

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

PROPUESTA DE MEJORA EN EL DISEÑO DE TAPA DE MOTOR EN
EQUIPO TOPLIFTER DCG80-90

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial con
Licenciatura en Ingeniería

Alumno:
Francisco Molina Menares

Profesor Guía:
Mg. Ing. Alejandro Badilla Bello



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo _____ **PROPUESTA DE MEJORA EN EL DISEÑO DE TAPA DE MOTOR EN EQUIPO TOPLIFTER DCG80-G0**

Nombre del candidato(a): Francisco Javier Molina Menares

Carrera / Grado: LICENCIADO INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Campus: Sede viña del mar **Departamento:** Depto. De Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

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

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

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

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: _____ **Firma:** _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: _____ 31/08/2026 **Firma:** _____

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

Resumen

Keywords: Mantenimiento industrial, Análisis de causa raíz, Polución, Diseño mecánico, Confiabilidad operacional.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo desarrollar una propuesta de rediseño para la tapa inferior del motor del equipo portacontenedor Toplifter DCG 80-90, utilizado en las operaciones de Sitrans Ltda., con el fin de reducir las fallas asociadas a la contaminación por polución y mejorar la confiabilidad operacional del equipo.

En una primera etapa, se realizó un análisis del contexto operacional del equipo, identificando condiciones de trabajo caracterizadas por terrenos irregulares, vibraciones constantes y altos niveles de material particulado. A partir de este diagnóstico, se evidenció el deterioro prematuro de la tapa inferior del motor, lo que genera exposición directa de componentes críticos y aumenta la frecuencia de fallas.

Posteriormente, se aplicó un análisis de causa raíz (ACR), el cual permitió identificar que la problemática principal se origina en una incompatibilidad entre el diseño original del componente y las condiciones reales de operación. Este análisis evidenció que el material utilizado y el sistema de sujeción no son adecuados para soportar las exigencias del entorno.

En función de lo anterior, se desarrolló una propuesta de rediseño basada en el uso de una tapa inferior de acrílico, reforzada con aluminio reutilizado y fijada mediante un sistema de pasadores. La propuesta fue modelada y evaluada mediante software CAD, permitiendo analizar su comportamiento estructural y validar su viabilidad técnica.

Los resultados obtenidos muestran que la solución permite reducir significativamente el ingreso de polución al compartimiento inferior del motor, protegiendo componentes críticos como el sistema de refrigeración, módulos electrónicos y turbo. Esto se traduce en una disminución de fallas, reducción de tiempos de detención y mejora en los indicadores de mantenimiento.

Finalmente, el análisis técnico-económico demuestra que la implementación del rediseño es viable, considerando que la inversión requerida es baja en comparación con los costos

asociados a fallas en componentes críticos. En este sentido, la propuesta contribuye a mejorar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa del equipo, adaptando su diseño a las condiciones reales de trabajo.

Índice general

Resumen	I
Siglas y Símbolos	VI
Introducción	1
Objetivos	3
Capítulo 1: ANTECEDENTES GENERALES	4
1.1. Antecedentes generales	5
1.1.1. Antecedentes de la empresa	5
1.1.2. Misión	6
1.1.3. Visión	6
1.1.4. Actividades realizadas en taller	6
1.1.5. Control de riesgos de fatalidad	7
1.1.6. Características Toplifter DCG 80-90	8
1.1.7. Condiciones operacionales del equipo	9
1.1.8. Efectos de la polución en componentes del equipo.....	10
1.2. Análisis de causa raíz.....	12
1.2.1. Definición del problema.....	13
1.2.2. Identificación de causas potenciales.....	13
1.2.3. Determinación de la causa raíz.....	14
1.2.4. Acciones correctivas propuestas.....	14
Capítulo 2: PROPUESTA DE MEJORA Y EVALUACION MECÁNICA	15
2.1. Propuesta de mejora y evaluación mecónica de la tapa inferior.....	16
2.1.1. Introducción del capítulo.....	16
2.1.2. Identificación del problema en la tapa inferior.....	16
2.1.3. Hipótesis de diseño.....	17

2.1.4.	Diseño preliminar en software CAD.....	17
2.1.5.	Simulación de deformación	19
2.1.6.	Sistema de fijación propuesto	20
2.1.7.	Materiales utilizados en la propuesta.....	22
2.1.8.	Comparación entre condición original y propuesta implementada	25
2.1.9.	Limitaciones identificadas en la solución inicial.....	27
2.1.10.	Síntesis del capítulo.....	28
Capítulo 3:	ANÁLISIS TÉCNICO-ECONOMICO	29
3.1.	Evaluación de la propuesta	30
3.1.1.	Introducción del capítulo	30
3.1.2.	Impacto de la polución en componentes críticos	30
3.1.3.	Análisis global de fallas	36
3.1.4.	Evaluación de la propuesta de mejora	37
3.1.5.	Comparación operativa	37
3.1.6.	Impacto en costos de mantenimiento	38
3.1.7.	Análisis técnico-económico	39
3.1.8.	Síntesis del capítulo	40
Conclusiones		41
Bibliografía		43

Índice de figuras

1.1.	Logo corporativo de Sitrans.	5
1.2.	Sucursal Sitrans Curauma.	6
1.3.	Área de taller mecánico.	7
1.4.	Reglas de oro para el control de riesgo de fatalidad.	8
1.5.	Portacontenedor Toplifter DCG 80-90.	9
1.6.	Equipo operando en condición de alta polución.....	10
1.7.	Baterías afectadas por acumulación de polución.....	11
1.8.	Toplifter DCG 80-90 sin tapa cubre motor inferior	12
1.9.	Diagrama de Ishikawa del análisis de causa raíz.....	13
2.1.	Diseño CAD preliminar de la tapa inferior	18
2.2.	Simulación CAD de deformación en la tapa inferior.....	19
2.3.	Resultado de deformación de la propuesta en software CAD	20
2.4.	Pasador de fijación para el sistema de sujeción.....	21
2.5.	Medición del pasador de fijación.....	22
2.6.	Plancha de aluminio reutilizada como refuerzo estructural.....	23
2.7.	Plancha de acrílico utilizada en la propuesta	24
2.8.	Equipo sin tapa inferior de motor del fabricante	25
2.9.	Equipo con tapa inferior de motor fabricada en acrílico.....	26
2.10.	Tapa inferior de acrílico dañada por vibraciones.....	27
3.1.	Embrague viscoso en operación	31
3.2.	Embrague viscoso nuevo.....	32
3.3.	Ubicación de módulos electrónicos de mando.....	33
3.4.	Unidad de mando KFU del equipo	34
3.5.	Turbo de motor Cummins	35
3.6.	Turbo dañado por contaminación	36
3.7.	Análisis de fallas asociado a la ausencia de tapa inferior	36
3.8.	Comparativa de mejoras en operaciones de mantenimiento	38
3.9.	Reducción de repuestos y fallas en el equipo	39

Siglas y Símbolos

Siglas

ACR Análisis de Causa Raíz.

CAD Diseño Asistido por Computador.

CRF Control de Riesgo de Fatalidad.

DCG Denominación del modelo de equipo portacontenedor Toplifter utilizado en el caso de estudio.

KFU Unidad de mando electrónica del equipo.

MTBF Tiempo Medio Entre Fallas.

MTTR Tiempo Medio de Reparación.

PMMA Polimetilmetacrilato, material comúnmente conocido como acrílico.

Símbolos

L Largo de la tapa inferior.

b Ancho de la tapa inferior.

d Diámetro del pasador de fijación.

δ Deformación o desplazamiento obtenido en la simulación CAD.

E Módulo de elasticidad del material.

