

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Implementación de plan de mantenimiento basado en  
RCM para incrementar la disponibilidad de la  
excavadora de orugas Cat 336DL de la empresa  
Mota-Engil S. A. C., Lima-2023**

Lizandro Flores Escalante

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Industrial

Cusco, 2024

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Kenny Alberto Melendres Quispe  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 9 de Octubre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA EXCAVADORA DE ORUGAS CAT 336DL DE LA EMPRESA MOTA-ENGIL S.A.C., LIMA – 2023

**Autores:**

1. LIZANDRO FLORES ESCALANTE – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## INDICE

AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
INDICE .....	vi
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	18
1.1.    Planteamiento del Problema .....	18
1.2.    Formulación del problema.....	20
1.2.1.    Problema General .....	20
1.2.2.    Problemas Específicos.....	20
1.3.    Objetivos .....	21
1.3.1.    Objetivo General .....	21
1.3.2.    Objetivos Específicos.....	21
1.4.    Justificación e Importancia.....	21
1.4.1.    Justificación teórica.....	21
1.4.2.    Justificación Práctica.....	22
1.4.3.    Justificación Metodológica .....	22
1.4.4.    Justificación económica .....	22
1.5.    Delimitaciones de la Investigación .....	23
1.5.1.    Delimitación Teórica.....	23
1.5.2.    Delimitación Espacial .....	23

1.5.3.	Delimitación Temporal .....	23
1.6.	Hipótesis .....	24
1.6.1.	Hipótesis General.....	24
1.6.2.	Hipótesis Específicas .....	24
1.7.	Variables del estudio .....	24
1.7.1.	Variable independiente .....	24
1.7.2.	Variable dependiente .....	24
1.7.3.	Operacionalización de variables .....	25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....		26
2.1.	Antecedentes de la Investigación.....	26
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	26
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	29
2.2.	Bases Teóricas .....	32
2.2.1.	Mantenimiento.....	32
2.2.2.	Conceptualización de fallas.....	34
2.2.3.	Diagrama de Pareto .....	35
2.2.4.	Diagrama de Ishikawa.....	36
2.2.5.	Plan de mantenimiento basado en RCM.....	38
2.2.6.	Construcción de presas para relave minero.....	40
2.2.7.	Excavadora sobre orugas CAT 336DL.....	44
2.2.8.	Distribución de Weibull.....	46
2.2.9.	Distribución de Gumbel.....	48
2.2.10.	Disponibilidad.....	50
2.3.	Términos y definiciones .....	51
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		53

3.1.	Método, Tipo y Nivel de Investigación.....	53
3.1.1.	Método de la investigación.....	53
3.1.2.	Tipo de la Investigación .....	53
3.1.3.	Nivel de la Investigación .....	54
3.2.	Diseño de la Investigación .....	54
3.3.	Población y Muestra.....	55
3.3.1.	Población .....	55
3.3.2.	Muestra .....	56
3.4.	Técnicas y Muestras de Recolección de Datos.....	56
3.4.1.	Técnicas de Recolección de Datos .....	56
3.4.2.	Instrumentos de Recolección de Datos.....	57
3.4.3.	Análisis y Procesamiento de Datos.....	57
CAPITULO IV. RESULTADOS .....		59
4.1.	Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información .....	59
4.1.1.	Determinar la disponibilidad actual de la excavadora de orugas CAT 336DL de Mota-Engil.....	59
4.1.2.	Analizar como la ocurrencia de las fallas afecta en la disponibilidad de la excavadora de orugas CAT 336DL de Mota-Engil .....	69
4.1.3.	Determinar cuáles son los sistemas más críticos de la excavadora de orugas CAT 336DL de Mota-Engil.....	72
4.1.4.	Analizar las fallas más recurrentes en la excavadora de orugas CAT 336L de Mota-Engil. ....	84
4.1.5.	Desarrollar el AMEF para determinar las acciones a incluir en el plan de mantenimiento preventivo. ....	91

4.1.6. Implementar indicadores de mantenimiento para demostrar los resultados de la implementación del plan de mantenimiento .....	115
4.1.7. Determinar el impacto de la implementación del mantenimiento basado en RCM en los indicadores de la excavadora de orugas CAT 336L	
117	
4.2. Pruebas inferencial para los indicadores de mantenimiento .....	126
4.2.1. Prueba para el indicador de disponibilidad .....	126
4.2.2. Prueba para el indicador de MTBF .....	127
4.2.3. Prueba para el indicador de MTTR .....	129
4.3. Discusión de Resultado .....	130
CONCLUSIONES.....	134
RECOMENDACIONES .....	137
BIBLIOGRAFIA.....	138
ANEXOS .....	143

