presenta un mayor grado de desorden y una mayor generación de residuos y suciedad, debido a la naturaleza de las actividades que allí se llevan a cabo y al estado actual de la grúa principal de izaje. Cabe mencionar que el área de montaje tiene una extensión

reducida, lo que limita significativamente las operaciones y movimientos de la grúa. Esta restricción espacial se ve agravada por el desorden generado por las piezas sueltas y la cabina delantera, que ha estado prácticamente inutilizada durante años.

Organigrama de la empresa

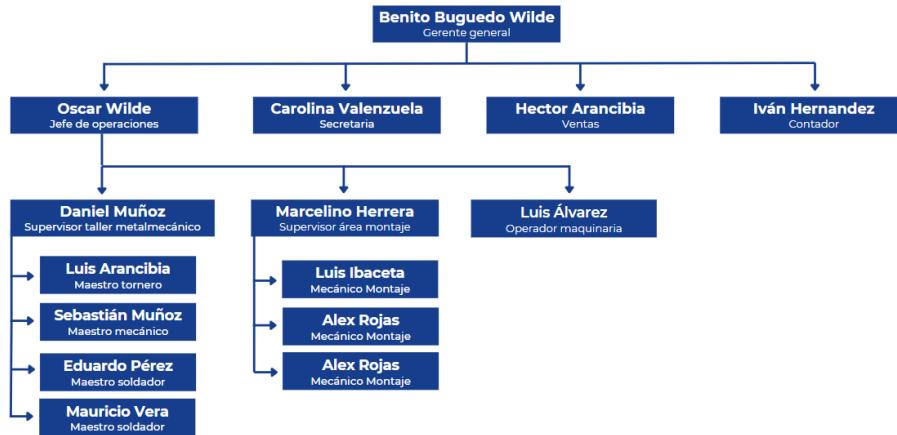


Figura 1-5. Organigrama jerárquico de Maestranza Wilde

Layout general del área de montaje y talleres

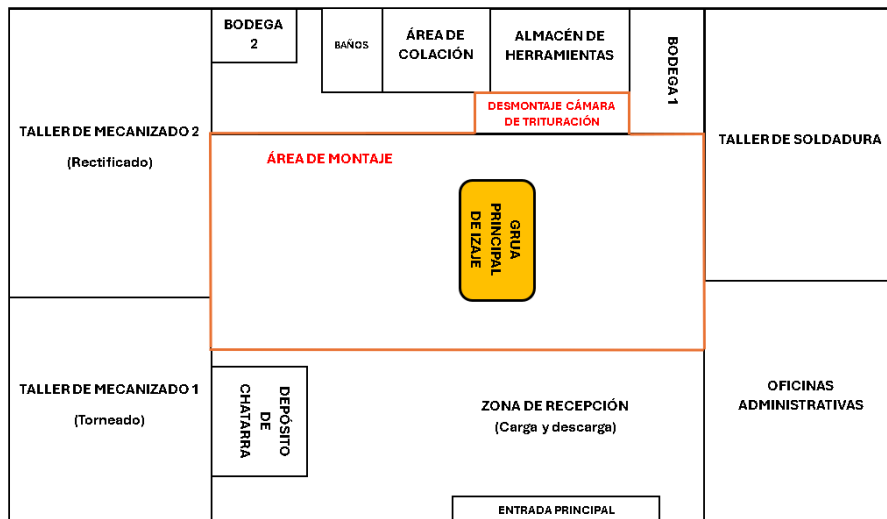


Figura 1-6. Distribución general de la Maestranza Wilde

1.2.1. Productos y servicios

La empresa ofrece una amplia gama de servicios relacionados con chancadores y sistemas de trituración. Entre sus principales actividades se encuentran la fabricación, reparación y montaje de todos los componentes de chancadores, así como el servicio técnico y mantenimiento de estos equipos, actualmente solo dentro de la maestranza y no en faena. Adicionalmente, la compañía proporciona servicios de durocromo y maquinado, así como soluciones en mecánica oleo hidráulica y neumática. Su oferta se completa con asesoría técnica y atención pre y post-venta, disponible tanto en terreno como en sus oficinas y talleres.

A lo largo de su trayectoria, la empresa ha acumulado una vasta experiencia en la reparación y mantenimiento de chancadores de las principales marcas presentes en Chile, incluyendo Symons Nordberg, Symons Krupp, Sket, Kue-Ken, Allis Chalmers, Bergeaud, Faco, Traylor y Omnicone, entre otras.



Figura 1-7. Chancador Symons reacondicionado por Maestranza Wilde

La compañía se distingue entre sus clientes por su capacidad para resolver demandas de servicio y mantenimiento de manera eficaz y oportuna. Comprenden la importancia del tiempo muerto y sin producción, por lo que se esfuerzan al máximo para resolver las emergencias operacionales de sus clientes con la mayor celeridad posible.

Los servicios que prestan pueden ser de demanda puntual o bajo contrato. La empresa se ha especializado en la resolución rápida y oportuna de problemas, lo que la convierte en un respaldo eficiente para toda empresa minera o constructora que requiera sus servicios.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EXISTENTE

La grúa actualmente en operación corresponde al modelo Coles Hydra 300T, una grúa telescópica autopropulsada fabricada alrededor de 1970, diseñada para trabajos de izaje de alta capacidad. Este equipo, montado sobre un chasis de camión 8x4, combina movilidad en carretera con eficiencia en obra, siendo un modelo robusto típico de las décadas de 1960–1970 en aplicaciones industriales y mineras.

A continuación, se detallan sus especificaciones:

CARACTERÍSTICAS	DETALLE
Patente	LS3422-1
Tipo de vehículo	Maquinaria Industrial
Marca	COLE
Modelo	HIDRA 300T
Año de fabricación	1970
Color	Amarillo
Número de motor	2887
Número de chasis	26235
Fabricante	Coles Cranes Ltd.
Procedencia	Canadá (importada)
Tipo de sello	No catalítico
Combustible	Diésel

Motor	Motor Leyland Diésel, 182 kW (250 HP), 6 cilindros
Transmisión	Manual, 6+6 velocidades
Tracción	8x4 (doble eje delantero direccional, doble eje trasero motriz)
Peso bruto operativo	28.500 kg
Pluma telescópica	4 secciones, de 10,6 m a 31,5 m
Altura máxima de izaje	31,5 m con pluma / hasta 38,5 m con jib opcional
Capacidad máxima de carga	34 toneladas a 3 metros de radio
Sistema hidráulico	Dos cabrestantes hidráulicos de izaje, extensiones telescópicas hidráulicas, estabilizadores hidráulicos
Accesorios adicionales	Jib de 7 metros, tacógrafo, calefacción estacionaria, limitador de carga electrónico (marca MAK)

Tabla 1-1. Especificaciones técnicas de la grúa Coles Hydra 300T

Ábaco operativo (según placa original de fábrica):

- Capacidad máxima nominal inicial de izaje de 34 toneladas a un radio de 3 metros con pluma retraída.
- Capacidad de carga decreciente proporcional al radio de izaje y a la extensión de pluma, con mínimos de 2,5 toneladas a 18 metros de radio y máxima extensión de pluma.

La siguiente figura ilustra el ábaco de operación de carga directamente extraído de la grúa existente:

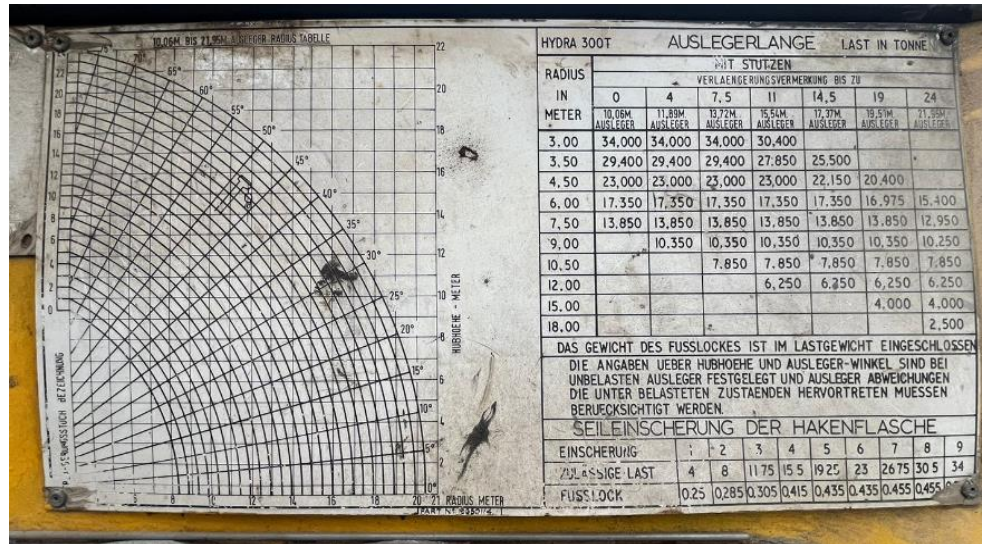


Figura 1-8. Ábaco de carga de la grúa Coles Hydra 300T

La grúa actualmente opera entre 2 y 3 horas diarias, de lunes a viernes, manteniendo este régimen de trabajo de forma continua durante todo el año. No se dispone de registros detallados sobre su historial operativo anterior a 2016. En la actualidad, el equipo no cuenta con un plan de mantenimiento estructurado; las únicas acciones realizadas corresponden a la recarga de combustible cuando el nivel es bajo y al relleno constante del depósito de aceite hidráulico, como medida correctiva frente a las pérdidas que presenta el sistema. Esta falta de mantenimiento sistemático ha contribuido al progresivo deterioro de los componentes principales de la grúa.

1.3.1. Problemática

La grúa de izaje corresponde a una Coles Hydra 300T, ubicada en el centro del patio de montaje de la maestranza. Este equipo presenta un deterioro significativo debido a la prolongada falta de mantenimiento preventivo y correctivo a lo largo de los años.

Dicho deterioro se manifiesta tanto en el aspecto visual como en sus capacidades funcionales.

Desde el punto de vista físico, se observan desprendimiento generalizado de pintura, vidrios fracturados en las cabinas, elementos de seguridad sueltos y componentes estructurales sin protección adecuada. En cuanto a su desempeño técnico, se ha registrado una disminución notoria en la potencia de izaje, fugas recurrentes de aceite hidráulico, fallos en el sistema eléctrico y diversos problemas asociados a la seguridad operacional.



Figura 1-9. Estado actual de la grúa de izaje

El estado actual de la grúa principal de izaje se ha transformado en una preocupación transversal dentro de la operación. Más allá de su rol técnico, su deterioro tiene un impacto directo en cómo la empresa se muestra hacia afuera y hacia dentro. Al estar ubicada en un sector visible desde el acceso principal, es uno de los primeros elementos que ven quienes ingresan a la maestranza, ya sean clientes, proveedores o trabajadores. Su condición —marcada por derrames de aceite, vidrios rotos cubiertos con lonas, piezas sueltas y materiales desordenados— proyecta una imagen de abandono que no solo daña la reputación de la empresa, sino que también puede generar dudas sobre su compromiso con la seguridad, el orden y el profesionalismo.

Esta situación no solo afecta la percepción externa. En lo práctico, mantener operativa la grúa demanda esfuerzos constantes por parte del equipo técnico, quienes deben destinar tiempo a tareas que no agregan valor directo, como limpiar residuos, reponer aceite por las fugas o hacer reparaciones improvisadas. Estas intervenciones reactivas restan tiempo a otras labores esenciales, ralentizan los procesos y generan una sensación constante de estar “apagando incendios”. Además, existen riesgos evidentes para la seguridad de las personas que trabajan cerca del equipo. El desgaste de componentes críticos, la antigüedad de la estructura y el uso de elementos inseguros como ganchos sin retención generan condiciones que, de no abordarse, podrían derivar en incidentes graves durante maniobras de izaje.

Por otra parte, hay una pérdida de funcionalidad que limita seriamente su aporte. La grúa no se ha movido de su posición en años, ya que fue relegada exclusivamente al área de montaje. Esta falta de movilidad no solo ha provocado el deterioro de neumáticos y sistemas mecánicos, sino que también convierte al equipo en un obstáculo permanente dentro de la planta, ocupando espacio que podría usarse para otros fines logísticos o productivos. En ese contexto, considerar una grúa más adecuada al entorno actual, como una tipo RT, permitiría adaptarse mejor a las necesidades reales del trabajo en planta, optimizando tanto el espacio como la eficiencia en las operaciones diarias.

Finalmente, la pérdida progresiva de capacidad de carga ha obligado a depender de servicios externos para ejecutar maniobras críticas. Esta situación no solo incrementa los costos operativos, sino que limita la autonomía de la empresa y genera cuellos de botella cada vez que se requiere una intervención más exigente. En conjunto, todos estos factores reflejan que la grúa actual dejó de ser un aporte funcional y representa hoy más una carga que una solución. Frente a esto, avanzar en un proyecto de reemplazo ya no es solo una opción técnica, sino una necesidad estratégica para mejorar la eficiencia, la seguridad y la proyección operativa de la empresa.

1.3.2. Análisis de fallos y problemas

Reducción de la Capacidad de Izaje: En la actualidad, la capacidad máxima de izaje de la grúa se ha reducido a aproximadamente 25 toneladas sin ninguna extensión adicional de la pluma. Esto representa alrededor del 73.5% de la capacidad inicial indicada en el ábaco, evidenciando una pérdida significativa en la funcionalidad operativa de la grúa. Esta disminución en la capacidad ha sido determinada a través de trabajos operativos y pruebas de carga realizadas en la maestranza.

Esta reducción en la capacidad de izaje presenta un problema considerable, ya que la maestranza recibe con frecuencia chancadores pequeños que suelen pesar entre 5 y 30 toneladas. Además, en algunas ocasiones, se reciben equipos más grandes que requieren la manipulación de cargas de hasta 50 toneladas. Incluso si la grúa mantuviera sus capacidades iniciales, no podría izar estos equipos más pesados por sí sola. Debido a esta limitación, la empresa se veía obligada a contar con el apoyo de una segunda grúa con capacidad de 35 toneladas para trabajar en tándem durante la manipulación de los equipos de chancado.



Figura 1-10. Operación de izaje con apoyo de grúa externa

Problemas de Seguridad: La grúa presenta un problema significativo en uno de sus accesorios más críticos: los ganchos de seguridad. En la punta de la pluma, la grúa está equipada una eslinga de cadena de 4 ramales o también llamada “pulpo”, con cuatro ganchos diseñados para prevenir la desconexión accidental de la carga durante el levantamiento y el transporte, lo que incrementa la seguridad en las operaciones de izaje. Sin embargo, tres de estos ganchos han perdido completamente la presión del pestillo de seguridad, lo que supone un peligro inminente para la manipulación de los chancadores. En consecuencia, se están utilizando los ganchos solo con la presión ejercida por el peso de la maquinaria transportada o las eslingas, en lugar de contar con la seguridad proporcionada por los cuatro ganchos operativos.

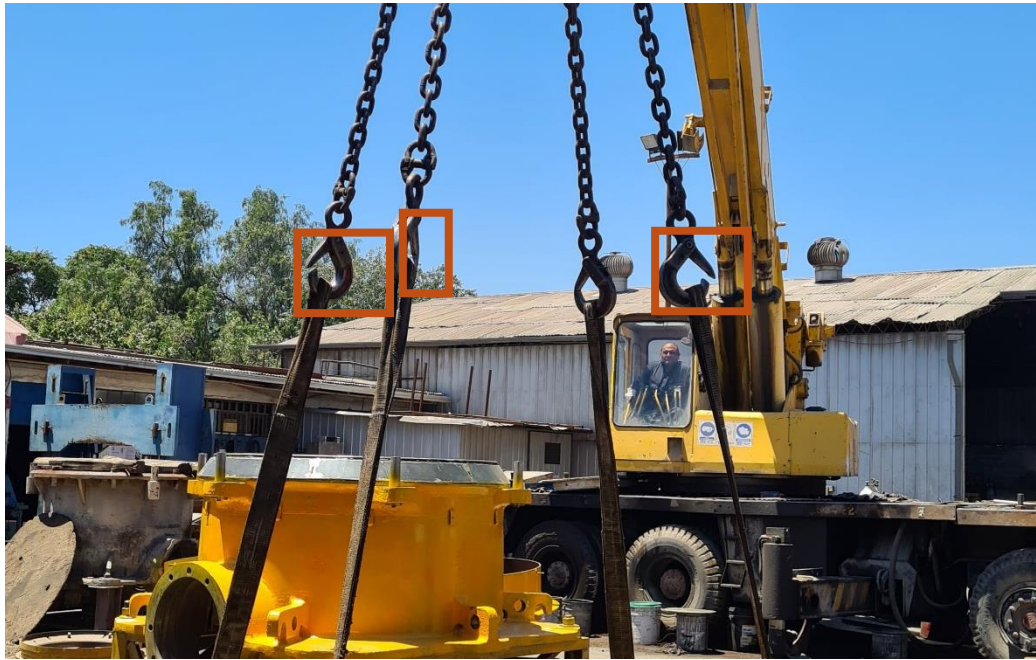


Figura 1-11. Maniobra de izaje con accesorio de grúa Coles Hydra 300T

Fugas de Aceite Hidráulico: La grúa presenta problemas significativos relacionados con el aceite hidráulico, incluyendo fugas en el cuerpo del vehículo. Desde 2016, ha consumido 2060 litros de aceite, lo que equivale a un promedio de 250 litros por año. Este

consumo es elevado, especialmente considerando que, con un uso moderado, la grúa debería consumir entre 50 y 60 litros anuales en condiciones normales, basándose en las frecuencias estándar de cambio de aceite. Esto sugiere que aproximadamente 200 litros anuales se pierden debido a las fugas, lo cual representa una cantidad considerable y un gasto significativo.