F Fuerza o carga aplicada sobre el componente.

t Espesor de la plancha.

Introducción

En el dinámico y exigente sector de la logística portuaria, la eficiencia y la confiabilidad de los equipos representan factores críticos para asegurar la continuidad operacional y el cumplimiento de los estándares de servicio. En este contexto, los equipos portacontenedores Toplifter DCG 80-90 cumplen un rol fundamental en las operaciones de manipulación y traslado de contenedores dentro de las instalaciones de Sitrans Ltda., particularmente en el depósito de Curauma.

El diseño original de estos equipos incorpora tapas inferiores de motor fabricadas en aluminio, cuya función principal es proteger los componentes internos frente a la polución ambiental y reducir la emisión de ruido. Sin embargo, las condiciones reales de operación —caracterizadas por terrenos irregulares, vibraciones constantes y altos niveles de material particulado— han evidenciado una serie de deficiencias en este diseño. Específicamente, las tapas presentan desprendimientos recurrentes, deformaciones estructurales y, en muchos casos, terminan siendo aplastadas por el propio equipo, dejando expuestos sistemas críticos.

La ausencia de esta protección genera una mayor vulnerabilidad del motor y sus subsistemas frente a la contaminación, lo que se traduce en fallas mecánicas, eléctricas e hidráulicas, incrementando los tiempos de detención y los costos de mantenimiento. Esta problemática impacta directamente en la confiabilidad, disponibilidad y desempeño global de la flota.

A partir de esta situación, el presente trabajo de titulación propone el rediseño de la tapa inferior del motor mediante la incorporación de un material alternativo, específicamente acrílico, junto con la implementación de un sistema de sujeción optimizado. Esta solución busca mejorar la resistencia del sistema frente a las condiciones operacionales, mantener la protección contra la polución y, adicionalmente, facilitar la inspección visual de los componentes internos gracias a la transparencia del material.

El desarrollo de la propuesta contempla la aplicación de un análisis de causa raíz (ACR) para identificar los factores que originan las fallas, seguido de la modelación y simulación del nuevo diseño mediante software CAD, permitiendo evaluar su comporta-

miento estructural frente a condiciones de carga y vibración. Finalmente, se realiza un análisis técnico-económico orientado a cuantificar los beneficios asociados a la implementación de la solución, en términos de reducción de fallas, disminución de costos y mejora en los indicadores de mantenimiento.

De esta manera, el presente trabajo busca contribuir a la optimización del desempeño operacional de los equipos Toplifter DCG 80-90, proponiendo una solución técnicamente viable y económicamente justificable, que permita mejorar la gestión de mantenimiento y aumentar la confiabilidad de los activos en un entorno altamente demandante.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar una propuesta de rediseño para la tapa inferior del motor del equipo portacontenedor Toplifter DCG 80-90, mediante la mejora de su materialidad y sistema de sujeción, validada mediante modelación y simulación en software CAD, con el fin de reducir fallas operacionales asociadas a la contaminación por polución y facilitar las labores de mantenimiento.

Objetivos Específicos

1. Analizar el diseño actual de las tapas inferiores del motor del equipo Toplifter DCG 80-90, mediante un análisis de causa raíz, con el fin de identificar las fallas recurrentes asociadas al desprendimiento, deformación y exposición del motor a la polución.
2. Desarrollar una propuesta de mejora para la tapa inferior del motor, considerando el uso de acrílico, refuerzo de aluminio reutilizado y un sistema de fijación mediante pasadores, con el propósito de mejorar la protección de los componentes críticos del equipo.
3. Evaluar técnica y económicamente la implementación del nuevo diseño, mediante simulación CAD y análisis de costos asociados a fallas críticas, con el fin de justificar su viabilidad frente a la alternativa original.

Capítulo 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Antecedentes generales

El presente capítulo contextualiza el caso de estudio desde una perspectiva organizacional, operacional y técnica. En primer lugar, se describe la empresa y el entorno donde opera el equipo analizado. Luego, se presentan las condiciones de trabajo del portacontenedor Toplifter DCG 80-90 y los efectos que la polución genera sobre sus componentes. Finalmente, se desarrolla un análisis de causa raíz que permite vincular la problemática observada con la necesidad de rediseñar la tapa inferior del motor.

1.1.1. Antecedentes de la empresa

Sitrans Ltda. es una empresa especializada en servicios logísticos, portuarios y de depósito, orientada principalmente a la reparación, despacho, almacenamiento, transporte, venta y arriendo de contenedores. Sus operaciones se desarrollan en distintos puntos del país, incluyendo Arica, Iquique, Antofagasta, Valparaíso, San Antonio, Santiago, Talcahuano y Puerto Montt.

En el presente trabajo de titulación, el estudio se centra en el depósito de Sitrans ubicado en Curauma, Región de Valparaíso, donde se utilizan equipos portacontenedores para la manipulación de contenedores vacíos dentro de las instalaciones. La Figura 1.1 identifica corporativamente a la empresa, mientras que la Figura 1.2 muestra una vista general de la sucursal donde se desarrolla el caso de estudio.



Figura 1.1: Logo corporativo de Sitrans.

Fuente: Sitio web corporativo de Sitrans.



Figura 1.2: Sucursal Sitrans Curauma.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Misión

La misión de Sitrans se orienta a integrar los servicios de depósito y logística en los terminales a lo largo de Chile, generando eficiencia en la cadena logística de sus clientes mediante soluciones competitivas, versátiles y orientadas a la continuidad operacional. Esta definición es relevante para el presente trabajo, ya que la disponibilidad de los equipos portacontenedores impacta directamente en el cumplimiento de dicha misión.

1.1.3. Visión

La visión de la empresa busca consolidarla como un referente de excelencia y seguridad en servicios logísticos integrales, mediante soluciones tecnológicas y equipos dedicados que permitan entregar visibilidad, trazabilidad y confiabilidad a los clientes y grupos de interés. En este marco, la mejora de la confiabilidad de los equipos representa una contribución directa a los objetivos estratégicos de la organización.

1.1.4. Actividades realizadas en taller

El área de mantenimiento cumple un rol fundamental en la continuidad operacional de los equipos utilizados en el depósito. Dentro de sus principales actividades se encuentran las

mantenciones preventivas y correctivas, reparaciones mecánicas, intervenciones eléctricas e hidráulicas, cambios de componentes, inspecciones y apoyo técnico a la operación.

Debido al uso de maquinaria pesada y a la naturaleza de las actividades ejecutadas, el taller constituye un entorno de trabajo con riesgos operacionales relevantes. Por ello, la empresa aplica protocolos de seguridad orientados a controlar riesgos críticos y prevenir accidentes durante la ejecución de las labores de mantenimiento. La Figura 1.3 presenta el área de taller mecánico donde se realizan parte de estas actividades.



Figura 1.3: Área de taller mecánico.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.5. Control de riesgos de fatalidad

Dentro de las medidas preventivas utilizadas en la operación, Sitrans incorpora reglas de seguridad asociadas al control de riesgos de fatalidad. Estas reglas permiten orientar el comportamiento seguro de los trabajadores durante las tareas diarias, especialmente en actividades vinculadas con equipos móviles, energía almacenada, trabajos en altura,

maniobras de izaje y contacto con sustancias peligrosas.

La Figura 1.4 sintetiza las reglas de oro utilizadas por la organización para controlar riesgos críticos. Su inclusión en este trabajo es pertinente, dado que la propuesta de mejora se relaciona con un equipo pesado y con intervenciones que deben ser ejecutadas bajo criterios de seguridad operacional.



Figura 1.4: Reglas de oro para el control de riesgo de fatalidad.

Fuente: Siírans.

