



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

MODELO DE MANTENIMIENTO PARA GRUAS ARTICULADAS DE LA EMPRESA  
CODIMELCO S.A.S

WILLIAM DUBAN HERNÁNDEZ AVENDAÑO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
TUNJA  
2025



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

MODELO DE MANTENIMIENTO PARA GRUAS ARTICULADAS DE LA EMPRESA  
CODIMELCO S.A.S

WILLIAM DUBAN HERNÁNDEZ AVENDAÑO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Directores

Mg. Ana Rocío Córdoba Malaver

Ing. Javier Alejandro Bonilla Páez

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
TUNJA  
2025

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por ser mi apoyo fundamental y mi pilar en mi desarrollo educativo y profesional. Su fe incondicional, me impulsaron a no rendirme y a seguir adelante en este proceso y desarrollo de mi trabajo de grado. Su sacrificio y compañía en este largo camino me enseñaron a forjar el carácter que hoy como ser humano me representa.

Este trabajo es la representación de que no estuve solo en este proceso. Gracias por creer en mí. Cada página de este trabajo lleva el reflejo de un sacrificio mutuo por salir adelante.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>14</b>
Problemática del Mantenimiento en el Sector .....	14
Contexto de la Empresa CODIMELCO S.AS .....	14
Consecuencias de No Implementar Soluciones.....	15
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	16
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>17</b>
1.1. EMPRESA: CODIMELCO S.A.S POSTES Y MATERIALES ELÉCTRICOS .....	17
1.1.1. Descripción de la empresa .....	17
1.1.2. Logotipo .....	18
1.1.3. Ubicación geográfica.....	18
1.1.4. Misión y Visión de la empresa .....	19
1.1.4.1. Misión.....	19
1.1.4.2. Visión .....	19
1.1. ÁREAS ORGANIZACIONALES DE CODIMELCO S.A.S .....	19
1.2. MAPA DE PROCESOS DE LA EMPRESA.....	21
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL.....</b>	<b>22</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	22
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	26
2.2.1. Mantenimiento.....	26
2.2.1.1. Mantenimiento preventivo .....	27
2.2.1.2. Mantenimiento Correctivo .....	27
2.2.1.3. Manteamiento Predictivo.....	27
2.2.2. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	28
2.2.2.1. Importancia del RCM en el mantenimiento .....	29

2.2.2.2. Como implementar un plan de mantenimiento RCM .....	29
2.2.3. Análisis de criticidad .....	31
2.2.4. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) .....	33
2.2.4.1. Tipos de AMEF .....	33
2.2.5. Indicadores clave de rendimiento (KPI) .....	34
2.2.5.1. Disponibilidad operativa (DO) .....	34
2.2.5.2 Tiempo medio entre Fallas (MTBF – Mean Time Between Failures) .....	34
2.2.5.3. Tiempos medios entre reparación (MTTR – Mean time to repair)	35
2.2.5.4. Disponibilidad y confiabilidad .....	35
2.2.5.5. OEE (Overall Equipment Effectiveness) .....	36
2.2.5.6. Backlog (Acumulación de trabajo pendiente) .....	36
2.3. MARCO LEGAL .....	37
<b>CAPITULO III: SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS A EVALUAR EN LA EMPRESA CODIMELCO S.A.S .....</b>	<b>40</b>
3.1. ACTIVOS DE CODIMELCO S.A.S .....	40
3.2. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS PARA IMPLEMENTAR EL MODELO DE MANTENIMIENTO RCM .....	42
3.3. GRÚAS ARTICULADAS .....	43
3.4. GRÚAS ARTICULADAS DE CODIMELCO S.A.S .....	44
3.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS CON BASE A LOS NIVELES TAXONÓMICOS DE LA NORMA ISO 14224 .....	45
3.5.1 Niveles jerárquicos de la empresa CODIMELCO S.A.S .....	47
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....</b>	<b>53</b>
4.1 EQUIPO DE TRABAJO, ACCIONES Y RECURSOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....	53
4.2. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD CTR EN LAS GRÚAS DE CODIMELCO S.A.S .....	55
4.2.1. Criterios a evaluar del análisis de criticidad CTR .....	55

4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LAS GRÚAS ARTICULADAS DE CODIMELCO S.A.S .....	56
4.4. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD CTR USANDO UN FORMATO DE EXCEL .....	60
<b>CAPITULO V: CARACTERIZACIÓN DEL ACTIVO MÁS CRÍTICO .....</b>	<b>61</b>
5.1. IDENTIFICACIÓN BÁSICA DEL ACTIVO .....	62
5.1.1. Ford Cargo 815 Modelo 2007 .....	62
5.1.2. Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3.....	62
5.2. FORD CARGO 815 DE CODIMELCO S.A.S .....	64
5.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	65
5.4. HISTORIAL Y CONDICIÓN ACTUAL DE LA FORD CARGO 815.....	67
5.4.2. Historial de mantenimiento. ....	67
5.4.2. Estado actual de la Ford Cargo 815.....	68
5.5. IMPACTO ECONÓMICO DE LA FORD CARGO 815 EN CODIMELCO S.A.S .....	68
5.5.1. Resumen financiero 2024 del servicio prestado por la grúa.....	68
5.5.2. Ingresos y egresos .....	70
5.6. PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA GRÚA FROD CARGO 815.....	71
<b>CAPITULO VI: DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y SISTEMAS PRINCIPALES DE LA GRÚA ARTICULADA FORD CARGO 815 2007.....</b>	<b>75</b>
6.1. SISTEMAS Y FUNCIONES PRINCIPALES DE LA GRÚA ARTICULADA FORD CARGO 815.....	75
6.2 DEFINICIÓN DE FUNCIONES SECUNDARIAS DE LOS SISTEMAS PRINCIPALES DEL ACTIVO. ....	78
6.3 ORGANIZACIÓN DOCUMENTAL DE LOS SISTEMAS Y FUNCIONES DEL ACTIVO .....	81
<b>CAPITULO VII: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) .....</b>	<b>83</b>
7.1. DETERMINACIÓN DE FALLAS FUNCIONALES .....	83
7.2. DETERMINACIÓN DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS DE FALLA.....	84
7.3. CONSECUENCIA DE FALLAS.....	85
7.4. ANÁLISIS DE RIESGO. ....	87

<b>CAPITULO VIII: APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM EN LA GRÚA ARTICULADA FORD CARGO 815 2007</b> .....	<b>93</b>
8.1 OBJETIVOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM.....	93
8.2 DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM.....	94
8.3 HOJA DE DECISIÓN RCM.....	95
<b>CAPÍTULO IX: METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE RENDIMIENTO (KPI) EN LA GRÚA FORD CARGO 815</b> .....	<b>99</b>
9.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS CLAVE PARA LA SELECCIÓN DE KPI'S.....	99
9.2 SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORE KPI'S PARA LA GRÚA FORD CARGO 815.....	100
9.3 RESULTADOS: ANTES Y DESPUÉS.....	104
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>107</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>110</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>113</b>

## LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Mapa de procesos de CODIMELCO S.A.S .....	21
Cuadro 2. Pasos para la implantación de un mantenimiento RCM.....	31

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Servicio de Izaje de grúa por CODIMELCO S.A.S .....	17
Figura 2. Logotipo de CODIMELCO S.A.S.....	18
Figura 3. Ubicación e instalaciones geográfica de CODIMELCO S.A.S.....	18
Figura 4: Tipos de mantenimiento .....	27
Figura 5: Técnicas de mantenimiento predictivo.....	28
Figura 6: Objetivos y preguntas estructurales de un RCM .....	30
Figura 7: Ejemplo de grúa articulada.....	44
Figura 8: Clasificación de la taxonomía según la norma ISO 14224.....	46
Figura 9: Ejemplo de codificación de un activo con la norma ISO 14224 .....	50
Figura 10: Resultado del análisis de criticidad usando la matriz CTR .....	59
Figura 11: Formato de Excel para la aplicación del análisis de criticidad CTR .....	60
Figura 12: Camión Ford Cargo 815 modelo 2007 de CODIMELCO S.A.S.....	62
Figura 13: Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3 .....	63
Figura 14: Capacidad longitudinal del brazo hidráulico MKG HLK 105 a3 .....	63
Figura 15: Capacidad de altura del brazo hidráulico MKG HLK 105 a.....	64
Figura 16: Ford Cargo 815 de CODIMELCO S.A.S.....	65
Figura 17: Vista lateral Ford Cargo 815.....	65
Figura 18: Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3 de la Ford Cargo 815 .....	65
Figura 19: Funcionamiento del brazo hidráulico MKG HLK 105 a3 de la Ford Cargo 815 .....	65
Figura 20: Diagrama de decisión RCM.....	96

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Áreas organizacionales de CODIMELCO S.A.S.....	19
Tabla 2: activos presentes en CODIMELCO S.A.S. ....	40
Tabla 3: Grúas articuladas de CODIMELCO S.A.S.....	44
Tabla 4. Niveles jerárquicos de CODIMELCO S.A.S. ....	46
Tabla 5. Especificación de cada nivel jerárquico de CODIMELCO S.A.S. ....	48
Tabla 6. Especificación de cada nivel jerárquico de CODIMELCO S.A.S. ....	51
Tabla 7: Codificación de las grúas articuladas de CODIMELCO S.A.S.....	52
Tabla 8: Proceso, equipo de trabajo, acciones y recursos que se utilizaron en el análisis de criticidad CTR.....	54
Tabla 9: Criterios con los factores ponderados para el modelo CTR.....	55
Tabla 10: Simbología de los criterios.....	56
Tabla 11: Resultados de los criterios del modelo CTR en los activos de la empresa ....	57
Tabla 12. Resultados de los criterios del modelo CTR en la grúa Chevrolet C-70.....	57
Tabla 13. Resultados del análisis de criticidad de las grúas de CODIMELCO S.A.S ....	59
Tabla 14. Historial de mantenimiento Grúa Ford Cargo 815.....	67
Tabla 15. Servicios prestados y frecuencia promedio mensual .....	69
Tabla 16. Ingreso total anual estimado por servicio.....	69
Tabla 17. Ingresos y egresos de la grúa Ford Cargo 215 del año 2024 .....	70
Tabla 18. Plantilla de orden de mantenimiento para los activos de CODIMELCO.....	72
Tabla 19. Plantilla de Solicitud de mantenimiento para los activos de CODIMELCO. ...	73
Tabla 20. Plantilla de calendario auxiliar para los activos de CODIMELCO.....	74
Tabla 21. Sistemas y funciones principales del brazo hidráulico. ....	76
Tabla 22. Sistemas y funciones principales del vehículo.....	77
Tabla 23. Funciones secundarias del brazo hidráulico .....	78
Tabla 24. Funciones secundarias del camión Ford Cargo 815. ....	79
Tabla 25. Definición de funciones del sistema del motor de la grúa .....	81

Tabla 26. Análisis de modos y efectos de falla del motor de la grúa articulada Ford Cargo 815 .....	85
Tabla 27. Consecuencias de fallas del motor de la grúa articulada de la Ford Cargo 815 2007 .....	86
Tabla 28. Tabla de probabilidad de ocurrencia .....	87
Tabla 29. Tablas de criterios de severidad.....	88
Tabla 30. Primera falla funcional del motor de la Ford Cargo 815 .....	89
Tabla 31. Resultado de criterios de ocurrencia y severidad de la primera falla del motor de la Ford Cargo 815. ....	90
Tabla 32. Análisis de riesgo del motor de la grúa articulada de la Ford Cargo 815 2007 .....	92
Tabla 33. Trabajos o tareas propuestas del diagrama de decisión RCM .....	94
Tabla 34. Análisis de riesgo del motor de la grúa articulada de la Ford Cargo 815 2007 .....	97
Tabla 35. Fallas principales en los sistemas que afecta el funcionamiento del vehículo .....	101
Tabla 36. Cualidades SMART para indicadores KPI's.....	102
Tabla 37. Indicadores KPI's seleccionados con sus fórmulas correspondientes .....	102
Tabla 38. Objetivos, meta y frecuencia de los indicadores seleccionados .....	103
Tabla 39. Resultado del desempeño del plan de mantenimiento RCM para la grúa articulada Ford Cargo 815 .....	105
Tabla 40. Resultados de los indicadores el plan de mantenimiento RCM. ....	106

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Formato de funciones de sistemas .....	114
Anexo B. Formato para el desarrollo del AMEF .....	115
Anexo C. Hoja de calculo para el desarrollo del análisis de riesgo .....	116
Anexo D. Formato para el desarrollo de la hoja de decisión .....	117
Anexo E. Formato para la recolección de datos e indicadores .....	118

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento son acciones y tareas que propietarios de activos, empresas e industrias deben ejecutar en función del trabajo que éstas pueden ofrecer. La adquisición de un activo para cumplir las necesidades del ser humano para su día a día, dependen de la autonomía y responsabilidad de quien adquiere el equipo. A nivel empresarial e industrial, la gestión de activos abarca un amplio campo de conocimiento a nivel administrativo, económico y técnico con la aplicación de metodologías que ayudan a mantener estos activo útiles y funcionales. Para ello, grandes organizaciones de estandarización y normatividad crean normas o requisitos para que un activo pueda ser aprovechado en su máxima capacidad. Implementar este tipo de normas y metodologías, refleja la buena conducta y toma de decisiones para prosperar en una empresa o industria que funciona a partir de la operación de activos.

La empresa CODIMELCO S.A.S es una compañía dedicada al préstamo de servicios de izaje, construcción e instalación de redes eléctricas. De origen boyacense, CODIMELCO S.A.S lleva 8 años de experiencia y funcionando dentro de las principales ciudades del departamento, reconocida principalmente por su servicio de grúas articuladas certificadas para trabajos de alturas, postería y transporte de material pesado.

El manejo de sus activos, principalmente el de las grúas articuladas, es por medio de metodologías correctivas y preventivas, con presencia de fallas frecuentes y costos innecesarios, por lo que se propuso el desarrollo de un proyecto que ayude a mejorar la gestión de activos en el área de mantenimiento.

Este documento, tiene como objetivo demostrar y explicar que la implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) ayuda a mejorar la gestión de activos en la empresa CODIMELCO S.A.S. Esta metodología es una prueba piloto que busca demostrar qué tan funcional puede ser este tipo de mantenimiento dentro de la empresa.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **Problemática del Mantenimiento en el Sector**

En la industria de grúas articuladas, los costos asociados a fallas imprevistas pueden impactar significativamente la operación. Según reportes de mantenimiento industrial una parada no programada de una grúa articulada puede generar costos de reparación superiores a los 5 millones de pesos colombianos por evento, y pérdidas económicas diarias aproximadas de 1.5 millones de pesos debido a la inactividad. Además, se estima que el 60% de las empresas que implementan mantenimiento predictivo logran mejorar su disponibilidad operativa en un 25%.

Asimismo, en mercados competitivos, muchos contratistas exigen actualmente que las empresas de izaje cuenten con modelos de mantenimiento estructurados y certificados como requisito para la adjudicación de proyectos.

### **Contexto de la Empresa CODIMELCO S.A.S**

CODIMELCO S.A.S es una empresa boyacense dedicada a la construcción de redes eléctricas y comercialización de materiales eléctricos. Actualmente dispone de tres grúas articuladas para la ejecución de sus proyectos. Sin embargo, enfrenta importantes desafíos operativos:

- Promedio de fallas graves: 2 fallas graves por grúa al año.
- Costo promedio de reparación: Entre 5 y 6 millones de pesos colombianos por evento.
- Costo diario por inactividad: Aproximadamente 1.5 millones de pesos.
- Retraso promedio por falla: 2 a 3 días adicionales en la entrega de proyectos.
- Impacto en contratos: Pérdida de al menos 2 contratos estratégicos en el último año, tanto por fallos mecánicos como por carecer un modelo formal de mantenimiento requerido por clientes.

Estos problemas no sólo afectan su rentabilidad y competitividad, sino que también disminuyen su reputación en el mercado y limitan su capacidad de expansión.

### **Consecuencias de No Implementar Soluciones**

De no implementar un modelo de mantenimiento estructurado, CODIMELCO S.A.S corre el riesgo de:

- Incrementar su tasa de fallas mecánicas en un 20% anual.
- Aumentar sus costos de mantenimiento correctivo en un 15%.
- Continuar perdiendo contratos, especialmente con clientes que exigen certificaciones de mantenimiento como parte de los requisitos técnicos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Crear un modelo de mantenimiento basado en la metodología RCM para una grúa articulada de la empresa CODIMELCO S.A.S, que permita optimizar su confiabilidad, disponibilidad y seguridad operativa.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Implementar metodologías como análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), para diagnosticar la presencia de fallas y funcionalidades de los activos.
- Caracterizar el activo más crítico seleccionado mediante la recolección de información técnica, histórica y operacional.
- Desarrollar el modelo de mantenimiento preventivo-predictivo alineado al modelo RCM en el activo más crítico, incorporando indicadores de gestión (KPI) que permitan evaluar su efectividad y asegurar la mejora continua.

## CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

### 1.1. EMPRESA: CODIMELCO S.A.S POSTES Y MATERIALES ELÉCTRICOS

#### 1.1.1. Descripción de la empresa

CODIMELCO S.A.S es una compañía constructora con un equipo capacitado en la intervención de obras civiles con certificaciones vigentes para el área a tratar. Así mismo, presta el servicio de venta de productos para redes de alta tensión, hincada y transporte de postiería, así como, diseño y construcción de redes internas en edificaciones cumpliendo con el reglamento técnico vigente de instalaciones eléctricas RETIE y/o RETILAB (Figura 1). A demás, se enfoca en la venta de materiales eléctricos y de construcción.

En el área de operación de activos, ofrece el servicio de grúas articuladas telescópicas con un alcance de 21 metros de altura, camas bajas y transporte de material para trabajar en el área de la Ciudad de Tunja y varios municipios del departamento de Boyacá.

Figura 1. Servicio de Izaje de grúa por CODIMELCO S.A.S



Fuente: Fotografías tomadas por CODIMELCO S.A.S

### 1.1.2. Logotipo

La compañía CODIMELCO S.A.S maneja un logo (figura 2) con el que se identifica y diferencia de otras empresas para la adquisición de sus servicios.

Figura 2. Logotipo de CODIMELCO S.A.S

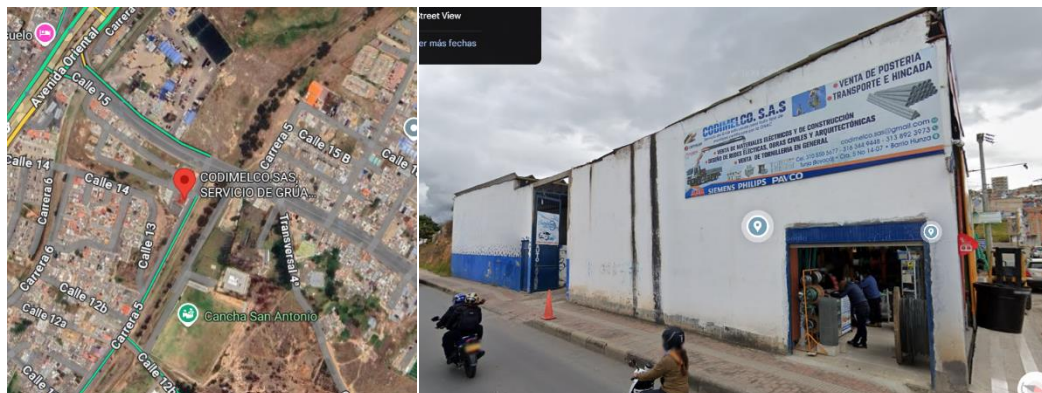


Fuente: CODIMELCO S.A.S disponible en: <https://codimelcosas.jimdofree.com>

### 1.1.3. Ubicación geográfica

La compañía constructora se ubica en Colombia en la capital del departamento de Boyacá, Tunja. Su dirección dentro de la ciudad es: Kra5N°14-07 barrio Hunza (figura 3).

Figura 3. Ubicación e instalaciones geográficas de CODIMELCO S.A.S.



Fuente: Google Maps, septiembre 2023.

#### 1.1.4. Misión y Visión de la empresa

##### 1.1.4.1. Misión

Empresa dedicada a brindar soluciones integrales en izajes, montaje de estructuras y suministro de materiales eléctricos y de construcción, comprometida con la seguridad, la calidad técnica y la satisfacción de sus clientes. A través de procesos eficientes, personal capacitado y equipos certificados, buscamos contribuir al desarrollo sostenible de proyectos de infraestructura en Colombia.

