

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

## **“APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN UNA EMPRESA MINERA EN CUSCO 2024”**

**Trabajo de suficiencia profesional para optar al título profesional  
de:**

**Ingeniero Industrial**

**Autor:**

Abner Mizraim Varillas Cueva

**Asesor:**

Dr. Juan Carlos Quiroz Flores

<https://orcid.org/0000-0003-1858-4123>

**Lima - Perú**

2025

## INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 130 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3282783743

### 6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

#### Filtrado desde el informe

▸ Bibliografía

#### Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

#### Marcas de integridad

##### N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**  
77 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mi hermano Jacob Israel Varillas Cueva, que partió a la eternidad muy pronto, sé que él hubiera disfrutado de este logro académico, gracias por haberme dado tantas alegrías, anécdotas y vivencias, siempre un abrazo eterno, tu hermano que te quiere mucho.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi padre por el apoyo moral que siempre he recibido para continuar mi carrera profesional, a mis hermanos Rebeca y Billy que siempre me apoyaron en casa, y para mis compañeros de trabajo que fueron parte del presente trabajo y que supieron entender los sacrificado que suele ser la vida académica.

## TABLA DE CONTENIDO

INFORME DE SIMILITUD .....	2
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	10
RESUMEN EJECUTIVO .....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	19
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	98
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS.....	118
ANEXOS .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Tiempo de paradas no programadas por línea .....	49
<b>Tabla 2</b>	Tasa de fallas por línea .....	50
<b>Tabla 3</b>	Tiempos de parada por disciplina .....	51
<b>Tabla 4</b>	Cronograma de implementación Mantenimiento Planificado .....	55
<b>Tabla 5</b>	Pesos por criterio para análisis de criticidad.....	61
<b>Tabla 6</b>	Cuadro resumen de las causas raíces de Ishikawa .....	67
<b>Tabla 7</b>	Cuadro resumen de las causas raíces de Ishikawa con horas de parada .....	68
<b>Tabla 8</b>	Causa raíz y equipos relacionados con Averías de componentes .....	70
<b>Tabla 9</b>	Causa raíz y equipos relacionados a Reparaciones Subestándar .....	71
<b>Tabla 10</b>	Tabla de equipos críticos con las horas de parada del año 2023 .....	72
<b>Tabla 11</b>	Tabla de objetivos al término del periodo 2024.....	82
<b>Tabla 12</b>	Acciones técnicas post AMEF para piñón contraje referidas al mantenimiento planificado.....	84
<b>Tabla 13</b>	Acciones técnicas post AMEF para piñón contraje referidas a la mejora de procesos e ingeniería.....	85
<b>Tabla 14</b>	Cronograma de órdenes de trabajo para seguimiento en el periodo 2024 .....	96
<b>Tabla 15</b>	Seguimiento al programa al del periodo 2024 .....	97
<b>Tabla 16</b>	Comparación de indicadores.....	102
<b>Tabla 17</b>	Estadísticas descriptivas de las muestras emparejadas para la prueba de hipótesis .....	104
<b>Tabla 18</b>	Costos asociados al personal que participó de la implementación .....	108
<b>Tabla 19</b>	Costos asociados a la mejora en los contrajees molinos.....	109
<b>Tabla 20</b>	Resumen de costos asociados la implementación.....	110
<b>Tabla 21</b>	Resumen de costos asociados la implementación.....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Estructura organizacional general .....	13
<b>Figura 2</b> Estructura organizacional Procesos Planta.....	14
<b>Figura 3</b> Formato de trabajo AMEF .....	30
<b>Figura 4</b> Matriz de riesgo y criticidad.....	31
<b>Figura 5</b> Diagrama de pareto .....	33
<b>Figura 6</b> Diagrama de Ishikawa.....	34
<b>Figura 7</b> Análisis causa raíz alineado al AMEF .....	34
<b>Figura 8</b> Checklis estandarizados .....	35
<b>Figura 9</b> Planificación calendario .....	36
<b>Figura 10</b> Entorno SAP planes de Mantenimiento .....	37
<b>Figura 11</b> Reunión inicial para evaluar situación actual.....	44
<b>Figura 12</b> Disponibilidad de la empresa minera al 2023 .....	45
<b>Figura 13</b> Tiempo medio entre fallas al 2023 .....	46
<b>Figura 14</b> Tiempo medio para reparar al 2023 .....	47
<b>Figura 15</b> Tiempo de paradas no programadas al 2023 .....	48
<b>Figura 16</b> Evaluación de criticidad año 2018 .....	57
<b>Figura 17</b> Lista de equipos críticos con categoría B o Alta año 2018 .....	58
<b>Figura 18</b> Lista de equipos para evaluar nivel de criticidad .....	59
<b>Figura 19</b> Criterios para evaluación de criticidad.....	60
<b>Figura 20</b> Rangos de criticidad .....	61
<b>Figura 21</b> Niveles de criticidad.....	62
<b>Figura 22</b> Análisis de criticidad activos 2024.....	63