Deterioro de la Parte Móvil: Al no utilizarse la grúa para actividades en terreno, la parte móvil ha caído en desuso, lo que ha provocado un deterioro en los neumáticos. Aunque el motor de arranque funciona, es necesario revisar los componentes del sistema eléctrico y hacer ajustes mecánicos, debido al tiempo que la grúa lleva operando de manera estática en la maestranza.

Aspecto Visual y Estructural: Por último, pero no menos importante, está el aspecto visual y estructural de la maquinaria. No solo se observa un notable deterioro en la pintura debido al desgaste, sino que también hay vidrios rotos en la cabina delantera y en la cabina del conductor del brazo de la grúa. Para solucionar temporalmente estos problemas, se han utilizado cartones y lonas de plástico como parches provisionales. Esta situación no solo afecta la apariencia profesional de la grúa, sino que también plantea preocupaciones de seguridad y durabilidad, ya que estos arreglos temporales no ofrecen una protección adecuada ni una solución a largo plazo. Es fundamental abordar estas deficiencias de manera integral para asegurar tanto la eficiencia operativa como la seguridad del equipo y del personal que lo utiliza.

La grúa se encuentra en condiciones críticas debido a múltiples fallas acumuladas a lo largo del tiempo, que afectan gravemente su estructura, sistema mecánico, hidráulico y de seguridad. Estos problemas han reducido de manera significativa su funcionalidad, confiabilidad y capacidad operativa, volviéndola inadecuada para las exigencias actuales. Además, la falta de un plan de mantenimiento adecuado y el deterioro progresivo de sus componentes han incrementado notablemente el riesgo de accidentes, incluyendo la caída de cargas y fallos catastróficos durante las operaciones. Dada la magnitud de estas deficiencias y los riesgos asociados, es prioritario considerar el reemplazo de esta maquinaria por un equipo más moderno y confiable, así como establecer un plan de

mantenimiento estructurado que asegure la seguridad de los operadores, la continuidad de las operaciones y la eficiencia general del equipo en el largo plazo.

1.3.3. Análisis de causas de fugas y pérdida de capacidad de izaje

Las condiciones mencionadas anteriormente permiten identificar tres causas técnicas principales que explican tanto las fugas crónicas como la pérdida de fuerza de izaje:

1. Desgaste generalizado del sistema hidráulico

La grúa presenta evidencias de envejecimiento en elementos como sellos, retenes, mangueras y conexiones. Esto podría estar provocando múltiples puntos de fuga externa, especialmente en:

- Vástagos de cilindros telescópicos.
- Uniones con racores posiblemente desgastados.
- Base de la bomba hidráulica y válvulas de control.

La presencia continua de aceite en el entorno del equipo sugiere que estos componentes podrían estar permitiendo pérdidas no controladas. La falta de mantenimiento documentado refuerza la posibilidad de que el deterioro haya avanzado sin intervención oportuna.

2. Fugas internas en cilindros y pérdida de presión efectiva

Otra posible causa corresponde al traspaso de fluido entre cámaras internas en los cilindros hidráulicos, debido al desgaste de sellos. Esta condición no siempre se manifiesta con fugas visibles, pero podría explicar una pérdida de fuerza en las maniobras de izaje. Se presume que esto estaría reduciendo la presión útil que el cilindro puede aplicar, limitando así la capacidad de levantar cargas cercanas al límite nominal.

3. Contaminación del fluido hidráulico y degradación del sistema

El uso prolongado del sistema sin una política de reemplazo de aceite o filtrado adecuado podría haber facilitado la entrada de partículas sólidas, humedad o aire. Esta contaminación puede estar afectando la eficiencia de componentes como la bomba hidráulica o las válvulas de control, lo que podría derivar en cavitación, aumento de temperatura y pérdida de capacidad bajo carga.

4. Pérdida parcial de entrega de potencia desde el sistema motriz

Se considera como posible causa adicional la disminución del rendimiento del motor diésel, ya que este actúa como fuente de potencia principal para el sistema hidráulico. Condiciones como restricción en el sistema de admisión, inyectores obstruidos o baja compresión podrían estar limitando la entrega efectiva de potencia, lo que afectaría directamente el caudal y presión generados por la bomba.

5. Ineficiencia en la transmisión mecánica o el acoplamiento

El embrague o acoplamiento mecánico podría no estar transfiriendo correctamente el torque del motor hacia la bomba hidráulica, especialmente si se encuentra desgastado o si no acopla eficientemente por debajo de 1500 RPM. Asimismo, posibles juegos excesivos o desgaste en la transmisión mecánica podrían estar provocando pérdidas parciales de fuerza, que afecten indirectamente la presión hidráulica disponible para maniobras de izaje.

Hipótesis de causa raíz compuesta

En base al análisis preliminar, se plantea que la grúa podría estar operando con una combinación de fallas parciales simultáneas, entre las que se incluyen:

- Pérdidas externas de aceite por envejecimiento de componentes.
- Pérdidas internas en cilindros que reducen presión efectiva.
- Contaminación del fluido hidráulico por falta de mantenimiento.
- Disminución del rendimiento del motor por fallas mecánicas o de combustión.

- Baja eficiencia en la transferencia de torque desde el sistema motriz.

Estas condiciones, si bien no han sido confirmadas mediante un diagnóstico detallado, podrían estar afectando significativamente la capacidad operativa de la grúa. La acumulación de desgaste, sumada a la ausencia de mantenimiento sistemático, podría explicar la reducción en la capacidad de izaje observada y el aumento sostenido de fugas hidráulicas.

A continuación, se presentan algunos de los posibles modos de falla que pueden afectar el sistemas hidráulico y motriz de la grúa Coles Hydra 300T, los cuales constituyen los dos conjuntos funcionales más críticos para su operación.

1.3.4. Metodología AMFEC

El Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC) es una herramienta fundamental en ingeniería de confiabilidad y gestión del mantenimiento. Su propósito principal es identificar de forma sistemática los posibles modos de falla en un sistema, sus causas, consecuencias y su impacto operativo, con el objetivo de prevenir fallos críticos antes de que ocurran.

Esta metodología permite analizar en detalle cómo y por qué puede fallar un componente o subsistema, evaluando la gravedad del efecto, la probabilidad de que ocurra y la facilidad para detectarlo antes de que cause daño. A partir de estos tres criterios, se calcula un Número de prioridad de riesgo, que sirve para jerarquizar las fallas según su nivel de criticidad.

Indicadores utilizados

Severidad (S): Evalúa la gravedad del efecto de una falla. Se califica de 1 a 10, donde 10 representa una consecuencia catastrófica (como daño al operador, equipo fuera de servicio, etc.).

Severidad (S)	
Puntaje	Descripción
10	Catastrófico: riesgo de muerte, gran daño al equipo
7-9	Crítico: detención del equipo, daño importante
4-6	Moderado: afecta rendimiento, requiere reparación
1-3	Menor: falla visible pero no crítica

Tabla 1-2. Criterios de evaluación de severidad

Ocurrencia (O): Representa la frecuencia con la que se presenta una falla. También se califica del 1 al 10. Una ocurrencia alta (valor cercano a 10) indica que la falla sucede frecuentemente, basado idealmente en historial de mantenimiento.

Ocurrencia(O)	
Puntaje	Descripción
10	Muy alta: ocurre frecuentemente, ya ha ocurrido
7-9	Alta: ocurre ocasionalmente, existe historial
4-6	Media: ha ocurrido algunas veces
1-3	Baja: no hay registros conocidos, poco probable

Tabla 1-3. Criterios de evaluación de ocurrencia

Detección (D): Mide la probabilidad de detectar la falla antes de que cause un impacto. Una baja capacidad de detección (valor alto) implica mayor riesgo, ya que la falla podría pasar desapercibida hasta que cause daños.

Detección (D)	
Puntaje	Descripción
10	No se detecta: ocurre sin advertencia
7-9	Difícil: requiere instrumentación o intervención
4-6	Moderada: detectable mediante inspección básica
1-3	Alta: es evidente o hay sensores/alertas confiables

Tabla 1-4. Criterios de evaluación de detección

NPR (Número de Prioridad de Riesgo) Se calcula como:

$$\text{NPR} = S \times O \times D$$

Alta (Rojo): $\text{NPR} \geq 200$ = requiere atención prioritaria e intervención inmediata.

Media (Amarillo): $100 \leq \text{NPR} < 200$ = seguimiento programado y mitigación preventiva.

Baja (Verde): $\text{NPR} < 100$ = monitoreo rutinario.

Este número permite jerarquizar las fallas según su criticidad. Se utiliza luego para definir si las tareas serán anuales, semestrales o trimestrales, según tablas de ponderación.

Sistema	Subsistema/componente	#	Descripción de función
Sistema hidráulico	Cilindros hidráulicos	1	Generar una fuerza de extensión mínima de 120 kN para elevar la pluma con una carga nominal de 34 toneladas a un radio de 3 metros, operando a una presión hidráulica de 200 bar
	Bomba hidráulica	2	Suministrar un caudal continuo de 60 a 100 litros por minuto a una presión de trabajo de 180–220 bar, alimentando todos los actuadores del sistema hidráulico
	Válvulas de control	3	Distribuir y regular el flujo hidráulico hacia los cilindros y cabrestantes, operando con respuesta inmediata y sin pérdidas internas, manteniendo una caída de presión inferior a 5 bar por paso.
	Mangueras y tuberías	4	Conducir el fluido hidráulico entre bomba, válvulas y actuadores soportando presiones de hasta 250 bar, sin fugas externas ni flexión excesiva, garantizando estanqueidad en todos los acoples.
	Tanque o depósito	5	Almacenar hasta 250 litros de fluido hidráulico, asegurando alimentación constante a la bomba, con ventilación adecuada y sin entrada de contaminantes externos o sobrepresión interna.
Sistema motriz	Motor	6	Generar una potencia entre 180 y 250 HP (186 kW), operando de manera eficiente en un régimen de trabajo comprendido entre 1.500 y 2.200 RPM, bajo condiciones térmicas normales y utilizando combustible diésel debidamente filtrado.
	transmisión mecánica	7	Transmitir el torque del motor hacia la bomba hidráulica y el sistema de propulsión a través de una caja de cambios manual de 6+6 velocidades
	Radiador y sistema de refrigeración	8	Mantener la temperatura del motor dentro del rango operativo de 75–95 °C, disipando el calor generado durante la combustión mediante circulación continua de refrigerante, sin obstrucciones, fugas ni sobrecalentamientos.

Tabla 1-5. Descripción funcional de sistemas y subsistemas críticos

#	Falla funcional	#	Modo falla	Efecto de falla	S	O	D	N P R	Criticidad
1.1	Elevar menos de de 34 ton a un radio de 3 m (25 ton max, 73,5% de la capacidad de izaje inicial)	1.1.1	Desgaste interno de sellos del pistón	Fuga interna entre cámaras de presión.	8	7	6	33 6	Alta
		1.1.2	Rayado o picado del vástago	Pérdida de estanqueidad y fricción excesiva.	7	6	5	21 0	Alta
2.1	No entregar el caudal mínimo requerido de 60 L/min a presión constante de 200 bar	2.1.1	Desgaste de engranajes o paletas internas	Reducción del volumen desplazado por ciclo.	9	6	5	27 0	Alta
		2.1.2	Fuga por retén frontal del eje	Ingreso de aire y pérdida de presión de succión.	6	7	4	16 8	Media
3.1	No distribuir adecuadamente el flujo hidráulico hacia los actuadores, presentando pérdida de presión interna (bypass) y retardos en la respuesta de los movimientos.	3.1.1	Erosión en los asientos internos	Fuga interna (bypass) de aceite.	7	5	7	24 5	Alta
		3.1.2	Atascamiento o del carrete por contaminación	Respuesta lenta o inexistente.	8	4	6	19 2	Media
4.1	No mantener estanqueidad en líneas de presión, permitiendo fugas externas que reducen el nivel de fluido y la presión en los cilindros o bomba.	4.1.1	Grieta longitudinal en la manguera por envejecimiento del material.	Fuga externa de aceite.	7	8	3	16 8	Media
		4.1.2	Aflojamiento de un racor o unión	Fuga en conexión.	6	7	4	16 8	Media
5.1	No mantener la contención	5.1.1	Fisura por fatiga o	Fuga externa de aceite.	6	5	6	18 0	Media

	segura del fluido hidráulico por filtraciones en soldaduras o tapa		corrosión en soldadura de base del tanque.							
		5.1.2	Junta de tapa de inspección degradada	Fuga por rebalse o vibración.	5	6	5	150	Media	
6.1	No entregar la potencia mínima requerida de 180 HP	6.1.1	Desgaste de aros, pistones o válvulas	Baja compresión en cilindros	9	6	4	216	Alta	
		6.1.2	Inyectores obstruidos o mal calibrados	combustión incompleta o débil.	8	7	3	168	Media	
		6.1.3	filtro de aire obstruido	Disminuye el flujo de aire de admisión, pérdida de torque y potencia del motor.	6	8	2	96	Baja	
7.1	No transmitir el torque del motor de manera continua, presentando deslizamiento o pérdida de velocidad entre la entrada y la salida	7.1.1	Desgaste de engranajes o sincronizados	Genera deslizamiento o salto de marchas, pérdida de tracción o potencia.	7	6	4	168	Media	
		7.1.2	Deformación o fisura en el eje de salida	Movimiento inconsistente o interrupción de transmisión.	8	4	3	96	Baja	
8.1	No mantiene la temperatura del motor dentro del rango de 75–95 °C durante la operación continua	8.1.1	Núcleo del radiador obstruido	Acumulación de sarro o residuos, flujo deficiente del refrigerante.	6	6	6	216	Alta	
		8.1.2	Falla en el ventilador o termostato	No activa la ventilación, sobrecalentamiento progresivo del motor.	8	4	4	128	Media	

Tabla 1-6. Matriz AMFEC: modos de falla y criticidad

1.3.5. Conclusiones del análisis

A partir de la aplicación de la metodología AMFEC a una selección acotada de componentes del sistema hidráulico y motriz de la grúa Coles Hydra 300T, se ha podido evidenciar que existen modos de falla con niveles de criticidad altos, destacando principalmente:

- Desgaste interno de los sellos del pistón en los cilindros hidráulicos, con un NPR de 336.
- Erosión en los asientos internos de las válvulas de control, con un NPR de 245.
- Desgaste de engranajes en la bomba hidráulica, con un NPR de 270.

Estos resultados indican que dichas fallas no solo tienen una severidad alta, sino también una ocurrencia significativa y baja detectabilidad, lo que las convierte en prioritarias para la intervención técnica. Sin embargo, es importante señalar que esta tabla representa solo un ejemplo parcial, limitado a dos de los sistemas más relevantes de la grúa: el sistema hidráulico y el sistema motriz.

Para identificar de forma completa y confiable todos los modos de falla presentes en la grúa, sería necesario extender el análisis AMFEC a cada uno de los sistemas funcionales, incluyendo levante, frenado, eléctrico, dirección, tracción y estructura. Solo así sería posible diseñar un plan de reacondicionamiento integral y basado en riesgo.