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de Variables .....	25
<b>Tabla 2</b> Análisis Weibull – Periodo inicial .....	59
<b>Tabla 3</b> Resultados del análisis Weibull – Periodo inicial .....	62
<b>Tabla 4</b> Análisis Gumbel – Periodo inicial .....	63
<b>Tabla 5</b> Cálculo de factor de correlación recomendado – Periodo inicial .....	64
<b>Tabla 6</b> Resultados del análisis Gumbel – Periodo inicial .....	67
<b>Tabla 7</b> Matriz de criticidad de la excavadora CAT 336DL.....	73
<b>Tabla 8</b> Análisis de recurrencias de fallas por personal en la empresa Moto-Engil S.A.C.....	84
<b>Tabla 9</b> Análisis de Pareto de fallas recurrentes .....	87
<b>Tabla 10</b> Análisis AMEF para el sistema de motor .....	91
<b>Tabla 11</b> Análisis AMEF para el sistema eléctrico .....	94
<b>Tabla 12</b> Análisis AMEF para el sistema hidráulico .....	98
<b>Tabla 13</b> Hoja de decisión y plan de mantenimiento basado en RCM .....	101
<b>Tabla 14</b> Cronograma de plan de mantenimiento .....	107
<b>Tabla 15</b> Leyenda de intervalos de mantenimiento .....	114
<b>Tabla 16</b> Balanced Scorecard .....	116
<b>Tabla 17</b> Análisis Weibull – Periodo Final .....	117
<b>Tabla 18</b> Resultados del análisis Weibull – Periodo final.....	120
<b>Tabla 19</b> Análisis Gumbel – Periodo final.....	121
<b>Tabla 20</b> Cálculo de factor de correlación recomendado – Periodo final.....	122
<b>Tabla 21</b> Resultados del análisis Gumbel – Periodo inicial.....	125
<b>Tabla 22</b> Prueba de normalidad del indicador de disponibilidad .....	126
<b>Tabla 23</b> T-Student del indicador de disponibilidad .....	127

<b>Tabla 24</b> Prueba de normalidad del indicador de MTBF.....	128
<b>Tabla 25</b> T-Student del indicador de MTBF .....	128
<b>Tabla 26</b> Prueba de normalidad del MTTR .....	129
<b>Tabla 27</b> T-Student del indicador de MTTR .....	129



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Categorías de mantenimiento.....	32
<b>Figura 2</b> Diagrama de Pareto.....	36
<b>Figura 3</b> Ishikawa bajo el método 6M .....	37
<b>Figura 4</b> Fases de implementación del RCM.....	39
<b>Figura 5</b> Método constructivo de agua arriba.....	41
<b>Figura 6</b> Método constructivo aguas abajo .....	42
<b>Figura 7</b> Método constructivo línea central .....	43
<b>Figura 8</b> Excavadoras de oruga CAT 336DL .....	45
<b>Figura 9</b> Excavadora CAT 336DL en el proceso de carguío.....	46
<b>Figura 10</b> Ruta de procesamiento de datos.....	58
<b>Figura 11</b> Función de densidad de probabilidad de fallo $f(t)$ – Periodo inicial. .....	60
<b>Figura 12</b> Función acumulada de probabilidad de fallo $F(t)$ – Periodo inicial .....	61
<b>Figura 13</b> Función acumulada inversa de probabilidad de fallo $R(t)$ – Periodo inicial .....	61
<b>Figura 14</b> Función frecuencia de fallo $h(t)$ – Periodo inicial .....	62
<b>Figura 15</b> Función de densidad de probabilidad de reparar $m(t)$ – Periodo inicial .....	66
<b>Figura 16</b> Función de frecuencia de reparaciones $\mu(t)$ – Periodo inicial .....	66
<b>Figura 17</b> Función de distribución acumulada de probabilidad $M(t)$ – Periodo inicial .....	67
<b>Figura 18</b> Disponibilidad – Periodo Inicial.....	68
<b>Figura 19</b> Diagrama de Ishikawa – Baja disponibilidad .....	70
<b>Figura 20</b> Conjunto de válvula de lubricación .....	74
<b>Figura 21</b> Bomba hidráulica del inyector unitario .....	75