##### 1.1.4.2. Visión

Ser una empresa reconocida a nivel nacional por su excelencia operativa, su compromiso con la seguridad industrial y su capacidad para ofrecer soluciones confiables e innovadoras en el campo de los izajes y la infraestructura eléctrica y estructural.

#### 1.1. ÁREAS ORGANIZACIONALES DE CODIMELCO S.A.S

CODIMELCO S.A.S como empresa y compañía posee ramas organizacionales que se enfocan en cumplir una función y objetivos específicos. Para ello, CODIMELCO S.A.S se divide en áreas administrativas, técnicas y operacionales con labores específicos que hacen funcionar y destacar a la compañía constructora. Estas áreas organizacionales se caracterizan y se describe su función como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Áreas organizacionales de CODIMELCO S.A.S

Área	Descripción
<b>Gerencia General</b>	La Gerencia General es el núcleo estratégico y administrativo de CODIMELCO S.A.S. Esta encargada de la toma de decisiones directivas, la gestión financiera y el direccionamiento de las operaciones de todas las áreas funcionales, así como la

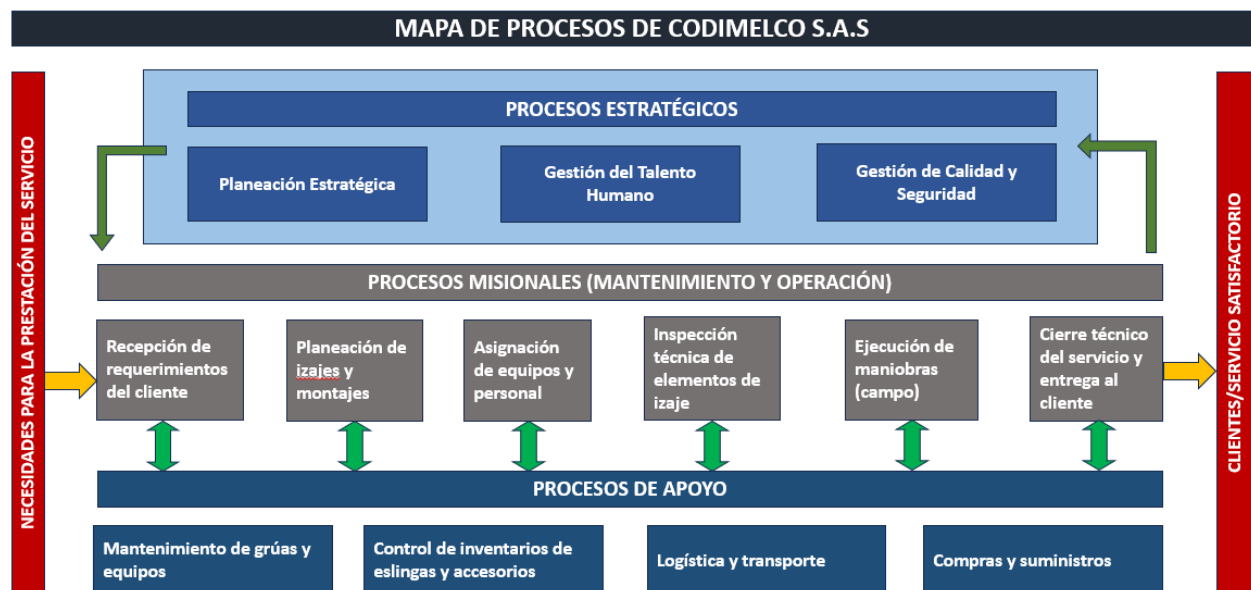
	supervisión del cumplimiento de los objetivos corporativos y liderar los procesos de mejora continua. Esta área también representa legalmente a la empresa ante clientes, entidades públicas y privadas.
<b>Operación de Izaje</b>	Esta área e la encargada de la planeación, ejecución y supervisión de todas las maniobras y operación de izaje. Gestiona el personal operativo, las grúas, accesorios de carga y las rutas logísticas para el movimiento de estructuras o materiales.
<b>Mantenimiento Mecánico</b>	Es el área responsable de la inspección, diagnóstico, mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos móviles, especialmente grúas articuladas, plataformas hidráulicas y camiones de transporte.
<b>Área de Seguridad, Salud y Medio Ambiente (HSEQ)</b>	Se encarga de garantizar el cumplimiento de normas de seguridad en todas las operaciones, especialmente las relacionadas con izajes y trabajo en altura. También gestiona capacitaciones y simulacros.
<b>Logística y Almacenamiento</b>	Se encarga de administra el inventario de eslingas, grilletes, ganchos, herramientas y repuestos. También organiza la salida y retorno del equipo al sitio y área de trabajo.
<b>Área Técnica y de Ingeniería</b>	Se caracteriza por desarrolla propuestas técnicas para clientes, así como realiza cálculos de carga, apoya los estudios de izaje y lidera proyectos de mejora como modelos de mantenimiento o rediseño de procesos.

Fuente: Elaboración propia

## 1.2. MAPA DE PROCESOS DE LA EMPRESA

Para mejor entendimiento de los procesos internos de la empresa, CODIMELCO S.A.S maneja un mapa de procesos como herramienta para determinar el flujo de trabajo, su eficiencia y gestión de proyectos. Este mapa describe las funciones y trabajos que la empresa posee bajo los objetivos, misión y visión propuesta por los mismos. Este mapa se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Mapa de procesos de CODIMELCO S.A.S



Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

El desarrollo del proyecto se centra en conceptos y normas estandarizadas establecidas para el manejo de activos en cualquier tipo de industria. Con base en el estudio y revisión previa de la metodología que se busca aplicar en la empresa, el capítulo II de marco teórico y referencial presenta las definiciones y metodologías necesarias que se pueden aplicar para el cumplimiento de los objetivos establecidos para la implementación del proyecto propuesto. Es por esto, que este capítulo se dividirá en secciones como antecedentes relacionados con la aplicación técnica de la metodología, conceptos que usa esta misma y la explicación de las normas que se planea usar en la aplicación del proyecto.

### 2.1. ANTECEDENTES

La implementación de metodologías y estrategias de mantenimiento en las diferentes industrias existentes en la actualidad, reflejan el nivel de confiabilidad, disponibilidad y producción de una empresa, por eso, previo a la aplicación del modelo a crear, se hace una revisión del área a tratar con proyectos y propuestas anteriormente diseñadas y aplicadas en diferentes áreas industriales con el objetivo de mejorar las metodologías de mantenimiento. A continuación, se describen los proyectos ya desarrollados y con similitud al trabajo propuesto a realizar:

- **Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de INTEGRRA S.A. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):**

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la flota articulada INTEGRRA S.A. que es el operador de transporte masivo MEGABUS S.A de la ciudad de Dosquebradas del departamento de Risaralda. En la aplicación y diseño de este plan, se utilizó la

codificación de identificación de los activos presentes dentro de la empresa, para diseñar formatos de tarjetas maestras con información general de cada activo. Posteriormente, se realizó un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a cada equipo dando como resultado una lista de condiciones y requerimientos de mantenimiento, para poder aplicar un análisis de criticidad a los activos. Teniendo los resultados del AMEF y el análisis de criticidad se describe los procedimientos de mejora de las fallas, así como, el uso de herramientas adecuadas para la aplicación de esta, relacionando su codificación y resultados y análisis cuantitativos. Este plan de mantenimiento se realizó teniendo en cuenta una serie de indicadores clave de gestión (KPI) con el fin de determinar las condiciones actuales de desempeño de la flota. Por último, se construye un tablero de control anual con el fin de monitorear la operación de cada vehículo y usando el software de mantenimiento que utiliza la empresa, se organizó y documento los datos obtenidos del mantenimiento aplicado<sup>1</sup>.

- **Diagnóstico y mejora de la disponibilidad de una flota de palas hidráulicas aplicando la estrategia del mantenimiento RCM:**

El trabajo tiene como finalidad realizar el diagnóstico y mejora de disponibilidad de una flota de palas hidráulicas del sector minero aplicando la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad. Así mismo, se aplica el estudio de la disponibilidad operativa actual de los equipos, el análisis de modos y efectos de fallas y la detección de problemas que reduzcan la disponibilidad de los activos, para posteriormente implementar la metodología RCM enfocado en la mejora de la disponibilidad operativa de las palas hidráulicas dentro del sector, para

---

<sup>1</sup> MONTES VILLADA, Juan David. Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de integra s.a. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) [en línea]. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira, 2013. [Consultado el 26 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/12b16aec-b9af-4276-80dc-6ebc703c7157/content>

finalmente medir su efectividad con la evaluación de objetivos y estrategias por medio de indicadores KPI's<sup>2</sup>.

- **Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores frontales 950H en una empresa constructora empleando la metodología del mantenimiento basado en confiabilidad o RCM:**

El trabajo propuesto tiene como objetivo reducir la problemática actual de gestión de mantenimiento de la empresa de construcción Conalvias (Perú), implementando un modelo de gestión RCM para aumentar un 8% la disponibilidad de los activos y disminuir un 10% los costos de mantenimiento en la obra de construcción de carreteras Canta – Huallay. Esta metodología se aplicó usando herramientas de ingeniería industrial con el análisis y selección técnica – económica propuesta para la empresa. Finalmente se demuestra que la gestión por medio de su aplicación y análisis financiero tuvo resultados viables y rentables para la empresa<sup>3</sup>.

- **Modelo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) bajo estándar SAE para el laboratorio de manufactura de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja.**

---

<sup>2</sup> PAZ CONDORI, Gonzalo Ronal. Diagnóstico y mejora de la disponibilidad de una flota de palas hidráulicas aplicando la estrategia del mantenimiento RCM [en línea]. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2024. [Consultado el 26 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/409528c9-7c58-4d5f-b78d-bdf45ce379bf/content>

<sup>3</sup> HUAMAN RODRIGUEZ, David Enrique; CHURA BORDA, Erick Paul. Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores frontales 950H en una empresa constructora empleando la metodología del mantenimiento basado en confiabilidad o RCM [en línea]. Trabajo de suficiencia profesional. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2023. [Consultado el 26 de mayo de 2025]. Disponible en: [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671898/Huaman\\_RD.pdf?sequence=1](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671898/Huaman_RD.pdf?sequence=1)

La Universidad Santo Tomas seccional Tunja, posee dentro de sus instalaciones el laboratorio de procesos de manufactura que se destaca por la presencia de equipos para procesos de manufactura o metalmecánica de materiales. Estos equipos al tener un enfoque educativo y de aprendizaje, hace que su disposición y funcionamiento sea fundamental para el desarrollo de clase de la comunidad educativa. Como la Universidad maneja metodologías de mantenimiento preventivas y correctivas, los activos presentan averías y paradas frecuentes, por lo que se decide implementar un modelo basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para mitigar esta problemática. Esta metodología incluye la jerarquización de los activos, análisis de criticidad e implantación y estudio de AMEF<sup>4</sup>.

- **Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados.**

El artículo propuesto menciona la relación e importancia de la gestión técnica de mantenimiento y el área administrativa de la misma. Para asegurar que la gestión de mantenimiento se está gestionando de forma adecuada se mide y se obtiene valores que indiquen si los resultados se encuentran dentro de los parámetros esperados para la gestión. Para ello, se realiza la elección de indicadores KPI (Key Performance Indicators) que ayudan a estudiar el nivel de estado en que se encuentran los procesos de mantenimiento<sup>5</sup>. Por este motivo, el autor describe los indicadores de gestión que pueden ser aplicados en la industria con la operación y manejo de equipo pesado.

---

<sup>4</sup> SÁNCHEZ ROMERO, Lina María. Modelo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) bajo estándar SAE para el laboratorio de manufactura de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja [en línea]. Tesis de grado. Universidad Santo Tomas, 2024 [Consultado el 31 de mayo de 25]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/items/2e9b4a7d-7644-4e33-b0b3-652715c6c7ef>

<sup>5</sup>ZEGARRA Manuel. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas. 2016, enero - abril [en línea], 19(1). 25 – 37 [Consultado el 3 de junio de 2025]. eISSN 2409-2045 Disponible en: <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/viewFile/1219/1189>

- **Dominando los indicadores de mantenimiento:**

Se trata de un libro electrónico que da a conocer los principales indicadores de mantenimiento (KPI's), explicado cómo funciona, se mide su valor y en qué área en específico se enfoca cada indicador. Además, destaca cómo estos indicadores se convierten en aliados estratégicos, que aseguran las metodologías de mantenimiento de manera eficaz teniendo en cuenta los objetivos y metas de una empresa o proyecto.<sup>6</sup>

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

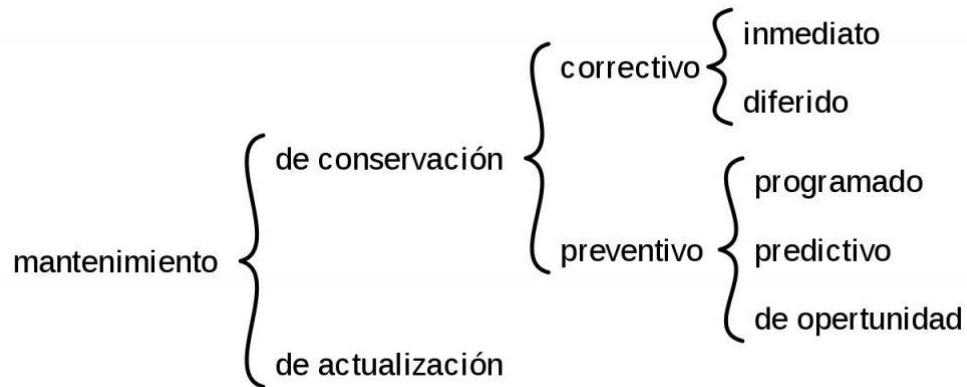
### **2.2.1. Mantenimiento**

El mantenimiento es la planeación de acciones o tomas de decisiones con enfoques técnicos y administrativos para mantener un activo o equipo en funcionamiento para el cumplimiento de objetivos o trabajos específicos dentro de una empresa o industria, mejorando factores como disponibilidad, seguridad, costos y confiabilidad en los diferentes activos existentes. A medida que se planea una metodología de mantenimiento, existen varios tipos de esta (figura 4) que, dependiendo del enfoque y los objetivos, se decide aplicar técnicas de mantenimiento según la necesidad del equipo y producción de la empresa o industria. Estos tipos de mantenimiento se muestra en la siguiente figura:

---

<sup>6</sup> FRACTTAL. Manejando indicadores de mantenimiento [en línea]. (s.l), 2024. [Consultado el 6/08/2025]. Disponible en: <https://www.fractal.com/hubfs/Fractal%20Website%202021/webinar/congreso-heroes-del-mantenimiento-octubre-2023/ebooks/dominando-los-indicadores-de-mantenimiento.pdf>

Figura 4: Tipos de mantenimiento



Fuente: Tecnoblog. Disponible en: <https://www.tecnoblog.com/tipos-de-mantenimiento-industrial/>

### **2.2.1.1. Mantenimiento preventivo**

Este tipo de mantenimiento se basa en acciones que ayudan a reducir el desgaste prematuro con la revisión de indicadores, técnicas de lubricación ajuste de piezas y limpieza del activo. El mantenimiento preventivo se caracteriza por ser de bajo costo, por realizarse con frecuencia (según la operación constante del activo) cuando el uso y operación del activo es de baja demanda y no presenta afectaciones en la producción de la empresa.

### **2.2.1.2. Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo corrige fallas imprevistas del activo generando altos costos para su reparación. Esto genera paradas largas en el activo, presentado problemas en la producción de una empresa.

### **2.2.1.3. Manteamiento Predictivo**

Maneja técnicas y metodologías que ayudan a predecir la presencia de fallas o desgastes de un activo. Para ello, se usan actividades, técnicas y herramientas

(figura 5) que ayudan a dar un diagnóstico preciso de las fallas y/o desgastes presentes en el activo.

Figura 5: Técnicas de mantenimiento predictivo.



Fuente: Tknika. Disponible en: <https://tknika.eus/cont/materiales/herramientas-de-mantenimiento-predictivo/>

### 2.2.2. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), es una metodología estrategia que busca optimizar procesos de mantenimiento y mejorar la confiabilidad de los activos. Esto ayuda a que los activos continúen desempeñando las funciones requeridas por el área de mantenimiento en el contexto operacional, desde la revisión del diseño, operación, mantenimiento del sistema en sí y el equipamiento asociado.<sup>7</sup>

<sup>7</sup>CAPARACHIN CONDORI W., Emilio J. Mantenimiento centrado en la confiabilidad mediante kpis de mantenimiento, aplicado a la chancadora de quijada COMESA 24" x 36" de la planta concentradora Polimetalica CIA. Minera Lincuna

El RCM tiene como objetivo principal identificar los modos de fallas en un equipo o sistema, para desarrollar un programa de mantenimiento que se encargue de mitigar y/o prevenir las fallas. Para la gestión de activos, el RCM ofrece un método que permite gestionar el mantenimiento y garantizar la funcionalidad del sistema a través de acciones de mantenimiento estratégicamente planeadas basadas en datos cualitativos y cuantitativos del sistema en análisis, como por ejemplo el MTBF, MTTR, tasa de fallos, entre otros.<sup>8</sup>

### **2.2.2.1. Importancia del RCM en el mantenimiento**

La implementación de un plan de mantenimiento RCM tiene como finalidad la mejora de la confiabilidad de los activos con el manejo apropiado de los modos de fallas que afectan directamente tanto al activo como a la empresa. Este tipo de mantenimiento también ayuda a optimizar las estrategias de mantenimiento, que, al mismo tiempo ayuda a mejorar indicadores como disponibilidad, tiempos muertos, costos, confiabilidad y seguridad operativa.

### **2.2.2.2. Como implementar un plan de mantenimiento RCM**

Para la implementación de un mantenimiento RCM, se debe tener claro los objetivos de este tipo de mantenimiento y estructurar las acciones necesarias para garantizar la funcionalidad del sistema respondiendo a las preguntas<sup>9</sup> que se muestran en la siguiente figura.

---

S.A. [En línea]. Informe de experiencia profesional. Universidad Nacional del Santa, 2019. [Consultado el 21/07/2025]. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3395>

<sup>8</sup> FRACTTAL. [Sitio web]. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). [Consultado el 27/07/2025]. Disponible en: [www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad](http://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad)

<sup>9</sup> FRACTTAL. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).[Sitio Web]. (s.l). [Consultado el 6/08/2025]. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad>

Figura 6: Objetivos y preguntas estructurales de un RCM



Fuente: Fractal. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad>

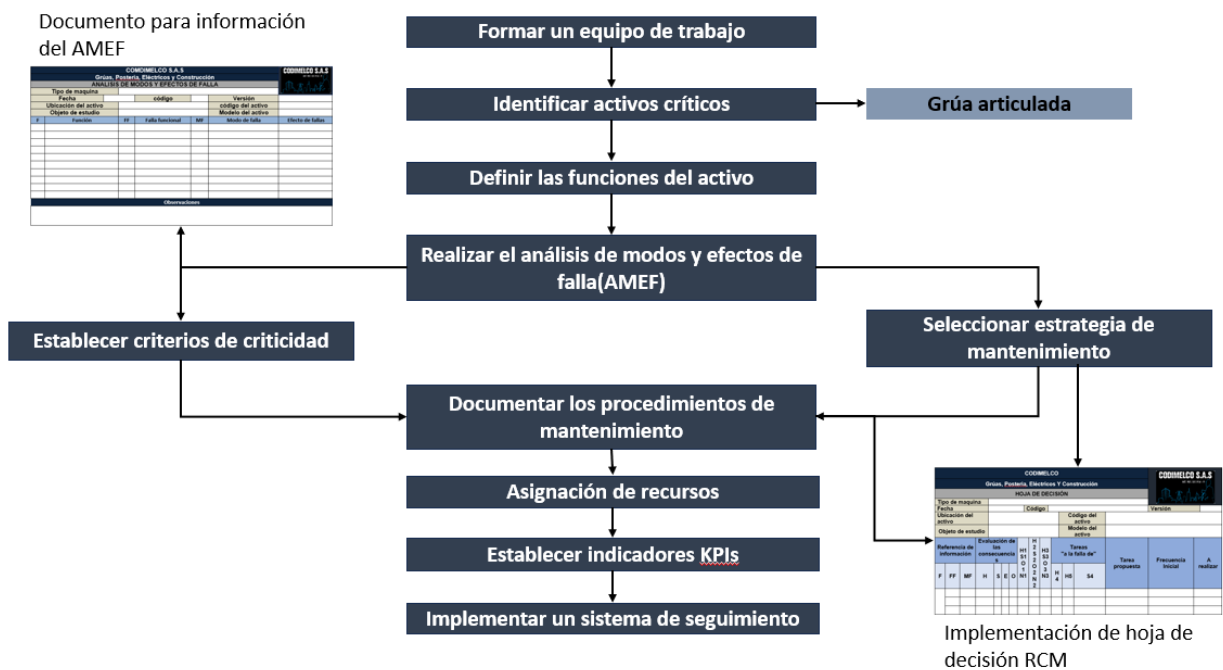
El mantenimiento RCM también se caracteriza por tener en cuenta que tipo de activo presentan riesgos de toda clase que pueden ser gestionados o intervenidos para generar fiabilidad en el desarrollo de esta metodología. Estas fallas o riesgo se pueden clasificar en:

- **Fallas Funcionales:** Impide que el activo realice el trabajo o función requerida.
- **Fallas latentes:** Fallas que no se presenta como falla funcional, pero si no se intervienen podrían generarlo.