1.1.6. Características Toplifter DCG 80-90

El equipo analizado corresponde a un portacontenedor Toplifter DCG 80-90, utilizado para la manipulación de contenedores vacíos dentro del depósito. Según información técnica del fabricante, la serie Kalmar DCG80-110 corresponde a equipos para manejo de contenedores vacíos, con capacidades nominales asociadas al rango de 8 a 11 toneladas y configuraciones de apilado simple o doble [1].

Este tipo de maquinaria está diseñado para operar en faenas logísticas de alta exigencia, permitiendo levantar, trasladar y apilar contenedores de diferentes dimensiones. En las instalaciones de Sitrans Curauma, estos equipos operan en condiciones exigentes, caracterizadas por superficies irregulares, presencia de material particulado y ciclos de trabajo repetitivos. La Figura 1.5 muestra el equipo portacontenedor considerado en el estudio.



Figura 1.5: Portacontenedor Toplifter DCG 80-90.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.7. Condiciones operacionales del equipo

El diseño original del equipo considera tapas inferiores de motor fabricadas en aluminio, cuya función es proteger el compartimiento inferior del motor frente a la polución ambiental y disminuir la exposición de componentes críticos. Sin embargo, debido a las condiciones de operación del terreno, estas tapas han presentado desprendimientos, deformaciones y daño prematuro.

La operación sobre superficies rústicas genera vibraciones constantes y esfuerzos repetitivos sobre los puntos de fijación. Como consecuencia, las tapas inferiores tienden a soltarse, caer y ser aplastadas por el propio equipo, quedando inutilizables. Al perder esta protección, el motor y sus sistemas auxiliares quedan expuestos directamente a polvo, tierra y partículas presentes en el ambiente. La Figura 1.6 evidencia la condición de alta polución en la que opera el equipo durante sus labores habituales.



Figura 1.6: Equipo operando en condición de alta polución.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.8. Efectos de la polución en componentes del equipo

La exposición directa a la polución afecta negativamente distintos sistemas del equipo, entre ellos el sistema eléctrico, mecánico e hidráulico. La acumulación de material particulado puede generar fallas por abrasión, contaminación de contactos eléctricos, deterioro de conectores, obstrucción de componentes y reducción de la confiabilidad general del equipo.

Uno de los efectos visibles de esta condición corresponde a la acumulación de polvo y suciedad en zonas sensibles del equipo, como baterías, conectores y componentes ubicados en el compartimiento inferior. La Figura 1.7 muestra el estado de las baterías afectadas por material particulado, lo que permite visualizar el nivel de contaminación al que están expuestos los componentes.



Figura 1.7: Baterías afectadas por acumulación de polución.

Fuente: Elaboración propia.

La ausencia de la tapa cubre motor inferior permite que el ingreso de contaminantes sea más directo, aumentando la probabilidad de fallas y generando mayor tiempo de permanencia del equipo en taller. Esta condición se observa en la Figura 1.8, donde el equipo se encuentra sin la protección inferior requerida para aislar el compartimiento del motor.



Figura 1.8: Toplifter DCG 80-90 sin tapa cubre motor inferior.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Análisis de causa raíz

El problema central identificado corresponde al deterioro prematuro y falla estructural de las tapas inferiores de motor del equipo Toplifter DCG 80-90. Estas tapas, originalmente fabricadas en aluminio, presentan una alta susceptibilidad al desprendimiento y deformación debido a las vibraciones operacionales y a las condiciones del terreno.

El análisis de causa raíz permite estudiar fallas de manera sistemática, identificando no solo el efecto visible, sino también los factores técnicos, operacionales y organizacionales que originan el problema. Herramientas como el diagrama de Ishikawa y la técnica de los cinco porqués son ampliamente utilizadas para relacionar síntomas, causas potenciales y causa raíz en problemas de mantenimiento [2, 3].

1.2.1. Definición del problema

La disponibilidad operacional de los equipos se ve comprometida por una combinación de factores ambientales y fallas internas que provocan detenciones no planificadas. El principal agente de deterioro corresponde a la contaminación ambiental generada por las condiciones del terreno, la cual afecta directamente la integridad de los componentes.

Las fallas asociadas a esta condición pueden clasificarse en tres grupos principales:

- **Fallas mecánicas:** deterioro de componentes por abrasión, acumulación de material particulado o contaminación directa.
- **Fallas eléctricas:** mal funcionamiento de conectores, sensores, baterías o unidades de control debido a la presencia de polvo y partículas.
- **Fallas hidráulicas:** contaminación de fluidos, sellos o componentes expuestos al ambiente de trabajo.

1.2.2. Identificación de causas potenciales

Para organizar las causas asociadas al problema, se utiliza un diagrama de Ishikawa, el cual permite relacionar el deterioro de las tapas inferiores con factores de diseño, materialidad, operación, mantenimiento y entorno. La Figura 1.9 presenta el diagrama desarrollado para el caso de estudio, considerando la información observada en terreno y los antecedentes operacionales del equipo.

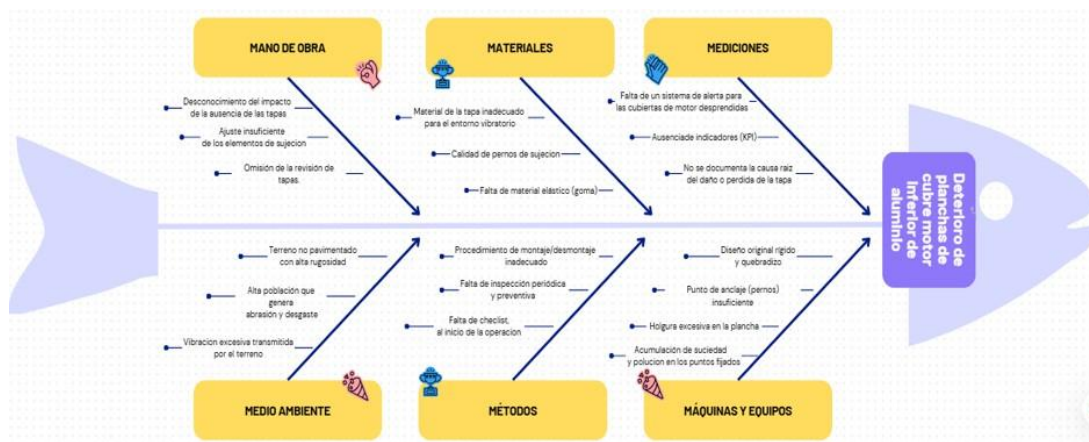


Figura 1.9: Diagrama de Ishikawa del análisis de causa raíz.

Fuente: Elaboración propia, basada en antecedentes operacionales del caso de estudio.

1.2.3. Determinación de la causa raíz

A partir del análisis realizado, se establece que el desprendimiento de las tapas inferiores no responde únicamente a una falla puntual del componente, sino a una incompatibilidad entre el diseño original y las condiciones reales de operación. Esta incompatibilidad se manifiesta en la pérdida de fijación, deformación de las tapas y exposición directa del compartimiento inferior del motor.

La secuencia lógica de análisis se resume de la siguiente manera:

1. Los equipos sufren contaminación interna y detenciones porque las tapas inferiores se desprenden y dejan expuestos componentes críticos.
2. Las tapas se desprenden debido a que el material y el sistema de sujeción no resisten adecuadamente las vibraciones generadas por el terreno.
3. El diseño original no considera suficientemente las condiciones reales de operación, caracterizadas por superficies irregulares, alta polución y exigencia mecánica constante.
4. La falla no ha sido corregida oportunamente mediante una mejora de diseño, debido a que el componente no había sido tratado con el nivel de criticidad correspondiente.
5. La causa raíz se relaciona con una deficiencia de diseño y gestión del cambio, al mantenerse una solución que no responde adecuadamente al entorno operacional del equipo.