<b>Figura 22</b> Cámara de enfriamiento de aceite.....	75
<b>Figura 23</b> Sistema de lubricación del motor C9 .....	76
<b>Figura 24</b> Válvula de control del cucharón.....	77
<b>Figura 25</b> Sistema hidráulico del cucharón.....	78
<b>Figura 26</b> Motor de giro con solenoide de giro fino.....	79
<b>Figura 27</b> Levantamiento pesado .....	79
<b>Figura 28</b> Grupo del motor de giro.....	80
<b>Figura 29</b> Freno de giro y colector de aceite .....	80
<b>Figura 30</b> Sistema hidráulico de giro .....	81
<b>Figura 31</b> Sistema hidráulico de retorno .....	83
<b>Figura 32</b> Diagrama de Pareto de fallas recurrentes .....	90
<b>Figura 33</b> Función de densidad de probabilidad de fallo $f(t)$ – Periodo final. .....	118
<b>Figura 34</b> Función acumulada de probabilidad de fallo $F(t)$ – Periodo final.. .....	119
<b>Figura 35</b> Función acumulada inversa de probabilidad de fallo $R(t)$ – Periodo final.....	119
<b>Figura 36</b> Función frecuencia de fallo $R(t)$ – Periodo final .....	120
<b>Figura 37</b> Función de densidad de probabilidad de reparar $m(t)$ – Periodo final .....	123
<b>Figura 38</b> Función de frecuencia de reparaciones $\mu(t)$ – Periodo final .....	124
<b>Figura 39</b> Función de distribución acumulada de probabilidad $M(t)$ – Periodo final.....	124
<b>Figura 40</b> Disponibilidad – Periodo Final .....	126

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo principal determinar cómo la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM incrementa la disponibilidad de la excavadora de orugas CAT 336DL en un proyecto de construcción de una presa de relaves para una empresa minera cuprífera. Así mismo, el estudio fue una investigación aplicada, cuantitativa y de diseño pre-experimental. Por otro lado, el estudio tuvo como población a una flota de 5 excavadoras de la empresa Mota-Engil S.A.C., y se consideró un tipo de muestra no probabilista por conveniencia, la cual fue una excavadora de orugas CAT 336DL. Respecto al diagnóstico inicial de la excavadora CAT 336DL, se encontró que el indicador de confiabilidad (MTBF), el indicador de mantenibilidad (MTTR) y la disponibilidad fueron 9.06 horas, 7.03 horas y 56.28%, respectivamente. Posteriormente, se analizó en como la ocurrencia de las fallas afecta la disponibilidad mediante un diagrama mediante de Ishikawa para identificar todas las causas que ocasionaron la baja disponibilidad en la excavadora. Después se realizó el análisis de criticidad de los sistemas de la excavadora, resultando el sistema de lubricación e hidráulico como los más críticos. Luego, se procedió a analizar las fallas más recurrentes en la excavadora, utilizando el diagrama de Pareto. Luego de desarrollar el contexto operacional de la maquinaria según la metodología RCM, se identificaron las funciones, fallas funcionales, modos de falla y NRP's de los sistemas críticos, evaluando el impacto de cada falla. Posteriormente, aplicando la lógica RCM, se recomendaron actividades de mantenimiento para incluir en el plan de la excavadora CAT 336DL. Además, se elaboró un Balance Scorecard como herramienta estratégica para medir el rendimiento en el área de mantenimiento. Finalmente se evaluó la mejora, determinando que el MTBF, MTTR y disponibilidad tuvieron una mejora significativa de 2.59 horas, 3.34 horas y 19.66% respectivamente. Concluyendo que la implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM ha demostrado ser altamente eficaz en incrementar la disponibilidad de la excavadora de orugas CAT 336DL.

**Palabras claves:** Disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, Metodología RCM, excavadora sobre orugas.

## ABSTRACT

The main objective of the research was to determine how the implementation of the RCM-based maintenance plan increases the availability of the CAT 336DL crawler excavator in a tailings dam construction project for a copper mining company. Likewise, the study was an applied, quantitative and pre-experimental design research. On the other hand, the study had as population a fleet of 5 excavators from the company Mota-Engil S.A.C., and a non-probabilistic sample type for convenience was demonstrated, which was a CAT 336DL crawler excavator. Regarding the initial diagnosis of the CAT 336DL excavator, it was found that the reliability indicator (MTBF), the maintainability indicator (MTTR) and the availability were 9.06 hours, 7.03 hours and 56.28%, respectively. Subsequently, the way in which the occurrence of failures affects the availability was analyzed using an Ishikawa diagram to identify all the causes that caused the low availability in the excavator. Then, the criticality analysis of the excavator systems was performed, resulting in the lubrication and hydraulic systems as the most critical. Then, the most recurrent failures in the excavator were analyzed, using the Pareto diagram. After developing the operational context of the machinery according to the RCM methodology, the functions, functional failures, failure modes and NRP's of the critical systems are identified, evaluating the impact of each failure. Subsequently, applying the RCM logic, maintenance activities will be recommended to include in the CAT 336DL excavator plan. In addition, a Balance Scorecard was developed as a strategic tool to measure performance in the maintenance area. Finally, the improvement was evaluated, determining that the MTBF, MTTR and availability had a significant improvement of 2.59 hours, 3.34 hours and 19.66% respectively. Concluding that the implementation of a maintenance plan based on RCM has proven to be highly effective in increasing the availability of the CAT 336DL crawler excavator.

**Keywords:** Availability, reliability, maintainability, RCM Methodology, crawler excavator.