- **Degradaciones:** Degradación gradual del rendimiento del equipo a lo largo del tiempo.<sup>10</sup>

Conociendo cómo funciona un RCM, a continuación, se muestran los pasos de cómo implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (ver cuadro 2). Estos mismos pasos a mostrar, se implementaron en el proyecto, usando el sistema de ejemplo que se muestra en capítulos más adelante.

Cuadro 2. Pasos para la implantación de un mantenimiento RCM



Fuente: Elaboración propia con base a Fracttal.

### 2.2.3. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es un procedimiento que ayuda a medir el nivel crítico de un activo por medio de las fallas potenciales que este puede presentar. “Este análisis ayuda a

<sup>10</sup> Ibíd, Fracttal.

priorizar los equipos o sistemas en función de su gravedad y frecuencia de posibles fallas potenciales, garantizando nuevas metodologías y modelos en planes de mantenimientos más rigurosos y estratégicos.”<sup>11</sup>.

Este análisis de criticidad se caracteriza por poseer varios tipos o metodologías en que se puede hallar la criticidad de un activo. Dentro de los más comunes y utilizados en el mundo del mantenimiento, es el Modelo de criticidad semicuantitativo CTR (Criticidad total por riesgo). Se usa principalmente por su practicidad, fácil manejo y entendimiento. Por otro lado, centra su estudio y enfoque en los niveles de riesgo de un activo, midiendo la severidad con la frecuencia de fallas.

Esta metodología usa ecuaciones que valora el nivel de criticidad total por riesgo usando la ecuación (1), que opera la frecuencia de fallas con la consecuencia de eventos o severidad del activo a estudiar.

$$CTR = FF * C \quad (1)$$

Donde:

CTR= Criticidad total por riesgo

FF= Frecuencia de fallas en un tiempo determinado.

C= Consecuencia de eventos de fallas

Para hallar el valor de la consecuencia de fallas se usa la ecuación (2). Esta ecuación usa la evaluación de factores dentro de una empresa o compañía. Para hallar el valor de cada una de ellas, el modelo CTR maneja una serie de factores ponderados que según el estado actual del activo recibe una calificación diferente. Las calificaciones o valores a

---

<sup>11</sup> SÁNCHEZ ROMERO, Lina María. Modelo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) bajo estándar SAE para el laboratorio de manufactura de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja [en línea]. Tesis de grado. Universidad Santo Tomas, 2024 [Consultado el 31 de mayo de 25]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/items/2e9b4a7d-7644-4e33-b0b3-652715c6c7ef>

seleccionar de los criterios tratados en la ecuación, se mostrarán en el capítulo IV donde se explica a profundidad su aplicación.

$$C=(IS*FO) +CM+SAH \quad (2)$$

Donde:

IO= Factor de disponibilidad o impacto operacional

FO = Factor de impacto por Flexibilidad Operacional

CM = Factor de impacto en Costes de Mantenimiento

SHA = Factor de impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente

#### **2.2.4. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)**

Una metodología clave para el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, es el análisis de modos y efectos de fallas. Este análisis ayuda a detectar y estudiar las fallas presentes en un sistema, activo o proceso de una empresa. El AMEF tiene como objetivo, ayudar a mitigar eventos problemáticos que provoquen fallas potenciales, así como evaluar los efectos de fallas y su respectivo análisis de riesgo.

Las normas SAE JA1011, SAE JA1012 y SAE J1739, describe como aplicar este análisis de forma adecuada, usando terminologías que el mantenimiento RCM aplica dentro de su creación y diseño.

##### **2.2.4.1. Tipos de AMEF**

Como los enfoques y objetivos para un plan de mantenimiento son diferentes, existen tres tipos de análisis de modos y efectos de falla. Estos tipos se caracterizan por:

- **AMEF de proceso:** Identifica fallas en un proceso de producción en un industria o empresa.

- **AMEF de sistema:** Identifica fallas potenciales en sistemas, subsistemas y componentes de un activo.
- **AMEF de diseño:** identifica fallas potenciales en diseños de un activo, sistema o proceso

### 2.2.5. Indicadores clave de rendimiento (KPI)

Los indicadores clave de rendimiento KPI's (por sus siglas en inglés) es una herramienta fundamental utilizada para medir y evaluar el desempeño y la eficacia de las actividades de mantenimiento en una organización.<sup>12</sup> Se caracterizan por ser objetivos que se miden por datos cuantitativos y cualitativos en parámetros como tiempos muertos, costos, rendimiento, disponibilidad y confiabilidad.

Actualmente, existen muchos indicadores que evalúan el desempeño de un plan de mantenimiento en un activo o proceso. Los principales indicadores clave de rendimiento son:

#### 2.2.5.1. Disponibilidad operativa (DO)

Se encarga de medir el tiempo de un activo cuando está disponible para cumplir con la función o trabajo planeado. La fórmula o ecuación para determinar el valor es:

$$DO = \frac{\textit{T tiempo de actividad}}{\textit{T tiempo de actividad + T tiempo de inactividad}} * 100 \quad (3)$$

---

<sup>12</sup> FRACTTAL. Manejando indicadores de mantenimiento [en línea]. (s.l), 2024. [Consultado el 6/08/2025]. Disponible en: <https://www.fractal.com/hubfs/Fractal%20Website%202021/webinar/congreso-heroes-del-mantenimiento-octubre-2023/ebooks/dominando-los-indicadores-de-mantenimiento.pdf>

### 2.2.5.2 Tiempo medio entre fallas (MTBF – Mean Time Between Failures)

Este indicador mide el tiempo entre fallas que presenta un activo. Cuanto mayor sea el MTBF, mayor será la confiabilidad percibida del sistema. El MTBF es una medida del tiempo promedio entre fallas consecutivas de un sistema o componente reparable.<sup>13</sup> La ecuación para obtener su valor es:

$$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de fallas}} \quad (4)$$

### 2.2.5.3. Tiempos medios entre reparación (MTTR – Mean time to repair)

Este indicador muestra el tiempo promedio que demoran las reparaciones o intervenciones a la máquina por motivos mecánicos. Si el valor de un MTTR es bajo, resalta que ha presentado mejoras en tiempos cortos y justos para la reparación de una falla o avería. Las buenas prácticas de mantenimiento recomiendan que el valor promedio del indicador MTTR se encuentre entre 3 y 6 horas.<sup>14</sup>

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{No. de paradas}} \quad (5)$$

### 2.2.5.4. Disponibilidad y confiabilidad

Para hallar el valor de disponibilidad y confiabilidad, la plataforma de mantenimiento Fractal aclara que se utilizan diferentes métricas e indicadores, el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio para reparación (MTTR), entre otros. Estos indicadores ayudan a las organizaciones a evaluar el rendimiento de

---

<sup>13</sup> Ibid, p.7.

<sup>14</sup> ZEGARRA Manuel. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas. 2016, enero - abril [en línea], 19(1). 25 – 37 [Consultado el 3 de junio de 2025]. eISSN 2409-2045 Disponible en: <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/viewFile/1219/1189>

sus activos, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para optimizar la disponibilidad y la confiabilidad<sup>15</sup>.

$$D(\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

#### **2.2.5.5. OEE (Overall Equipment Effectiveness)**

Este indicador mide la disponibilidad, calidad y rendimiento de una empresa o producción. Se evalúa utilizando las siguientes formulas.

$$OEE = Disponibilidad * Calidad * Rendimiento \quad (7)$$

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo de producción}{Tiempo programado para producir} \quad (8)$$

$$Calidad = \frac{Cantidad de buenos productos}{Cantidad total producida} \quad (9)$$

$$Rendimiento = \frac{Producción real}{Cantidad de producción prevista} \quad (10)$$

#### **2.2.5.6. Backlog (Acumulación de trabajo pendiente)**

Como su nombre lo dice, este indicador mide la acumulación de trabajo pendiente en el área de mantenimiento de una empresa. El Backlog puede llegar a medir mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos que no se han realizado. El valor alto de este indicador refleja impactos negativos en el área de mantenimiento

---

<sup>15</sup> FRACTTAL. 5 indicadores clave en el departamento de mantenimiento. [Sitio Web]. (s.l). [Consultado el 6/08/2025].

Disponible en: <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/indicadores-de-mantenimiento>

con la ejecución de áreas y tiempo de esperas. Para hallar el valor de este indicador se utiliza las siguientes formulas.

$$Backlog = \frac{Demanda\ actual}{\sum HH\ Disponibles} \quad (11)$$

$$Demanda\ actual = \sum HH\ OTs\ Planificadas + \sum HH\ OTs\ Pendientes + \sum HH\ OTs\ Programadas \quad (12)$$

$$\sum HH\ Disponibles = HH\ totales * Factor\ de\ productividad(\%) \quad (13)$$

Donde:

HH = Horas/Hombre

OTs = Ordenes de trabajo

### 2.3. MARCO LEGAL

Las metodologías y técnicas de mantenimiento que hoy en día se implementan en grandes y pequeñas industrias, son bajo normas estandarizadas que miden el nivel de calidad, seguridad y eficiencia. Para el sector de mantenimiento y los objetivos que plantea este proyecto, se aplican las siguientes normas estandarizadas para el manejo y gestión de activos.

- **Norma SAE J1739 - Análisis de efectos y modos de falla potencial (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR suplementario y FMEA de proceso.**

Esta norma se encarga de identificar las fallas dentro de procesos de fabricación y ensamblaje (FMEA – MSR), así como en el área de diseño de una activo o proceso (DFEMA). Ayuda a los usuarios a identificar y mitigar riesgos

proporcionando términos, requisitos, cuadros de calificación y hojas de trabajo adecuados.<sup>16</sup>

- **Norma SAE JA1011 - Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.**

La norma SAE JA1011 abarca términos y conceptos que se emplea en el mantenimiento centrado en confiabilidad. Junto a los conceptos, aplica una serie de preguntas que se deben tener en cuenta antes de aplicar un mantenimiento RCM, con el fin de asegurar si el activo, proceso o sistema es apropiado para implementar un mantenimiento RCM. Las preguntas a indagar son:

1. ¿Cuáles son las funciones y normas asociadas deseadas de desempeño del recurso en su contexto de operación actual?
2. ¿En cuáles modos puede fallar el cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Qué causa cada falla funcional?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
5. ¿De qué manera afecta cada falla?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible?<sup>17</sup>

- **Norma SAE JA1012 - Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).**

---

<sup>16</sup> SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Análisis de efectos y modos de falla potencial (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR suplementario y FMEA de proceso. SAE J1739. JAN2021. 105 p.

<sup>17</sup> SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. SAE JA1011.1999. 12 p.

La SAE JA1012 amplifica y aclara los criterios y terminologías de la norma SAE JA1011, para establecer estudios con más profundidad en los efectos de falla y las probabilidades e impactos que estas pueden llegar a generar en un activo o en la producción.<sup>18</sup>

- **Norma internacional ISO 14224 - Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos:**

Usa la recolección de datos para manejo de confiabilidad y mantenimiento para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural en oleoductos y gaseoductos. La información permitirá al usuario cuantificar la confiabilidad del equipo y compararla con la confiabilidad de equipos de características similares.<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). SAE JA1012. 2002. 62 p.

<sup>19</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural— recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224. 3ed. Reino Unido. ISO 2016. 280 p.

### CAPITULO III: SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS A EVALUAR EN LA EMPRESA CODIMELCO S.A.S

#### 3.1. ACTIVOS DE CODIMELCO S.A.S

CODIMELCO S.A.S al ser una empresa que brinda múltiples servicios, posee activos y herramientas que permiten a la compañía cumplir su trabajo. Para el desarrollo del proyecto se analizaron los activos presentes dentro de las instalaciones de CODIMELCO S.A.S (tabla 2) y junto con el área gerencial de la empresa se decide que activos van a ser evaluados con las metodologías a tratar en este proyecto.

Tabla 2: activos presentes en CODIMELCO S.A.S.

<b>Categoría</b>	<b>Activo</b>	<b>Estado</b>	<b>Observaciones</b>
Vehículo	Camión grúa Ford Cargo con HIAB	Operativo	Mantenimiento RCM en desarrollo
Vehículo	Camión grúa Chevrolet C70	Operativo	-
Vehículo	Camión grúa Ford 7000	Operativo	-
Vehículo	Equipo hidráulico adicional	Revisar	Posible mantenimiento necesario
Herramienta	Máquina de medir cable	Disponible	Sin uso frecuente actualmente
Herramienta	Gatos hidráulicos	Funcional	Almacenadas en taller móvil
Herramienta	Slingas de izaje	Revisión periódica	Pueden tener desgaste por uso
Herramienta	Eslingas de cadena	En uso	Certificadas por operarios
Herramienta	Tensores y grilletes	Completo	Etiquetado por capacidad

Herramienta	Casco y EPP personal	Distribuidos	Reposición cada 6 meses
Herramienta	Taladro inalámbrico	Funcional	Uso en campo
Herramienta	Cajas de herramientas	Completo	3 unidades en camiones
Equipo de diagnóstico	Manómetro hidráulico	Funcional	Uso exclusivo en taller
Equipo de diagnóstico	Multímetro digital	Operativo	Modelo Fluke
Equipo de diagnóstico	Calibradores	Completos	Se almacenan por camión
Equipo de diagnóstico	Computador portátil técnico	Disponible	Necesita actualización
Infraestructura	Oficina administrativa	Operativa	Escritorios, archivadores, sillas
Infraestructura	Bodega y taller	En uso	Para mantenimiento de grúas
Infraestructura	Escritorios y sillas	Completos	Inventariar por unidad
Infraestructura	Estanterías metálicas	Buen estado	Uso para eslingas y grilletes
Infraestructura	Artículos en inventario para la venta.	Nuevo	Comercialización por parte de CODIMELCO
Infraestructura	Computadores de escritorio	2 unidades	Con acceso a software contable
Infraestructura	Licencia software contable	Activo	Pago mensual o anual
Activo digital	Licencias de AutoCAD / SolidWorks	En uso	1 licencia activa
Activo digital	Base de datos clientes	Confidencial	Respaldar en nube mensualmente

Activo digital	Manuales técnicos	Digital	Clasificados por grúa
Activo digital	SOAT y tecno mecánica	Vigente	Revisar cada año
Documento legal	Pólizas de seguro	Activa	Registrar fechas de renovación
Documento legal	Manuales de operación	Completos	En bodega y vehículos
Documento legal	Licencias de conducción	Vigentes	Actualización regular
Documento legal	Cámara de seguridad	Funcionales	4 unidades operativas
Otro activo	Ruteadores y red LAN	Operativa	Red interna en funcionamiento
Otro activo	Impresora multifuncional	Activa	Para facturación y escaneo
Otro activo	Botiquines y extintores	1 por vehículo	También en oficina

Fuente: Elaboración propia

### **3.2. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS PARA IMPLEMENTAR EL MODELO DE MANTENIMIENTO RCM**

Para la selección de los activos, se comunicó con las áreas principales de la empresa para identificar que activos son los apropiados para la implementación del modelo de plan de mantenimiento. Para ello, se determinaron algunos criterios y requisitos de medición que cumplen con las cualidades técnicas y administrativas para este proyecto. Estos requisitos son:

- El activo debe tener una alta demanda dentro del funcionamiento de la prestación del servicio de la empresa.
- Debe contar con historial de mantenimiento de al menos el último año

- Presentar fallas con frecuencia, paradas inesperadas y bajo nivel de disponibilidad y confiabilidad.
- Debe contar con personal técnico y capacitado para la aplicación de cualquier tipo de mantenimientos.
- El equipo debe generar una gran ganancia económica con la prestación de su servicio.
- La selección se debe hacer entre tres o más activos dentro de una misma área o proceso de la empresa.

Definidos los requisitos, se evaluó cada activo y se dio a la conclusión que los equipos más apropiados para la aplicación de la metodología RCM son las grúas articuladas, pues se consideran como los activos con mayor demanda y al mismo tiempo son los que presentan más fallas, debido a su frecuente uso.

Dentro de un impacto económico, las grúas aportan una gran parte del ingreso económico de la empresa, pues su servicio, al ser solicitado con frecuencia y en sectores donde el trabajo requiere de una operación meticulosa y calificada, la valorización del servicio es significativo a diferencia de otros servicios que ofrece la empresa.

### **3.3. GRÚAS ARTICULADAS**

Las grúas articuladas (figura 7) son camiones que cuentan con un brazo articulado con la capacidad de doblarse en varios segmentos con sistemas hidráulicos, diseñados principalmente para trabajos en alturas o elevación de materiales. Estos se caracterizan por contar con el permiso de trabajar y desplazarse dentro de ciudades o espacios públicos con áreas reducidas.

Figura 7: Ejemplo de grúa articulada




Fuente: Trex F disponible en: <https://www.equipostrex.com/col/productos/gruas-articuladas/gruas-articuladas-ligeras/>

### 3.4. GRÚAS ARTICULADAS DE CODIMELCO S.A.S

La compañía CODIMELCO S.A.S trabaja principalmente con tres grúas articuladas. Debido a la demanda de estos vehículos, la presencia de fallas y paradas inesperadas frecuentes, se decide aplicar el modelo de mantenimiento RCM en estos tres activos. Las tres grúas a evaluar se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Grúas articuladas de CODIMELCO S.A.S

No.	Modelo Grúa Articulada	Fotografía
1	Ford F800	

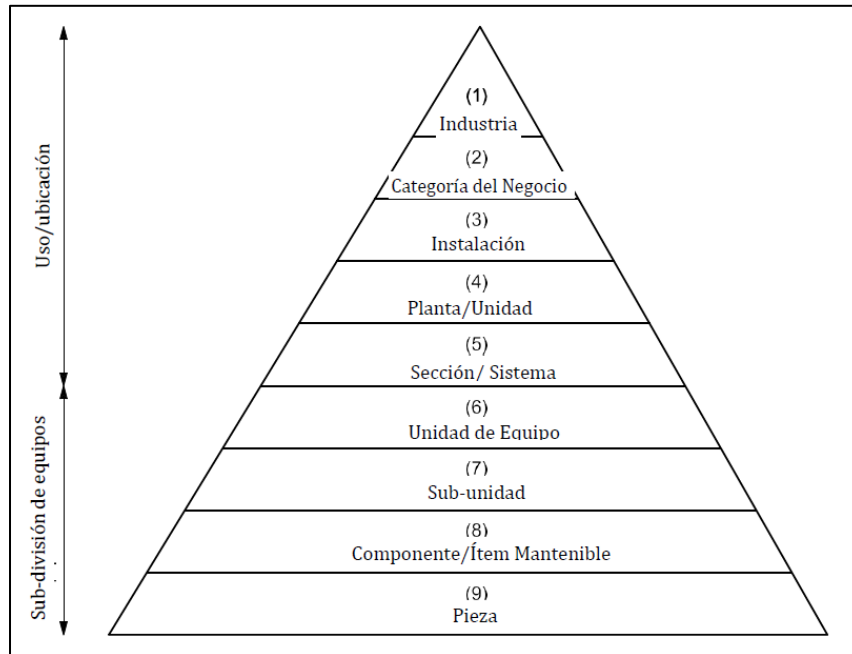
2	Chevrolet C-70	
3	Ford cargo 815	

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS CON BASE A LOS NIVELES TAXONÓMICOS DE LA NORMA ISO 14224

Para la aplicación de la norma ISO 14224, se usa la información y documentación de datos técnicos de las grúas y la empresa, como los son la ubicación, tipo de proceso y características físicas como el tipo de activo, sistemas, subsistemas, piezas y componentes. Para ello, esta norma diseña una clasificación jerárquica por medio de una pirámide (figura 8), que organiza por niveles taxonómicos dichas características y proceso perteneciente, donde se divide principalmente en dos secciones que clasifica la información con respecto a su uso y ubicación, y la subdivisión de los equipos.