1.2.4. Acciones correctivas propuestas

Como acción correctiva, se propone el rediseño de la tapa inferior del motor mediante la incorporación de una cubierta de acrílico y un sistema de sujeción mediante pasadores. Esta alternativa busca evitar el desprendimiento de la protección, reducir la entrada de polución y facilitar la inspección visual del compartimiento inferior del motor.

La propuesta considera además la reutilización de parte de las planchas originales de aluminio como refuerzo estructural, permitiendo mejorar la rigidez del conjunto sin aumentar excesivamente el costo de fabricación. De esta manera, la solución busca responder tanto a criterios técnicos como económicos, manteniendo la funcionalidad protectora del sistema y mejorando su desempeño frente a las condiciones reales de operación. Con ello, el análisis desarrollado en este capítulo sirve de base para la propuesta de mejora que se presenta en el capítulo siguiente.

Capítulo 2: PROPUESTA DE MEJORA Y EVALUACION MECÁNICA

2.1. Propuesta de mejora y evaluación mecánica de la tapa inferior

El presente capítulo desarrolla la propuesta de mejora para la tapa inferior del motor del equipo portacontenedor Toplifter DCG 80-90. A partir del diagnóstico realizado en el capítulo anterior, se identificó que el diseño original de aluminio presenta limitaciones frente a las condiciones reales de operación, principalmente por efecto de vibraciones, terreno irregular y acumulación de polución.

La propuesta considera el uso de una cubierta de acrílico reforzada mediante una estructura de aluminio reutilizada, junto con un sistema de fijación mediante pasadores. Esta solución busca mejorar la protección del compartimiento inferior del motor, reducir el ingreso de contaminantes y facilitar las inspecciones visuales durante las labores de mantenimiento.

2.1.1. Introducción del capítulo

El objetivo de este capítulo es transformar el diagnóstico técnico en una solución de ingeniería aplicable al equipo. Para ello, se describen los criterios de diseño, la hipótesis de mejora, el modelado CAD, la simulación de deformación y los elementos de fijación seleccionados. Asimismo, se comparan las condiciones del equipo antes y después de la implementación de la propuesta, con el fin de evaluar su aporte funcional.

2.1.2. Identificación del problema en la tapa inferior

El diseño original de las tapas inferiores de motor fue concebido para disminuir el ingreso de polución y proteger los componentes ubicados en la zona inferior del equipo. Sin embargo, durante la operación en terreno rústico, estas tapas presentan desprendimientos y deformaciones, quedando expuestas a ser aplastadas por el propio equipo.

Esta condición provoca que el motor, sistemas eléctricos, hidráulicos y componentes auxiliares queden vulnerables frente a la contaminación ambiental. Como consecuencia, aumenta la probabilidad de fallas no programadas, se incrementan los tiempos de permanencia en taller y disminuye la confiabilidad operacional del equipo. Por esta razón, la mejora no puede limitarse solo al reemplazo de la tapa, sino que debe considerar materialidad, rigidez, inspeccionabilidad y método de fijación.

2.1.3. Hipótesis de diseño

La hipótesis de diseño plantea que una tapa inferior fabricada con material acrílico, reforzada estructuralmente con aluminio reutilizado y fijada mediante pasadores al chasis del equipo, puede mejorar el desempeño funcional del sistema de protección inferior. Esta configuración busca combinar la visibilidad del acrílico con la rigidez aportada por el aluminio.

La selección del acrílico responde a su transparencia, bajo peso relativo y facilidad de inspección visual. El polimetilmetacrilato (PMMA), conocido comúnmente como acrílico, presenta buenas propiedades ópticas y una rigidez adecuada para aplicaciones livianas, aunque su comportamiento debe evaluarse cuidadosamente cuando se somete a cargas, vibraciones o impactos [4, 5]. Debido a esta condición, se incorpora una estructura de refuerzo para limitar deformaciones y mejorar la estabilidad del conjunto.

2.1.4. Diseño preliminar en software CAD

Para evaluar la alternativa propuesta, se desarrolló un modelo preliminar mediante software CAD. Este modelo permitió representar la geometría general de la tapa inferior, analizar la distribución del refuerzo, definir zonas de apoyo y estimar la ubicación de los puntos de fijación. La Figura 2.1 muestra el diseño preliminar utilizado como base para el análisis posterior.

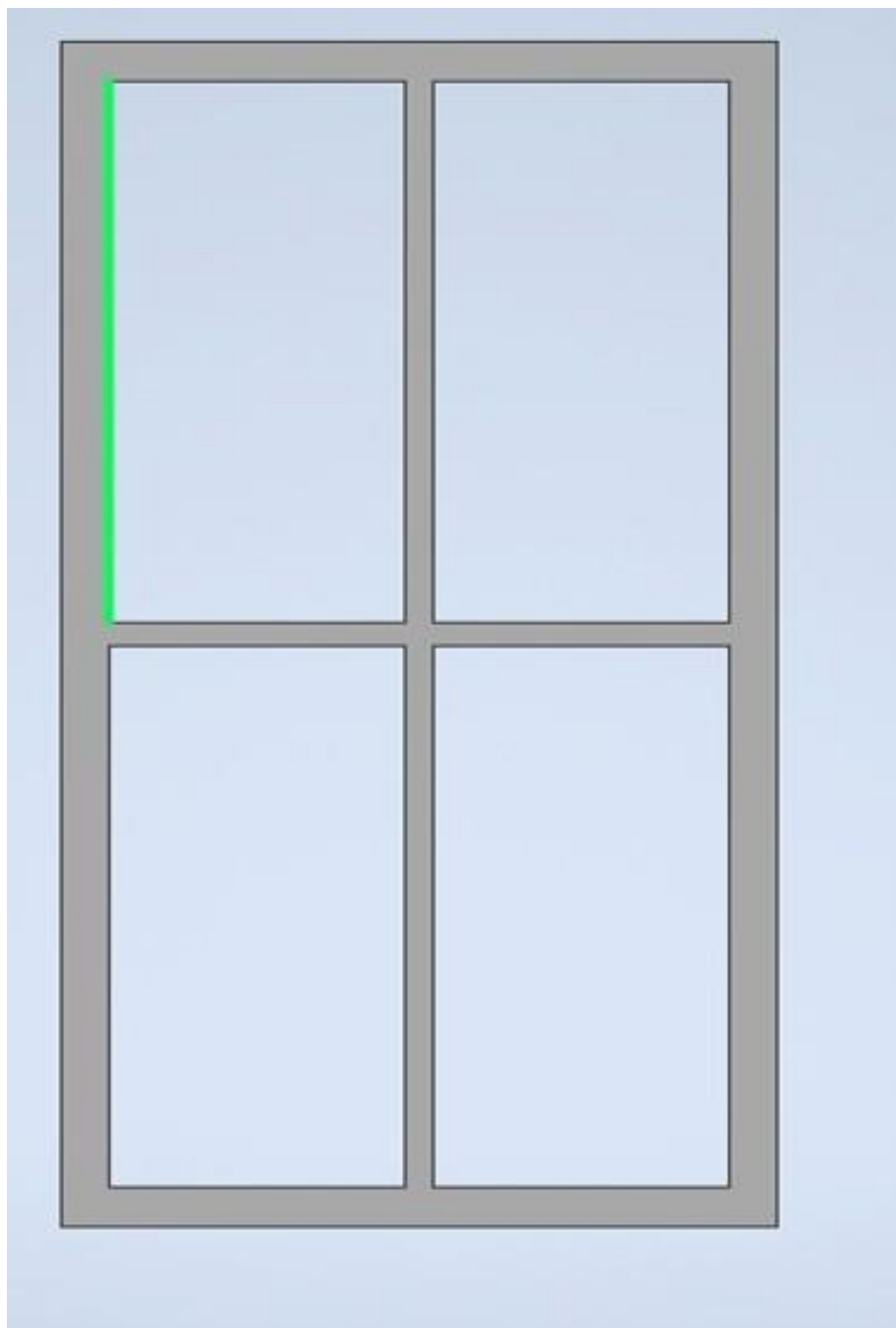


Figura 2.1: Diseño CAD preliminar de la tapa inferior.