<b>Figura 23</b>	Lista de equipos críticos con categoría A o Muy Alta .....	64
<b>Figura 24</b>	Diagrama ishikawa .....	65
<b>Figura 25</b>	Matriz de priorización .....	68
<b>Figura 26</b>	Conformación grupo trabajo AMEF .....	73
<b>Figura 27</b>	Evidencia reunión AMEF .....	73
<b>Figura 28</b>	Guía de Severidad para AMEF de Proceso (escala cualitativa 1 - 10).....	74
<b>Figura 29</b>	Guía de Ocurrencia para AMEF de Proceso (escala cualitativa 1 - 1 .....	76
<b>Figura 30</b>	Guía de Detección para AMEF de Proceso (escala cualitativa 1 - 10) .....	77
<b>Figura 31</b>	Nivel de NPR.....	78
<b>Figura 32</b>	Análisis de modo de falla con nivel NPR inicial.....	79
<b>Figura 33</b>	Pareto por modo de falla luego de realizar AMEF .....	79
<b>Figura 34</b>	Actividades por modo de falla desde inicio de operación.....	81
<b>Figura 35</b>	Análisis de modo de falla con nivel NPR final .....	83
<b>Figura 36</b>	Actividades por modo de falla post análisis AMEF.....	83
<b>Figura 37</b>	Formato para declarar cambio cíclicos de piñones contraeje molinos.....	86
<b>Figura 38</b>	Registro de parametros piñon contraeje ML001 Diario .....	87
<b>Figura 39</b>	Registro de parámetros piñon contraeje ML001 Mensual .....	88
<b>Figura 40</b>	Análisis ultrasonido realizado por empresa externa a piñón contraeje .....	88
<b>Figura 41</b>	Hoja de ruta 1070100 para molinos, inspección de parámetros e instrumentos ....	90
<b>Figura 42</b>	Formato para toma de datos asociado a hoja de ruta 1070100.....	91
<b>Figura 43</b>	Hoja de ruta 1070300 para molinos, con actividades para el área de lubricación. ....	92
<b>Figura 44</b>	Hoja de ruta 1070400 para molinos, con actividades para lubricación.....	93
<b>Figura 45</b>	Personal de lubricación trabajando en molino SAG ML001 .....	94
<b>Figura 46</b>	Seguimiento de cumplimiento según planes planificados.....	95
<b>Figura 47</b>	Tiempo de paradas no programadas del periodo al 2024.....	98

<b>Figura 48</b> Tiempo medio entre fallas al 2024 .....	99
<b>Figura 49</b> Tiempo medio para reparar al 2024 .....	100
<b>Figura 50</b> Disponibilidad al 2024 .....	102
<b>Figura 51</b> Grafica de caja con Minitab Disponibilidad 2023 vs 2024 .....	105
<b>Figura 52</b> Grafica de caja con Minitab MTBF 2023 vs 2024 .....	106
<b>Figura 53</b> Grafica de caja con Minitab MTTR 2023 vs 2024 .....	107

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Criticidad.....	25
<b>Ecuación 2</b> Tasa de fallas.....	26
<b>Ecuación 3</b> Cumplimiento del plan de mantenimiento .....	27
<b>Ecuación 4</b> Disponibilidad (horas).....	28
<b>Ecuación 5</b> MTBF.....	28
<b>Ecuación 6</b> MTTR.....	29
<b>Ecuación 7</b> Paradas no programadas.....	29