1.4. FUNDAMENTOS PARA RECHAZAR EL OVERHAUL

La decisión de realizar un overhaul (reacondicionamiento mayor) a un equipo de izaje debe basarse en una evaluación técnica integral, considerando tanto el estado actual de sus sistemas como los costos proyectados, la disponibilidad de repuestos, los recursos humanos requeridos y los beneficios esperados. En el caso de la grúa Coles Hydra 300T, actualmente en uso en la maestranza, diversos factores afectan negativamente la viabilidad de esta alternativa.

Uno de los principales obstáculos es que no se dispone de registros técnicos detallados previos al año 2016, por lo que no es posible determinar con certeza el nivel real de desgaste acumulado en componentes estructurales, hidráulicos y mecánicos clave. A ello se suma que el equipo no ha sido sometido a un plan de mantenimiento estructurado, ejecutándose únicamente acciones reactivas, como la recarga constante de aceite hidráulico y combustible. Esta falta de trazabilidad técnica incrementa significativamente el riesgo de fallas ocultas y reduce la posibilidad de planificar una restauración eficiente y segura. A diferencia de equipos industriales que han sido gestionados bajo un programa de mantenimiento preventivo, cuya vida útil esperada puede extenderse hasta los 25 a 30 años, la grúa Coles Hydra 300T supera con creces dicho horizonte, acumulando más de cinco décadas en operación, en condiciones de mantenimiento incierto.

1.4.1. Ciclo de vida útil de la maquinaria

La siguiente curva representa el comportamiento típico de la tasa de fallas a lo largo del ciclo de vida de una grúa telescópica industrial, dividido en tres fases conocidas como la "curva de la bañera":

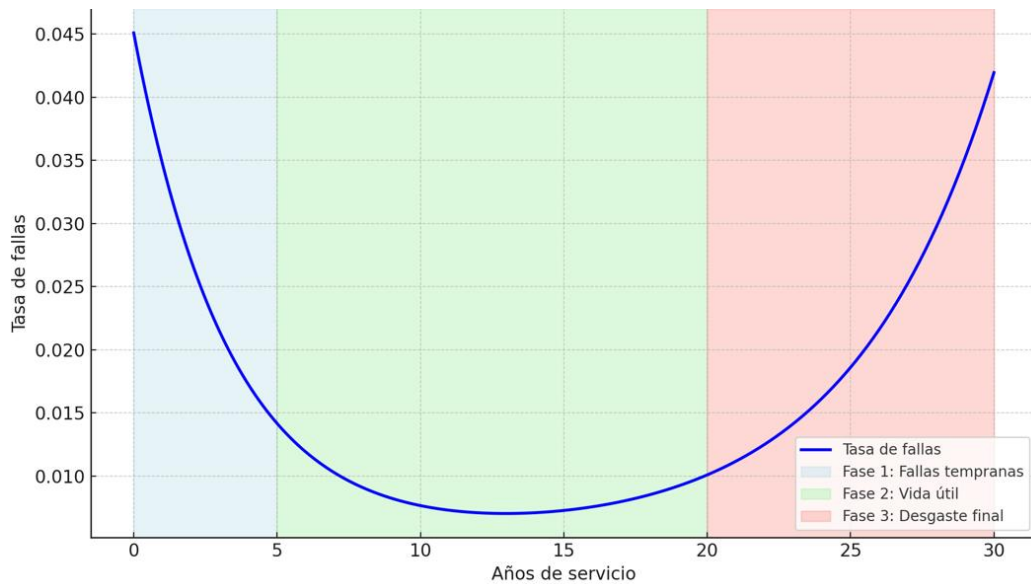


Figura 1-12. Curva de la bañera: ciclo de vida de una grúa telescópica industrial

- **Fase 1:** Fallas tempranas (0–5 años): Esta etapa corresponde al periodo de puesta en marcha, en el cual pueden presentarse fallas asociadas a defectos de fabricación, errores de instalación, ajustes deficientes o errores humanos durante la operación inicial. En esta fase, la tasa de fallas es alta, pero disminuye rápidamente con el tiempo si se aplica un proceso adecuado de puesta en servicio y ajustes preventivos.
- **Fase 2:** Vida útil estable (5–20 años): Es la etapa más productiva y confiable del equipo. La tasa de fallas se mantiene baja y relativamente constante, siempre y cuando se lleve a cabo un plan de mantenimiento preventivo estructurado, que

incluya inspecciones periódicas, recambio de componentes críticos y seguimiento técnico. Esta fase representa la vida útil óptima del equipo bajo condiciones normales de operación.

- **Fase 3:** Desgaste final (20–30 años): A partir de esta etapa, la tasa de fallas comienza a incrementarse progresivamente debido al envejecimiento de los materiales, fatiga estructural, obsolescencia tecnológica y desgaste acumulado. Los costos de mantenimiento aumentan, las reparaciones se vuelven más frecuentes y el equipo pierde eficiencia operativa.

Cabe destacar que este comportamiento asume un uso moderado y condiciones de operación controladas, junto con un mantenimiento preventivo adecuado. Sin embargo, en situaciones de uso intensivo, cargas cercanas al límite de capacidad nominal, terrenos adversos, o ambientes exigentes (polvo, humedad, temperatura extrema), la curva puede desplazarse hacia la izquierda, acortando la vida útil efectiva del equipo a un rango de 10 a 20 años.

Adicionalmente, la falta de mantenimiento preventivo, la acumulación de horas de operación sin revisión técnica, y la tecnología obsoleta, como ocurre en equipos de más de 30 o 40 años sin trazabilidad documental, aumentan los riesgos operativos, reducen la disponibilidad y elevan los costos correctivos.

1.4.2. Estimación preliminar de costos y limitaciones

Aunque no es posible establecer un costo definitivo sin realizar inspecciones exhaustivas y ensayos técnicos específicos (como líquidos penetrantes en estructuras, ensayos no destructivos, pruebas hidráulicas y eléctricas), se estima que un overhaul completo podría requerir una inversión del orden de 60.000 a 100.000 USD, considerando la intervención en los sistemas estructurales, hidráulicos, eléctricos, motor, transmisión y cabrestantes. Sin embargo, estos valores podrían incrementarse considerablemente en función de los hallazgos que surjan durante el desmontaje y diagnóstico técnico.

1.4.3. Consideraciones técnicas y operativas

Antigüedad y obsolescencia: La antigüedad del equipo genera dificultades para acceder a repuestos originales, muchos de los cuales se encuentran discontinuados, obligando a fabricar componentes a medida o utilizar equivalentes compatibles, lo que eleva los costos y tiempos de intervención.

Mano de obra especializada: La reparación de maquinaria de esta generación requiere personal técnico con experiencia específica, tanto en mecánica pesada como en sistemas hidráulicos antiguos, lo que reduce la disponibilidad de especialistas y encarece la ejecución del reacondicionamiento.

Revisión estructural incierta: El equipo lleva años operando de forma estática dentro de la maestranza. Aunque el motor de arranque continúa funcionando, los neumáticos están deteriorados por falta de movimiento, y se presume una posible degradación en los sistemas eléctricos, frenos y conexiones mecánicas, que requerirán ajuste completo. No se cuenta con antecedentes de inspección estructural formal en la pluma, estabilizadores ni chasis.

Falta de certificación: La grúa actualmente no posee certificación de operación vigente, por lo que cualquier intento de restauración debería incorporar ensayos normativos exigidos por el DS N°132 (como pruebas de carga, inspección estructural, verificación del sistema de seguridad, etc.), con un costo adicional no menor.

Desempeño limitado tras el overhaul: Aun si se ejecutara el reacondicionamiento completo, el equipo mantendría limitaciones estructurales, tecnológicas y operativas respecto a grúas más modernas, particularmente en relación con el consumo energético, la maniobrabilidad, la precisión de control y la compatibilidad con sistemas de monitoreo y seguridad actuales.

Considerando la antigüedad del equipo, la ausencia de historial técnico verificable, el desgaste estructural no inspeccionado, los altos niveles de incertidumbre sobre el costo real del reacondicionamiento y las limitaciones operativas que persistirían aun después del overhaul, la empresa ha tomado la decisión de descartar esta alternativa.

En su lugar, se optará por una de las dos opciones técnicamente viables mencionadas anteriormente:

- La adquisición de una grúa nueva, que cumpla con los estándares operacionales actuales y garantice fiabilidad a largo plazo.
- La compra de una grúa usada en buen estado, con documentación técnica y certificación vigente, que ofrezca una solución inmediata y de menor inversión inicial.

Esta decisión busca resguardar la continuidad operativa, reducir la dependencia de arriendo externo, optimizar el uso de recursos y garantizar un entorno de trabajo más seguro y eficiente para las operaciones de montaje realizadas por la empresa.

2. **CAPÍTULO 2: “EVALUACIÓN TÉCNICA Y ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN”**

2.1. SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA

Dado el estado actual de deterioro de la grúa principal de izaje y los diversos problemas que este ocasiona para la empresa, es necesario tomar una decisión estratégica entre dos alternativas: adquirir una grúa nueva o comprar una grúa usada en buen estado. Cada una de estas alternativas debe ser evaluada en función de su costo, beneficios, impacto en la operación y seguridad.

I. Adquisición de una Grúa Nueva:

Adquirir una grúa nueva tiene sus ventajas. Una grúa nueva incorpora las últimas innovaciones tecnológicas, mejorando la eficiencia y seguridad. Ofrece mayor fiabilidad operativa y cobertura de garantías que aseguran menor riesgo de fallos, además de proyectar una imagen de modernidad y profesionalismo hacia los clientes y empleados. Sin embargo, esta alternativa implica un costo inicial significativamente mayor en comparación con otras opciones. Además, el tiempo de entrega y puesta en marcha puede retrasar el inicio de las operaciones con la nueva grúa.

Para llevar a cabo esta solución, primero se deben definir las especificaciones técnicas y operativas requeridas para la nueva grúa. Luego, se deben solicitar cotizaciones y analizar las ofertas de diferentes fabricantes y proveedores. Es crucial establecer un plan de financiación para distribuir el impacto financiero de la compra. Finalmente, se debe proveer entrenamiento a los técnicos y operadores sobre el nuevo equipo.

II. Adquisición de una Grúa Usada en Buen Estado:

Comprar una grúa usada en buen estado ofrece un costo intermedio, siendo más económico que adquirir una nueva. Esta alternativa permite disponer del equipo en un plazo más corto que una grúa nueva y ofrece la posibilidad de revisar el historial de mantenimiento y funcionamiento del equipo antes de la compra. Sin embargo, una grúa usada puede tener una vida útil más corta que una nueva y un mayor riesgo de fallos, dependiendo del uso y mantenimiento previo. Para implementar esta solución, es necesario realizar una inspección detallada del equipo usado para asegurarse de su buen estado. También es importante revisar el historial de mantenimiento y reparaciones

realizadas, negociar el precio y condiciones de compra con el vendedor, y establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar la operatividad del equipo.

Se recomienda realizar un análisis de costo-beneficio detallado para cada una de las alternativas, considerando no solo los costos inmediatos, sino también los impactos a largo plazo en términos de operatividad, seguridad y eficiencia. Además, es crucial involucrar a todas las partes interesadas, incluyendo técnicos, operadores y el departamento financiero, en el proceso de toma de decisiones para asegurar que la opción seleccionada sea la más adecuada para las necesidades y recursos de la empresa.

El equipo deberá cumplir con los siguientes criterios:

Capacidad de carga: La grúa seleccionada debe tener una capacidad de carga adecuada para manejar las piezas y equipos de alto tonelaje necesarios en nuestras operaciones.

Optimización del espacio: Dado el espacio reducido del área de montaje y patio central, si se decide optar por la adquisición de otro modelo, debe aprovechar de manera eficiente el área disponible, incluso si se espera que la grúa permanezca mayormente fija en la instalación.

Factibilidad técnica y económica: La adquisición y mantenimiento del nuevo equipo deben ser viables tanto técnica como económicamente durante su vida útil. Esto incluye considerar los costos de compra, instalación, operación y mantenimiento.

Seguridad operacional: El equipo debe cumplir con todos los estándares de seguridad para garantizar la protección del personal y la eficiencia en las operaciones diarias.

2.1.1. Especificaciones necesarias de la grúa

Actualmente, la grúa disponible en la maestranza corresponde a un modelo TM (Truck-Mounted), caracterizado por su capacidad para circular por carretera y operar en distintos tipos de terreno. No obstante, una de sus principales limitaciones es su gran tamaño, lo que complica su maniobrabilidad en espacios reducidos como el área de montaje de la empresa. A esto se suma que ya no se realizan trabajos en terreno externo, lo cual disminuye la utilidad de su movilidad sobre ruedas y reduce su funcionalidad actual.



Figura 2-1. Modelo de Grúa Rough Terrain (RT)

Considerando el espacio restringido de operación, sería más conveniente optar por un equipo más compacto que conserve la capacidad de izaje requerida, pero que se ajuste de mejor manera a las condiciones del entorno de trabajo. En este contexto, una alternativa más eficiente es la grúa RT (Rough Terrain), diseñada específicamente para operar en superficies irregulares o confinadas, donde los equipos convencionales presentan dificultades.

Si bien este tipo de grúa no está habilitado para traslados extensos por carretera y debe ser transportado en camión, resulta ideal para desplazamientos internos dentro de faenas o talleres. Su diseño compacto y gran capacidad de maniobra la convierten en una

opción idónea para operaciones repetitivas de montaje. Además, requiere solo licencia de conducir clase D, lo que facilita su operación por personal calificado. Se recomienda seleccionar un modelo con una capacidad de carga mínima de 50 toneladas, adaptable según las exigencias del trabajo, que permita mejorar la eficiencia operativa y optimizar el uso del espacio en la maestranza. La incorporación de una grúa RT contribuiría a simplificar las maniobras, facilitar la circulación del personal técnico y reducir los tiempos asociados a cada operación,

lo que en conjunto impactaría positivamente en la productividad general del área de montaje.

Criterio	Grúa TM (Truck Mounted)	Grúa RT (Rough Terrain)
Diseño general	Montada sobre camión de carretera	Montada sobre chasis compacto para terrenos difíciles
Movilidad en carretera	Alta: puede desplazarse legalmente por vía pública	Nula: requiere ser transportada en camión para distancias largas
Maniobrabilidad en espacios reducidos	Limitada: gran radio de giro y mayor tamaño	Alta: mejor radio de giro, más ágil para patios reducidos
Estabilidad en superficies irregulares	Menor: requiere terreno firme o estabilizadores extensos	Alta: diseñada para operar en terrenos blandos o irregulares
Requerimientos de licencia	Licencia profesional clase A4 + D (Chile)	Solo licencia clase D (Chile)
Capacidad de carga	Variable según modelo (habitualmente 30-90 t)	Similar o superior en modelos compactos (40-90 t)
Altura y alcance	Mayor longitud de pluma en modelos grandes	Menor que TM en igual tonelaje, pero suficiente para maestranza
Costos operativos	Más bajo en traslado interurbano	Más bajo en operación puntual en terreno irregular o cerrado
Mantenimiento	Requiere atención dual (camión + superestructura)	Mantenimiento más sencillo (unidad integrada de izaje)

Tiempo de instalación	Mayor, especialmente si requiere estabilización en terreno	Menor, rápida nivelación y operación en campo
Versatilidad en maestranza	Limitada: ocupa más espacio y menos ágil en tareas repetitivas	Alta: ideal para montaje, reposicionamiento, tareas frecuentes en taller

Tabla 2-1. Comparación técnica entre grúa tipo TM y grúa tipo RT

Una grúa RT (Rough Terrain) está compuesta por las siguientes partes principales:

- **Cabezal:** Es el extremo superior de la pluma, desde donde se dirige el cable de acero hacia el gancho. Permite el correcto ángulo de salida del cable para las maniobras de izaje.
- **Extensiones de pluma:** Son secciones telescópicas que se despliegan dentro de la pluma principal para alcanzar mayores alturas y radios de trabajo. Se extienden hidráulicamente.
- **Pluma:** Es el brazo principal de la grúa. Su estructura telescópica permite al operador mover cargas en distintas posiciones verticales y horizontales.
- **Cilindro de levante de pluma:** Componente hidráulico que permite subir o bajar el ángulo de la pluma. Controla el grado de inclinación durante las maniobras.
- **Cable de acero (o foll):** Es el cable que enrolla el malacate o winch. Sirve para levantar y bajar las cargas de forma segura.
- **Pasteca:** Polea móvil que se conecta al gancho y que permite repartir el esfuerzo del izaje, aumentando la capacidad de carga del cable.
- **Gancho:** Elemento ubicado al extremo del cable, encargado de sujetar directamente la carga a levantar. Puede conectarse a pastecas o eslingas.
- **Malacate o winch:** Tambor accionado hidráulicamente que enrolla y desenrolla el cable de acero, permitiendo el movimiento vertical de la carga.
- **Cabina:** Espacio de operación desde donde el gruista controla todos los movimientos de la grúa. Está equipada con controles, pantallas, aire acondicionado y vidrios de seguridad.