Figura 8: Clasificación de la taxonomía según la norma ISO 14224



Fuente: Norma ISO14224, 2016.

Implementando esta norma en la empresa, se hace un análisis y estudio de las categorías estructurales de CODIMELCO S.A.S relacionándolo con los activos seleccionados, mencionados en la sección 3.2. De una forma general se diseña la tabla 4, que define los niveles taxonómicos de la empresa CODIMELCO S.A.S como lo parametriza la norma ISO 14224. Para la clasificación y definición de los niveles se tienen en cuenta características de la empresa, como lo son principalmente sus instalaciones, áreas que conforma y los activos que posee.

Tabla 4. Niveles jerárquicos de CODIMELCO S.A.S.

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Taxonomía jerárquica	Descripción
Uso/Ubicación Datos	1	Industria	Construcción y comercio

	2	Categoría de negocio	Prestadora de servicios de Grúas
	3	Instalación	CODIMELCO S.A.S
	4	Planta / Unidad	Área de parqueo de las grúas
	5	Sección / Sistema	Almacenamiento y venta de materiales
<b>Subdivisión de equipos</b>	6	Unidad del equipo	Camión/Grúa
	7	Subunidad	Sistema principal del activo
	8	Componente / ítem mantenible	Partes individuales de la subunidad
	9	Pieza	Pieza reemplazable

Fuente: Elaboración propia con base a la norma ISO 14224, 2016

Los niveles que componen la subdivisión del equipo, hacen referencia a los sistemas, subsistemas, piezas y componentes del activo al que se desea identificar.

Posteriormente, teniendo ya definida la clasificación jerárquica general de la empresa, se empieza a determinar la clasificación de las características mencionadas en la tabla 4 en los activos seleccionados. Teniendo en cuenta la finalidad de los objetivos planteados, se aplicará la clasificación a las grúas de la compañía, para finalmente diseñar un modelo de codificación a los activos a evaluar.

### **3.5.1 Niveles jerárquicos de la empresa CODIMELCO S.A.S**

Como se muestra en la figura 8 y la clasificación de la tabla 4, se toma cada nivel y se describe e identifica cada cualidad según el nivel taxonómico de la empresa. Como se busca clasificar la información, en la tabla 5, se ordena los datos de cada nivel con las

generalidades de la compañía CODIMELCO S.A.S y las posibles diferencias que esta posea dentro de su entorno laboral.

Tabla 5. Especificación de cada nivel jerárquico de CODIMELCO S.A.S.

Nivel taxonómico	Taxonomía jerárquica	Referencia	Descripción de la empresa
1	Industria	Hace referencia al tipo de industria al que pertenece la empresa.	CODIMELCO S.A.S es una compañía constructora de obras y comercializadora de materiales eléctricos y de construcción. Realiza instalación y diseño de redes eléctricas y prestación de servicios de operación e intervención de ingeniería.
2	Categoría de negocio	Es el tipo de negocio o servicio que ofrece la empresa.	Como empresa constructora brinda principalmente el servicio de operación de grúas articuladas para trabajos en alturas de levantamiento de materiales pesados.
3	Instalación	Es el lugar o la infraestructura en donde se ubica y opera la empresa. Puede poseer varias sedes de trabajo.	CODIMELCO S.A.S presta sus servicios con su sede principal en la ciudad de Tunja, en el barrio Hunza en la dirección Kra 5 N° 14-07 y una segunda sede en la en la vía Tunja Paipa sector Runta

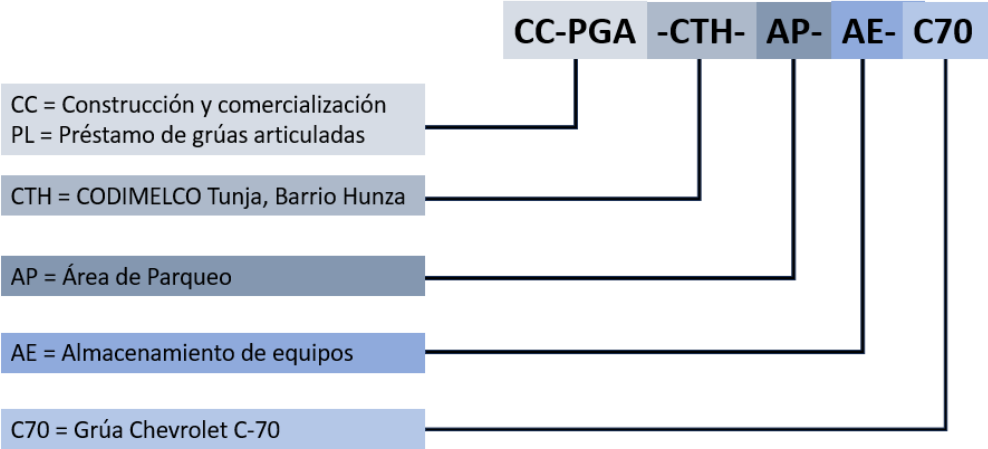
4	Planta / Unidad	Es un área en específica en donde funciona un proceso completo.	Áreas de parqueo de las grúas articuladas.
5	Sección / Sistema	Son las especialidades en las que se enfoca la planta o unidad.	Almacenamiento de equipos (Grúas) y materiales (Postes)
6	Unidad del equipo	Son los activos presentes en las instalaciones de la empresa	El proyecto se centra en el estudio de las grúas articuladas Ford Cargo 815, Ford F800 y Chevrolet C-70.
7	Subunidad	Son los sistemas que presenta el equipo principal para su funcionamiento.	Sistemas principales de la grúa seleccionada
8	Componente / ítem mantenible	El grupo de piezas del equipo que comúnmente se mantienen	Componente de la grúa seleccionada
9	Pieza	Parte individual de un equipo	Pieza de la grúa seleccionada

Fuente: Elaboración propia con base a la norma ISO 14224.

Teniendo identificados los niveles de la empresa, se propone un nuevo modelo de identificación y representación de los activos según cada nivel taxonómico. Para ello, se usa letras, abreviaciones y números, para identificar cada nivel del activo seleccionado. En la figura 9, se muestra un ejemplo de cómo se identifica una codificación en un activo

y su interpretación por medio de los niveles jerárquicos. Esta imagen, muestra el modelo de codificación que se propone.

Figura 9: Ejemplo de codificación de un activo con la norma ISO 14224



Fuente: Elaboración propia con base en Sánchez Romero, 2024

Para iniciar con la codificación general de cada activo, se toma cada nivel y reconociendo el enfoque de cada una, se usan abreviaciones y números para identificar cada nivel. Implementando la codificación en la empresa CODIMELCO S.A.S se diseña la tabla 6 para la organización e interpretación de cada dato requerido para el modelo de identificación.

**Nota:** la codificación diseñada se centra en la caracterización de las grúas en la sede principal de CODIMELCO S.A.S, ya que las dos sedes presentan áreas para el parqueo y almacenamiento de las grúas, sin embargo, se diseñará una codificación para identificar cada sede.

Tabla 6. Especificación de cada nivel jerárquico de CODIMELCO S.A.S.

Nivel	Taxonomía Jerárquica	Referencia de la empresa	Código
I	Industria	Constructora y comercializadora	CC
II	Categoría de negocio	Prestadora de servicio de grúas articuladas	PGA
III	Instalación	CODIMELCO S.A.S Tunja, Barrio Hunza (Sede principal)	CTH
		CODIMELCO S.A.S Tunja, Sector Runta	CTR
IV	Planta / Unidad	Área parqueo, Sede principal	AP
		Área parqueo, Sede Runta	AR
<b>Información para la sede principal</b>			
V	Sección / Sistema	Almacenamiento de equipos	AE
		Venta de materiales	AM
VI	Unidad del equipo	Ford Cargo	FC
		Chevrolet C-70	C70
		Ford F-800	F800

Fuente: Elaboración propia con base a la norma ISO 14224

Definido cada código, se unen los primeros seis niveles propuestos en la tabla 6. “Esto se hace con el fin de implantar una forma más técnica y precisa de identificación de los activos, principalmente para los sistemas, subsistemas, componentes y elementos que posee cada activo para procedimientos como análisis, estudios y mantenimientos”<sup>20</sup>. Finalmente, el modelo de codificación de las grúas articuladas de CODIMELCO S.A.S se identifican como se muestra en la tabla 7.

<sup>20</sup> SÁNCHEZ ROMERO, Lina María. Modelo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) bajo estándar SAE para el laboratorio de manufactura de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja [en línea]. Tesis de grado. Universidad Santo Tomas, 2024 [Consultado el 12 de junio de 25]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/items/2e9b4a7d-7644-4e33-b0b3-652715c6c7ef>

Tabla 7: Codificación de las grúas articuladas de CODIMELCO S.A.S

<b>Activo (Grúa articulada)</b>	<b>Codificación</b>
<b>Ford Cargo 815</b>	CC-PGA-CTH-AP-AE-FC
<b>Chevrolet C-70</b>	CC-PGA-CTH-AP-AE-C70
<b>Ford F-800</b>	CC-PGA-CTH-AP-AE-F800

Fuente: Elaboración propia con base a la norma ISO 14224

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS DE CRITICIDAD**

La aplicación de un análisis de criticidad establece una jerarquía que tiene como fin identificar y priorizar los activos en estado crítico, empleando valores o estrategias en función de la presencia de fallas en un tiempo establecido. Determinados los activos críticos, se busca diseñar un plan de mantenimiento con la intención de implementar metodologías más rigurosas y/o estrategias especializadas en la mejora y mitigación directa de las fallas presentes en el equipo.

Teniendo en cuenta las funcionalidades e importancias de la aplicación de un análisis de criticidad dentro de una empresa o producción, se decide implementar esta metodología en la compañía CODIMELCO S.A.S con los activos seccionados y mencionados en el capítulo III. Para ello, se hace una revisión previa de cómo aplicar un análisis de criticidad y cuál de los tipos existentes es conveniente y apropiado para los activos de la empresa.

Como se explicó en el capítulo II en los antecedentes y marco conceptual, existen diferentes tipos de análisis de criticidad, que, tomando el enfoque en los objetivos de este proyecto y de la empresa, se decide implementar el modelo de criticidad CTR (Criticidad total por riesgo), por su practicidad en cualquier tipo de industria y por centrarse en un análisis de riesgo por medio del estudio de la severidad y la frecuencia de las fallas presentes en el activo.

### **4.1 EQUIPO DE TRABAJO, ACCIONES Y RECURSOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD**

Como se explicó en la sección 2.2.3 del capítulo II, el análisis de criticidad CTR aplica su estudio por medio del personal de trabajo que posee una empresa, para luego evaluarlo con los factores ponderados que utiliza el modelo CTR para hallar el nivel de criticidad del activo. Como se hace un análisis de diferentes áreas técnicas y administrativas de la empresa, se reunieron las áreas de trabajo necesarias para evaluar cada activo con

impactos en mantenimiento, costos y seguridad. Además de la evaluación de los activos por parte de las diferentes áreas de la empresa, se aplicaron otros tipos de recursos y acciones necesarios para determinar el nivel de criticidad. Este proceso se midió y organizó como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8: Proceso, equipo de trabajo, acciones y recursos que se utilizaron en el análisis de criticidad CTR.

<b>Factor CTR</b>	<b>Área de la empresa que evaluó el activo</b>	<b>Acciones</b>	<b>Recursos</b>
<b>Frecuencia de fallas</b>	Mantenimiento mecánico y área técnica y de ingeniería	Junto a las diferentes áreas de la empresa, se evalúa cada activo	Fichas técnicas de los equipos, manuales de operación e
<b>Impacto operacional</b>	Operación de izaje y área técnica y de ingeniería	según las características y factores	historiales de mantenimiento, Hojas de vida
<b>Flexibilidad operacional</b>	Operación de izaje y área técnica y de ingeniería	ponderados que el modelo de criticidad CTR	Documentación y registro de cualidades y
<b>Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SAH)</b>	Área de Seguridad, Salud y Medio Ambiente (HSEQ)	maneja para hallar la criticidad de los activos. De forma unánime, cada área	funcionalidades de los equipos en los ámbitos requeridos para el análisis.
<b>Costos de mantenimiento</b>	Gerencia general, logística y almacenamiento, área técnica y de ingeniería	toma un valor final según el impacto que haya tenido el activo en el área a tratar.	

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD CTR EN LAS GRÚAS DE CODIMELCO S.A.S

### 4.2.1. Criterios a evaluar del análisis de criticidad CTR

Conociendo la metodología CTR y su aplicación, se evalúa criterios con los factores ponderados que, dependiendo del estado y funcionamiento de los equipos en un tiempo determinado, se define su valor crítico. En la tabla 9 se presentan los factores y sus valores a evaluar.

Tabla 9: Criterios con los factores ponderados para el modelo CTR

<b>Criterios a evaluar del análisis de criticidad CTR</b>	
<b>Frecuencia de fallas</b>	<b>Factor</b>
Pobre: mayor a 2 fallas/año	4
Promedio: 2 fallas/año	3
Buena: 1 falla/año	2
Excelente: Menos de 0.5 fallas/año	1
<b>Impacto Operacional</b>	<b>Factor</b>
Pérdida de toda la producción (despacho)	10
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7
Impacta en niveles de inventario y/o calidad	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
<b>Costo de mantenimiento</b>	<b>Factor</b>
Mayor o igual a \$8'000.000 COP	2
Menor que \$8'000.000 COP	1
<b>Impacto en Seguridad, Ambiente e higiene</b>	<b>Factor</b>
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos a la organización.	8

Afecta el ambiente /instalaciones.	7
Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores (ambiente/seguridad)	3
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o el ambiente	1
<b>Flexibilidad Operacional</b>	<b>Factor</b>
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido /almacén	2
Función de repuesto disponible	1

Fuente: elaboración propia con base a Parra Carlo y Crespo Márquez Adolfo, 2019

Como se nombró anteriormente, los criterios tratados se identifican o simbolizan por medio de las siglas que contiene las tabla 10.

Tabla 10: Simbología de los criterios

<b>Criterio</b>	<b>Sigla</b>
Frecuencia de fallas	FF
Impacto Operacional	IO
Costo de mantenimiento	CM
Impacto en Seguridad, Ambiente e higiene	SAH
Flexibilidad Operacional	FO

Fuente: Elaboración propia.

### **4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LAS GRÚAS ARTICULADAS DE CODIMELCO S.A.S**

Para obtener los resultados del análisis de criticidad de los activos se tuvo en cuenta los siguientes lineamientos generales:

- El análisis de los activos se aplicó teniendo en cuenta los datos de mantenimiento de un año. Para este caso, se usó la información del periodo 2024-2 y 2025-1.
- El análisis de criticidad de cada activo incluye información tanto del brazo hidráulico, como del vehículo en general, esto debido a que el uso del activo se enfoca principalmente en el sistema hidráulico.

Ahora, teniendo en cuenta los criterios y valores para la evaluación del nivel de criticidad de los activos que se muestran en la tabla 9, se aplica el análisis de los criterios en las tres grúas articuladas de CODIMELCO S.A.S (ver tabla 11).

Tabla 11: Resultados de los criterios del modelo CTR en los activos de la empresa

Activo	Evaluación de los criterios				
	FF	IO	CM	SAH	FO
Ford Cargo 815	4	7	2	3	2
Ford F-800	2	7	2	3	2
Chevrolet C-70	1	7	1	3	2

Fuente: Elaboración propia

Este modelo de análisis de criticidad es el resultado de la operación de las ecuaciones (1) y (2) que se mencionan en la sección 2.2.3, donde muestra cómo se obtiene un resultado más minucioso de los niveles críticos del activo.

Para la explicación de este procedimiento, se toma como ejemplo los resultados de la evaluación de los criterios de la grúa Chevrolet C-70 (ver tabla 12).

Tabla 12. Resultados de los criterios del modelo CTR en la grúa Chevrolet C-70

Activo	FF	IO	CM	SAH	FO
Chevrolet C-70	1	7	1	3	2

Fuente: elaboración propia

Con los resultados de cada criterio evaluado del equipo, se utilizan las ecuaciones (1) y (2) para hallar la criticidad total por riesgo (CTR) y la consecuencia de los eventos de falla (C).

$$CTR = FF * C \quad (1)$$

Donde:

CTR= Criticidad total por riesgo

FF= Frecuencia de fallas en un tiempo determinado.

C= Consecuencia eventos de fallas

$$C = (IS * FO) + CM + SHA \quad (2)$$

Donde:

IO= Factor de disponibilidad o impacto operacional

FO = Factor de impacto por Flexibilidad Operacional

CM = Factor de impacto en Costes de Mantenimiento

SHA = Factor de impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente

### **DESARROLLO:**

Reemplazamos los datos en la ecuación (2)

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

$$C = (7 * 2) + 1 + 3$$

$$C = 18$$

Posteriormente, se obtiene el valor total de la criticidad del activo con la ecuación (1)

$$CTR = FF * C$$

$$CTR = 1 \times ((7 \times 2) + 1 + 3)$$

$$CTR = 18$$

Finalmente, usando la matriz que el modelo CTR aporta para el análisis, se calcula la criticidad total del activo. Esta matriz funciona de tal forma que el valor de la frecuencia de fallas (FF) se posiciona en el eje vertical y el valor de las consecuencias (C) en el eje horizontal como se muestra a continuación en la figura 10. <sup>21</sup>

Figura 10: Resultado del análisis de criticidad usando la matriz CTR

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C	
	3	NC	MC	MC	C	C	
	2	NC	NC	MC	C	C	
	1	NC	NC	NC	MC	C	
		10	18	20	30	40	50-200
Consecuencia							

Fuente: Elaboración con base a Sánchez Romero, 2024 y formato de gestión de mantenimiento.

Ahora conociendo el funcionamiento y aplicación de un modelo de criticidad CTR, se aplica ese mismo procedimiento a las grúas articuladas restantes. Este procedimiento dio como resultado los siguientes niveles de criticidad (ver tabla 13).

Tabla 13. Resultados del análisis de criticidad de las grúas de CODIMELCO S.A.S

Activo	Nivel Critico	Estado actual del activo
<b>Ford Cargo 815</b>	76	<b>Critico</b>
<b>Ford F-800</b>	36	<b>Critico</b>
<b>Chevrolet C-70</b>	18	<b>No critico</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>21</sup> SÁNCHEZ ROMERO, Lina María. Modelo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) bajo estándar SAE para el laboratorio de manufactura de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja [en línea]. Tesis de grado. Universidad Santo Tomas, 2024 [Consultado el 12 de junio de 25]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/items/2e9b4a7d-7644-4e33-b0b3-652715c6c7ef>

#### 4.4. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD CTR USANDO UN FORMATO DE EXCEL

Para hacer el estudio de una forma más sencilla y rápida, se usó un formato de Excel que agilizo el proceso de estudio de los activos. Este formato se obtuvo del aprendizaje de la materia de gestión de mantenimiento. Como se puede observar en la figura 11, el formato informa y explica los criterios con sus factores ponderados, así como, el cálculo de las ecuaciones mencionadas anteriormente y la matriz funcional que define la criticidad total del activo. Este formato fue una herramienta útil para el desarrollo de este proyecto.

Figura 11: Formato de Excel para la aplicación del análisis de criticidad CTR

MODELO DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO "CTR" (CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO)									
Criterios a evaluar		Criterio a evaluar			Flexibilidad Operacional (FO)				
Frecuencia de fallas (FF)	Factor	Costo de mantenimiento (CM)		Factor	No existe opción de producción y no hay función		4		
Pobre: mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a \$3205500		2	Hay opción de repuesto compartido almacén		2		
Promedio: 2 fallas/año	3	Menor que \$3205500		1	Función de repuesto disponible		1		
Buena: 1 falla/año	2	<b>Ingrese valor</b>			<b>2</b>				
Ejecelente: Menos de 0.5 fallas/año	1								
<b>Ingrese valor</b>									
Impacto Operacional (IO)		Impacto en Seguridad, Ambiente e higiene (SAH)							
Pérdida de toda la producción (despacho)	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos a la organización.		8	Criterios a evaluar	Valores			
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente instalaciones.		7	Frecuencia de fallas	0			
Impacta en niveles de inventario y/o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos		5	Impacto Operacional	0			
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca daños menores (ambiente/seguridad)		3	Flexibilidad Operacional	0			
<b>Ingrese valor</b>		No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o el ambiente		1	Costo de mantenimiento	0			
		<b>Ingrese valor</b>			Impacto en SAH		0		
CONSECUENCIA=(IMPACTO OPERACIONAL*FLEXIBILIDAD)+COSTO MANTENIMIENTO+IMPACTO (SAH)									
CONSECUENCIA		0							
CRITICIDAD TOTAL= FRECUENCIA*CONSECUENCIA DE FALLAS									
CRITICIDAD TOTAL		0							

4	MC	MC	C	C	C
3	NC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	NC	MC	C
	Consecuencia				
	10	20	30	40	50-200

NC	Area de equipos "NO CRITICOS"
MC	Area de equipos "MEDIANA CRITICIDAD"
C	Area de equipos "CRITICOS"

Fuente: formato de la asignatura de gestión de mantenimiento.