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo del diseño permitió definir las dimensiones generales del conjunto, la ubicación de los puntos de fijación y la disposición del refuerzo estructural de aluminio. Esta etapa fue necesaria para verificar la factibilidad de fabricación e instalación en el equipo, evitando interferencias con componentes cercanos y manteniendo la funcionalidad protectora del sistema.

2.1.5. Simulación de deformación

Una vez desarrollado el modelo CAD, se realizó una simulación de deformación con el objetivo de estimar el comportamiento estructural de la propuesta. Esta evaluación permitió identificar zonas críticas y verificar el nivel de desplazamiento del conjunto ante las condiciones consideradas.

El análisis de deformaciones y rigidez es coherente con el enfoque de diseño mecánico, donde la verificación estructural busca asegurar que el componente soporte las condiciones de servicio sin comprometer su funcionalidad ni su montaje [6]. En la Figura 2.2 se presenta el resultado general de la simulación, donde se aprecia la distribución de desplazamientos sobre la tapa inferior.

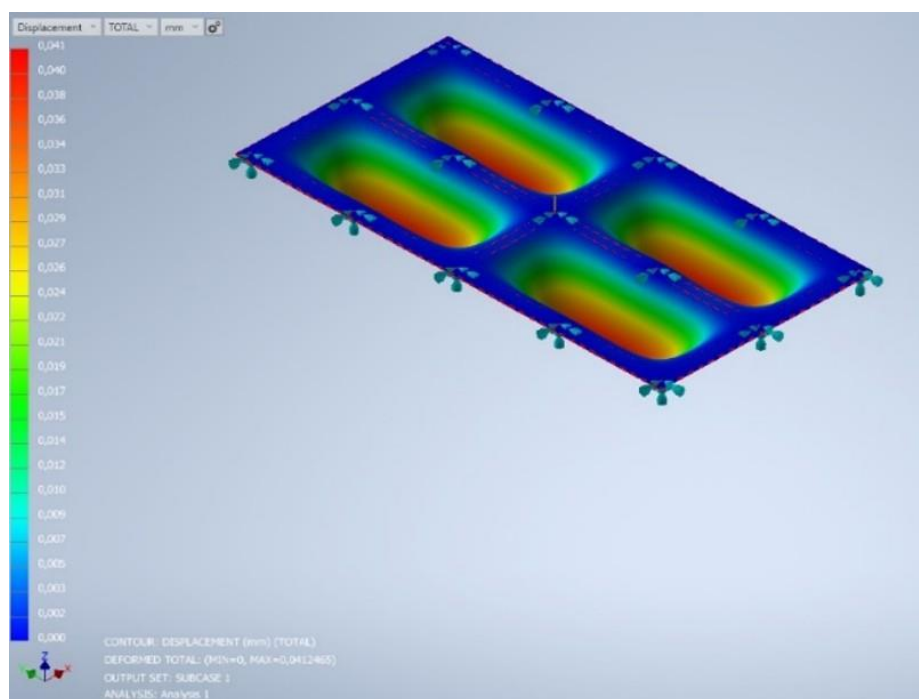


Figura 2.2: Simulación CAD de deformación en la tapa inferior.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que la deformación se mantiene dentro de un rango reducido, lo que permite considerar viable la alternativa desde el punto de vista estructural preliminar. La Figura 2.3 complementa el análisis anterior, mostrando el perfil de deformación obtenido en el software CAD.

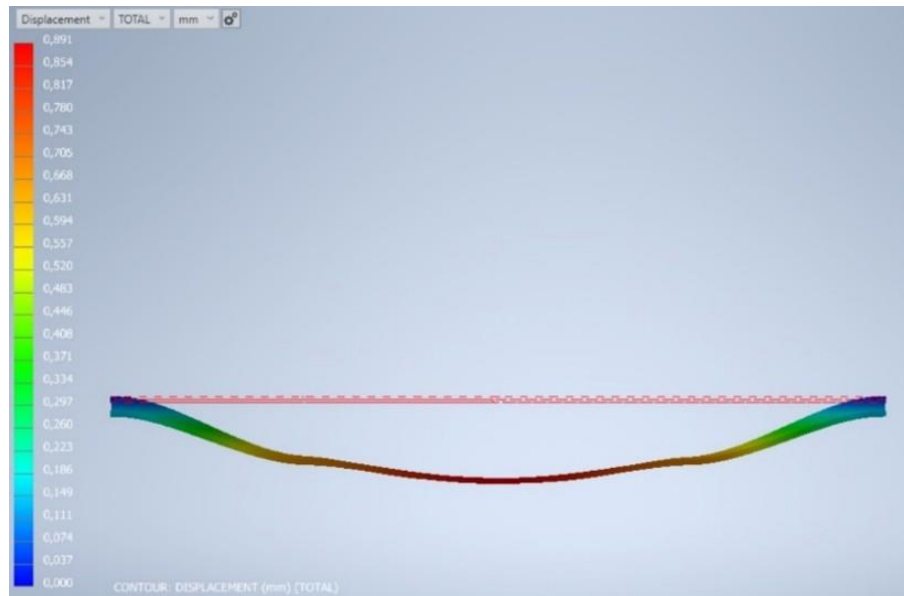


Figura 2.3: Resultado de deformación de la propuesta en software CAD.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este resultado, se confirma que la estructura requiere mantener el refuerzo de aluminio, ya que este elemento contribuye a disminuir la flexión del acrílico y a distribuir de mejor manera los esfuerzos sobre el conjunto.

2.1.6. Sistema de fijación propuesto

El sistema de fijación propuesto considera el uso de pasadores ajustados al chasis del equipo, con el objetivo de evitar el desplazamiento lateral o vertical de la tapa inferior durante la operación. Este mecanismo permite mejorar la estabilidad del conjunto y reducir la probabilidad de desprendimiento por vibraciones.

La Figura 2.4 presenta el pasador considerado para la fijación del sistema. Su selección se relaciona con la necesidad de contar con un elemento simple, desmontable y capaz de asegurar la tapa sin dificultar futuras inspecciones o intervenciones de mantenimiento.



Figura 2.4: Pasador de fijación para el sistema de sujeción.

Fuente: Elaboración propia.

Además, se considera la medición y ajuste de los pasadores para asegurar su compatibilidad con los puntos de anclaje del equipo. Como se observa en la Figura 2.5, la verificación dimensional permite garantizar una instalación adecuada y disminuir holguras que puedan generar vibraciones o desprendimientos.



Figura 2.5: Medición del pasador de fijación.

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, la fijación propuesta no solo cumple una función de montaje, sino que también forma parte del control de la falla identificada en el análisis de causa raíz, ya que reduce la probabilidad de desprendimiento por vibración.

2.1.7. Materiales utilizados en la propuesta

La propuesta contempla una configuración híbrida compuesta por una plancha de acrílico y un refuerzo de aluminio reutilizado. El acrílico permite mantener visibilidad hacia el compartimiento inferior del motor, mientras que el aluminio contribuye a mejorar la rigidez del conjunto.