- **Contrapeso:** Masa sólida instalada en la parte trasera de la grúa. Sirve para equilibrar el peso de las cargas que se levantan con la pluma extendida.
- **Motor:** Motor diésel que genera la potencia necesaria para el movimiento de la grúa y sus sistemas hidráulicos. Se ubica en la parte trasera.
- **Chasis:** Estructura inferior sobre la cual se monta toda la grúa. Es robusto y diseñado para soportar el peso total y las fuerzas de operación.
- **Tornamesa:** Mecanismo giratorio que permite que la parte superior de la grúa (pluma, cabina y winch) rote 360° sobre el chasis.
- **Depósito de combustible:** Tanque que almacena el diésel necesario para el funcionamiento del motor.
- **Plantas (o platorios):** Son las ruedas grandes y robustas con neumáticos todo terreno, que permiten el desplazamiento de la grúa en suelos irregulares.
- **Cilindro estabilizador:** Actúa para subir o bajar las patas estabilizadoras. Es un elemento clave para mantener la estabilidad antes de una operación de izaje.
- **Barra estabilizadora:** Estructura que conecta los cilindros y se despliega horizontalmente para ampliar la base de apoyo de la grúa.
- **Transmisión:** Sistema mecánico que transfiere la potencia del motor hacia las ruedas, permitiendo que la grúa se desplace.

En conjunto, estos componentes permiten que la grúa RT ofrezca un alto rendimiento operativo, destacando por su versatilidad, seguridad y eficiencia en entornos de trabajo exigentes.

2.2. EVALUACIÓN DE ADQUISICIÓN DE UNA GRÚA NUEVA

La adquisición de una grúa nueva presenta ventajas significativas que pueden transformar positivamente las operaciones y la imagen corporativa. Una grúa nueva incorpora las últimas innovaciones tecnológicas, ofreciendo mejoras sustanciales en eficiencia operativa y seguridad. Esto se traduce en una mayor fiabilidad operativa y una menor probabilidad de fallos, lo cual es crucial para mantener la continuidad de las operaciones y garantizar un ambiente de trabajo seguro. Además, una grúa nueva suele venir respaldada por garantías extensas del fabricante, proporcionando tranquilidad contra posibles problemas técnicos durante los primeros años de uso. Esta cobertura reduce significativamente los riesgos financieros asociados con reparaciones costosas y tiempos de inactividad prolongados

Optar por una grúa nueva también proyecta una imagen de modernidad y profesionalismo tanto hacia los clientes como hacia los empleados. Esta percepción puede fortalecer la confianza en la capacidad de la empresa para cumplir con los estándares más exigentes de la industria y adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado. Sin embargo, esta opción implica un costo inicial significativamente mayor en comparación con el reacondicionamiento de una grúa existente. El proceso de adquisición requiere primero definir las especificaciones técnicas y operativas necesarias para el equipo nuevo. Posteriormente, se deben solicitar cotizaciones y evaluar las ofertas de diferentes fabricantes y proveedores para asegurar la mejor relación costo-beneficio.

Además del costo inicial, el tiempo de entrega y puesta en marcha de la grúa nueva puede retrasar el inicio de las operaciones, especialmente si se requiere personalización o fabricación específica según las necesidades del proyecto. Es esencial establecer un plan de financiación sólido para distribuir el impacto financiero de la compra y garantizar la viabilidad económica a largo plazo. Finalmente, proporcionar entrenamiento adecuado a los técnicos y operadores sobre el nuevo equipo es crucial para maximizar su rendimiento y prolongar su vida útil. Esto garantiza que el personal esté completamente capacitado para operar la grúa de manera segura y eficiente, optimizando así la inversión realizada

en el equipo nuevo. La adquisición de una grúa nueva ofrece beneficios tangibles en términos de tecnología avanzada, seguridad operativa e imagen corporativa, aunque con consideraciones importantes en cuanto a costos iniciales, planificación logística y formación del personal.

2.2.1. Grúa Grove GRT655



Figura 2-2. Grúa Grove GRT655: modelo Rough Terrain

Como parte del proceso de renovación tecnológica y estandarización de maquinaria de izaje, se propone la incorporación de la grúa Grove GRT655 (2025), perteneciente a la línea de grúas Rough Terrain (todo terreno) fabricadas por Manitowoc, empresa con presencia consolidada en Chile y reconocida internacionalmente por su fiabilidad, rendimiento operativo y disponibilidad de soporte técnico especializado.

La elección de esta marca responde a factores estratégicos como:

- Alta disponibilidad de repuestos y servicio técnico en el país, facilitando la continuidad operativa.
- Capacitación certificada para operadores y técnicos, ofrecida a través de los centros Manitowoc.
- Compatibilidad con exigencias operacionales locales en sectores como minería, construcción e infraestructura.
- Cumplimiento de normativas internacionales como EN13000, ISO 4305 y SAE J1063.
- Prestaciones técnicas superiores con relación a otras grúas de su segmento.

El modelo GRT655L destaca por su capacidad de carga, alcance telescópico, maniobrabilidad, y eficiencia hidráulica, siendo ideal para faenas exigentes que demandan seguridad, confiabilidad y versatilidad.

A continuación, se presentan sus principales características técnicas:

Sistema / Componente	Especificación Técnica – GRT655
Capacidad de carga nominal	60 ton (conforme a norma EN13000, 85% de carga de vuelco)
Carga útil máxima	51 ton
Pluma telescópica principal	10,6 m – 34,8 m (4 secciones, extensión sincronizada)
Extensión adicional (opcional)	7,92 m – 13,7 m, abatible a 0°, 15° y 30°
Altura máxima de gancho	51,8 m (con extensión opcional instalada)
Alcance mínimo de pluma	10,6 m
Alcance de pluma adicional	2,5 m
Número de ejes	2
Tracción y dirección	4 ruedas / 4x4 / 4 modos (frontal, trasera, coordinada, cangrejo)
Carga por eje permitida	18 t
Neumáticos estándar	23.5 x 25
Velocidad máxima de traslado	30,3 km/h
Gradabilidad máxima	75,20%
Motor	Cummins QSB6.7L, 6 cilindros, turboalimentado
Potencia nominal (Tier 3)	119 kW - 2500 rpm
Par motor máximo	732 Nm - 1500 rpm
Cilindrada	6,7 litros
Nivel de emisiones	Tier 3 (para regiones con >15 ppm de azufre en el diésel)
Sistema de control (CCS)	Doble pantalla, jog dial, RCL, indicadores de fallas, registrador de datos
Sistema hidráulico	2 bombas de pistón + 1 de engranaje, 331 l/min, presión máx. 276 bar, filtro de 4 µm

Estabilizadores	4 hidráulicos telescópicos, 3 posiciones (0%, 50%, 100%), carga máxima por zapata: 34.110 kg
Cabina del operador	Inclinación hidráulica de 20°, visibilidad total, asiento ergonómico, A/C
Sistema de giro (swing)	Transmisión planetaria, freno multidisco en baño de aceite, velocidad máx. 1.7 rpm
Guinche principal / auxiliar	180 m cuerda de 16 mm, fuerza máx. línea simple: 5552 kg, velocidad hasta 148 m/min
Tanque de combustible	244 litros
Sistema eléctrico	24 VDC con 2 baterías de 12 V, desconectador incluido
Iluminación	Luces de señalización completas + dos faros delanteros en cabina

Tabla 2-2. Ficha técnica: Grúa Grove GRT655L

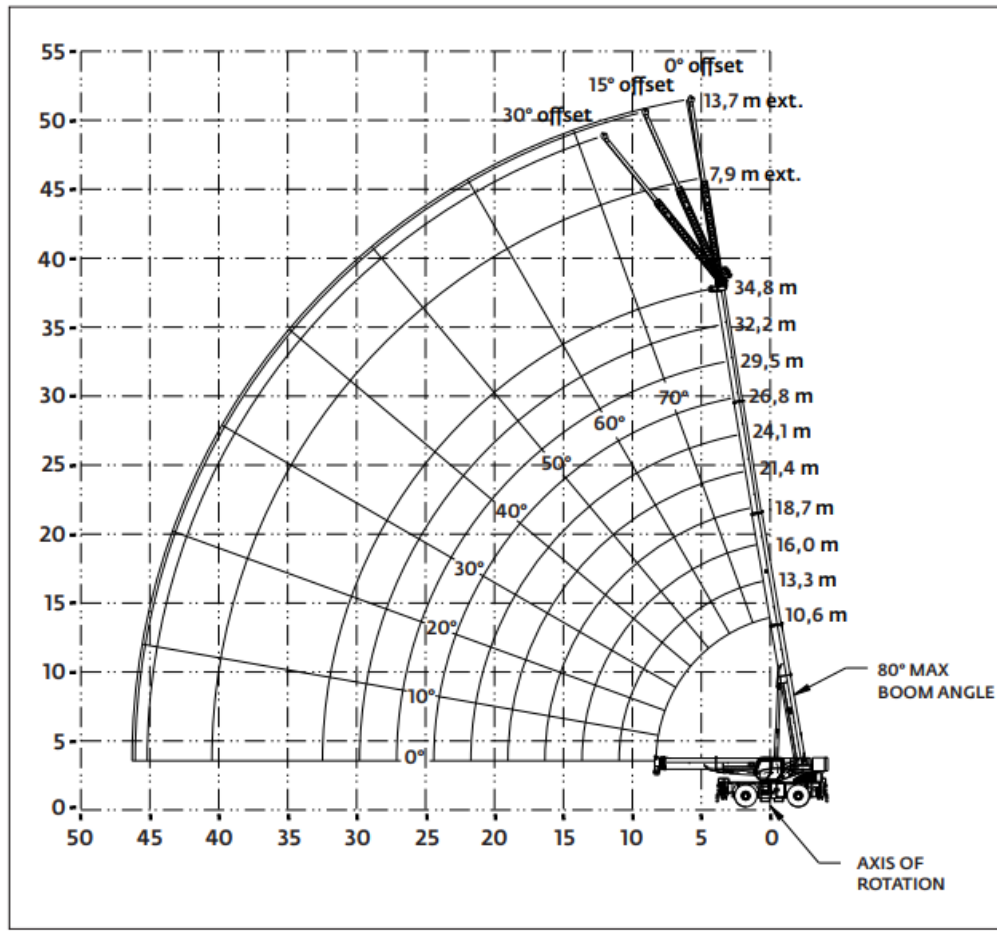


Figura 2-3. Diagrama de alcance y ángulos operativos Grove GRT655

2.2.2. Costos estimados de adquisición

GROVE GRT655	Monto (USD)	Descripción
Costo base de la grúa	\$ 460.000	Precio referencial de fábrica (FOB, Estados Unidos)
Seguro internacional	\$ 6.900	Estimado al 1,5% del valor FOB
Costo de envío internacional	\$ 20.000	Flete marítimo desde EE.UU. hasta puerto chileno
Valor CIF estimado	\$ 486.900	Costo base + seguro + flete
Arancel de importación (6%)	\$ 29.214	Aplicado sobre valor CIF
IVA (19%)	\$ 97.781	Calculado sobre (CIF + aranceles)
Trámites aduaneros y costos locales	\$ 4.000	Gastos operacionales en puerto chileno
TOTAL ESTIMADO EN USD	\$ 609.895	Valor total estimado de adquisición

Tabla 2-3. Estimación del costo total de adquisición de la grúa Grove GRT655

Tiempo de llegada 60 días aproximadamente.

Con un programa de mantenimiento adecuado, es posible que estas grúas superen los 20 años de uso eficiente, aunque después de este tiempo es común realizar reemplazos o renovaciones importantes para mantenerlas operativas.

- Vida útil esperada: 30 años

Accesorio de izaje – Pulpo de cadena de 4 ramales

Un componente esencial en los procesos de izaje y montaje de carga pesada es el pulpo de cadena de 4 ramales, también conocido como eslinga de múltiples puntos. Este accesorio resulta imprescindible para operaciones de alta exigencia como la manipulación de chancadores, ejes, estructuras y componentes de gran volumen, donde se requiere máxima estabilidad y seguridad.

El pulpo se acopla directamente al gancho principal de la grúa, permitiendo una distribución uniforme de la carga entre los ramales, lo que reduce el riesgo de desbalanceos, deformaciones estructurales o incidentes durante el izaje.

En este caso, se ha optado por adquirir un pulpo de cadena marca Crosby, reconocida a nivel internacional por su fiabilidad y certificación en soluciones de elevación. La inversión responde a la necesidad de reemplazar el accesorio existente, el cual presenta fallas de seguridad críticas, particularmente en los pestillos de cierre.

Especificaciones técnicas del accesorio seleccionado:

- **Marca:** Crosby
- **Longitud total:** 4 metros
- **Diámetro de cadena:** 20 mm
- **Capacidad nominal de carga:** 65 toneladas
- **Peso propio:** 50 kg
- **Material:** Acero aleado grado 80
- **Certificación:** ISO 9001 – Cumple normativa internacional de seguridad en izaje

Este accesorio garantiza una solución robusta, segura y compatible con la grúa Grove GRT655, cumpliendo con los más altos estándares de calidad industrial.

- Pulpo de cadena de 4 ramales Crosby: \$5.500 (USD)

2.2.3. Capacitación operador

Los cursos de capacitación no otorgan directamente la licencia Clase D, ya que esta es emitida exclusivamente por la Dirección de Tránsito de las municipalidades en Chile. No obstante, el operador actual de la maestranza ya cuenta con dicha licencia, pero requeriría un curso de actualización para familiarizarse con la nueva maquinaria, sus avances tecnológicos y garantizar su manejo en las mejores condiciones. Estos cursos son fundamentales para adquirir los conocimientos técnicos y prácticos necesarios, adaptándose a los requerimientos específicos del equipo.

Curso operador RT Crane Technology & Operation CCS & ECOS (Manitowoc)

- Incluye: teoría, practica básica y certificación.
- Duración: 7 días
- Costo estimado (USD): \$2.500

2.3. **ADQUISICIÓN DE UNA GRÚA USADA**

La adquisición de una grúa usada en buenas condiciones es una opción estratégica para empresas que buscan reducir costos iniciales sin comprometer significativamente la funcionalidad operativa. Una grúa usada que ha sido bien mantenida puede ofrecer un rendimiento confiable, adaptándose a las necesidades del proyecto mientras optimiza el presupuesto de inversión. Una de las principales ventajas de optar por una grúa usada es el costo de adquisición reducido, que puede ser significativamente menor al de una grúa nueva, liberando recursos para otros gastos esenciales, como mantenimiento o mejoras adicionales. Además, las grúas usadas en buenas condiciones suelen estar disponibles de forma inmediata, evitando los largos tiempos de espera asociados con la fabricación o personalización de una nueva. Esto permite iniciar operaciones rápidamente, algo esencial en proyectos con cronogramas ajustados.

Es importante destacar que muchas grúas usadas pueden ser actualizadas con tecnologías modernas, como sistemas de control más avanzados o sensores de seguridad

adicionales, lo que mejora su funcionalidad a una fracción del costo de una grúa nueva. Sin embargo, para garantizar el éxito de esta adquisición, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva previa, incluyendo:

- **Inspección visual y técnica:** Verificar el estado estructural, el desgaste de componentes críticos (como cables y ganchos), y la presencia de corrosión o fisuras.
- **Pruebas funcionales:** Evaluar los sistemas hidráulicos, mecánicos y de seguridad para asegurar que la grúa puede operar sin inconvenientes.
- **Revisión del historial de mantenimiento:** Confirmar que el equipo ha sido mantenido adecuadamente y que no existen problemas recurrentes.
- **Certificación vigente:** Asegurarse de que la grúa cumple con las normativas locales y posee las certificaciones de seguridad necesarias.

Aunque el costo inicial de una grúa usada es más accesible, se debe considerar un presupuesto adicional para mantenimiento inicial o reparaciones menores que puedan surgir tras la compra. Asimismo, dependiendo de la antigüedad del equipo, es recomendable implementar un plan de mantenimiento más frecuente para garantizar su rendimiento óptimo y prolongar su vida útil.