## **CAPITULO V: CARACTERIZACIÓN DEL ACTIVO MÁS CRITICO**

Con el análisis de criticidad aplicado en las grúas, a continuación, se toma el activo con el nivel más alto en criticidad para iniciar con el desarrollo del plan de mantenimiento RCM como prueba piloto en el activo y en la empresa. Previamente al estudio y análisis de las fallas y el plan de mantenimiento en el equipo, se realiza una caracterización del activo como método de identificación y análisis de factores que influyen en el desarrollo de plan. Esto se hace con el fin, de estudiar desde fondo en que está fallando la empresa en la toma acciones y organización documental del activo.

Siendo la grúa Ford Cargo 815 el equipo más crítico, la descripción de las características del vehículo se verá centrado en la documentación y registro de acciones de mantenimiento, así como, las debilidades y los puntos críticos del activo.

Para la realización de la caracterización, se tuvo en cuenta ciertas generalidades para organizar la información a documentar. Estas generalidades son:

- Debido a que la empresa no presenta una documentación formal de la información de los activos, para el desarrollo de la caracterización se diseñaron plantillas y formatos acordes a la empresa y la información a tratar.
- En este capítulo, también se busca mencionar la información de procesos de mantenimiento de los equipos de los últimos dos años (2023-2024), así como los posibles cambios o modificaciones que tuvo el equipo.
- Se plantea nuevas formas de organización y manejo de información del equipo diseñando formatos para la planeación de cualquier tipo de mantenimiento.

## 5.1. IDENTIFICACIÓN BÁSICA DEL ACTIVO

### 5.1.1. Ford Cargo 815 Modelo 2007

La Ford Cargo 815 (figura 12) es un vehículo tipo camión, con la característica de ser liviano con funcionalidades de transporte en áreas urbanas y de carga mediana con una capacidad entre 4000kg y 5000kg. Tiene un peso aproximadamente de 8.500 kg. Su motor es un Cummins 4BTAA 3.9L, con un torque de 414.8N/m a 1600 rpm. Cuenta con una transmisión manual de 5 velocidades, frenos hidráulicos con asistencia neumática. Tiene unas dimensiones aproximadas son 5,3 metros de largo, 2,3 de ancho y 2,6 de alto. A este vehículo se le puede agregar carrocería en estacas, tipo furgón y sistemas hidráulicos para trabajos de carga.

Figura 12: Camión Ford Cargo 815 modelo 2007 de CODIMELCO S.A.S



Fuente: Fotografía tomada por el autor

### 5.1.2. Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3

El brazo hidráulico MKG HLK 105 (figura 13) se enfoca en trabajos de carga de materiales, trabajos urbanos, construcción y servicios logístico. Está diseñado para montarse en camiones o instalaciones de este tipo de trabajo. Este tipo de maquina

ofrece beneficios, que dependiendo de la versión (a1, a2, a3, a4 y a5) pueden variar. Entre estos beneficios, está un gran alcance hidráulico, una capacidad de carga de 4.1 toneladas, rotación continua o ajustable, brazo hidráulico sobre estirable, estabilizadores y limitador electrónico de carga.

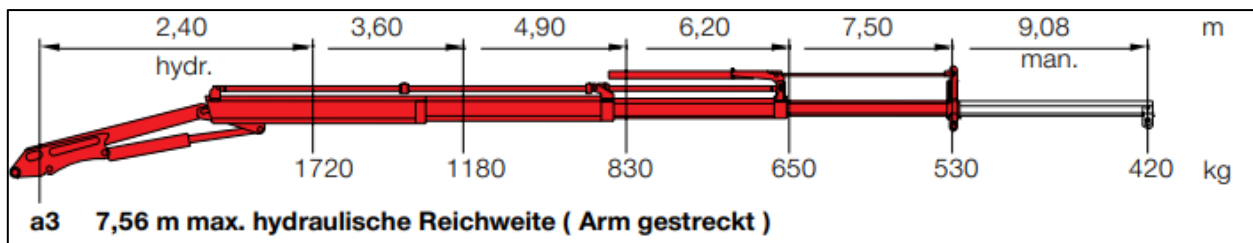
Figura 13: Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3



Fuente: OLX Disponible en: <https://olx.ba/artikal/57824656>

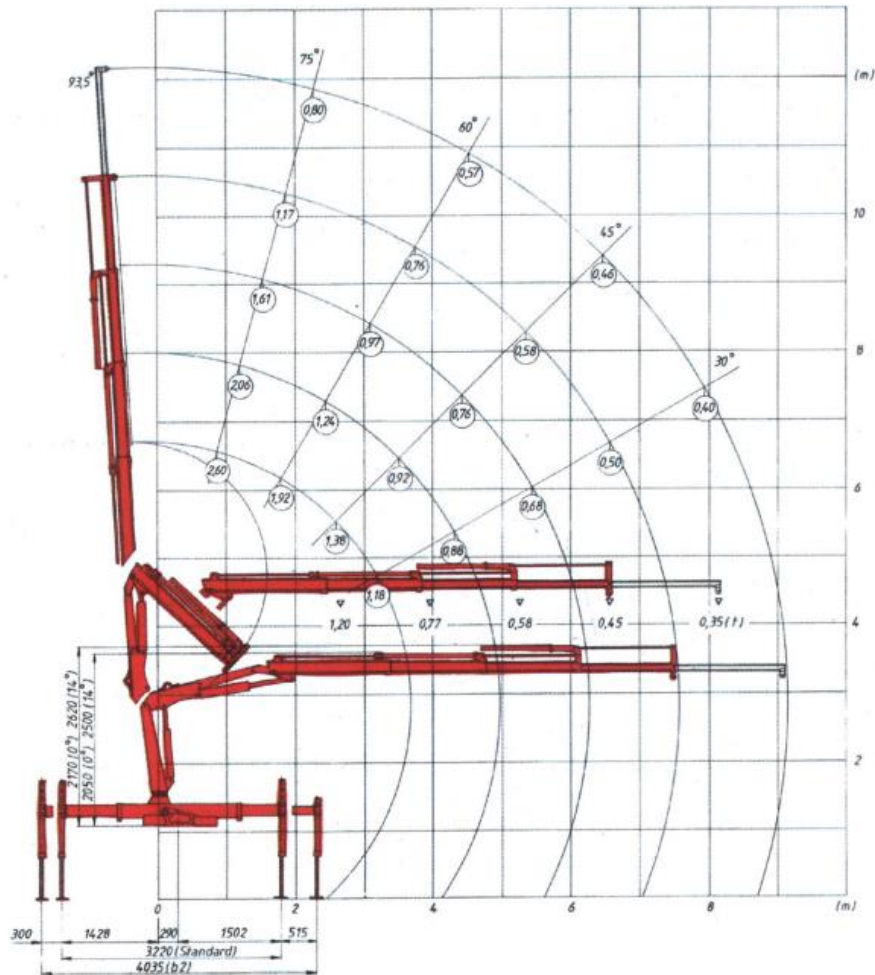
En el caso de la Ford Cargo 815 que posee CODIMELCO S.A.S, la versión de la grúa que se presenta en el vehículo es la MKG HLK 105 a3. Según la ficha técnica del equipo, las capacidades operativas y datos técnicos son las que se muestran en las siguientes figuras:

Figura 14: Capacidad longitudinal del brazo hidráulico MKG HLK 105 a3



Fuente: Lectura Specs. Disponible en: <https://www.lectura-specs.es/es/modelo/gruas-de-carga/gruas-de-carga-hidraulicas-mkg/hlk-105-a3-17245>

Figura 15: Capacidad de altura del brazo hidráulico MKG HLK 105 a



Fuente: Lectura Specs Disponible en: <https://www.lectura-specs.es/es/modelo/gruas-de-carga/gruas-de-carga-hidraulicas-mkg/hlk-105-a3-17245>

## 5.2. FORD CARGO 815 DE CODIMELCO S.A.S

La grúa Ford Cargo 815 modelo 2007 de la empresa, se caracteriza por tener las características anteriormente mencionadas. Tanto el vehículo como el brazo hidráulico, físicamente se identifican y diferencia como se muestran en las siguientes imágenes. Las cualidades técnicas del activo se mostrarán a continuación en la siguiente sección con su ficha técnica.

Figura 16: Ford Cargo 815 de CODIMELCO S.A.S



Figura 17: Vista lateral Ford Cargo 815



Figura 18: Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3 de la Ford Cargo 815



Figura 19: Funcionamiento del brazo hidráulico MKG HLK 105 a3 de la Ford Cargo 815

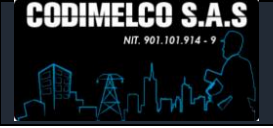


Fuente: Fotografías tomadas por el autor

### 5.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Teniendo la información técnica y operativa del activo mencionadas en la sección anterior, se diseña una ficha técnica acorde a las características de la grúa y a la información que brinda la empresa. El modelo de la ficha técnica, que se muestra a continuación, cuenta con la información básica del activo, proveedores de repuestos y datos de la empresa que identifica el activo dentro de ella.

Cuadro 3. Ficha técnica de la grúa articulada Ford Cargo 815

COMDIMELCO S.A.S						
Grúas, Posteria, Eléctricos Y Construcción						
FICHA TECNICA						
Tipo de maquina		Grúas articuladas				
Fecha	4/06/2025	Código	CO01	Versión	1	
Características técnicas vehículo						
Modelo	Ford Cargo 2007		Código de identificación	CC-PGA-CTH-AP-AE-FC		
Motor	Diesel		Modelo motor	Cummins 4 BT AA		
Color vehículo	Azul Bavaro		Transmisión	EATON FS 2305		
Placa	SJK-459		Número de motor	30232253		
Características técnicas Grúa articulada						
Equipo Brazo hidráulico	HIAB		Altura máxima (m)	10		
Modelo Brazo Hidráulico	-		Longitud mecánica max. (m)	9		
Capacidad de carga	5 ton		Longitud hidráulica max. (m)	7,5		
Sistema hidráulico	Parker		Longitud Vertical (m)	10		
Sistema de control	Joystick hidráulico manual		Longitud horizontal (m)	9		
Dimensiones						
Largo (m)	7		No. De ejes	2		Tipo de plataforma
Ancho (m)	2,4		Sistema estabilización	Estabilizadores hidráulicos telescópicos laterales		
Carga con barandas removibles						
Características generales						
Función						
Vehículo para levantamiento y movimiento de material pesado, facilitando la colocación de objetos en altura y el transporte de materiales en espacios reducidos.						
Manuales			Clase de vehículo			
Mant.	Técnico	Operación	Camión			
✓	✓	✓				
Planos						
Repuestos						
Reparación / Taller						
Observaciones						
Proveedores (repuestos e insumos)						
Compañía	Dirección		Teléfono / Contacto		Especialidad	
Tornimangueras	Carrera 11 #5-61, Barrio Libertador, Tunja, Boyacá		312 455 1701		Suministro de mangueras hidráulicas, conexiones y accesorios industriales.	
Pilares	Carrera 5 #14-09, Tunja, Boyacá, Colombia		+57 (320) 245-6252		Distribución de EPP, dotaciones industriales y elementos de seguridad para mantenimiento e izajes.	
Equinehy S.A.S.	Calle 14 No. 54-25, Puente Aranda, Bogotá		57 1 4790022		Representante autorizado de Parker. Componentes neumáticos e hidráulicos.	
PCL (Puente Aranda)	Carrera 59 No. 14-49, Puente Aranda, Bogotá		(601) 743 1983		Distribuidor oficial de productos Parker. Soluciones hidráulicas industriales.	
Procarga	Bogotá, Colombia		Sitio web: www.procarga.com		Eslingas de izaje, cables, cadenas, polipastos y sistemas de sujeción.	

<b>Ferropetrol</b>	Bogotá, Colombia	Sitio web: www.ferropetrol.com	Ganchos, cadenas grado 80 y accesorios para izajes de cargas pesadas.
--------------------	------------------	-----------------------------------	---


Fuente: elaboración propia

## 5.4. HISTORIAL Y CONDICIÓN ACTUAL DE LA FORD CARGO 815

### 5.4.2. Historial de mantenimiento.

CODIMELCO S.A.S implementa un historial de los principales mantenimientos preventivos y correctivos aplicados en la Ford Cargo 815. Para la organización de este historial, se diseña la plantilla que organiza la información mencionada y se muestra información recolectada de los últimos dos años (2024 – 2023) (tabla 14).

Tabla 14. Historial de mantenimiento Grúa Ford Cargo 815.

<b>COMDIMELCO S.A.S</b>					
<b>Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción</b>					
<b>HOJA DE VIDA DE LOS ACTIVOS</b>					
<b>Tipo de maquina</b>	<b>Grúas articuladas</b>				
<b>Fecha</b>	4/06/2025	<b>Código</b>	CO01	<b>Versión</b>	<b>1</b>
<b>Características del activo</b>					
<b>Marca</b>	Ford		<b>Código del activo</b>	<b>CC-PGA-CTH-AP-AE-FC</b>	
<b>Modelo</b>	Cargo 815		<b>Color vehículo</b>	Azul Bávaro	
<b>Mantenimiento</b>					
<b>Descripción del procedimiento</b>	<b>Tipo de mantenimiento</b>		<b>Fecha</b>	<b>Estado del activo</b>	<b>Nombre del encargado</b>
	<b>Preventivo</b>	<b>Correctivo</b>			
Rectificado y cambio de cilindro y empaques		X	20/10/2024		Andrés Pérez
Cambio de manguera	X		15/09/2024		Luis Ramírez
Revisión técnica	X		13/08/2024		Luis Ramírez
Cambio de pastillas	X		2/07/2024		María Torres
Revisión y limpieza de radiador	X		28/06/2024		Carlos López
Cambio de fusibles		X	14/06/2024		Sofía Martínez
Rectificado y ajuste	X		30/05/2024		Andrés Pérez
Soldadura		X	12/05/2024		María Torres
Limpieza y cambio de juntas	X		22/04/2024		Carlos López

Cambio de empaques	X		1/04/2024		Luis Ramírez
Reemplazo de polea		X	17/03/2024		Sofía Martínez
Cambio completo del cilindro		X	1/03/2024		Andrés Pérez
Reparación parcial	X		11/02/2024		Carlos López
Sustitución completa		X	25/01/2024		Luis Ramírez
Lijado y pintura técnica		X	18/12/2023		María Torres
Cambio de cableado parcial		X	9/11/2023		Sofía Martínez
Sustitución de bujes	X		15/10/2023		Carlos López
Ajuste del sistema		X	5/09/2023		Andrés Pérez
Mantenimiento preventivo	X		17/08/2023		Luis Ramírez
Rectificado completo		X	3/07/2023		Sofía Martínez
<b>Observaciones</b>					

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.2. Estado actual de la Ford Cargo 815

Actualmente, el vehículo opera con recurrencia y normalidad, pero presenta fallas en sistema de la caja de cambios. Siendo un activo muy demandado, se expone a mantenimientos tanto correctivos, como preventivos continuamente.

#### 5.5. IMPACTO ECONÓMICO DE LA FORD CARGO 815 EN CODIMELCO S.A.S

Junto a la información que brindó la empresa, se hizo un estudio del impacto económico que generó la grúa articulada en el año 2024. Se analizó el valor de los principales servicios que presta el activo, costos de mantenimiento, ingresos y egresos. Esto se hace con el fin de observar y analizar el flujo de valores del préstamo de los servicios y qué acciones se pueden implementar para la reducción de costos innecesarios que van destinados a los procesos de mantenimiento.

### 5.5.1. Resumen financiero 2024 del servicio prestado por la grúa

Se presenta un consolidado de los ingresos generados por la grúa articulada grúa Ford Cargo 815 durante el año 2024, con un promedio de 21 días laborados al mes, y la realización de diversos servicios como izaje de postes, estructuras metálicas, uso de canasta, entre otros. Se han ajustado los valores de acuerdo con condiciones del mercado y experiencia operativa en el sector. En la tabla 15 y 16 se puede observar los servicios que CODIMELCO S.A.S brinda a sus clientes, su valor adquisitivo y el valor aproximado del ingreso de cada servicio anual y mensual.

Tabla 15. Servicios prestados y frecuencia promedio mensual

Tipo de Servicio	Cantidad Promedio	Precio Unitario	Ingreso Mensual Aproximado
Izaje de postes de concreto	10	\$250.000	\$2.500.000
Izaje de estructuras metálicas	6	\$400.000	\$2.400.000
Servicio de canasta (por hora)	30 horas	\$120.000	\$3.600.000
Carga y descarga de maquinaria	4	\$500.000	\$2.000.000
Traslado de estructuras livianas	5	\$350.000	\$1.750.000
Apoyo en construcción y montaje	3	\$600.000	\$1.800.000
Servicio especial nocturno	1	\$750.000	\$750.000
Apoyo a entidades públicas	1	\$600.000	\$600.000

Fuente: elaboración propia

**Ingreso mensual aproximado: \$15.400.000**

**Ingreso diario promedio: \$733.000**

Tabla 16. Ingreso total anual estimado por servicio

Tipo de Servicio	Ingreso Mensual (COP)	Ingreso Anual (COP)
Izaje de postes de concreto	\$2.500.000	\$30.000.000

Izaje de estructuras metálicas	\$2.400.000	\$28.800.000
Servicio de canasta	\$3.600.000	\$43.200.000
Carga y descarga de maquinaria	\$2.000.000	\$24.000.000
Traslado de estructuras livianas	\$1.750.000	\$21.000.000
Apoyo en construcción y montaje	\$1.800.000	\$21.600.000
Servicio especial nocturno	\$750.000	\$9.000.000
Apoyo a entidades públicas	\$600.000	\$7.200.000
<b>Totales</b>	<b>\$15.400.000</b>	<b>\$184.800.000</b>

Fuente: elaboración propia

### 5.5.2. Ingresos y egresos

Tabla 17. Ingresos y egresos de la grúa Ford Cargo 215 del año 2024

<b>INGRESOS BRUTOS</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad Anual Estimada</b>	<b>Valor Unitario (COP)</b>	<b>Total, Anual (COP)</b>
Izajes de postes de concreto	Servicio	150	\$ 360.000	\$ 54.000.000
Izajes de estructuras metálicas	Servicio	110	\$ 500.000	\$ 55.000.000
Servicios de canasta (personas)	Hora	250	\$ 120.000	\$ 30.000.000
Transporte de cargas y rescates	Servicio	60	\$ 400.000	\$ 24.000.000
Servicios varios (tendidos, apoyo)	Servicio	50	\$ 350.000	\$ 17.500.000
<b>Total, de ingresos Brutos</b>				<b>\$180.500.000</b>
<b>EGRESOS (COSTOS OPERATIVOS)</b>				
<b>EGRESOS (COSTOS OPERATIVOS)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad Anual Estimada</b>	<b>Valor Unitario (COP)</b>	<b>Total, Anual (COP)</b>
Combustible	Mensual	12	\$ 1.300.000	\$ 15.600.000

Mantenimiento preventivo	Trimestral	4	\$ 2.800.000	\$ 11.200.000
Reparaciones correctivas	Evento estimado	3	\$ 3.500.000	\$ 10.500.000
Cambio de llantas	Par	6	\$ 1.000.000	\$ 6.000.000
Seguro obligatorio (SOAT + póliza)	Anual	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Impuestos y revisión técnico-mecánica	Anual	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Mano de obra del operador	Mensual	12	\$ 1.800.000	\$ 21.600.000
Parqueo, peajes, alimentación y hoteles.	Mensual estimado	12	\$ 500.000	\$ 6.000.000
<b>Total, Costos Operativos</b>				<b>\$74.900.000</b>
<b>GANANCIA NETA ANUAL ESTIMADA</b>				<b>\$105.600.000</b>


Fuente: elaboración propia

## 5.6. PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA GRÚA FORD CARGO 815

Se plantea una nueva documentación formal para la organización de los datos e información necesaria para llevar a cabo un plan de mantenimiento regular. Este plan de mantenimiento se basa en el registro de cada actividad que involucre actividades de mantenimiento o reparación del activo en general.