La Figura 2.6 muestra la plancha de aluminio reutilizada como elemento de refuerzo. La reutilización de este material permite disminuir el costo de fabricación y aprovechar material disponible, manteniendo una solución técnicamente funcional y económicamente conveniente.



Figura 2.6: Plancha de aluminio reutilizada como refuerzo estructural.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2.7 presenta la plancha de acrílico empleada en la propuesta. Este material aporta transparencia, lo que facilita la inspección visual del compartimiento inferior sin

necesidad de desmontar completamente la protección.



Figura 2.7: Plancha de acrílico utilizada en la propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

La combinación de ambos materiales permite equilibrar inspeccionabilidad, rigidez y costo. Por ello, la solución híbrida resulta más conveniente que una tapa únicamente acrílica o que la reposición directa de la tapa original de aluminio.

2.1.8. Comparación entre condición original y propuesta implementada

La condición original del equipo, sin tapa inferior o con la tapa original deteriorada, permite el ingreso directo de polución hacia el compartimiento inferior del motor. Esta situación aumenta la exposición de componentes críticos y favorece la ocurrencia de fallas.

La Figura 2.8 evidencia el estado del equipo sin la protección inferior del fabricante. Esta condición representa el escenario que se busca corregir mediante el rediseño propuesto.



Figura 2.8: Equipo sin tapa inferior de motor del fabricante.

Fuente: Elaboración propia.

La implementación de la tapa inferior de acrílico permite recuperar la función protectora del sistema, disminuyendo el ingreso de contaminantes y manteniendo la posibilidad de inspección visual de componentes. Como se observa en la Figura 2.9, la tapa implementada cubre nuevamente la zona inferior del motor, reduciendo la exposición directa a polvo y partículas.



Figura 2.9: Equipo con tapa inferior de motor fabricada en acrílico.

Fuente: Elaboración propia.

Esta comparación permite verificar que la propuesta cumple con el objetivo funcional principal: restituir la barrera física contra la polución sin perder accesibilidad visual para mantenimiento.

2.1.9. Limitaciones identificadas en la solución inicial

Durante la evaluación de la alternativa, se identificó que el acrílico puede presentar daño o deformación cuando no cuenta con un refuerzo adecuado o cuando se expone directamente a vibraciones operacionales. Esta observación permitió justificar la necesidad de incorporar refuerzo de aluminio y mejorar el sistema de fijación.

La Figura 2.10 muestra el daño observado en una tapa de acrílico sometida a vibraciones, lo que confirma que la solución no debe limitarse únicamente al cambio de material, sino que debe considerar el comportamiento mecánico del conjunto completo.



Figura 2.10: Tapa inferior de acrílico dañada por vibraciones.

Fuente: Elaboración propia.

Esta evidencia demuestra que la rigidez, los puntos de apoyo y el método de sujeción son aspectos determinantes para el desempeño de la propuesta. En consecuencia, la solución final debe entenderse como un sistema compuesto y no como una simple sustitución de material.

2.1.10. Síntesis del capítulo

El rediseño propuesto para la tapa inferior del motor combina una cubierta de acrílico con refuerzo de aluminio reutilizado y un sistema de fijación mediante pasadores. Esta configuración busca responder a las principales causas identificadas en el análisis de falla: desprendimiento de la tapa, exposición a polución y pérdida de protección de componentes críticos.

La modelación y simulación en software CAD permitieron validar preliminarmente el comportamiento estructural de la propuesta, mientras que la comparación entre la condición original y la alternativa implementada evidencia mejoras funcionales relevantes para la operación y mantenimiento del equipo. Estos resultados sirven de base para el análisis técnico-económico desarrollado en el capítulo siguiente.

Capítulo 3: ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

3.1. Evaluación de la propuesta

El presente capítulo evalúa el impacto técnico y económico de la implementación del rediseño de la tapa inferior del motor en el equipo Toplifter DCG 80-90. A partir de la solución propuesta en el capítulo anterior, se analizan los efectos de la reducción de polución sobre componentes críticos, así como los beneficios asociados en términos de confiabilidad, mantenimiento y costos operacionales.

La evaluación se organiza en torno a tres aspectos principales: la protección de componentes críticos, la reducción de fallas asociadas a la contaminación y la justificación técnico-económica de la mejora. Con ello, se busca determinar si la propuesta permite responder a los objetivos planteados en el trabajo de titulación.

3.1.1. Introducción del capítulo

La propuesta de rediseño debe evaluarse no solo desde el punto de vista geométrico o constructivo, sino también considerando su impacto en la operación del equipo. En mantenimiento industrial, una mejora técnica es relevante cuando contribuye a disminuir fallas repetitivas, reducir tiempos de detención y aumentar la disponibilidad del activo.

Los indicadores de mantenimiento, tales como MTBF y MTTR, permiten relacionar la frecuencia de fallas y el tiempo requerido para restituir la condición operativa de un activo. En términos generales, el MTBF se asocia al tiempo medio entre fallas, mientras que el MTTR representa el tiempo medio de reparación [7]. Estos indicadores son relevantes para evaluar el impacto de una mejora técnica en la disponibilidad del equipo.

3.1.2. Impacto de la polución en componentes críticos

La ausencia de la tapa inferior del motor expone directamente diversos componentes a la polución ambiental, lo que acelera su deterioro y aumenta la probabilidad de fallas. Entre los elementos más afectados se encuentran sistemas mecánicos, eléctricos y de sobrealimentación. En las siguientes secciones se describen los principales componentes afectados y la relación que estos tienen con la propuesta de rediseño.

Embrague viscoso

El embrague viscoso cumple una función clave en el sistema de refrigeración del motor, ya que participa en la regulación del flujo de aire asociado al ventilador. La acumulación de material particulado en sus componentes puede afectar su funcionamiento, provocando pérdida de eficiencia térmica, sobrecalentamiento y detenciones no planificadas.

La Figura 3.1 muestra el embrague viscoso instalado en operación. Esta condición permite identificar su ubicación expuesta dentro del sistema de refrigeración y explica por qué la presencia de polución puede afectar su funcionamiento.



Figura 3.1: Embrague viscoso en operación.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.2 presenta un embrague viscoso nuevo, lo que permite dimensionar el tipo de componente que debe ser reemplazado cuando se generan fallas por contaminación o desgaste. La prevención de fallas en este elemento contribuye directamente a reducir costos de repuestos y tiempos de intervención.



Figura 3.2: Embrague viscoso nuevo.

Fuente: Elaboración propia.

Módulos electrónicos de mando

Los sistemas electrónicos del equipo, incluyendo unidades de mando y módulos de control, son altamente sensibles a la contaminación por polvo. La exposición prolongada puede generar fallas intermitentes, pérdida de señal, falsos contactos o daño permanente en los componentes electrónicos.

La Figura 3.3 muestra la ubicación de módulos electrónicos de mando en el equipo. Estos componentes se encuentran en una zona que puede verse afectada por la entrada de material particulado cuando no existe una protección inferior adecuada.