2.3.1. Opciones de grúas RT usadas

Estas opciones de grúas usadas fueron seleccionadas cuidadosamente tras un análisis exhaustivo de diversos sitios web especializados en vehículos y maquinaria industrial. La elección de estos equipos se fundamentó en su capacidad para satisfacer las especificaciones técnicas y operativas requeridas para los trabajos en la maestranza. Se consideraron factores clave como el modelo de la grúa, su capacidad de carga, la marca reconocida en el mercado, y la relación entre su estado general y el costo. Además, se evaluaron aspectos técnicos adicionales, como el tipo de motor, las horas de uso acumuladas, el mantenimiento previo documentado, y la disponibilidad de certificaciones vigentes, que garantizan el cumplimiento de normativas de seguridad y funcionalidad.

Estas grúas no solo cumplen con las características esenciales para el proyecto, sino que también presentan un equilibrio adecuado entre rendimiento, confiabilidad, y costo, lo que las convierte en alternativas ideales para optimizar el presupuesto sin comprometer la eficiencia operativa. La selección de estas máquinas se realizó con el objetivo de ofrecer opciones versátiles y adaptables a las exigencias específicas del entorno de trabajo, asegurando una decisión de compra informada y estratégica.

1. 2005 Grove 760E



Figura 2-4. Grúa Grove 760E: modelo Rough Terrain

Especificación	Detalle
Modelo	Grove 760E
Año de Fabricación	2005
Precio	\$73.684 USD
Capacidad de Carga	40 toneladas
Horas de Uso	8,500 horas
Kilometraje	120,000 km
Motor	Diesel
Certificación	Incluye certificación operativa
IVA	No incluye IVA
Ubicación	O'Higgins, Comuna de Antofagasta

Tabla 2-4. Especificaciones generales de la grúa Grove 760E

Características Adicionales: Mantenimiento al día, operativa, ideal para proyectos de tamaño medio.

2. 2012 Grove RT765E-2



Figura 2-5. Grúa Grove RT765-2: modelo Rough Terrain

Especificación	Detalle
Modelo	Grove RT765E-2
Año de Fabricación	2012
Precio	\$168.421 USD
Capacidad de Carga	60 toneladas
Horas de Uso	3,200 horas
Kilometraje	15,000 km
Motor	Cummins, Diesel
Certificación	Incluye certificación operativa
IVA	Incluye IVA
Ubicación	Santiago, Comuna de Lampa

Tabla 2-5 . Especificaciones generales de la grúa Grove RT765E-2

Características Adicionales: Alta capacidad de carga, motor eficiente, adecuada para proyectos de gran exigencia.

3. 2014 TEREX RT555



Figura 2-6. Grúa Terex RT555: modelo Rough Terrain

Especificación	Detalle
Modelo	Terex RT555
Año de Fabricación	2014
Precio	\$194.736 USD
Capacidad de Carga	50 toneladas
Horas de Uso	4,000 horas
Kilometraje	50,000 km
Motor	Diesel
Certificación	No incluye certificación
IVA	Incluye IVA
Ubicación	Santiago, Comuna de Lampa

Tabla 2-6. Especificaciones generales de la grúa Terex RT555

Características Adicionales: Equipamiento robusto, operativa al 100%, excelente opción para proyectos medianos a grandes.

2.3.2. Análisis comparativo: matriz de ponderación

La matriz de ponderación evalúa los siguientes criterios:

- **Precio:** Impacto en el presupuesto inicial.
- **Capacidad de carga:** Adecuación al tipo de trabajo requerido.
- **Horas de uso/kilometraje:** Indicativo del desgaste y vida útil restante.
- **Certificación:** Garantía de cumplimiento con normativas.
- **Tiempo de entrega estimado:** Importante para proyectos con cronogramas ajustados.
- **Costo de transporte:** Dependiente de la ubicación.
- **Condición general:** Basada en descripciones y especificaciones.

Cada criterio tiene un peso asignado según su relevancia. Las opciones reciben una calificación del 1 al 5 (siendo 5 la mejor).

Criterio	Peso (%)	Grove 760E (2005)	Grove RT765E-2 (2012)	Terex RT555 (2014)
Precio	30%	5	4	3
Capacidad de carga	25%	3	5	4
Horas de uso	15%	3	5	4
Certificación	10%	5	5	3
Tiempo de entrega	10%	3	4	4
Costo de transporte	5%	3	4	4
Condición general	5%	3	5	4

Tabla 2-7. Matriz de ponderación multicriterio para evaluación comparativa

Grúa	Puntuación total
Grove 760E (2005)	3,8
Grove RT765E-2 (2012)	4,6
Terex RT555 (2014)	3,6

Tabla 2-8. Resultado final de evaluación ponderada

Conclusión

Grove RT765E-2 (2012): Con una puntuación de 4.6, es la opción más equilibrada en capacidad, certificación, y condición general, aunque su costo inicial es intermedio.

Grove 760E (2005): Con 3.8, destaca por su precio más bajo y certificación incluida, ideal si el presupuesto es la prioridad.

Terex RT555 (2014): Con 3.8, es una opción confiable, pero su falta de certificación y menor puntuación en condición general le restan competitividad.

La Grove RT765E-2 (2012) sigue siendo la mejor recomendación para proyectos donde la capacidad de carga y la condición general son prioritarias. No obstante, si el presupuesto es ajustado, la Grove 760E (2005) es una alternativa sólida.

2.3.3. Grúa Grove RT765E-2

Sistema / Componente	Especificación Técnica – RT765E-2
Capacidad de carga máx.	60 ton
Pluma principal	4 secciones telescópicas, 11,0 m – 33,5 m
Altura máxima de punta	56,7 m (con plumín abatible opcional)
Plumín abatible (opcional)	10,1 m – 17,1 m, con inclinaciones de 0°, 15°, 30°
Radio de trabajo máx.	42 m
Motor	Cummins QSB6.7, Tier 3, 6 cilindros
Potencia nominal	160 hp (119 kW), 2500 rpm
Torque máximo	732 Nm, 1500 rpm
Transmisión	6 velocidades adelante / 6 atrás
Tracción	4x4 (integral)
Dirección	4 modos: delantera, trasera, coordinada, cangrejo
Peso bruto operativo	43.000 kg
Longitud total	13,2 m (con plumín guardado)
Ancho	3,35 m
Altura al cabrestante	3,8 m
Radio de giro (mínimo)	9,1 m
Estabilizadores	4 hidráulicos telescópicos, controlados desde cabina
Guinche principal	Cuerda de acero de 16 mm, aprox. 135 m
Frenos	Multidisco en baño de aceite + freno de estacionamiento
Cabina del operador	Cabina cerrada con visibilidad total, joystick doble eje
Velocidad máx. traslado	30 km/h

Tabla 2-9. Especificaciones técnicas de la grúa Grove RT765E-2

Costos estimados de adquisición

Grove RT765E-2	Costo (USD)	Descripción
Costo base grúa usada	\$ 168.421	Precio Chileautos maquinaria pesada
Traslado terrestre grúa Santiago–Región	\$ 2.500	Transporte especializado en cama baja. Incluye carga/descarga.
Costos administrativos (notaría/contrato/transferencia)	\$ 500	Transferencia vehicular y legalización si aplica.
TOTAL ESTIMADO EN USD	\$ 171.421	Valor total estimado de adquisición

Tabla 2-10. Estimación del costo total de adquisición de la grúa Grove RT765E-2

- Tiempo de llegada: 1 día aproximadamente
- Vida útil esperada: 25 años

Accesorio de izaje

- Pulpo de cadena de 4 ramales Crosby: \$5.500 (USD)

2.3.4. Capacitación operador

Curso operador básico RT Crane Technology & Operation (Manitowoc)

- Incluye: teoría, practica básica y certificación.
- Duración: 5 días
- Costo estimado (USD): \$1.500

2.4. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Para garantizar la disponibilidad operativa, prolongar la vida útil de los equipos y reducir costos asociados a fallas inesperadas, se implementará un plan de mantenimiento estructurado que considera distintas estrategias de intervención técnica según la etapa del ciclo de vida del equipo y su criticidad operativa.

Inicialmente, se aplicará mantenimiento preventivo basado en horas de operación, siguiendo frecuencias predefinidas de intervención que permiten anticiparse a posibles fallas mediante inspecciones, ajustes y reemplazos programados. Esta estrategia será complementada con mantenimiento basado en condición, a partir de parámetros operacionales (temperatura, presión, vibración, etc.) obtenidos durante las rutinas de inspección o a través de monitoreo periódico.

En las etapas más avanzadas del plan, especialmente para equipos críticos, se incorporarán técnicas de mantenimiento predictivo, como ensayos no destructivos (END) y análisis de tendencias, con el fin de detectar fallas incipientes antes de que afecten la operación. Estas técnicas permiten una toma de decisiones informada sobre intervenciones programadas, optimizando recursos y aumentando la confiabilidad del sistema. Este enfoque mixto (preventivo por horas, basado en condición y predictivo) asegura una cobertura integral de los distintos modos de falla posibles, mejorando la mantenibilidad del equipo y reduciendo los tiempos de detención no planificada.

2.4.1. Consideraciones Operacionales

La grúa será utilizada principalmente dentro del área de montaje de la maestranza de la empresa, en un régimen de operación regular de entre 2 a 3 horas diarias, de lunes a viernes, durante todo el año.

Horas de operación:

- Diaria: 2.5
- Mensual: 50
- Anual: 600
- 30 años: 18.000

Estimación de consumo y costo de combustible

Escenario	L/h	Total litros/año (600 h)	Precio diésel USD/L	Costo anual USD
Exigencia baja	10	6.000	\$ 1,10	\$ 6.600

2.4.2. Planificación de Intervalos de Mantenimiento

Para efectos de proyección y estandarización del mantenimiento, se establece una lógica de intervención basada en tramos acumulativos de horas de trabajo, compatibles con el régimen operativo definido (2,5 horas diarias). El horizonte total de planificación considera un periodo de 20 años, equivalente a aproximadamente 12.000 horas de operación acumulada.

Los intervalos de mantenimiento se estructuran según los siguientes tramos: mantenimiento inicial (0 h / 3200 h), 300 h, 600 h, 1200 h, 2500 h, 5000 h y 10.000 h. A medida que se avanza en las horas de uso, cada actividad correspondiente se acumula de forma jerárquica. Por ejemplo, al llegar a las 600 horas de operación, ya se habrán realizado dos mantenimientos de 300 horas y se ejecutará adicionalmente el mantenimiento correspondiente a las 600 horas. Este principio se aplica sucesivamente a lo largo de toda la vida útil proyectada del equipo.

La siguiente tabla resume la cantidad de veces que se realizará cada tipo de mantenimiento dentro del ciclo completo de 12.000 horas:

- **Mantenimiento Inicial (0 h / 3200 h): (1)**
- **Mantenimiento cada 300 horas: (40)**
- **Mantenimiento cada 600 horas: (20)**
- **Mantenimiento cada 1200 horas: (10)**
- **Mantenimiento cada 2500 horas: (4)**
- **Mantenimiento cada 5000 horas: (2)**
- **Mantenimiento cada 10.000 horas: (1)**

Esta lógica será aplicada tanto al plan de mantenimiento para la grúa nueva como para la grúa usada. La diferencia entre ambos radicarán en el contenido técnico de las actividades: en el caso de la grúa usada, se incorporarán tareas adicionales de inspección, recambio y verificación técnica debido al desgaste acumulado y a la incertidumbre asociada a componentes con vida útil reducida.

De este modo, se asegura una planificación sistemática, anticipativa y adaptada al historial y condición operativa del equipo, minimizando riesgos de falla y maximizando la disponibilidad mecánica del activo en el largo plazo.

2.4.3. Consideraciones sobre Mano de Obra

Para la ejecución de los distintos planes de mantenimiento contemplados en este estudio, se requerirá personal técnico calificado con experiencia demostrable en la intervención de maquinaria pesada. Dado el nivel de criticidad y las exigencias técnicas de las tareas involucradas, se considera indispensable contar con técnicos especializados que aseguren la correcta ejecución de inspecciones, cambios de componentes y ajustes mecánicos.

El costo referencial de mano de obra ha sido estimado en 8,00 USD/h, correspondiente a un técnico mecánico con experiencia en maquinaria pesada. Este valor será utilizado como base para el cálculo del costo total de horas persona (HP) en cada uno de los planes de mantenimiento definidos, tanto para la grúa nueva como para la grúa usada.

Cabe destacar que, si bien el valor horario se mantiene constante a lo largo del plan, el número de horas y de personal requerido (P) podrá variar en función de la complejidad y alcance técnico de cada tipo de intervención. En el caso de la grúa usada, las actividades serán más intensivas en inspección y recambio, lo cual se reflejará en una mayor carga de HP por tramo.

- Técnico mecánico con experiencia en maquinaria pesada: \$8,00 (USD/h).

2.4.4. Insumos y repuestos

Consideraciones sobre costos de insumos y repuestos

Los precios presentados para los insumos, repuestos y kits de mantenimiento o reacondicionamiento han sido estimados en base a referencias del mercado chileno actual (2024–2025). Esta información se fundamenta en cotizaciones y valores obtenidos desde:

- Distribuidores oficiales y representantes de marca en Chile, como SKC Maquinarias S.A., representante autorizado de Manitowoc/Grove en el país.
- Proveedores especializados en motores industriales y sistemas hidráulicos, tales como Cummins Chile, DieselPower, MotorDiesel, entre otros.
- Sitios web técnicos y portales de repuestos nacionales, orientados a maquinaria pesada, que comercializan componentes certificados conforme a normas internacionales (ISO, API, SAE) y equivalentes OEM (Original Equipment Manufacturer).

Todos los valores han sido aproximados considerando condiciones de compra empresa y se han convertido a dólares estadounidenses (USD) para efectos de estandarización y comparación internacional. Se utilizaron tasas de cambio promedio del período de análisis, y los montos pueden variar dependiendo del proveedor, región, condiciones de despacho y volumen de adquisición.

Insumos	USD
Grasa multiuso (16 kg, Litio EP2 marca YPF)	\$ 112,00
Paños industriales (pack de 10 paños absorbentes o reutilizables)	\$ 4,21
Filtro de aire primario.	\$ 16,84
Filtro combustible.	\$ 14,74
Limpiador dieléctrico.	\$ 4,74
Solvente desengrasante.	\$ 6,11
Filtro aceite motor.	\$ 13,68
Filtro retorno hidráulico.	\$ 18,95
Aceite motor 15W-40.	\$ 44,21
Filtro separador de agua.	\$ 14,21
Líquido frenos DOT4.	\$ 5,26
Aceite transmisión 20 L.	\$ 39,47
Filtro transmisión.	\$ 16,84
Aceites mecanismos (telescópica, izaje, giro) (3 x 5L estimado).	\$ 47,37
Filtro presión hidráulico.	\$ 31,58
Aceite hidráulico (mín. 60 L).	\$ 92,63
Refrigerante (mín. 20 L).	\$ 27,89
Aditivos anticorrosivos.	\$ 10,00
Lubricante dieléctrico terminales batería.	\$ 4,84
Cable de izaje 19 mm x 120 m (OEM Grove)	\$ 894,74
Baterías de 12V, plomo-ácido selladas, bajo mantenimiento	\$ 157,89
Cilindros hidráulicos críticos (2 unid.)	\$ 842,00
Kit reacondicionamiento motor (Manitowoc/Grove).	\$ 3.800,00
Kit hidráulico completo (mangueras, válvulas, sellos)	\$ 1.260,00
Kit frenos (balatas, cilindros, flexibles)	\$ 421,00
Kit estructural (placas, pasadores, refuerzos si aplica)	\$ 630,00
Kit inspección estructural, Incluye análisis END (líquidos penetrantes), informe técnico	\$ 570,00
Motor Cummins QSB6.7	\$ 18.000

Tabla 2-11. Insumos requeridos para planes de mantenimiento

Ambas grúas usan el mismo motor base Cummins QSB6.7, pero:

- La GRT655 puede venir con versiones más nuevas del motor (Tier 4 Final o Euromot 5), especialmente en configuraciones recientes y en mercados con regulaciones ambientales más estrictas.
- La RT765E-2, siendo un modelo anterior, mantiene la versión Tier 3, más sencilla, sin postratamiento, ideal para zonas como América Latina.

Ambos motores son intercambiables en términos de bloque y componentes mayores, aunque sus sistemas electrónicos pueden variar ligeramente.