Para el plan de mantenimiento de CODIMELCO S.A.S, usa el historial de mantenimiento como registro y documentación del activo. Para mejorar esta metodología de recolección y organización de datos, se diseñan nuevos formatos con información necesaria como se muestra en las tablas 18, 19 y 20.

Tabla 18. Plantilla de orden de mantenimiento para los activos de CODIMELCO.

COMDIMELCO S.A.S							
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción							
ORDEN DE MANTENIMIENTO							
Tipo de maquina	Grúas articuladas						
Fecha	4/06/2025	Código	CO01	Versión	1		
Información del activo							
No de Orden		Fecha		Mantenimiento			
Vehículo		Código del activo		Prioridad		Tipo de Mantenimiento	
Solicitante		Fecha y hora		Preferente	x	Correctivo	x
Marca		No. Motor		Programado	✓	Preventivo	✓
Modelo		Color del Vehículo		Urgente	x	Predictivo	x
Diagnostico							
Tarea a Ejecutar							
Fecha y hora de inicio		Fecha y hora de terminación					
No	Encargado	Descripción					
Resultados y observaciones							

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Plantilla de Solicitud de mantenimiento para los activos de CODIMELCO.

COMDIMELCO S.A.S					
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción					
SOLICITUD DE MANTENIMIENTO					
Tipo de maquina		Grúas articuladas			
Fecha	4/06/2025	Código	CO01	Versión	1
Solicitud No. 1					
Solicitante		Cargo		Teléfono	
Realizado por		Cargo		Fecha y hora	
Características del activo		Motivos de mantenimiento			
Datos de activo		Causa de la falla	Descripción de la falla	Fecha y hora	Personal asignado
No. de Orden					
Equipo					
Modelo					
Código del activo					
Color del vehículo					
Tipo de mantenimiento					
Observaciones					

Fuente: elaboración propia



## **CAPITULO VI: DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y SISTEMAS PRINCIPALES DE LA GRÚA ARTICULADA FORD CARGO 815 2007**

Antes de iniciar con el análisis de modos y efectos de falla del activo, se define las funciones principales y secundarias de cada sistema principal del activo. Como se menciona en la norma SAE J1011, para la definición de las funciones de cada sistema se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Sera definido el contexto de operación del recurso.
- Todas las funciones del sistema serán identificadas (primarias y secundarias, incluyendo las funciones de los dispositivos protectores)
- Todas las declaraciones de función contendrán un verbo, un objeto y una norma de ejecución.
- Las normas de ejecución incorporadas en las declaraciones de función, tendrán el nivel de ejecución en su contexto de operación deseado por el propietario o usuario del sistema<sup>22</sup>.

Teniendo en cuenta estos parámetros, se inicia la definición de las funciones, para ello, se identifican los sistemas principales del activo como se muestra en la sección 6.1.

### **6.1. SISTEMAS Y FUNCIONES PRINCIPALES DE LA GRÚA ARTICULADA FORD CARGO 815**

La grúa articulada Ford Cargo 815, como activo funcional, posee mecanismos y sistemas que unidos unos con otros, cumplen diferentes funciones con el fin de generar un trabajo principal. En el caso de este activo, el vehículo posee la unión de varios sistemas que

---

<sup>22</sup> SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. SAE JA1011.1999. 12 p.

ayudan a transportar el brazo hidráulico y le da energía para su funcionamiento y operación de la misma. Por otro lado, los sistemas principales del brazo hidráulico MKG HLK 105 a3, ayudan a que el brazo pueda realizar trabajos de levantamiento y transporte de materiales pesados.

Para la clasificación de los sistemas principales del activo se diseñan las tablas 21 y 22 que organiza la información principal de cada sistema de la grúa articulada junto con sus funciones principales.

Las funciones principales son las razones o motivos por la cual un activo se adquiere dentro de una empresa.<sup>23</sup> Para la definición del activo en general, se habló con la gerencia de la empresa para definir la función principal del equipo, y de ahí, se toma cada sistema y se describe la función principal de cada una como se muestra a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 21. Sistemas y funciones principales del brazo hidráulico.

<b>Sistemas principales: Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Función principal</b>	<b>Componentes principales</b>
Sistema de potencia hidráulica	Controlar y distribuir presión hidráulica para accionar los cilindros y mecanismos del brazo articulado,	Bomba hidráulica, depósito de fluido, filtros.
Sistema de control	Coordinar el flujo de presión hidráulica hacia los actuadores del brazo	Válvulas direccionales y de presión.
Sistema de actuadores	Convertir la presión hidráulica en movimiento mecánico controlado	Cilindros hidráulicos Motores hidráulicos

<sup>23</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 ed. Gran Bretaña: Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, 2004. 446 p. ISBN: 09539603-2-3

Sistema de transmisión	Transferir la energía hidráulica desde la bomba hacia los actuadores del brazo	Mangueras y tuberías, acoplamientos y conectores
Estructura mecánica	Soportar y articular las fuerzas generadas por el sistema hidráulico	Segmento del brazo, articulaciones y bisagras.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22. Sistemas y funciones principales del vehículo.

<b>Sistema principales Camión Ford Cargo 815</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Función principal</b>	<b>Características y componentes</b>
Sistema del motor	generar potencia mecánica mediante combustión interna (diésel) para el accionamiento de otros sistemas del vehículo.	Motor Cummins B 3.9l de 4 cilindros en línea Potencia máxima: 125 HP a 2600 rpm Torque máximo: 340 lb-ft a 1400 rpm Combustible: Diésel
Sistema de transmisión	Proporcionar cinco relaciones de marcha hacia adelante y una en reversa para optimizar el torque y la velocidad.	Transmisión manual: 5 velocidades adelanten + 1 reversa Dirección hidráulica: para maniobrabilidad suave
Sistema de frenos	Reduce la velocidad de forma progresiva y controlada en la menor distancia posible.	Frenos de servicio: Aire, doble circuito tipo S-CAM con tambores en las 4 ruedas Freno de estacionamiento: Cámara con acumulador sobre ruedas traseras Freno motor: Tipo electroneumático "Jacobs"

Sistema de suspensión	Amortiguar las irregularidades del terreno para evitar que se transmitan al chasis y a la cabina.	Delantera: Eje de acero forjado con barra estabilizadora y amortiguadores telescópicos Trasera: Eje rígido en acero estampado
Sistema eléctrico	Generar, distribuir y gestionar energía eléctrica para activar y coordinar los sistemas del vehículo.	Delantera: Eje de acero forjado con barra estabilizadora y amortiguadores telescópicos Trasera: Eje rígido en acero estampado

Fuente: elaboración propia.

## 6.2 DEFINICIÓN DE FUNCIONES SECUNDARIAS DE LOS SISTEMAS PRINCIPALES DEL ACTIVO.

Definidos los sistemas y funciones principales del activo, a continuación, se determinan las funciones secundarias de cada sistema. Las funciones secundarias son aquellas acciones adicionales que realiza el activo, además de su función principal<sup>24</sup>. Esta información (tabla 23 y 24) se obtuvo con el análisis operativo del activo y el manual de operación del equipo.

Tabla 23. Funciones secundarias del brazo hidráulico

<b>Brazo hidráulico MKG HLK 105 a3</b>	
<b>Sistema principal</b>	<b>Funciones secundarias</b>
Sistema de potencia hidráulica	Regula el caudal para lograr movimientos progresivos Controla la temperatura del fluido hidráulico mediante radiadores o intercambiadores de calor.

<sup>24</sup> Ibid

Sistema de control	<p>Ajustar la velocidad y fuerza de los actuadores para maniobras delicadas y de alta exigencia.</p> <p>Coordinar el funcionamiento simultáneo de varios cilindros para evitar desequilibrios estructurales</p>
Sistema de actuadores	<p>Mantener la posición del brazo incluso si se interrumpe el flujo hidráulico.</p> <p>Ajustar automáticamente la fuerza según el peso de la carga, evitando sobreesfuerzos o movimientos descontrolados.</p>
Sistema de transmisión	<p>Asegura que el flujo hidráulico llegue a cada actuador con la presión adecuada</p> <p>Minimiza fugas internas y externas mediante sellos, válvulas y conexiones optimizadas.</p>
Estructura mecánica	<p>Protege los cilindros, mangueras y válvulas de impactos externos o condiciones climáticas adversas.</p> <p>Reparte las cargas generadas por los actuadores y la carga útil entre los puntos de articulación y el chasis del camión.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 24. Funciones secundarias del camión Ford Cargo 815.

<b>Camión Ford Cargo 815</b>	
<b>Sistema principal</b>	<b>Funciones secundarias</b>
Sistema del motor	<p>Distribuir el aceite a través de la bomba de aceite para reducir fricción y desgaste en los componentes móviles.</p> <p>Activar la bomba hidráulica del brazo, el compresor de aire para frenos neumáticos y el sistema de climatización.</p> <p>Accionar el alternador para cargar la batería y alimentar sistemas eléctricos.</p>



<p>Sistema de transmisión y dirección</p>	<p>Minimizar el esfuerzo del motor al distribuir el torque según la relación de marcha.</p> <p>Evitar sobrecargas mediante sincronizadores y mecanismos de seguridad en el cambio de marchas.</p> <p>Mantener velocidades constantes en diferentes condiciones de manejo.</p>
<p>Sistema de frenos</p>	<p>Evitar el bloqueo de ruedas en frenadas bruscas, mejorando la maniobrabilidad.</p> <p>Equilibrar la presión entre ejes delantero y trasero para evitar sobrefrenada.</p> <p>Dispar el calor y minimizar vibraciones con las pastillas y vibraciones.</p>
<p>Sistema de suspensión</p>	<p>Mantener la alineación y el contacto uniforme con el suelo, prolongando la vida útil de las llantas.</p> <p>Minimizar la inclinación lateral del vehículo, aumentando la seguridad en maniobras.</p> <p>Dar estabilidad durante frenadas bruscas al evitar que el vehículo se incline excesivamente.</p>
<p><b>Sistema eléctrico</b></p>	<p>Gestionar el calentamiento previo para facilitar el arranque en frío.</p> <p>Optimizar el flujo de energía eléctrica para evitar sobrecargas y proteger componentes.</p> <p>Operar el freno motor, control de velocidad crucero y elevación del eje trasero.</p>


Fuente: elaboración propia.

## 6.3 ORGANIZACIÓN DOCUMENTAL DE LOS SISTEMAS Y FUNCIONES DEL ACTIVO

Con la información definida, se crea una plantilla que ayuda a la organización documental de cada sistema. Esta incluye la información anteriormente recolectada (sistemas y funciones) y las características técnicas de cada sistema, con base a los datos brindados y autorizados por la empresa. Se toma el sistema del motor del vehículo como demostración de la organización documental de los sistemas del activo. A continuación, se muestra el formato diseñado con los datos del sistema. La plantilla diseñada se puede observar en el anexo A.

Tabla 25. Definición de funciones del sistema del motor de la grúa

COMDIMELCO S.A.S					
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción					
FUNCIONES					
Tipo de activo		Grúas articuladas			
Fecha	23/06/2025	Código	CO01	Versión	1
Sistema Principal	Motor		Código del activo	CC-PGA-CTH-AP-AE-FC	
Objeto de estudio	Motor Cummins 3,9L Turbo Diesel	Modelo del activo	Ford Cargo 815 2007		
FUNCIONES PRINCIPALES					
Generar potencia mecánica mediante combustión interna (diésel) para el accionamiento de otros sistemas del vehículo.					
FUNCIONES SECUNDARIAS					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Distribuye aceite a través de la bomba de aceite para reducir fricción y desgaste entre componentes móviles.</li> <li>Mueve la bomba hidráulica del brazo, el compresor de aire para frenos neumáticos y el sistema de climatización.</li> <li>Acciona el alternador para cargar la batería y alimentar sistemas eléctricos.</li> </ul>					
Fronteras			Imagen del Sistema		
¿Que estudia?					
El sistema motor Cummins 3.9L Turbo Diésel, incluyendo admisión, combustión, lubricación, enfriamiento y sistema de inyección.					
¿Que no estudia?					
Sistemas eléctricos de cabina, sistemas de freno neumático del camión, sistema hidráulico de la grúa (aunque dependa del motor), y partes estructurales del vehículo.					
Interfase					
Entradas		Salidas			
Aire, combustible diésel, señal de encendido,		Potencia mecánica rotacional (torque y rpm), gases de escape, calor residual.			

lubricante, refrigerante, energía del alternador, fuerza desde la transmisión al motor de arranque.		
<b>Características técnicas</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Cilindraje: 3.9L</li> <li>* Potencia: 140-160 HP (según calibración)</li> <li>* Torque: 420 Nm</li> <li>* Sistema de inyección directa</li> <li>* Turboalimentado</li> <li>* 4 cilindros en línea</li> <li>* Refrigerado por agua</li> <li>* Sistema de arranque eléctrico</li> <li>* Operación en ciclo diésel</li> </ul>		
<b>Características ambientales</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Opera desde 0°C hasta 45°C de temperatura ambiente.</li> <li>* Expuesto a polvo, humedad y vibraciones.</li> <li>* Puede operar en altura hasta 3.000 msnm.</li> <li>* Debe cumplir con normas de emisiones euro II (según modelo y año).</li> </ul>		
<b>Características Operativas</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Arranque mediante motor eléctrico alimentado por batería 12V.</li> <li>* Funcionamiento continuo bajo carga.</li> <li>* Requiere mantenimiento periódico cada 250-500 horas o 10.000 km.</li> <li>* Conectado a Toma Fuerza (PTO) que activa el sistema hidráulico de la grúa.</li> <li>* Opera en ciclos variables de carga dependiendo del trabajo (izajes, canasta, transporte).</li> </ul>		
<b>Observaciones</b>		

Fuente: elaboración propia.

**PARA TENER EN CUENTA:** La explicación metodológica de los siguientes capítulos, tomará de ejemplo el sistema de motorización de la grúa articulada Ford Cargo 815 2007, para la explicación del análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), análisis de riesgo y la aplicación del plan de mantenimiento RCM. Esto se hace debido a que este sistema presenta mayor número de fallas que los otros sistemas existentes en el activo. Al mismo tiempo, la explicación a presentar, es la misma metodología que se aplicó a los otros sistemas presentes en el equipo.

## **CAPITULO VII: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)**

Usando las normas SAE JA1011, SAE JA1012 y SAE J1739, se clasifican las fallas funcionales, modo de fallas y los efectos que estas pueden tener dentro del activo y sus sistemas. Para este análisis, se plantea un estudio como lo establecen las normas para organizar la información y ayudar a definir de forma estructurada las fallas potenciales presentes en el activo, el estudio de su origen y la posible solución de las fallas.

Como el análisis se aplica en los sistemas y componentes de un solo activo, se emplea el modelo de análisis de modos y efectos de fallas para sistemas (SFMEA). Teniendo en cuenta el tipo de AMEF que se va aplicar, se diseña el formato que especifica el sistema a estudiar y la organización de las fallas como lo establece la norma SAE JA1012. La plantilla del formato se muestra en el anexo B.

### **7.1. DETERMINACIÓN DE FALLAS FUNCIONALES**

Las fallas funcionales hacen referencia a la pérdida absoluta de una función o el comportamiento funcional que esta fuera del límite de los parámetros de funcionamiento estandarizados<sup>25</sup>. Para el activo seleccionado, se hace un análisis de determinación de fallas a nivel mecánico, técnico, operacional y la posible existencia de incumplimiento de normativas que afecten el funcionamiento del activo. Por otro lado, se hace el análisis de cómo la existencia de estas fallas afecta la imagen corporativa de la empresa ante los clientes y competencia local.

En la tabla 26 (formato diseñado), se muestran las fallas funcionales presentes en el motor del vehículo. Estas se describen junto a la función principal del sistema. Dentro del

---

<sup>25</sup> CAPARACHIN CONDORI W., Emilio J. Mantenimiento centrado en la confiabilidad mediante kpis de mantenimiento, aplicado a la chancadora de quijada COMESA 24” x 36” de la planta concentradora Polimetálica CIA. Minera Lincuna S.A. [En línea]. Informe de experiencia profesional. Universidad Nacional del Santa, 2019. [Consultado el 21/07/2025]. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3395>


formato diseñado, la función se representa con la letra F y se enumera desde el número 1, que, de igual forma, representa el sistema a estudiar. Las fallas funcionales, se identifican con letras mayúsculas en el orden alfabético. La identificación de las funciones y fallas se hacen acorde a las normas SAE JA1012 y SAE J1739.

## **7.2. DETERMINACIÓN DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS DE FALLA**

Un modo de falla es la identificación de las formas en las que se originan una falla dentro de un sistema. Este estudio ayuda a determinar el origen puntual de la falla y que afectación genera en el funcionamiento del activo y en la producción de una empresa. Para el análisis de modos de fallas en el sistema del motor de la grúa articulada Ford Cargo 815, se estudiaron ámbitos operacionales y de mantenimiento para determinar que cuál era el origen de las fallas y los efectos que estas fallas generan en el equipo.

Para la organización documental de los modos de fallas, dentro del formato diseñado, se identifican numéricamente iniciando por el número 1, seguido de los efectos de fallas como se muestra en la tabla 26. Por último, en la sección de observaciones de la plantilla se dan recomendaciones para la mitigación de las fallas.

Tabla 26. Análisis de modos y efectos de falla del motor de la grúa articulada Ford Cargo 815


COMDIMELCO S.A.S						
Grúas, Posteria, Eléctricos Y Construcción						
ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
Tipo de maquina		Grúas articuladas				
Fecha	4/06/2025	Código	CO01	Versión	1	
Ubicación del activo		Sede principal Tunja B. Hunza		Código del activo	CC-PGA-CTH-AP-AE-FC	
Objeto de estudio		Motor Cummins 3,9L Turbo Diesel		Modelo del activo	Ford Cargo 815 2007	
F	Función	FF	Falla funcional	MF	Modo de falla	Efecto de fallas
1	Generar potencia mecánica mediante combustión interna (diésel) para el accionamiento de otros sistemas del vehículo.	A	El motor no genera potencia suficiente.	1	Obstrucción en el sistema de inyección de combustible.	La grúa pierde capacidad de movimiento y se detiene en medio de una operación.
		B	El motor se sobrecalienta	2	Fuga de refrigerante por manguera agrietada.	Riesgo de daño al bloque del motor y parada de emergencia.
		C	Desgaste prematuro de componentes internos.	3	Bomba de aceite con bajo caudal por obstrucción de tamiz.	Golpeteo interno, incremento de temperatura y eventual daño de cigüeñal.
		D	No arranca el motor.	4	Fallo en el motor de arranque o batería descargada.	Retraso en la operación diaria, se requiere asistencia técnica para encendido.
		E	Humo excesivo y pérdida de potencia.	5	Turbo dañado con retorno de aceite y pérdida de presión de admisión.	Disminución de eficiencia, posible falla en sensor de emisiones o parada total.
Observaciones						
Se recomienda realizar mantenimiento preventivo programado de operación para el motor Cummins 4BT 3.9L, enfocando las inspecciones en el sistema de lubricación, refrigeración y alimentación de combustible. La mayoría de los modos de falla identificados son prevenibles mediante monitoreo de indicadores como presión de aceite, temperatura del refrigerante y presencia de humo anormal. Además, se sugiere la capacitación continua de los operadores para la identificación temprana de síntomas de falla funcional y la correcta ejecución de protocolos de parada de emergencia.						

Fuente: elaboración propia.

### 7.3. CONSECUENCIA DE FALLAS

Los efectos de fallas anteriormente mencionadas, pueden llegar a tener impactos negativos en diferentes sectores o áreas dentro del campo de trabajo. Para ello, se evalúa y caracteriza cada falla a nivel de seguridad, medio ambiente, operacional, de reparación e imagen corporativa. Además, se evalúa si la falla se considera oculta o visible para el usuario. Estas consecuencias de fallas se describen en la siguiente tabla.