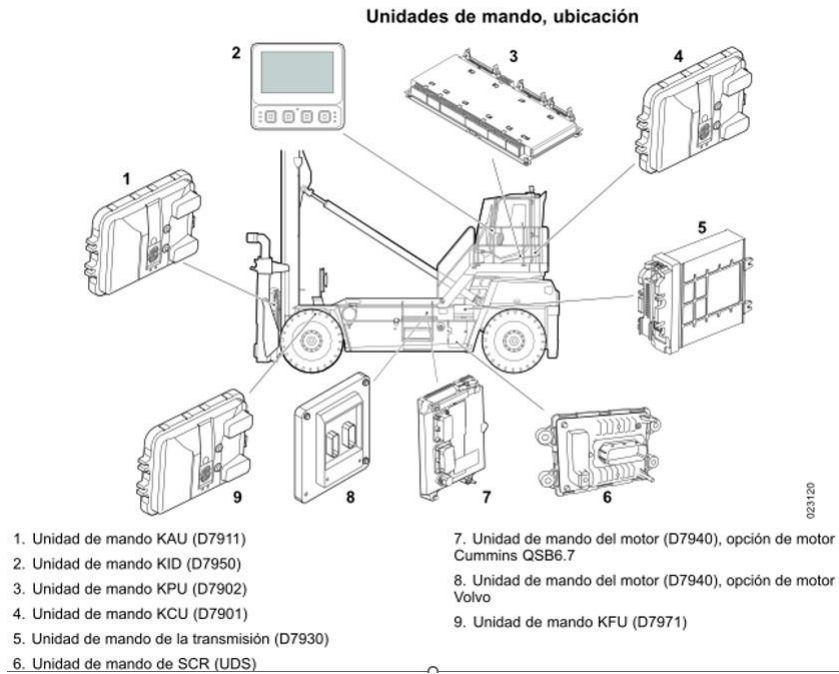


Figura 3.3: Ubicación de módulos electrónicos de mando.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.4 presenta la unidad de mando KFU del equipo. Debido a su función dentro del sistema de control, una falla en este componente puede generar indisponibilidad del equipo y costos significativos de reparación o reemplazo.



Figura 3.4: Unidad de mando KFU del equipo.

Fuente: Elaboración propia.

La protección entregada por la tapa inferior rediseñada contribuye a disminuir la exposición de estos módulos a polvo y partículas, lo que reduce la probabilidad de fallas eléctricas asociadas al entorno operacional.

Sistema de sobrealimentación

El turbo del motor es otro componente crítico afectado por la polución. La presencia de partículas puede generar desgaste en los ólabes, pérdida de eficiencia y eventual falla del sistema de sobrealimentación. Además, su reparación o reemplazo suele implicar detenciones relevantes del equipo.

La Figura 3.5 muestra el turbo del motor Cummins, componente que forma parte del sistema de sobrealimentación. Su correcto funcionamiento es fundamental para mantener el desempeño del motor bajo condiciones de carga.



Figura 3.5: Turbo de motor Cummins.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.6 presenta un turbo dañado por contaminación y desgaste. Esta evidencia refuerza la importancia de controlar el ingreso de partículas al compartimiento del motor y de mantener una barrera física que reduzca la exposición de los componentes.



Figura 3.6: Turbo dañado por contaminación.

Fueníe: Elaboración propia.

3.1.3. Análisis global de fallas

A partir de la información recopilada en terreno y registros de mantenimiento, se realizó un análisis global de fallas asociadas a la ausencia de la tapa inferior del motor. Este análisis permite vincular la condición física observada en el equipo con sus efectos sobre la confiabilidad operacional.

La Figura 3.7 resume el comportamiento de las fallas asociadas a la ausencia de protección inferior. Los resultados muestran una relación directa entre la exposición a polución y el incremento en la frecuencia de fallas en componentes críticos del equipo.

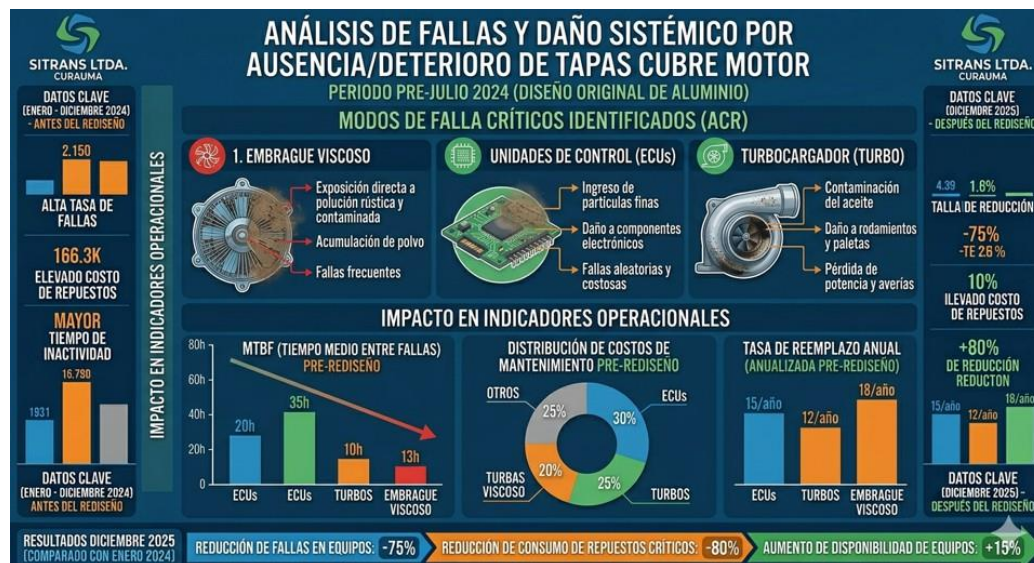


Figura 3.7: Análisis de fallas asociado a la ausencia de tapa inferior.

Fueníe: Elaboración propia.

Este análisis respalda la necesidad de implementar una mejora física en la protección inferior del motor, ya que las fallas no se originan únicamente por desgaste natural, sino también por la exposición sostenida a un ambiente contaminado.

3.1.4. Evaluación de la propuesta de mejora

La implementación de la tapa inferior rediseñada permite reducir significativamente el ingreso de polución al compartimiento del motor. Esta reducción impacta positivamente en la vida útil de los componentes, ya que disminuye la acumulación de polvo sobre elementos eléctricos, mecánicos y de refrigeración.

Desde el punto de vista de mantenimiento, la propuesta también facilita la inspección visual mediante el uso de acrílico. Esto permite identificar fugas, acumulación de material o condiciones anormales sin desmontar completamente la protección, reduciendo el tiempo requerido para inspecciones preliminares.

3.1.5. Comparación operativa

Se realizó una comparación entre la condición original del equipo y la condición posterior a la implementación de la mejora. Esta comparación permite visualizar la diferencia entre operar con componentes expuestos y operar con una protección inferior rediseñada.

La Figura 3.8 presenta la comparativa de mejoras en operaciones de mantenimiento. La información permite evidenciar una disminución en las intervenciones correctivas y una mejora en la disponibilidad del equipo después de implementar la propuesta.



Figura 3.8: Comparativa de mejoras en operaciones de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

La mejora operativa se explica por la reducción del ingreso de material particulado y por el aumento de estabilidad de la tapa inferior, lo que disminuye la probabilidad de desprendimiento durante la operación.

3.1.6. Impacto en costos de mantenimiento

La reducción de fallas en componentes críticos permite disminuir los costos asociados a repuestos, mano de obra y tiempos de detención. La gestión de mantenimiento debe orientarse a reducir fallas repetitivas, mejorar la disponibilidad y controlar costos durante el ciclo de vida del activo [8].

La Figura 3.9 muestra la reducción de repuestos y fallas en el equipo. Este resultado permite relacionar la propuesta de mejora con un beneficio económico directo, especialmente al evitar daños en componentes de alto costo como módulos electrónicos, turbo y embrague viscoso.