Kit de reacondicionamiento Cummins QSB6.7 (Manitowoc/ Grove, repuestos originales)	
Categoría	Componentes incluidos
Pistones y anillos	6 pistones (estándar u oversize)
	Juego de anillos por pistón
Camisas / liners	6 camisas de cilindro
Cojinetes	Cojinetes de biela
	Cojinetes de bancada (main bearings)
Empaquetaduras	Juego completo de juntas y sellos (top/bottom set)
Válvulas	Válvulas de admisión y escape
	Sellos de válvula y guías
Bomba de aceite	Bomba nueva o kit de reparación
Bomba de agua	Bomba nueva
Tornillos de culata	Kit de tornillos (head bolts) de un solo uso
Filtros de motor	Filtro de aceite
	Filtro de combustible (opcional)
Otros	Retenes de cigüeñal y árbol de levas
	Tapas y tapones menores
Opcionales (según proveedor y nivel de overhaul)	Árbol de levas
	Balancines o botadores
	Inyectores

Tabla 2-12. Detalle de componentes del kit de overhaul para motor Cummins QSB6.7

En condiciones ideales con mantención regular, se espera que un motor bien reacondicionado con kit original llegue fácilmente a otras 8.000 horas antes de necesitar otro overhaul.

2.4.5. Consideraciones del mantenimiento

Lubricación

Puntos básicos de lubricación	
Componente	Punto específico
Pluma telescópica	Pernos de base y tope
Giro (anillo giratorio)	Puntos cada 90° (4 en total)
Gancho principal y bloque	Rodamiento central y pasador
Catalinas (poleas)	Ejes de poleas
Cilindro de pluma (elevación)	Pernos en ambos extremos
Winche principal	Rodamiento del tambor
Estabilizadores	Pernos del cilindro vertical y horizontal
Eje de dirección / oscilante	Junta central del eje trasero

Tabla 2-13. Puntos críticos de lubricación en componentes estructurales

Principales actividades incluidas en la evaluación de desgaste mecánico

Área / Componente	Actividades de revisión
Pluma telescópica	Medición de holgura entre secciones, desgaste de guías, juego excesivo, fisuras visibles
Eslabones, bulones, pernos de carga	Revisión de ovalamientos, elongaciones, fisuras por fatiga
Ganchos (principal y auxiliar)	Medición de garganta, punta y cierre de seguro
Winche y tambor de cable	Desgaste por fricción, juego del eje, inspección del tambor y guías Lebus
Catalinas / poleas / rodamientos	Holgura axial y radial, desgaste de pista de rodadura
Estabilizadores	Juego en el cilindro, desgaste de almohadillas o contacto con suelo
Chasis estructural	Deformaciones, fisuras, alineación
Soportes y bujes	Medición de juego con galgas o reloj comparador

Tabla 2-14. Actividades clave de inspección para evaluación de desgaste mecánico

Principales actividades incluidas en el overhaul de motor

Componente	Acción realizada
Culata	Desmontaje, limpieza, prueba de fugas, rectificación si es necesario
Pistones y anillos	Inspección y reemplazo por desgaste
Camisas (liners)	Verificación / cambio si hay desgaste
Cojinetes de biela y bancada	Reemplazo completo
Válvulas y asientos	Rectificación / reemplazo / ajuste
Inyectores y bomba	Limpieza o cambio
Bomba de aceite y agua	Verificación o reemplazo
Turbo	Revisión o cambio
Sensor y arneses eléctricos	Verificación
Cambio total de todos los fluidos y filtros	Obligatorio
Prueba de compresión y fuga posterior	Validación final

Tabla 2-15. Actividades incluidas en el overhaul de motor diésel

Nivel de overhaul:

- Overhaul parcial (sin culata ni cigüeñal): 15–20 horas
- Overhaul completo (motor completo en banco): 30–40 horas

2.4.6. Plan de mantenimiento grúa Grove GRT655

MANTENIMIENTO A LAS 50 HORAS (Primer control tras rodaje inicial de componentes)					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Motor: Verificación nivel aceite y fugas visibles.	\$ 2,40	0,3	1	Inspección externa, chequeo de estanqueidad
	Sistema hidráulico: Revisión de fugas en cilindros, mangueras y válvulas.	\$ 6,40	0,8	1	Visual + revisión de conexiones
	Transmisión: Inspección de fugas, ruidos y vibraciones.	\$ 4,00	0,5	1	Incluye prueba en desplazamiento si es posible
	Sistema eléctrico: Chequeo luces, bocina, batería.	\$ 3,20	0,4	1	Chequeo de funcionamiento y conexiones visibles
	Visual/ Estructura: Estado de pluma, bloque de gancho, seguros y pernos estructurales.	\$ 5,60	0,7	1	Evaluación estructural periférica y elementos de seguridad
	Sistema neumático: Verificar presión de neumáticos y válvulas.	\$ 1,60	0,2	1	
Insumos	Paños industriales.	\$ 4,21			
TOTAL		\$ 27,41	2,9		

Figura 2-7. Pauta de mantenimiento primeras 50 horas

MANTENIMIENTO CADA 300 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Motor: Tensión y desgaste de correas, fugas de aceite.	\$ 3,20	0,4	1	Incluye ajuste visual/manual y revisión de sellos
	Sistema hidráulico: Inspección de presión, válvulas y cilindros.	\$ 6,40	0,8	1	Incluye revisión de presión y fugas externas
	Transmisión: Revisión funcionamiento y nivel.	\$ 4,00	0,5	1	Incluye nivel de aceite y prueba en carga
	Eléctrico: Diagnóstico visual de arneses, alternador, fusibles.	\$ 3,20	0,4	1	Diagnóstico básico visual y eléctrico
	Visual y seguridad: Estado de luces, espejos, parabrisas, cinturón, estructura externa.	\$ 4,80	0,6	1	Revisión periférica y checklist
Cambios / Rellenos	Filtro de aire primario.	\$ 2,40	0,3	1	
	Filtro de combustible.	\$ 3,20	0,4	1	Incluye purga y ajuste
	Lubricación de todos los puntos.	\$ 10,40	1,3	1	
	Nivel aceite motor (relleno si necesario).	\$ 1,60	0,2	1	Solo si está por debajo del mínimo
	Nivel hidráulico y transmisión (relleno si necesario).	\$ 2,40	0,3	1	Por pérdida leve o ajuste de operación
Insumos	Filtro de aire primario.	\$ 16,84			
	Filtro combustible.	\$ 14,74			
	Grasa litio EP2.	\$ 37,33			
	Limpiador dieléctrico.	\$ 4,74			
	Paños industriales.	\$ 4,21			
	Solvente desengrasante.	\$ 6,11			
TOTAL		\$ 119,46	5,2		

Figura 2-8. Pauta de mantenimiento 300 horas

MANTENIMIENTO CADA 600 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Verificación estructura del brazo telescópico.	\$ 6,40	0,8	1	Incluye verificación de fisuras, juego y guías internas
	Revisión estado de cables principales y auxiliares.	\$ 4,00	0,5	1	Incluye inspección visual y verificación de tensión
	Chequeo válvulas hidráulicas por presión diferencial.	\$ 5,60	0,7	1	Requiere uso de manómetros o equipo hidráulico portátil
Cambios / Rellenos	Filtro de aire secundario.	\$ 2,40	0,3	1	
	Filtro separador agua.	\$ 3,20	0,4	1	Incluye purga
	Cambio aceite y filtro motor.	\$ 5,60	0,7	1	Incluye vaciado, reemplazo y carga nueva
	Cambio filtro retorno hidráulico.	\$ 4,00	0,5	1	Incluye inspección de fluido en retorno
	Revisión y relleno líquido de frenos.	\$ 2,40	0,3	1	Solo si nivel bajo, incluye purga rápida
Insumos	Filtro aceite motor.	\$ 13,68			
	Filtro retorno hidráulico.	\$ 18,95			
	Aceite motor 15W-40.	\$ 44,21			
	Filtro separador de agua.	\$ 14,21			
	Líquido frenos DOT4.	\$ 5,26			
TOTAL		\$ 129,92	4,2		

Figura 2-9. Pauta de mantenimiento 600 horas

MANTENIMIENTO CADA 1.200 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Sistema de giro y malacates (ajuste, juego, vibraciones).	\$ 5,60	0,7	1	Requiere prueba bajo carga si es posible
	Ruidos en mecanismos telescopados.	\$ 3,20	0,4	1	Evaluación dinámica durante operación
	Desgaste en pastillas de freno (estacionamiento y servicio).	\$ 4,00	0,5	1	Visual + verificación de espesor y respuesta
Cambios / Rellenos	Cambio aceite transmisión y filtro.	\$ 5,60	0,7	1	Incluye vaciado y llenado de 20 L
	Cambio aceite mecanismos telescopado, izaje y giro.	\$ 8,00	1	1	Cada sistema puede requerir viscosidad específica
	Engrase completo de cable auxiliar y bloque de gancho.	\$ 3,20	0,4	1	Bloque, catalinas, articulaciones, incluye inspección visual
Insumos	Aceite transmisión 20 L.	\$ 39,47			
	Filtro transmisión.	\$ 16,84			
	Aceites mecanismos (telescopado, izaje, giro) (3 x 5L estimado).	\$ 47,37			
	Grasa EP2.	\$ 22,40			
TOTAL		\$ 155,68	3,7		

Figura 2-10. Pauta de mantenimiento 1.200 horas

MANTENIMIENTO CADA 2.500 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	END en pluma, base giratoria, articulaciones.	\$ 8,00	1	2	Ensayo no destructivo: líquidos penetrantes + inspección visual estructural
	Diagnóstico sensores CCS.	\$ 4,00	0,5	1	Requiere revisar pantalla principal CCS y respuesta funcional
	Revisión presión hidráulica con equipo de testeo.	\$ 4,80	0,6	1	Verifica presión inicial de sistema a baja temperatura
Cambios / Rellenos	Cambio aceite hidráulico completo.	\$ 8,00	1	2	Incluye vaciado total, purgado y llenado
	Cambio filtros presión y retorno.	\$ 4,80	0,6	1	Incluye revisión previa de condiciones externas
	Cambio refrigerante motor.	\$ 5,60	0,7	1	Incluye drenaje, limpieza parcial del sistema y llenado
	Revisión de cableado general.	\$ 3,20	0,4	1	Identificación de cables sulfatados, mal fijados o dañados
Insumos	Aceite hidráulico (mín. 60 L).	\$ 92,63			
	Filtros hidráulicos (presión y retorno).	\$ 50,53			
	Refrigerante (mín. 20 L).	\$ 27,89			
	Aditivos anticorrosivos.	\$ 10,00			
	Lubricante dieléctrico terminales batería.	\$ 4,84			
	Kit inspección estructural, Incluye análisis END (líquidos penetrantes), informe técnico.	\$ 570,00			
TOTAL		\$ 794,29	4,8		

Figura 2-11. Pauta de mantenimiento 2.500 horas

MANTENIMIENTO CADA 5.000 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Revisión general del motor.	\$ 24,00	3,0	1	Incluye prueba de compresión, fugas, alternador, bomba, inyectores
	Revisión componentes hidráulicos.	\$ 48,00	6,0	1	Cilindros hidráulicos (x14), mangueras y conexiones, bomba hidráulica principal, Bloques de válvulas y
	Evaluación completa de desgaste mecánico.	\$ 40,00	5,0	1	Inspección visual + medición de holguras estructurales
	Comprobación estructura interna del tambor de cable.	\$ 4,00	0,5	1	Palpación, inspección con luz o boroscopio según acceso
	Prueba de carga al 90% capacidad nominal.	\$ 12,00	1,5	2	Requiere contrapeso o lastre controlado con autorización operativa
Cambios / Rellenos	Sustitución de cables de izaje si hay desgaste.	\$ 16,00	2,0		OEM Grove o equivalente. 19 mm x 120 m con terminal soldado
	Sustitución de baterías.	\$ 4,00	0,5		
Insumos	Cable de izaje 19 mm x 120 m.	\$ 894,74			
	Baterías de 12V, plomo-ácido selladas, bajo mantenimiento (2 unidades).	\$ 315,79			
TOTAL		\$ 1.358,53	18,5		

Figura 2-12. Pauta de mantenimiento 5.000 horas

MANTENIMIENTO CADA 10.000 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Revisión estructural con apoyo de END (líquidos penetrantes, ultrasonido).	\$ 20,00	2,5	2	Aplicación, limpieza, interpretación y validación estructural
	Evaluación de vida útil restante del equipo (criterio de renovación).	\$ 16,00	2,0	1	Análisis estructural, desgaste general, historial de mantención
Cambios / Rellenos	Reacondicionamiento de motor.	\$ 160,00	20,0	2	Incluye desarme completo, cambio de kits, limpieza y prueba final
	Sustitución total de mangueras hidráulicas de alta presión (12-14 tramos)	\$ 48,00	6,0	2	Corte, ajuste, prensado, instalación, pruebas
	Inspección y posible reemplazo del sistema de frenos completo.	\$ 16,00	2,0	2	Frenos de servicio y estacionamiento, incluye cilindros y flexibles
Insumos	Kit reacondicionamiento motor (Manitowoc/Grove).	\$ 3.000,00			
	Kit hidráulico completo (mangueras, válvulas, sellos).	\$ 1.260,00			
	Kit frenos (balatas, cilindros, flexibles).	\$ 421,00			
	Kit estructural (placas, pasadores, refuerzos si aplica).	\$ 630,00			
TOTAL		\$ 5.571,00	32,5		

Figura 2-13. Pauta de mantenimiento 10.000 horas

Total programa de mantenimiento (USD): \$ 20.426

Total programa de mantenimiento anualizado (USD): \$ 1.021

2.4.7. Plan de mantenimiento grúa Grove RT765E-2

MANTENIMIENTO A LAS 0 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Motor: Diagnóstico de compresión, fugas, consumo irregular.	\$ 9,60	1,2	1	Incluye escáner, inspección externa y funcionamiento
	Sistema hidráulico: Verificación de presión, fugas, comportamiento en frío/caliente.	\$ 24,00	1,5	2	Incluye prueba de presión con equipo de testeo
	Transmisión: Comprobación de funcionamiento, vibraciones.	\$ 6,40	0,8	1	Conducción y revisión en carga
	Estructura: END por líquidos penetrantes en brazo, soldaduras y base giratoria.	\$ 32,00	2,0	2	Incluye aplicación, secado y análisis
	Frenos: Evaluación desgaste balatas, eficiencia de frenado, funcionamiento de freno estacionamiento.	\$ 8,00	1,0	1	Desmontaje parcial visual y prueba funcional
	Sistema eléctrico: Diagnóstico de alternador, batería, cables, fusibles.	\$ 4,80	0,6	1	Incluye medición de voltaje
	Sensorial/Electrónico: Lectura y limpieza de sensores, revisión de tablero.	\$ 4,80	0,6	1	
	Gancho y bloque: Estado de poleas, seguros, pasadores.	\$ 4,00	0,5	1	
Cambios / Rellenos	Cambio de todos los filtros (motor, hidráulico, aire, transmisión).	\$ 9,60	1,2	1	7 filtros en total
	Cambio total de aceite motor, hidráulico, transmisión, mandos finales y giro.	\$ 24,00	1,5	2	Gran volumen y múltiple acceso
	Lubricación general completa.	\$ 10,40	1,3	1	Incluye pluma, giro, catalinas, cables
	Sustitución de cable de izaje si se detecta torsión/deshilachado.	\$ 16,00	1,0	2	Incluye ajuste en tambor y prueba de carga (parcial)
Insumos	Filtros completos.	\$ 126,84			
	Aceites: motor, hidráulico, transmisión, giro.	\$ 193,16			
	Grasa EP2.	\$ 112,00			
	Líquido refrigerante.	\$ 27,89			
	Cables (si aplica).	\$ 27,89			
	Kit inspección estructural, Incluye análisis END (líquidos penetrantes), informe técnico.	\$ 570,00			
TOTAL		\$ 1.211,39	13,2		

Figura 2-14. Pauta de mantenimiento 0 horas (3.200 horas activo)