Tabla 27. Consecuencias de fallas del motor de la grúa articulada de la Ford Cargo 815 2007

CODIMELCO S.A.S								
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción								
ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA								
Tipo de maquina		Grúas articuladas						
Fecha	4/06/2025			Código	CO01	Versión	1	
Ubicación del activo	Sede principal Tunja B. Hunza				Código del activo	CC-PGA-CTH-AP-AE-FC		
Objeto de estudio	Motor Cummins 3,9L Turbo Diesel				Modelo del activo	Ford Cargo 815 2007		
F	FF	MF	4BT 3,9L					
			OCULTO	SEGURIDAD	MED. AMBIENTE	OPERACIONAL	REPARACIÓN	IMAGEN CORPORATIVA
1	A	1	NO	Puede provocar pérdida de control de la grúa si se detiene en movimiento. Exposición aplastamientos, golpes, fracturas e incluso la muerte	No hay impacto directo.	La grúa se detiene en medio de una operación. Afecta el trabajo en el que fue adquirido el vehículo.	Alto costo y tiempo para revisión del sistema de inyección.	Imagen negativa ante cliente por retraso en operación.
	B	2	NO	Riesgo de incendio si el sobrecalentamiento es severo. Puede provocar quemaduras, problemas respiratorios para los operarios	Posible derrame de refrigerante.	Parada de emergencia, afecta disponibilidad del equipo.	Requiere reemplazo de mangueras y reposición del refrigerante.	Se percibe poca confiabilidad del equipo
	C	3	NO	Golpeteo interno puede derivar en daño estructural grave.	Fugas de aceites contaminantes	Baja eficiencia, incremento de ruido y vibraciones.	Costosa reparación de componentes internos (cigüeñal, bielas).	Impacto alto en percepción técnica de la empresa.
	D	4	SI	No hay peligro inmediato.	No aplica.	No arranca la grúa.	Sustitución de batería o motor de arranque.	Afecta la disponibilidad operativa ante el cliente.
	E	5	NO	Alta emisión de humo, puede ser motivo de sanción. Genera problemas respiratorios para el operador y civiles.	Contaminación visible por humo y fuga de aceite.	Pérdida de potencia y eficiencia del motor.	Reparación o cambio de turbo; limpieza del sistema.	Afectación seria por operar con humo visible.

Fuente: Elaboración propia

#### 7.4. ANÁLISIS DE RIESGO.

Dentro del estudio de modos y efectos de fallas, se aplica un análisis de riesgo de cada falla presente en los sistemas. Se evalúan factores como la severidad y ocurrencia de cada falla para hallar el riesgo total del sistema. Usando la ecuación (13) se busca hallar el riesgo total del sistema.

$$R = O * S \quad (13)$$

Donde:

R= Riesgo total

S= Severidad

O= Ocurrencia en que sucede la falla

El valor de ocurrencia (O) se obtiene con la evaluación de los criterios que se observan en la tabla 28. Estos criterios se miden con las veces que el sistema falla dentro de un tiempo determinado.

Tabla 28. Tabla de probabilidad de ocurrencia

Ocurrencia		Calificación
Frecuente	1 falla en 1 mes	4
Ocasional	1 falla en 1 año	3
Remota	1 falla en 5 años	2
Poco Probable	1 falla en 20 años	1

Fuente: Elaboración propia

En el caso del valor de la severidad (S), de igual forma, se evalúa con factores valorados que mide el impacto en criterios como, medio ambiente, seguridad, costos de reparación, imagen corporativa y si se considera un fallo oculto. Estos criterios se operan con factores que miden la severidad en peso o porcentaje de importancia usando la ecuación (14).

$$S = (Kfo * FO) + (Ksf * SF) + (Kma * MA) + (Kor * OR) + (Kic * IC) + (Koc * OC) \quad (14)$$

Donde:

Kfo, ksf, Kma, Kor, Kic, Koc = Coeficientes de peso en severidad.

FO=Fallos ocultos, SF=Seguridad física, MA= Medio ambiente, OR=Costos de reparación, IC=Imagen corporativa, OC= Efectos en los clientes

Estos factores tienen una calificación como se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 29. Tablas de criterios de severidad

MA- Medio Ambiente	Calificación
No afecta al medio ambiente	0
Afecta el A, pero se puede controlar. No daña el Ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de seis meses con un valor inferior a 2000000 COP	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 6000000 COP	3
Afecta los de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a 6000000 COP	4

OR - Costos de Reparación	Calificación
Entre 10000 y 500000 COP	0
Entre 500001 y 1000000 COP	1
Entre 1000001 y 5000000 COP	2
Entre 5000001 y 10000000 COP	3
Mayor a 10000001 COP	4

OC - Efectos en Clientes	Calificación
Desarrollo de clase completa	0
Perdida de clase en el 5% y 20%	1
Perdida de clase en el 31% y 50%	2
Perdida de clase en el 51% y 70%	3
Perdida de clase de más del 70%	4

Factores de peso en severidad	
Kfo = Fallas ocultas	0,05 o 5%
Ksf = Seguridad Física	0,20 o 20%
Kma = Medio Ambiente	0,10 o 10%
Kor = Costos de Reparación	0,30 o 30%
Kic = Imagen Corporativa	0,30 o 30%
Koc = Efectos en clientes	0,05 o 5%

FS - Seguridad Física	Calificación
No afecta personas ni equipos	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	1
Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal	2
Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más personas	4

IC - Imagen Corporativa	Calificación
No es relevante	0
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos	1
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión menor a 2000000 COP	2
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión entre 2000000 y 10000000 COP	3
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión mayor a 10000000 COP. Puede ser irreversible	4

FO- Fallos Ocultos	Calificación
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores.	0
Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores.	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores.	2
Existe una baja posibilidad de que la falla SI sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores.	3
La falla siempre es oculta y ocasionara fallas múltiples graves en el sistema.	4

Fuente: Elaboración propia con base a las normas de gestión de riesgo y SAE J1739

Para la explicación de cómo se obtuvo el riesgo total de un sistema, se toma de ejemplo la primera falla funcional y modo de falla del motor de la Ford Cargo 815 (ver tabla 30).

Tabla 30. Primera falla funcional del motor de la Ford Cargo 815

F	Función	FF	Falla funcional	MF	Modo de falla
1	Generar potencia mecánica para accionar el sistema de tracción e izaje.	A	El motor no genera potencia suficiente.	1	Obstrucción en el sistema de inyección de combustible.

Fuente: Elaboración propia

Se determina el valor de la ocurrencia de la falla y la severidad con la evaluación de los criterios anteriormente realizada. Dando como resultado el siguiente riesgo total:

Tabla 31. Resultado de criterios de ocurrencia y severidad de la primera falla del motor de la Ford Cargo 815.

Criterio	Calificación
<b>Ocurrencia</b>	<b>3</b>
Fallos ocultos	0
Seguridad física	0
Medio ambiente	0
Costos de reparación	1
Imagen corporativa	1
Efectos en los clientes	1

Fuente: elaboración propia

Teniendo los resultados de cada criterio, se reemplazan los datos en las anteriores ecuaciones:

Iniciamos reemplazando los valores en la ecuación 13

$$R = O * S \quad (13)$$

$$R = 3 * S$$

Hallamos el valor de severidad (S)

$$S = (Kfo * FO) + (Ksf * SF) + (Kma * MA) + (Kor * OR) + (Kic * IC) + (Koc * OC) \quad (14)$$

$$S = (0.05 * 0) + (0.20 * 0) + (0.10 * 0) + (0.30 * 1) + (0.30 * 1) + (0.05 * 0.05)$$

$$S = 0.75$$

Teniendo el valor la severidad (S), se reemplaza en la ecuación (13), dando como resultado

$$R = O * S \quad (13)$$

$$R = 3 * S$$

$$R = 3 * 0.75$$


$$R = 1.95$$

Este mismo procedimiento se realiza para cada falla funcional presente dentro de cada sistema del activo. En el caso del motor del vehículo, se aplicó este análisis de riesgo para las cinco fallas funcionales presentes en el sistema. El valor del riesgo de cada falla dentro de un mismo sistema, se suma para dar como resultado el riesgo total del sistema del activo.

Este análisis ayuda a medir que rango de acciones y decisiones que se deben tomar en mantenimientos rigurosos y estratégicos para la mitigación de las fallas y, así mismo, buscar la reducción de riesgos al momento del funcionamiento y operación del vehículo, para hacer del equipo un activo funcional, disponible y eficiente para la empresa y el cliente solicitante.

Por último, como herramienta de trabajo, se usa una hoja de cálculo en Excel (Anexo C) que ayuda a medir el nivel de riesgo total de los sistemas a estudiar presentes en el activo. En el caso del sistema de motorización de la Ford Cargo 815, el resultado del nivel de riesgo total es de 15.1, como se muestra en la siguiente tabla. Esto da a entender que el valor de riesgo total del motor del vehículo se encuentra dentro de un rango a considerarse como un sistema riesgoso y crítico.

Tabla 32. Análisis de riesgo del motor de la grúa articulada de la Ford Cargo 815 2007

COMDIMELCO S.A.S																			
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción																			
ANILISIS DE RIESGO																			
Tipo de maquina				Tipo de maquina															
Fecha				4/06/2025				Código				CO01				Versión			
Ubicación del activo				Sede principal Tunja B. Hunza								Código del activo				CC-PGA-CTH-AP-AE-FC			
Objeto de estudio				Motor Cummins 3,9L Turbo Diesel								Modelo del activo				Ford Cargo 815 2007			
F	F	M	MODO DE FALLA	O	Kfo		Ksf		Kma		Kic		Kor		Koc		S	R = O x S	
					0,05	0,20	0,10	0,30	0,30	0,05									
					F O	Kfo x FO	S F	Ksf x SF	M A	Kma x MA	I C	Kic x IC	O R	Kor x OR	O C	Koc x OC			
1	A	1	Obstrucción en el sistema de inyección de combustible.	3	0	0	0	0	0	1	0,3	1	0,3	1	0,05	0,75	1,95		
	B	2	Fuga de refrigerante por manguera agrietada.	4	0	0	1	0,2	1	0,1	1	0,3	0	0	0	0	0,65	2,4	
	C	3	Bomba de aceite con bajo caudal por obstrucción de tamiz.	3	0	0	1	0,2	0	0	2	0,6	1	0,3	2	0,1	1,35	3,6	
	D	4	Fallo en el motor de arranque o batería descargada.	3	1	0,05	0	0	0	0	2	0,6	1	0,3	2	0,1	1,15	3,15	
	E	5	Turbo dañado con retorno de aceite y pérdida de presión de admisión.	2	0	0	1	0,2	2	0,2	3	0,9	2	0,6	2	0,1	2,10	4	
<b>Total, Riesgo</b>																<b>15,1</b>			

Fuente: elaboración propia.

## **CAPITULO VIII: APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM EN LA GRÚA ARTICULADA FORD CARGO 815 2007**

El plan de mantenimiento diseñado busca de una forma rigurosa y específica reducir y/o mitigar las fallas presentes en la grúa articulada. Para ello, usando la norma SAE JA1011, SAE JA1012 y lo planteado por John Moubray en su libro “mantenimiento centrado en confiabilidad”, se proponen estrategias para intervenir en cada falla presente en el sistema del activo. El procedimiento del diseño de este plan de mantenimiento se desarrolló como se indica a continuación:

### **8.1 OBJETIVOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM**

Para el plan de mantenimiento se plantean objetivos que se enfoquen en la mejora y disponibilidad del activo seleccionado. Cumpliendo con la finalidad del proyecto de mejorar la confiabilidad del equipo. Los objetivos propuestos para el plan de mantenimiento son:

- Extender la vida útil del activo, con la implantación de metodologías y técnicas de mantenimiento y prevención que ayuden a mantener la vida y funcionamiento del activo.
- Reducir costos de mantenimiento por paradas inesperadas y tiempos muertos, así mismo en manejo inadecuado de repuestos e insumos.
- Programar mantenimientos e intervenciones en el activo para controlar desgastes prematuros, fallas inesperadas, gestión de repuestos e insumos ofreciendo una mejor disponibilidad y confiabilidad operativa.

## 8.2 DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM

El siguiente paso a seguir es llenar la hoja de decisión (Figura 20). Para el desarrollo de esta hoja de mantenimiento, se utiliza un diagrama de decisión que ayuda a definir qué tipo de trabajo o tarea propuesta es el apropiado para tratar las fallas del sistema. Los trabajos propuestos presentes en el diagrama se representan en la siguiente tabla.

Tabla 33. Trabajos o tareas propuestas del diagrama de decisión RCM

Trabajo propuesto	Enfoque
Tarea a condición	Mantenimientos preventivos, preventivos o a condición
Tarea de reacondicionamiento cíclico	Restaurar o rediseñar un sistema, componente o equipo.
Tarea de sustitución cíclico	Reemplazo de piezas, componentes o sistemas periódicamente
Tarea de búsqueda de fallas	Monitoreos o mantenimientos predictivos
Combinación de tareas	Modificar o aplicar alternativas de diseño
Rediseño obligatorio	Combinación de varias metodologías de mantenimiento

Fuente: elaboración propia

El diagrama de decisión parte de una estructura que mide las consecuencias de las fallas en factores a nivel de seguridad y medio ambiente, operacional, no operacional y si es considerada una falla oculta. Al mismo tiempo, la implementación del diagrama, se centra en tres preguntas principales que dependiendo del contexto operacional de los factores anteriormente mencionados varían su resultado o tarea propuesta. Las tres preguntas esenciales son:

- ¿La falla tiene consecuencias evidentes y críticas?

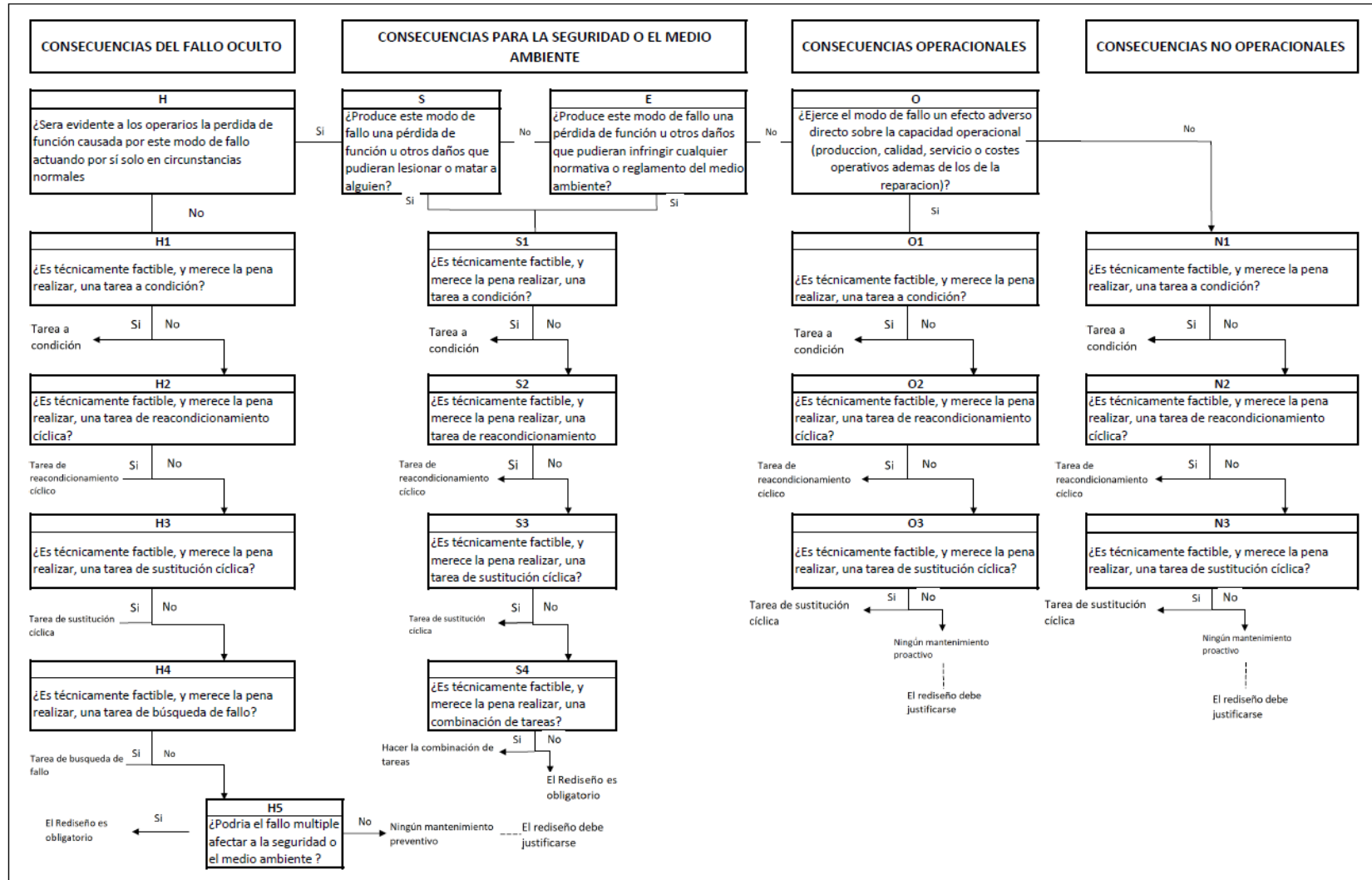
- ¿la falla se puede predecir con tareas y mantenimientos basados en monitoreos?
- ¿la falla puede causar un riesgo irreversible en la seguridad y/o en el medio ambiente?

Conociendo como se interpreta el diagrama de decisión RCM, usando se procede a utilizar la hoja de decisión RCM para la determinar las tareas propuestas para solucionar las fallas presentes en el sistema del activo.

### **8.3 HOJA DE DECISIÓN RCM**


La hoja de decisión RCM define las acciones y metodologías para los mantenimientos y la planeación de la gestión de cada paso necesario para intervenir en cada falla. Siguiendo los pasos metodológicos del libro “Mantenimiento centrado en Confiabilidad” de John Moubray y las normas SAE JA1011, SAE JA1012, la hoja de decisión del motor de la grúa articulada Ford Cargo 815 2007 se implementó como se muestra en la tabla 34. Para la hoja de decisión, se diseña una platilla enfocada en la empresa con los datos del activo a evaluar (anexo D).

Figura 20: Diagrama de decisión RCM



Fuente: Elaboración propia con base a John Moubay

Tabla 34. Análisis de riesgo del motor de la grúa articulada de la Ford Cargo 815 2007

CODIMELCO															
Gruas, Postería, Eléctricos Y Construcción															
HOJA DE DECISIÓN															
Tipo de maquina			Grúa articulada												
Fecha		22/07/2025	Código		CO01					Versión		1			
Ubicación del activo			Sede principal Tunja B. Hunza				Código del activo		CC-PGA-CTH-AP-AE-FC						
Objeto de estudio			Motor Cummins 3,9L Turbo Diesel				Modelo del activo		Ford Cargo 815 2007						
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a la falla de"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						<b>Tarea a condición:</b> Aplicar monitoreos en sistema de inyección de combustible como limpiezas programadas, estudio a exposición de ambientes que contaminante el área y revisión del estado de la bomba de inyección	Trimestral	
	B	2	N				S						<b>Tarea a condición:</b> monitorear periódicamente el estado de las mangueras, análisis del refrigerante y programar el cambio de mangueras cuando estas presenten desgaste.	Quincenal	
	C	3	N				S						<b>Tarea a condición:</b> Aplicar mantenimiento predictivo con análisis de aceites en la bomba de aceite para el estudio de partículas contaminantes. Aplicar limpiezas periódicas y cambio de aceite como lo	Trimestral	

															sugiere el fabricante o el nivel de demanda de operación y cambio de filtros.		
D	4	S	S				N	S							<b>Tarea de acondicionamiento cíclico:</b> rectificar el motor de arranque, puede presentar cambio de componentes como solenoides o bobinas. Al mismo tiempo, Cambio de batería debido a caducidad o fallas dentro de su sistema	Semestral	
E	5	N					N	S							<b>Tarea de acondicionamiento cíclico:</b> Revisión de filtros de aceite y estado del turbo (posibilidad del cambio por desgaste). Análisis de aceites lubricantes y reparación de grietas que generan las fugas.	Trimestral	

Fuente: Elaboración propia con base en la norma SAE JA1011 y SAE JA1012

## **CAPÍTULO IX: METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE RENDIMIENTO (KPI) EN LA GRÚA FORD CARGO 815**

Los procedimientos mencionados y explicados en los capítulos VI, VII y VIII, se aplicaron en cada sistema presentado en la sección 6.1. Tomando cada estudio y estado actual de los sistemas de la grúa articulada, se hace el respectivo análisis y evaluación del plan de mantenimiento a probar con indicadores clave de rendimiento (KPI). A continuación, se muestra la metodología aplicada y los resultados cualitativos y cuantitativos del progreso en la gestión de mantenimiento de la grúa articulada Ford Cargo 815 modelo 2007.