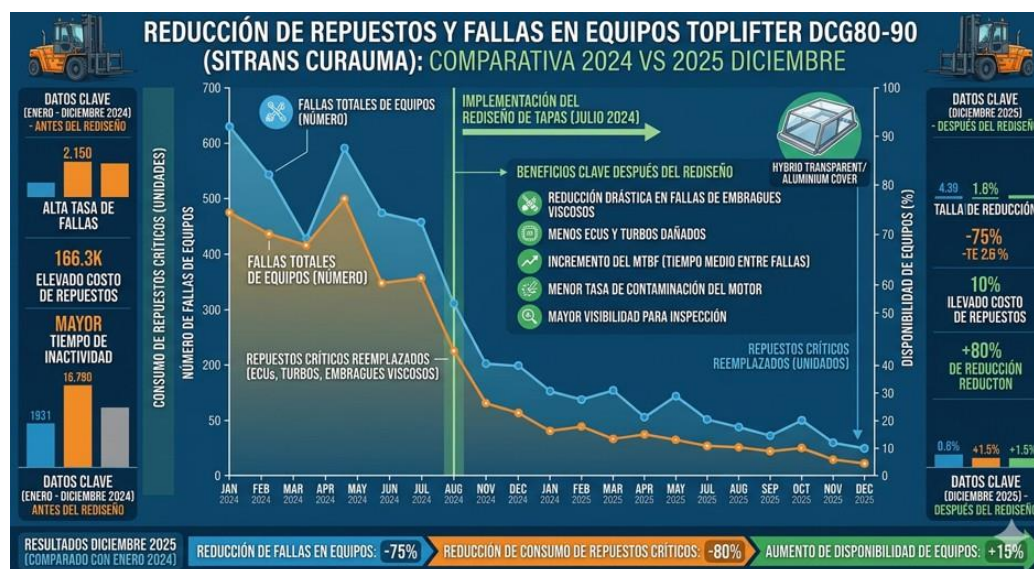


Figura 3.9: Reducción de repuestos y fallas en el equipo.

Fuente: Elaboración propia.

Desde esta perspectiva, la solución no solo representa una mejora técnica, sino también una medida preventiva que permite disminuir gastos correctivos y mejorar la planificación del mantenimiento.

3.1.7. Análisis técnico-económico

Desde el punto de vista económico, la implementación de la tapa inferior rediseñada representa una inversión inicial baja en comparación con los costos asociados a fallas en componentes críticos. La propuesta utiliza materiales de menor costo relativo, incorpora aluminio reutilizado y emplea elementos de fijación simples, lo que favorece su implementación en terreno.

El análisis permite concluir que la solución es económicamente viable, considerando los siguientes beneficios:

- Disminución en la frecuencia de fallas asociadas a contaminación por polución.
- Reducción de costos de mantenimiento correctivo y compra de repuestos.
- Menor tiempo de detención de equipos por fallas no planificadas.
- Mejora en indicadores de confiabilidad, como MTBF, y mantenibilidad, como MTTR.
- Mayor facilidad de inspección visual del compartimiento inferior del motor.

En consecuencia, la inversión requerida para implementar la mejora se justifica frente a los costos que pueden generar las fallas de componentes críticos. Además, al tratarse de una solución replicable, puede evaluarse su aplicación en otros equipos de características similares dentro de la flota.

3.1.8. Síntesis del capítulo

La evaluación realizada demuestra que el rediseño de la tapa inferior del motor tiene un impacto positivo tanto desde el punto de vista técnico como económico. La reducción del ingreso de polución permite proteger componentes críticos, disminuir fallas y mejorar la disponibilidad operacional del equipo.

Los resultados obtenidos validan la propuesta como una solución efectiva para las condiciones de operación del equipo Toplifter DCG 80-90 en el entorno de Sitrans Curauma. Además, el análisis técnico-económico permite concluir que la mejora es conveniente frente a la alternativa original, ya que reduce riesgos de falla, optimiza las labores de mantenimiento y contribuye a una gestión más eficiente de los activos industriales.

Conclusiones

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de rediseño para la tapa inferior del motor del equipo portacontenedor Toplifter DCG 80-90, utilizado en las operaciones de Sitrans Curauma, con el fin de reducir las fallas asociadas a la contaminación por polución y mejorar la confiabilidad operacional del equipo.

A partir del diagnóstico inicial, se logró identificar que el diseño original de la tapa inferior, fabricado en aluminio, no responde adecuadamente a las condiciones reales de operación. Las vibraciones generadas por el terreno, junto con la exposición constante a material particulado, provocan el desprendimiento y deterioro prematuro de este componente, dejando expuestos sistemas críticos del equipo.

El análisis de causa raíz permitió establecer que la problemática no se debe únicamente a una falla puntual del componente, sino a una incompatibilidad entre el diseño original y el entorno operacional. Esta condición genera un impacto directo en la frecuencia de fallas mecánicas, eléctricas e hidráulicas, incrementando los tiempos de detención y los costos de mantenimiento.

En respuesta a esta problemática, se desarrolló una propuesta de rediseño basada en el uso de una tapa inferior fabricada en acrílico, reforzada con aluminio reutilizado y fijada mediante un sistema de pasadores. Esta solución permitió mejorar la estabilidad del conjunto, reducir el riesgo de desprendimiento y mantener la protección del compartimiento inferior del motor.

La modelación y simulación mediante software CAD permitieron validar preliminarmente el comportamiento estructural de la propuesta, evidenciando niveles de deformación aceptables para las condiciones de operación. Asimismo, la implementación de la solución permitió reducir significativamente el ingreso de polución, protegiendo componentes críticos como el embrague viscoso, la unidad de mando y el sistema de sobrealimentación.

Desde el punto de vista operativo, la propuesta contribuye a mejorar la disponibilidad del equipo, reducir las intervenciones correctivas y optimizar las labores de mantenimiento, facilitando además la inspección visual de los componentes gracias a la transparencia del material utilizado.

En términos económicos, el rediseño representa una solución viable, considerando que la inversión requerida es baja en comparación con los costos asociados a la reparación o reemplazo de componentes críticos afectados por la polución. La reducción de fallas y tiempos de detención impacta positivamente en indicadores como el MTBF y el MTTR, mejorando la gestión de mantenimiento del equipo.

En consecuencia, se concluye que la propuesta desarrollada constituye una mejora técnica y económicamente justificable, que permite adaptar el diseño del equipo a las condiciones reales de operación, aumentando su confiabilidad y contribuyendo a una gestión más eficiente de los activos industriales.

Finalmente, como proyección futura, se sugiere evaluar la implementación de esta solución en otros equipos de características similares, así como incorporar mejoras adicionales en el diseño que permitan aumentar la resistencia del sistema frente a condiciones aún más exigentes de operación.

Bibliografía

- [1] Kalmar. Kalmar empty container handler dcg80-110: Technical information. <https://www.kalmarglobal.com/equipment/masted-container-handlers/empty-container-handler-DCG80/>, 2026. Consultado el 24 de abril de 2026.
- [2] Penspen. Root cause analysis: Technical paper. <https://www.penspen.com/vp-content/uploads/2024/08/Penspen-RCA-Technical-Paper-September-2024-PDF-F.pdf>, 2024. Consultado el 24 de abril de 2026.
- [3] Robert J. Latino, Kenneth C. Latino, and Mark A. Latino. *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results*. CRC Press, Boca Raton, 5 edition, 2020.
- [4] AZoM. Polymethylmethacrylate (pmma, acrylic): General purpose grade. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=788>, 2001. Consultado el 24 de abril de 2026.
- [5] MakeItFrom.com. Polymethylmethacrylate (pmma, acrylic) material properties. <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polymethylmethacrylate-PMMA-Acrylic>, 2026. Consultado el 24 de abril de 2026.
- [6] Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill Education, New York, 11 edition, 2020.
- [7] Institute of Industrial and Systems Engineers. Z94.16 quality assurance and reliability. <https://www.iise.org/Details.aspx?id=2510>, 2026. Consultado el 24 de abril de 2026.
- [8] R. Keith Mobley. *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill, New York, 7 edition, 2008.