MANTENIMIENTO A LAS 300 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Motor: Tensión y desgaste de correas, fugas de aceite.	\$ 3,20	0,4	1	Incluye ajuste visual/manual y revisión de sellos
	Sistema hidráulico: Inspección de presión, válvulas y cilindros.	\$ 6,40	0,8	1	Incluye revisión de presión y fugas externas
	Transmisión: Revisión funcionamiento y nivel.	\$ 4,00	0,5	1	Incluye nivel de aceite y prueba en carga
	Eléctrico: Diagnóstico visual de arneses, alternador, fusibles.	\$ 3,20	0,4	1	Diagnóstico básico visual y eléctrico
	Visual y seguridad: Estado de luces, espejos, parabrisas, cinturón, estructura externa.	\$ 4,80	0,6	1	Revisión periférica y checklist
	Chequeo de frenos.	\$ 4,00	0,5	1	Estado de balatas y freno de estacionamiento
Cambios / Rellenos	Revisión tensión correas motor.	\$ 2,40	0,3	1	
	Filtro de aire primario.	\$ 2,40	0,3	1	
	Filtro de combustible.	\$ 3,20	0,4	1	Incluye purga y ajuste
	Lubricación de todos los puntos.	\$ 10,40	1,3	1	
	Nivel aceite motor (relleno si necesario).	\$ 1,60	0,2	1	Solo si está por debajo del mínimo
	Nivel hidráulico y transmisión (relleno si necesario).	\$ 2,40	0,3	1	Por pérdida leve o ajuste de operación
Insumos	Filtro de aire primario.	\$ 16,84			
	Filtro combustible.	\$ 14,74			
	Grasa litio EP2.	\$ 112,00			
	Limpiador dieléctrico.	\$ 4,74			
	Paños + solvente desengrasante.	\$ 10,32			
TOTAL		\$ 206,63	6,0		

Figura 2-15. Pauta de mantenimiento 300 horas

MANTENIMIENTO A LAS 600 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Evaluación integridad brazo telescópico.	\$ 6,40	0,8	1	Incluye verificación de fisuras, juego y guías internas
	Revisión estado de cables principales y auxiliares.	\$ 4,00	0,5	1	Incluye inspección visual y verificación de tensión
	Chequeo válvulas hidráulicas por presión diferencial.	\$ 5,60	0,7	1	Requiere uso de manómetros o equipo hidráulico portátil
	Revisión de transmisión y vibraciones.	\$ 4,80	0,6	1	Incluye prueba funcional y verificación de acoplamientos
	Análisis de vibraciones en winche principal.	\$ 4,80	0,6	1	Puede requerir carga parcial y prueba bajo trabajo
Cambios / Rellenos	Filtro de aire secundario.	\$ 2,40	0,3	1	
	Filtro separador agua.	\$ 3,20	0,4	1	Incluye purga
	Cambio aceite y filtro motor.	\$ 5,60	0,7	1	Incluye vaciado, reemplazo y carga nueva
	Cambio filtro retorno hidráulico.	\$ 4,00	0,5	1	Incluye inspección de fluido en retorno
	Revisión y relleno líquido de frenos.	\$ 2,40	0,3	1	Solo si nivel bajo, incluye purga rápida
	Revisión batería y carga.	\$ 2,40	0,3	1	Incluye tensión en carga y revisión terminales
	Limpieza de sistema refrigeración.	\$ 4,80	0,6	1	Limpieza con aire a presión o lavado controlado
Insumos	Filtro aceite motor.	\$ 13,68			
	Filtro retorno hidráulico.	\$ 18,95			
	Aceite motor 15W-40.	\$ 44,21			
	Filtro separador de agua.	\$ 14,21			
	Líquido frenos DOT4.	\$ 5,26			
	Refrigerante.	\$ 27,89			
TOTAL		\$ 174,61	6,3		

Figura 2-16. Pauta de mantenimiento 600 horas

MANTENIMIENTO A LAS 1.200 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Sistema de giro y malacates (ajuste, juego, vibraciones).	\$ 5,60	0,7	1	Requiere prueba bajo carga si es posible
	Ruidos en mecanismos telescopados.	\$ 3,20	0,4	1	Evaluación dinámica durante operación
	Desgaste en pastillas de freno (estacionamiento y servicio).	\$ 4,00	0,5	1	Visual + verificación de espesor y respuesta
	Revisión cableado completo (reemplazar secciones sulfatadas).	\$ 4,80	0,6	1	Incluye corrección o retiro de secciones sulfatadas
	Diagnóstico sensores de seguridad.	\$ 4,00	0,5	1	Involucra revisión en tablero CCS o pruebas funcionales básicas
	Verificación de bloque de gancho (desgaste, deformación).	\$ 4,00	0,5	1	Incluye poleas y pasadores
Cambios / Rellenos	Cambio aceite transmisión y filtro.	\$ 5,60	0,7	1	Incluye vaciado y llenado de 20 L
	Cambio aceite mecanismos telescopado, izaje y giro.	\$ 8,00	1,0	1	Cada sistema puede requerir viscosidad específica
	Engrase completo de cable auxiliar y bloque de gancho.	\$ 3,20	0,4	1	Bloque, catalinas, articulaciones, incluye inspección visual
	Engrase articulaciones, pluma, catalinas.	\$ 4,80	0,6	1	Lubricación general con pistola manual
Insumos	Aceite transmisión 20 L.	\$ 39,47			
	Filtros transmisión.	\$ 16,84			
	Aceites mecanismos (telescópica, izaje, giro) (3 x 5L estimado).	\$ 47,37			
	Grasa EP2.	\$ 22,40			
TOTAL		\$ 173,28	5,9		

Figura 2-17. Pauta de mantenimiento 1200 horas

MANTENIMIENTO A LAS 2.500 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	END en pluma, base giratoria, articulaciones, soldaduras, pluma, chasis.	\$ 40,00	2,5	2	Ensayo no destructivo: líquidos penetrantes + inspección visual estructural
	Diagnóstico sensores CCS (Revisión completa de sensores y alarmas).	\$ 5,60	0,7	1	Requiere revisar pantalla principal CCS y respuesta funcional
	Evaluación presión hidráulica y respuesta en frío.	\$ 5,60	0,7	1	Verifica presión inicial de sistema a baja temperatura
Cambios / Rellenos	Cambio aceite hidráulico completo.	\$ 16,00	1,0	2	Incluye vaciado total, purgado y llenado
	Cambio filtros presión y retorno.	\$ 4,80	0,6	1	Incluye revisión previa de condiciones externas
	Cambio refrigerante motor.	\$ 5,60	0,7	1	Incluye drenaje, limpieza parcial del sistema y llenado
	Revisión de cableado general.	\$ 3,20	0,4	1	Identificación de cables sulfatados, mal fijados o dañados
	Lubricación y limpieza del tambor del cable.	\$ 3,20	0,4	1	Incluye aplicación de lubricante anticorrosivo y limpieza
	Sustitución parcial de mangueras hidráulicas con desgaste por roce.	\$ 24,00	1,5	2	Tiempo varía según cantidad (asumido 4 mangueras aprox.)
Insumos	Aceite hidráulico (mín. 60 L).	\$ 92,63			
	Filtros hidráulicos (presión y retorno).	\$ 50,53			
	Refrigerante (mín. 20 L).	\$ 27,89			
	Aditivos anticorrosivos.	\$ 10,00			
	Lubricante dieléctrico terminales batería.	\$ 4,84			
	Mangueras hidráulicas (según resultado).	\$ 630,00			
TOTAL		\$ 923,89	8,5		

Figura 2-18. Pauta de mantenimiento 2500 horas

MANTENIMIENTO A LAS 5.000 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Revisión general del motor.	\$ 32,00	4,0	1	Incluye prueba de compresión, fugas, alternador, bomba, inyectores
	Revisión componentes hidráulicos.	\$ 64,00	8,0	1	Inspección de cilindros, mangueras, válvulas, bomba, presión
	Evaluación completa de desgaste mecánico.	\$ 48,00	6,0	1	Inspección visual + medición de holguras estructurales
	Comprobación estructura interna del tambor de cable.	\$ 4,00	0,5	1	Palpación, inspección con luz o boroscopio según acceso
	Prueba de carga al 100% (si condiciones lo permiten)	\$ 32,00	2,0	2	Simulación en carga máxima, requiere protocolo y supervisión
Cambios / Rellenos	Sustitución de cables de izaje si hay desgaste	\$ 32,00	2,0	2	OEM Grove o equivalente. 19 mm x 120 m con terminal soldado
	Sustitución de baterías .	\$ 4,00	0,5	1	
	Reemplazo preventivo de cilindros hidráulicos críticos.	\$ 24,00	1,5	2	Se considera al menos 2 cilindros mayores (pluma o giro)
Insumos	Cable de izaje 19 mm x 120 m (OEM Grove).	\$ 894,74			
	Baterías de 12V, plomo-ácido selladas, bajo mantenimiento (2 unidades).	\$ 157,89			
	Cilindros hidráulicos críticos (2 unidades).	\$ 842,00			
TOTAL		\$ 2.134,63	24,5		

Figura 2-19. Pauta de mantenimiento 5.000 horas

MANTENIMIENTO A LAS 10.000 HORAS					
CATEGORÍA	TAREAS	USD	HP	P	COMENTARIO
Inspecciones	Revisión estructural con apoyo de END (líquidos penetrantes, ultrasonido).	\$ 48,00	3,0	2	Aplicación, limpieza, interpretación y validación estructural
	Evaluación de vida útil restante del equipo (criterio de renovación).	\$ 24,00	3,0	1	Análisis estructural, desgaste general, historial de mantención
Cambios / Rellenos	Reacondicionamiento de motor.	\$ 640,00	40,0	2	Incluye desarme completo, cambio de kits, limpieza y prueba final
	Sustitución total de mangueras hidráulicas de alta presión (12-14 tramos)	\$ 96,00	6,0	2	Corte, ajuste, prensado, instalación, pruebas
	Inspección y posible reemplazo del sistema de frenos completo.	\$ 32,00	2,0	2	Frenos de servicio y estacionamiento, incluye cilindros y flexibles
Insumos	Kit reacondicionamiento motor (Manitowoc/Grove).	\$ 3.800,00			
	Kit hidráulico completo (mangueras, válvulas, sellos).	\$ 1.260,00			
	Kit frenos (balatas, cilindros, flexibles).	\$ 421,00			
	Kit estructural (placas, pasadores, refuerzos si aplica).	\$ 630,00			
TOTAL		\$ 6.951,00	54,0		

Figura 2-20. Pauta de mantenimiento 10.000 horas

Total programa de mantenimiento (USD): \$ 29.617

Total programa de mantenimiento anualizado (USD): \$ 1.480

2.5. CONTRATO ACTUAL DE ARRIENDO DE GRÚAS

GR Grúas es una empresa ampliamente reconocida en el sector, especializada en el arriendo de camiones pluma y grúas telescópicas. Ofrecen servicios de izaje en la zona de La Calera, con una flota versátil que incluye grúas con capacidades que van desde 5 hasta 50 toneladas, camiones pluma con capacidad de 7 toneladas, y plataformas alzahombres con un alcance de hasta 23 metros.

En la actualidad, la maestranza mantiene un contrato de arriendo anual de maquinaria con GR Grúas, el cual incluye los costos asociados al mantenimiento, pero no así los costos de consumo de combustible ni el sueldo del operador, que es costeado por la empresa. Este contrato vigente es de carácter anual, sin embargo, la empresa no ha revelado el costo exacto del arriendo. Por ello, para efectos del análisis del presente proyecto, se estimó y se realizó una sensibilización financiera utilizando dos escenarios de referencia, ambos basados en valores de mercado de arriendo de maquinaria pesada similar.

El primer escenario, considerado optimista, asume un contrato con un valor elevado de USD \$144.000 anuales, lo que representaría un costo alto de arriendo. El segundo escenario, más conservador o pesimista, considera un contrato de menor valor, estimado en USD \$72.000 anuales. Esta doble estimación permite evaluar la rentabilidad y viabilidad del proyecto bajo distintas condiciones económicas de referencia.

GRgrúas Ingeniería en Izajes (grúa Liebherr LTM 1040-2.1)

- Costo total arriendo maquinaria anualizado (optimista): \$144.000
- Costo total arriendo maquinaria anualizado (conservador): \$72.000

Se incluye dentro de los costos estimados para ambos escenarios el consumo anual aproximado de diésel, considerando un motor de potencia pequeña (entre 150 y 200 hp), operando bajo condiciones de exigencia baja. Este tipo de operación contempla principalmente maniobras esporádicas y desplazamientos limitados dentro del recinto, con un consumo promedio estimado de entre 10 litros por hora.

3. **CAPÍTULO 3: “EVALUACIÓN FINANCIERA Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD”**

3.1. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS FINANCIERO

En el contexto de una evaluación técnico-económica, el análisis financiero constituye una herramienta esencial para respaldar la toma de decisiones en inversiones de capital, como es el caso de la sustitución de una grúa de izaje. La sola comparación técnica entre alternativas no es suficiente si no se considera el impacto económico a lo largo del ciclo de vida del activo, incluyendo costos de adquisición, operación, mantenimiento, financiamiento y beneficios esperados.

El método más eficaz para evaluar la conveniencia económica de las distintas opciones es la elaboración de un flujo de caja proyectado. Este instrumento permite visualizar de manera estructurada los ingresos y egresos asociados a cada alternativa durante un periodo determinado, facilitando el análisis comparativo de escenarios. A través del flujo de caja se pueden calcular indicadores clave como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión, los cuales proporcionan criterios cuantitativos sólidos para determinar la viabilidad económica del proyecto. El uso de este enfoque permite además incorporar variables dinámicas como la inflación, el valor del dinero en el tiempo y los costos evitados por dejar de arrendar grúas externas, elementos que son críticos en la estimación del retorno real de la inversión. En definitiva, el análisis financiero fundamentado en flujos de caja no solo permite comparar objetivamente las alternativas de adquisición (nueva vs. usada), sino que también otorga a la empresa una visión clara sobre la sustentabilidad económica de su decisión en el mediano y largo plazo.

Objetivo del análisis: identificar la opción más rentable considerando factores como inversión inicial, costos operativos, mantenimiento, y depreciación.

3.2. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS

Factores clave considerados en el cálculo en ambas proyecciones

Evaluación del flujo de caja proyectado a 30 años

Para efectos de análisis económico, se ha considerado una proyección del flujo de caja a un horizonte de 30 años, correspondiente a la vida útil estimada del nuevo activo. Este período permite evaluar de forma integral los costos operativos, beneficios económicos y recuperación de la inversión inicial en el largo plazo.

Horas de operación:

- Diaria: 2.5
- Mensual: 50
- Anual: 600
- 30 años: 18.000

Ingreso por venta de activo reemplazado:

Se estima un ingreso único por la venta de la grúa actual (Cole HIDRA 300T), cuyo estado de conservación y antigüedad no permiten su operación continua. Sin embargo, se considera su valorización como venta para repuestos o chatarra. Este ingreso se contabiliza al inicio del proyecto y reduce el capital neto requerido.

- Venta grúa antigua: \$10.526

Costos operativos:

- Costo anual de combustible diésel: \$6.600

Costo de operación asociado al operador

El costo mensual correspondiente al sueldo del operador de la grúa no se considera dentro de los costos incrementales del proyecto, ya que actualmente este gasto ya está presente debido al uso de una grúa arrendada. Por lo tanto, al adquirir cualquiera de las dos alternativas de grúa evaluadas, dicho costo se mantendría constante y no representa una variación atribuible a la inversión.