### **9.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS CLAVE PARA LA SELECCIÓN DE KPI'S**

Se plantean Objetivos y características clave y estratégicas conforme al estudio de fallas presentes en todo el activo. Esto se realiza como ayuda en la selección de los indicadores KPI's, siguiendo los objetivos planteados para la aplicación del plan de mantenimiento RCM y las fallas que se buscan reducir y/o mitigar en el activo. Las características clave para la selección de indicadores y que evalúen los resultados del plan de mantenimiento son:

- **Confiabilidad:** Aumentar la confiabilidad del con la reducción de fallos críticos que afecten la funcionalidad del grupo su eficiencia y disponibilidad en un 70%.
- **Disponibilidad:** Maximizar el tiempo de operación y disponibilidad del activo cuando sea solicitado su servicio en un 85%.
- **Paradas planificadas o inesperadas:** Con la presencia de fallas, disminuir el tiempo muerto del activo durante su detección 70% y presencia de esta durante su reparación en un 80%.

- Manejo de costos: reducir costos innecesarios para mantenimientos y reparaciones de fallas no pronosticadas, así como los gastos inadecuados en repuestos e insumos en un 20%.

Teniendo en cuenta las características clave, se estudia cuáles indicadores KPI's son apropiados para medir la evolución del activo con el plan de mantenimiento RCM diseñado para el mejoramiento de su confiabilidad.

## **9.2 SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES KPI'S PARA LA GRÚA FORD CARGO 815**

### **Lineamientos generales:**

- Se evaluó el desempeño del plan de mantenimiento con los indicadores en un tiempo de 4 meses transcurridos en la pasantía.
- Los resultados serán comparados con un antes y un después de aplicar el plan de mantenimiento. Los datos obtenidos del antes serán de dos meses previos a la aplicación del plan diseñado para la grúa.
- Como el tiempo de evaluación del plan va a ser monitoreado únicamente en cuatro meses, los resultados se explicarán en los meses de abril de 2025 hasta el mes de julio del mismo año. Estos mismos datos serán comparados con la anterioridad a la implementación del plan durante el periodo de diciembre 2024 a marzo de 2025

Para la selección de los indicadores, se toma las fallas principales de cada sistema (tabla 35) para luego observar en qué factores se afecta la confiabilidad del activo. Por último, se selecciona cuál KPI es más útil y apropiado para la medición del rendimiento y eficacia del plan de mantenimiento RCM.

Tabla 35. Fallas principales en los sistemas que afecta el funcionamiento del vehículo

<b>Fallas principales del sistema de la grúa articulada</b>			
<b>Brazo hidráulico MKG HLK a3</b>		<b>Camión Ford Cargo 815</b>	
<b>Sistema</b>	<b>Falla</b>	<b>Sistema</b>	<b>Falla</b>
<b>Sistema de potencia hidráulica</b>	Contaminación de partículas en tanque y filtros del sistema.	<b>Motor</b>	Aumento de presión, fugas y sobrecalentamiento.
<b>Sistema de control</b>	Limpieza del banco de válvulas	<b>Sistema de transmisión</b>	Cambio de valvulina por contaminación o cumplimiento de fecha de uso.
<b>Sistema de transmisión de fluidos</b>	Cambio de mangueras	<b>Sistema de frenos</b>	Problemas con válvulas de seguridad, estado de mangueras y presencia de agua en el sistema
<b>Estructura mecánica</b>	Presencia de desgaste de pintura y corrosión	<b>Sistema de Suspensión</b>	NA
		<b>Sistema eléctrico</b>	NA

Fuente: elaboración propia.

Otro factor importante para la selección de los indicadores KPI's es el tipo de mantenimiento que se aplicará al activo, ya que, dependiendo de las acciones a implementar, el indicador varía el enfoque y objetivo de la selección.

Ahora, se aplica los principales indicadores KPI's, asegurando que cada uno cumplan con las cualidades, comúnmente denominadas como (SMART) (ver tabla 36). Esta terminología (por sus siglas en ingles), busca que los indicadores sean específicos, medibles, alcanzables, realistas y a tiempo.

Tabla 36. Cualidades SMART para indicadores KPI's

Cualidad	Alcance
Específico ( <b>S</b> pecific)	¿Qué se mide exactamente?
Medible ( <b>M</b> easurable)	¿Se puede cuantificar?
Alcanzable ( <b>A</b> chievable)	¿Es realista la meta?
Realistas ( <b>R</b> ealistic)	¿Impacta en los objetivos?
Tiempo ( <b>T</b> imely)	¿Cada cuánto se mide?

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran los indicadores KPI's seleccionados que cumplen con las cualidades y objetivos, para la medición del desempeño del plan de mantenimiento implementado en la grúa articulada Ford Cargo 815 2007. Para ello, se diseña la tabla 37 que muestran las fórmulas con las que se mide cada indicador.

Tabla 37. Indicadores KPI's seleccionados con sus fórmulas correspondientes

Indicador seleccionado	Formula	No.
Disponibilidad operativa	$\frac{\text{Tiempo de actividad}}{\text{Tiempo de actividad} + \text{Tiempo de inactividad}} * 100$	1
MTBF	$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de fallas}}$	2
MTTR	$\frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{No. de paradas}}$	3
Disponibilidad y confiabilidad	$A(\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	4

Fuente: elaboración propia.

Seleccionados los indicadores, se organizan los objetivos, la meta a mejorar de los indicadores y la frecuencia en que se debe hacer la medición como se observa en la tabla 38.

Tabla 38. Objetivos, meta y frecuencia de los indicadores seleccionados

<b>Indicador KPI</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Meta</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Disponibilidad operativa</b>	Asegurar que los equipos estén disponibles para operar según lo requerido.	$\geq 80 \%$	Mensual
<b>MTBF</b>	Medir el tiempo promedio entre fallas para evaluar la confiabilidad.	$\geq 150$ horas	Trimestral
<b>MTTR</b>	Reducir el tiempo promedio de reparación para mejorar la disponibilidad.	$\leq 5$ horas	Trimestral
<b>Disponibilidad y confiabilidad</b>	Evaluar el nivel de confianza operativa del sistema en conjunto.	$\geq 85 \%$	Mensual


Fuente: elaboración propia.

### **9.3 RESULTADOS: ANTES Y DESPUÉS**

Transcurrido el tiempo de los 4 meses, se tuvo los resultados de los siguientes indicadores de cada mes (ver tabla 39). Finalmente, se compara los datos promediados de los 4 meses anteriores y los 4 meses durante la aplicación del plan de mantenimiento, los objetivos tratar y la meta esperada a cambiar como se muestra en la tabla 40.

Para la tabla 40 que muestran los resultados de los indicadores y se diseña una platilla (Anexo E), que organiza los datos estudiados y recolectados en el tiempo del proceso de la pasantía en CODIMELCO S.A.S. Los datos de los meses anteriores a la implementación del plan de mantenimiento, se observan en color rojo, mientras que los datos de color verde; estos últimos representan los resultados de los indicadores implementando el plan de mantenimiento diseñado.

Tabla 39. Resultado del desempeño del plan de mantenimiento RCM para la grúa articulada Ford Cargo 815

<b>COMDIMELCO S.A.S</b>					
<b>Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción</b>					
<b>Resultado de indicadores</b>					
<b>Tipo de activo</b>		Grúa articulada			
<b>Fecha</b>	6/08/2025	<b>Código</b>	CO01	<b>Versión</b>	<b>1</b>
<b>Ubicación del Activo</b>	Sede principal Tunja B. Hunza		<b>Código del activo</b>	<b>CC-PGA-CTH-AP-AE-FC</b>	
<b>Objeto de estudio</b>	Motor Cummins 3,9L Turbo Diesel		<b>Modelo del activo</b>	<b>Ford Cargo 815 2007</b>	
<b>Mes</b>	<b>Año</b>	<b>Indicadores</b>			
		<b>Disponibilidad operativa</b>	<b>MTBF (h)</b>	<b>MTTR (h)</b>	<b>Disponibilidad y confiabilidad</b>
Diciembre	2024	62%	105	6	94,59%
Enero	2025	63%	240	5	97,96%
Febrero	2025	70%	240	4	98,36%
Marzo	2025	68%	110	6,5	94,42%
<b>Promedio</b>		<b>66%</b>	<b>173,8</b>	<b>5</b>	<b>96,3%</b>
Abril	2025	71%	240	4	98,36%
Mayo	2025	73%	240	6	97,56%
Junio	2025	76%	210	12	94,59%
Julio	2025	75%	230	4	98,29%
<b>Promedio</b>		<b>74%</b>	<b>230</b>	<b>6,5</b>	<b>97,2%</b>
<b>Observaciones</b>					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Resultados de los indicadores el plan de mantenimiento RCM.

Indicador KPI	Objetivo	Antes	Después	Meta
Disponibilidad operativa	Asegurar que los equipos estén disponibles para operar según lo requerido.	65%	73%	80%
MTBF	Medir el tiempo promedio entre fallas para evaluar la confiabilidad	173 horas	230 horas	250 horas
MTTR	Reducir el tiempo promedio de reparación para mejorar la disponibilidad.	5.3 horas	6.3 horas	7 horas
Disponibilidad y confiabilidad	Evaluar el nivel de confianza operativa del sistema en conjunto.	65%	97.2 %	100%

Fuente: Elaboración propia.

## RECOMENDACIONES

- Debido a que la grúa se expone a diferentes ambientes donde sus niveles de polución pueden variar, se recomienda no exponer con frecuencia al vehículo a lugares que puedan contaminar la superficie. Así mismo se recomienda usar mecanismos de protección contra la polución para evitar desgaste y presencia de corrosión.
- Limpiar con frecuencia las instalaciones y los componentes mecánicos de la grúa que por recomendación y prevención se deben mantener sin partículas contaminantes para evitar fallas. El tiempo estimado entre limpieza, se define acorde a la demanda del equipo y la polución presente por materiales y exposición al ambiente.
- Aplicar con frecuencia en los mantenimientos, las recomendaciones de los fabricantes y/o concesionarios.
- A nivel administrativo, se recomienda mejorar la gestión de repuestos y contratistas para el área de mantenimiento, ya que se caracteriza por ser un proceso lento y poco eficaz, afectando la disponibilidad del activo y aumento de tiempos muertos.
- La metodología RCM en la empresa CODIMELCO S.A.S es relativamente nueva entre su personal administrativo, técnico y gerencial, por eso, se recomienda la capacitación del personal sobre esta metodología, para que se tenga más familiaridad y entendimiento en la aplicación de este tipo de mantenimiento.
- En caso de no conseguir un repuesto para la reparación de una falla o cambio de componente, se recomienda tener proveedores secundarios, para no alargar los tiempos medios de reparación.

## CONCLUSIONES

- En los resultados de los indicadores KPI's se puede observar que, durante la implementación del plan de mantenimiento, en el mes de junio se presentó una falla con una duración de 12 horas en su reparación. Esto ocasiono que la disponibilidad y confiabilidad descendiera su valor en un promedio del 3.5% durante el mes. Este resultado es debido a que una falla se presentó en el banco de válvulas del brazo hidráulico MKG HLK a3 por la obstrucción de partículas contaminantes. El tiempo para hallar el origen de la falla, el desmontaje del banco y la contratación de personal capacitado, afectó notoriamente la disponibilidad del activo.
- Debido a la presencia de la falla de la primera conclusión, como mecanismo de prevención de dicha avería, se planeó un mantenimiento predictivo centrado en el análisis de lubricantes del aceite hidráulico de la bomba del brazo HLK MKG 103<sup>a</sup>. Como resultado, se observaron partículas contaminantes de películas de recubrimientos contra la corrosión del activo. La presencia de estas partículas, fue por la mala aplicación de la pintura sobre los acoples de las válvulas, qué, al momento del ensamble y conexión de la máquina, se presentó el desprendimiento del recubrimiento, contaminando el aceite y obstruyendo las válvulas.
- El indicador que presentó más evolución positivamente en el activo, fue el tiempo medio entre fallas (MTBF) con una diferencia de 56.3 horas. Mientras que el indicador con el valor más bajo fue la disponibilidad y confiabilidad con un aumento del 0.9%.
- Aunque el plan de mantenimiento demostró ser efectivo en su aplicación, no se logró cumplir la meta esperada, debido a que el tiempo estimado y la frecuencia de aplicación de las tareas propuestas no están dentro del tiempo de estudio de la

pasantía. Sin embargo, dentro del periodo estudiado se ejecutaron las actividades mayor mente posibles, demostrando la efectividad del plan.

- Los mantenimientos predictivos aplicados como el análisis de lubricantes y rectificación de componentes y sistemas electrónicos, ayudaron a la empresa a tomar decisiones más estratégicas y rigurosas en los mantenimientos del activo. Además, se mejoró la medición y planeación de los tiempos estimados de intervención de mantenimientos en función de la disponibilidad y confiabilidad del activo. Así mismo, se planteó la idea de aplicar nuevas técnicas predictivas para mantener el equipo en un indicador alto de disponibilidad.
- La empresa CODIMELCO S.A.S tiene destinado una inversión para procesos de mantenimientos en un valor de 8.000.000 COP por activo. La grúa Ford Cargo 815 2007, presentaba desbalances doblando ese valor, principalmente en mantenimientos correctivos y adquisición de repuestos. Con el plan de mantenimiento diseñado, ese valor se redujo en un 5.6%, debido a que se aumentaron técnicas de monitoreo, limpieza, rectificación de componentes y operación responsable.
- La implementación del plan de mantenimiento para la grúa articulada fue llevada a cabo por un equipo multidisciplinario de CODIMELCO S.A.S., conformado por personal administrativo, técnico y directivo. Esta intervención permitió adoptar un enfoque más estratégico en la gestión de activos, fortaleciendo los estudios técnicos, la colaboración entre áreas y la comunicación efectiva dentro del equipo de trabajo.
- Como se pudo observar en el capítulo IV de Análisis de criticidad, los resultados dieron que dos grúas se encuentran en estado crítico; la Ford Cargo 815 y la Ford F-800. Se selecciono un solo activo por lo que este proyecto se centra en una prueba piloto, además, el equipo seleccionado es el que presenta más alta

demanda dentro de la empresa, por su versatilidad, dimensionamiento y capacidad para trabajos medianos, de altura y transporte de material en áreas urbanas de menor tamaño y capacidad vehicular.

- El plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la grúa articulada Ford Cargo 815 2007, se diseñó a la altura y especificaciones del activo, pues las tareas propuestas para la intervención y mitigación de las fallas presentes en el activo se redujeron significativamente durante el periodo de prueba.
- La empresa CODIMELCO S.A.S demostró satisfacción con el plan de mantenimiento basado en RCM y el trabajo realizado en la grúa articulada. Así mismo, demostró su interés en seguir implementando esta metodología en las grúas restantes de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CAPARACHIN CONDORI W., Emilio J. Mantenimiento centrado en la confiabilidad mediante kpis de mantenimiento, aplicado a la chancadora de quijada COMESA 24” x 36” de la planta concentradora Polimetálica CIA. Minera Lincuna S.A. [En línea]. Informe de experiencia profesional. Universidad Nacional del Santa, 2019. [Consultado el 21/07/2025]. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3395>
- [2] FRACTTAL. Manejando indicadores de mantenimiento [en línea]. (s.l), 2024. [Consultado el 6/08/2025]. Disponible en: <https://www.fractal.com/hubfs/Fractal%20Website%202021/webinar/congreso-heroes-del-mantenimiento-octubre-2023/ebooks/dominando-los-indicadores-de-mantenimiento.pdf>
- [3] FRACTTAL. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).[Sitio Web]. (s.l). [Consultado el 6/08/2025]. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad>
- [4] FRACTTAL. 5 indicadores clave en el departamento de mantenimiento. [Sitio Web]. (s.l). [Consultado el 6/08/2025]. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/indicadores-de-mantenimiento>
- [5] HUAMAN RODRIGUEZ, David Enrique; CHURA BORDA, Erick Paul. Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores frontales 950H en una empresa constructora empleando la

metodología del mantenimiento basado en confiabilidad o RCM [en línea]. Trabajo de suficiencia profesional. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2023. [Consultado el 26 de mayo de 2025]. Disponible en: [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671898/Huaman\\_RD.pdf?sequence=1](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671898/Huaman_RD.pdf?sequence=1)

[6] MONTES VILLADA, Juan David. Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de integra s.a. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) [en línea]. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira, 2013. [Consultado el 26 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/12b16aec-b9af-4276-80dc-6ebc703c7157/content>


[7] PARRA MÁRQUEZ, C, & CRESPO MARQUEZ, A. Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [en línea]. Segunda edición. Sevilla-España: Editorial Ingeman, 2019. [Consultado el 6/08/2025]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/342926771\\_Metodos\\_de\\_Analisis\\_de\\_Criticidad\\_y\\_Jerarquizacion\\_de\\_Activos](https://www.researchgate.net/publication/342926771_Metodos_de_Analisis_de_Criticidad_y_Jerarquizacion_de_Activos)

[8] PAZ CONDORI, Gonzalo Ronal. Diagnóstico y mejora de la disponibilidad de una flota de palas hidráulicas aplicando la estrategia del mantenimiento RCM [en línea]. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2024. [Consultado el 26 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/409528c9-7c58-4d5f-b78d-bdf45ce379bf/content>

- [9] SÁNCHEZ ROMERO, Lina María. Modelo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) bajo estándar SAE para el laboratorio de manufactura de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja [en línea]. Tesis de grado. Universidad Santo Tomas, 2024 [Consultado el 31 de mayo de 25]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/items/2e9b4a7d-7644-4e33-b0b3-652715c6c7ef>
- [10] SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Análisis de efectos y modos de falla potencial (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR suplementario y FMEA de proceso. SAE J1739. JAN2021. 105 p.
- [11] SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. SAE JA1011.1999. 12 p.
- [12] SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). SAE JA1012. 2002. 62 p.
- [13] ZEGARRA Manuel. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas. 2016, enero - abril [en línea], 19(1). 25 – 37 [Consultado el 3 de junio de 2025]. eISSN 2409-2045 Disponible en: <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/viewFile/1219/1189>


## ANEXOS

### Anexo A. Formato de funciones de sistemas


COMDIMELCO S.A.S				
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción				
FUNCIONES				
Tipo de activo				
Fecha		Código	Versión	
Ubicación del Activo		código del activo		
Objeto de estudio		Modelo del activo		
FUNCIONES PRINCIPALES				
FUNCIONES SECUNDARIAS				
Fronteras		Imagen del Sistema		
¿Que estudia?				
¿Que no estudia?				
Interfase				
Entradas	Salidas			
Características técnicas				
Características ambientales				
Características Operativas				
Observaciones				



Anexo C. Hoja de calculo para el desarrollo del análisis de riesgo

COMDIMELCO S.A.S																			
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción																			
ANILISIS DE RIESGO																			
Tipo de maquina																			
Fecha				Código				Versión											
Ubicación del activo								Código del activo											
Objeto de estudio								Modelo del activo											
F	F	M	F	MODO DE FALLA	O	Kfo		Ksf		Kma		Kic		Kor		Koc		S	R = O x S
						0,05		0,20		0,10		0,30		0,30		0,05			
						F	Kfo x	S	Ksf x	M	Kma x	I	Kic x	O	Kor x	O	Koc x		
O	FO	F	SF	A	MA	C	IC	R	OR	C	OC								
<b>Total, Riesgo</b>																		<b>15,1</b>	

Anexo D. Formato para el desarrollo de la hoja de decisión

CODIMELCO																				
Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción																				
HOJA DE DECISIÓN																				
Tipo de maquina													Fecha		Código		Versión			
Ubicación del activo									Código del activo											
Objeto de estudio									Modelo del activo											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a la falla de"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar					
																F	FF	MF	H	S

Anexo E. Formato para la recolección de datos e indicadores

<b>COMDIMELCO S.A.S</b>					
<b>Grúas, Postería, Eléctricos Y Construcción</b>					
<b>Resultado de indicadores</b>					
<b>Tipo de activo</b>					
<b>Fecha</b>		<b>Código</b>		<b>Versión</b>	
<b>Ubicación del Activo</b>				<b>Código del activo</b>	
<b>Objeto de estudio</b>				<b>Modelo del activo</b>	
<b>Mes</b>	<b>Año</b>	<b>Indicadores</b>			
		<b>Disponibilidad operativa</b>	<b>MTBF (h)</b>	<b>MTTR (h)</b>	<b>Disponibilidad y confiabilidad</b>
<b>Promedio</b>					
<b>Promedio</b>					
<b>Observaciones</b>					