Datos económicos:

- Tasas de descuento: 8%

Referencia estándar de proyectos industriales en Chile

GRgrúas Ingeniería en Izajes (grúa Liebherr LTM 1040-2.1)

- Costo total arriendo maquinaria anualizado (optimista): \$144.000
- Costo total arriendo maquinaria anualizado (conservador): \$72.000

3.2.1. Grúa nueva

Inversión inicial (Incluye costos de transporte y entrega):

- Grúa Grove GRT655: \$609.895
- Eslinga cadena 4 ramales: \$5.500

Costos de puesta en marcha:

- Capacitación operador: \$2.500

Costos por mantenimiento (Incluye mano de obra insumos necesarios):

- Mant inicial (primeras 50 h): \$27,41
- Mant 300 horas: \$119,46
- Mant 600 horas: \$129,92
- Mant 1.200 horas: \$155,68
- Mant 2.500 horas: \$794,29
- Mant 5.000 horas: \$1.358,53
- Mant 10.000 horas (reacondicionamiento): \$5.571,00

3.2.2. Flujo de caja grúa Grove GRT655

1.-

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Horas		600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000	6600	7200	7800	8400
Ahorro en servicios de a		\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00
Venta grúa antigua	\$ 10.526														
Capacitación	\$ -2.500														
Consumo combustible		\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
Mant inicial (primeras 50 h)	\$ -27,41														
Mant 300 h		\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92
Mant 600 h		\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92
Mant 1200 h			\$ -155,68	\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68	\$ -155,68
Mant 2500 h						\$ -794,29				\$ -794,29				\$ -794,29	
Mant 5000 h									\$ -1.358,53						
Mant 10000 h (reacondicionamiento)															
Valor desecho															
Inversión inicial	\$ -615.395														
Flujo de caja	\$ -607.369	\$ 137.004	\$ 136.875	\$ 137.031	\$ 136.875	\$ 136.237	\$ 136.875	\$ 137.031	\$ 136.875	\$ 134.878	\$ 136.875	\$ 137.031	\$ 136.875	\$ 136.237	\$ 136.875

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
9000	9600	10200	10800	11400	12000	12600	13200	13800	14400	15000	15600	16200	16800	17400	18000
\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00
\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92
\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92
\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68	\$ -155,68
		\$ -794,29				\$ -794,29				\$ -794,29				\$ -794,29	
		\$ -1.358,53								\$ -1.358,53					
		\$ -5.571,00													
															\$ -
\$ 137.031	\$ 136.875	\$ 129.307	\$ 136.875	\$ 137.031	\$ 136.875	\$ 136.237	\$ 136.875	\$ 137.031	\$ 136.875	\$ 134.878	\$ 136.875	\$ 137.031	\$ 136.875	\$ 136.237	\$ 136.875

Figura 3-1. Flujo de caja escenario optimista Grove GRT655

Indicadores de Evaluación Económica del Proyecto

- VAN: \$929.876
- TIR: 22%
- PAYBACK: 6 años

2.-

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Horas		600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000	6600	7200	7800	8400
Ahorro en servicios de a	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00
Venta grúa antigua	\$ 10.526														
Capacitación	\$ -2.500														
Consumo combustible	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
Mant inicial (primeras 50 h)	\$ -27,41														
Mant 300 h	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92
Mant 600 h	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92
Mant 1200 h		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68	\$ -155,68
Mant 2500 h					\$ -794,29				\$ -794,29				\$ -794,29		\$ -794,29
Mant 5000 h									\$ -1.358,53						
Mant 10000 h (reacondicionamiento)															
Valor desecho															
Inversión inicial	\$ -615.395														
Flujo de caja	\$ -607.369	\$ 65.004	\$ 64.875	\$ 65.031	\$ 64.875	\$ 64.237	\$ 64.875	\$ 65.031	\$ 64.875	\$ 62.878	\$ 64.875	\$ 65.031	\$ 64.875	\$ 64.237	\$ 64.875

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
9000	9600	10200	10800	11400	12000	12600	13200	13800	14400	15000	15600	16200	16800	17400	18000
\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00
\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92	\$ -238,92
\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92	\$ -129,92
	\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68		\$ -155,68
	\$ -794,29				\$ -794,29				\$ -794,29				\$ -794,29		\$ -794,29
	\$ -1.358,53								\$ -1.358,53						
	\$ -5.571,00														
															\$ -
\$ 65.031	\$ 64.875	\$ 57.307	\$ 64.875	\$ 65.031	\$ 64.875	\$ 64.237	\$ 64.875	\$ 65.031	\$ 64.875	\$ 62.878	\$ 64.875	\$ 65.031	\$ 64.875	\$ 64.237	\$ 64.875

Figura 3-2. Flujo de caja escenario conservador Grove GRT655

Indicadores de Evaluación Económica del Proyecto

- VAN: \$119.315
- TIR: 9%
- PAYBACK: 19 años

3.2.3. Grúa usada

3,200 hrs = 5,3 años de uso aprox. (contexto maestranza)

Inversión inicial (Incluye costos de transporte y entrega):

- Grúa Grove RT765E-2: \$171.421
- Eslinga cadena 4 ramales: \$5.500

Costos de puesta en marcha:

- Capacitación operador: \$1.500

Costos por mantenimiento (Incluye mano de obra insumos necesarios):

- Mant inicial 0 horas (3.200 h): \$1.211,39
- Mant 300 horas: \$206,63
- Mant 600 horas: \$174,61
- Mant 1.200 horas: \$173,28
- Mant 2.500 horas: \$923,89
- Mant 5.000 horas: \$2.134,63
- Mant 10.000 horas (reacondicionamiento): \$6.951,00

3.2.4. Flujo de caja grúa Grove RT765E-2

1.-

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Horas		600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000	6600	7200	7800	8400
Ahorro en servicios de a	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00
Venta grúa antigua	\$ 10.526														
Capacitación	\$ -1.500														
Consumo combustible	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
Mant inicial (primeras 50 h)	\$ -1.211,39														
Mant 300 h	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26
Mant 600 h	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61
Mant 1200 h		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28	
Mant 2500 h					\$ -923,89					\$ -923,89				\$ -923,89	
Mant 5000 h									\$ -2.134,63						
Mant 10000 h (reacondicionamiento)															
Valor desecho															
Inversión inicial	\$ -176.921														
Flujo de caja	\$ -167.895	\$ 135.601	\$ 136.639	\$ 136.812	\$ 136.639	\$ 135.888	\$ 136.639	\$ 136.812	\$ 136.639	\$ 133.754	\$ 136.639	\$ 136.812	\$ 136.639	\$ 135.888	\$ 136.639

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
9000	9600	10200	10800	11400	12000	12600	13200	13800	14400	15000	15600	16200	16800	17400	18000
\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00
\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26
\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61
	\$ -173,28	\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28	
	\$ -923,89				\$ -923,89				\$ -923,89				\$ -923,89		
	\$ -2.134,63								\$ -2.134,63						
	\$ -6.951,00														
															\$ -
\$ 136.812	\$ 136.639	\$ 126.803	\$ 136.639	\$ 136.812	\$ 136.639	\$ 135.888	\$ 136.639	\$ 136.812	\$ 136.639	\$ 133.754	\$ 136.639	\$ 136.812	\$ 136.639	\$ 135.888	\$ 136.639

Figura 3-3. Flujo de caja escenario optimista Grove RT765E-2

Indicadores de rentabilidad y viabilidad económica.

- VAN: \$1.354.314
- Tir: 81%
- Payback: 2 años

2.-

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Horas		600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000	6600	7200	7800	8400
Ahorro en servicios de a	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00
Venta grúa antigua	\$ 10.526														
Capacitación	\$ -1.500														
Consumo combustible	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
Mant inicial (primeras 50 h)	\$ -1.211,39														
Mant 300 h	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26
Mant 600 h	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61
Mant 1200 h		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28	
Mant 2500 h					\$ -923,89					\$ -923,89				\$ -923,89	
Mant 5000 h										\$ -2.134,63					
Mant 10000 h (recondicionamiento)															
Valor desecho															
Inversión inicial	\$ -176.921														
Flujo de caja	\$ -167.895	\$ 63.601	\$ 64.639	\$ 64.812	\$ 64.639	\$ 63.888	\$ 64.639	\$ 64.812	\$ 64.639	\$ 61.754	\$ 64.639	\$ 64.812	\$ 64.639	\$ 63.888	\$ 64.639

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
9000	9600	10200	10800	11400	12000	12600	13200	13800	14400	15000	15600	16200	16800	17400	18000
\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00	\$ 72.000,00
\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00	\$ -6.600,00
\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26	\$ -413,26
\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61	\$ -174,61
	\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28		\$ -173,28
	\$ -923,89				\$ -923,89					\$ -923,89				\$ -923,89	
	\$ -2.134,63									\$ -2.134,63					
	\$ -6.951,00														
															\$ -
\$ 64.812	\$ 64.639	\$ 54.803	\$ 64.639	\$ 64.812	\$ 64.639	\$ 63.888	\$ 64.639	\$ 64.812	\$ 64.639	\$ 61.754	\$ 64.639	\$ 64.812	\$ 64.639	\$ 63.888	\$ 64.639

Figura 3-4. Flujo de caja escenario conservador Grove RT765E-2

Indicadores de rentabilidad y viabilidad económica.

- VAN: \$553.753
- Tir: 38%
- Payback: 4 años

3.2.5. Análisis comparativo y evaluación económica

Ambas alternativas evaluadas (la adquisición de una grúa nueva modelo GRT655 y una grúa usada modelo RT765E-2) resultan económicamente viables bajo los criterios definidos, con VAN positivos y TIR superiores a la tasa de descuento del 8% en todos los escenarios analizados.

Dado que se consideraron dos escenarios para cada alternativa (uno optimista y otro conservador), los resultados permiten comprender el comportamiento financiero de cada inversión bajo diferentes supuestos de costos de arriendo evitado:

- Grúa nueva GRT655:
 - *Escenario optimista*: VAN: USD 929.876 / TIR: 22% / Payback: 6 años
 - *Escenario conservador*: VAN: USD 119.315 / TIR: 9% / Payback: 19 años
- Grúa usada RT765E-2:
 - *Escenario optimista*: VAN: USD 1.354.314 / TIR: 81% / Payback: 2 años
 - *Escenario conservador*: VAN: USD 553.753 / TIR: 38% / Payback: 4 años

El análisis comparativo permite establecer las siguientes conclusiones clave:

- **Mayor rentabilidad de la alternativa usada en todos los escenarios:** La grúa RT765E-2 presenta en ambos escenarios un VAN superior al de la grúa nueva, con diferencias que alcanzan los USD 424.438 en el escenario optimista y USD 434.438 en el conservador. Esto evidencia una generación de valor significativamente mayor a lo largo del horizonte de evaluación.
- **Recuperación acelerada de la inversión en la alternativa usada:** Mientras la grúa nueva tiene un periodo de retorno que se extiende a 19 años en el escenario conservador, la opción usada logra recuperar la inversión en apenas 4 años en ese mismo contexto, y en solo 2 años en el escenario optimista. Esto reduce considerablemente el riesgo financiero del proyecto.

- **La TIR de la grúa usada destaca ampliamente:** Incluso en el escenario conservador, la TIR de la alternativa usada (38%) supera ampliamente tanto la tasa de descuento como la TIR de la opción nueva. En el escenario optimista, la TIR de 81% refuerza la alta rentabilidad relativa por cada dólar invertido.
- **Impacto de costos de mantenimiento y reacondicionamiento:** Si bien la grúa usada requerirá mayores gastos en mantenimiento, estos han sido considerados en los flujos y no logran revertir la conveniencia económica. La alternativa usada sigue siendo más rentable incluso con una planificación de mantenimiento más intensiva.

Finalmente, se destaca que ambas opciones son sustancialmente más rentables que continuar con el arriendo de grúas externas. El análisis financiero muestra que los costos acumulados por concepto de arriendo a lo largo del horizonte de evaluación superan ampliamente el valor presente neto de cualquiera de las dos alternativas de adquisición en todos los escenarios posibles. En consecuencia, la decisión de compra ya sea nueva o usada, representa una estrategia económicamente sólida para la empresa, eliminando la dependencia de proveedores externos, reduciendo costos operativos recurrentes y permitiendo una mejor planificación y control de recursos a largo plazo.

3.3. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS

El análisis financiero realizado mediante flujos de caja descontados para un horizonte de 30 años permite establecer con claridad la viabilidad económica de ambas alternativas evaluadas: la adquisición de una grúa nueva modelo GRT655 y una grúa usada modelo RT765E-2 con 3.200 horas de operación.

Ambas opciones resultan económicamente rentables frente al escenario de referencia (arriendo externo), ya que presentan VAN positivo y TIR superior al 8%, definida como tasa de descuento. Sin embargo, al considerar dos escenarios de análisis (optimista y conservador), se evidencian diferencias significativas entre ambas alternativas. En ambos escenarios, la grúa usada muestra una ventaja financiera clara. Su VAN alcanza los USD 1.354.314 en el escenario optimista y USD 553.753 en el conservador, con TIR de 81% y 38%, respectivamente, y recuperación de la inversión en 2 y 4 años. En cambio, la grúa nueva, aunque también rentable, presenta un VAN de USD 929.876 en el escenario optimista y solo USD 119.315 en el conservador, con TIR de 22% y 9%, y periodos de recuperación de 6 y 19 años, respectivamente. Esto refleja una inversión más exigente en capital y con retornos más lentos.

Cabe destacar que, aunque al finalizar el proyecto ambas grúas alcanzan un valor de rescate igual a cero, la adquisición de una grúa nueva representa una ventaja cualitativa: la empresa contará con un equipo de tecnología más moderna, operado desde el inicio bajo sus propios estándares, con trazabilidad completa del historial de uso y mantenimiento. Ambos equipos, tras el overhaul considerado en el análisis, podrán extender su vida útil en al menos 8.000 a 10.000 horas adicionales, permitiendo su continuidad operativa más allá del horizonte evaluado. En suma, desde el punto de vista económico, técnico y estratégico, la grúa usada entrega un mayor retorno financiero, con menor riesgo de capital inmovilizado y un impacto más favorable en el flujo de caja de la empresa. No obstante, la grúa nueva ofrece ventajas relevantes en términos de gestión, estandarización y modernización del parque de maquinaria, lo que podría ser considerado como valor estratégico para la empresa en el largo

RECOMENDACIONES FINALES

Con base en los antecedentes técnicos, económicos y operacionales evaluados, se recomienda optar por la adquisición de la grúa usada RT765E-2, dado que representa la alternativa más rentable y financieramente sostenible para la empresa en el contexto actual. Su menor inversión inicial, alto VAN y rápida recuperación hacen de esta opción una estrategia eficiente para optimizar recursos y reducir costos asociados al arriendo. No obstante, debido a su condición de activo usado, es indispensable implementar medidas de mitigación que aseguren su confiabilidad operativa y extiendan su vida útil proyectada. Para ello, se proponen las siguientes acciones:

- Aplicar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo integral, ajustado a la condición de desgaste del equipo, con controles periódicos en los sistemas hidráulico, estructural, eléctrico y de transmisión.
- Realizar un reacondicionamiento inicial que contemple la sustitución de componentes críticos, sellos, mangueras, filtros y otros elementos con desgaste acumulado, en función de la evaluación técnica previa a la puesta en marcha.
- Negociar garantías técnicas y soporte postventa con el proveedor, incluyendo compromiso de provisión de repuestos, asistencia técnica y revisión a intervalos definidos.
- Establecer indicadores de desempeño (KPI) tales como disponibilidad, tiempo medio entre fallas (MTBF) y costo por hora de operación, para monitorear el rendimiento del equipo en condiciones reales de trabajo.
- Mantener un registro técnico detallado e historial completo de la grúa, documentando cada intervención, reparación, falla, inspección o actividad de mantenimiento realizada. Esta trazabilidad permitirá no solo optimizar la planificación futura, sino también realizar análisis de fallas sistemáticos (RCA o AMFEC) y estudios de confiabilidad que orienten decisiones futuras sobre renovación o reacondicionamiento.

- Evaluar, hacia el final del ciclo de uso, una eventual segunda etapa de reacondicionamiento o sustitución del activo, en base a la evolución de su estado mecánico y desempeño financiero.

Estas recomendaciones permitirán reducir riesgos técnicos, mantener la continuidad operacional, y maximizar el retorno sobre la inversión, asegurando que la decisión de adquirir un equipo usado se traduzca en un activo productivo y confiable durante toda su vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Curva de la bañera: Comportamiento de una máquina.* (s. f.). TRACTIAN. <https://tractian.com/es/blog/la-curva-de-la-banera-entienda-el-comportamiento-de-una-maquina>
2. Wilde, B. B. (s. f.). *Presentación de Maestranza Wilde.* Scribd. <https://es.scribd.com/document/95062200/Presentacion-de-Maestranza-Wilde>
3. *History of Coles Cranes of Sunserland and workshop models made at the works.* (s. f.). <https://www.tonyonthemoon.co.uk/Coles-model-hydra300.html>
4. *Understanding Common Hydraulic System Problems and Solutions.* (2021, 24 marzo). https://www.millerwelds.com/resources/article-library/understanding-common-hydraulic-system-problems-and-solutions?utm_
5. López, B. S. (2021, 13 octubre). *Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).* Ingeniería Industrial Online. <https://ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>
6. Mader, N. (2025, 15 abril). Equipment purchasing guide: Pros and cons of new vs. used equipment | Landscape Management. *Landscape Management.* <https://www.landscapemanagement.net/a-new-look-at-an-old-debate/>
7. Sicma. (2024, 19 febrero). Guía completa de mantenimiento preventivo industrial. *Soluciones Integrales para la Industria 4.0.* https://www.sicma21.com/guia-del-mantenimiento-preventivo-industrial/?utm_source=chatgpt.com