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de suficiencia profesional se desarrolló en una empresa minera en Cusco, donde el principal reto fue mejorar la disponibilidad de los e activos considerados muy críticos en la operación. A lo largo del 2024, se ejecutó un proyecto técnico de mejora basado en la aplicación del mantenimiento planificado bajo el enfoque del Mantenimiento Productivo Total (TPM), estructurado en seis fases que incluyeron análisis de criticidad, diagnóstico técnico, rediseño de planes, implementación operativa y control de resultados. Se aplicaron herramientas como AMEF, diagramas de Ishikawa, SAP PM, hojas de ruta y el sistema PI System. Esta intervención permitió mejorar indicadores clave: la disponibilidad pasó de 92.4 % a 94.6 %, el MTBF aumentó de 111.6 a 128.3 horas, y el MTTR se redujo de 3.7 a 3.0 horas. Además, se evidenció un retorno económico positivo, con un VAN superior a \$2, 284,682.82 y un periodo de recuperación de 0.5 años. La propuesta integró competencias profesionales como el análisis técnico de fallas, gestión de proyectos, planificación de mantenimiento y liderazgo en equipos multidisciplinarios. Los resultados obtenidos confirmaron que una estructura de mantenimiento planificado bien aplicada puede transformar la confiabilidad operativa en entornos de alta exigencia como la minería.

## **NOTA**

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto** por determinación de los propios autores, en concordancia con en el Texto Integrado del Reglamento RENATI (artículo 12), la Directiva N°048-2020-CONCYTEC-P que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto (ALICIA) administrado por el pliego Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC y la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

## REFERENCIAS

- Abedin, A. (2023). Improvement of overall equipment efficiency with root cause analysis and TPM strategy: a case study. *International journal of research in industrial engineering*, 12(3), 205-220.
- Álvarez Fajardo, J. A. (2024). Aumento de productividad a través de la gestión de activos como factor estratégico: Caso Planta Cátodos de Minera El Abra [Tesis de magíster, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/204335/Aumento-de-productividad-a-traves-de-la-gestion-de-activos-como-factor-estrategico-caso.pdf>
- Arroyo Vaca, C. S., & Obando Quito, R. F. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 4(10), 59–69. <https://revista.estudioidea.org/ojs/index.php/esci/article/view/240>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2024). Nota informativa sobre política monetaria – diciembre 2024. Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/comunicados/nota-informativa-politica-monetaria-diciembre-2024.pdf>
- Bermúdez, L., & Ramírez, F. (2021). Gestión de mantenimiento en minería subterránea colombiana: Caso de estudio de maquinaria pesada. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 20(38), 53–68. <https://doi.org/10.22395/rium.v20n38a3>
- Brodny, J. (2024). Analysis of the impact of unscheduled downtimes on their availability in machine operations. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 1(1), 145–151. <https://doi.org/10.2478/mape-2024-0019>
- Canahua Apaza, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmeccánica. *Industrial Data*, 24(1), 49–76. <https://doi.org/10.15381/idata.v24i1.18402>
- Condorí, J., Vilcapaza, F., & Huarcaya, M. (2022). Aplicación del mantenimiento planificado para mejorar la disponibilidad de equipos en una planta concentradora [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9296>
- Díaz, E. (2020). *Mantenibilidad y disponibilidad de sistemas industriales* (p. 64). Ediciones Industriales.
- ESAN. (2023). Informe sobre la estimación del WACC en proyectos mineros polimetálicos en el Perú (2011–2022). Escuela de Administración de Negocios para Graduados. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/contenido/estudio-wacc-mineria-2023.pdf>

- Fernández, A. (2020). Planificación y control del mantenimiento (p. 55). Editorial Profesional.
- García, L. (2020). Confiabilidad y mantenimiento de sistemas industriales (p. 112). Ediciones Industriales.
- Gaspar, L., Paredes, J., & Molina, F. (2022). Application of criticality analysis in biomass power plants to reduce unplanned stops. *Journal of Maintenance and Reliability*, 14(2), 45–56.
- Huayllas, G., & Abad, R. (2023). Mejora del mantenimiento productivo total en planta metalúrgica mediante TPM. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 – Risk management – Guidelines (p. 6). ISO.
- International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224:2016 – Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (p. 24). ISO.
- Ivanov, D., Petrov, S., & Vasilev, R. (2024). Effectiveness of scheduled maintenance in mining equipment performance. *Applied Sciences*, 14(5), 2185. <https://doi.org/10.3390/app14052185>
- Jozef, S. (2023). Studies on availability of the mining equipment: An overview. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/372210405>
- Khalili, M., Ismail, Z., & Ruzman, M. (2023). Preventive maintenance planning in manufacturing: Evidence from Malaysian industry. *Maintenance Management Journal*, 19(1), 66–78.
- Krishna, G., Raju, V., & Rao, M. (2021). Structured planning of maintenance tasks using TPM and Gantt models in industrial setups. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(4), 210–220.
- Lazarte Aquino, A. R. (2022). Plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad en el circuito de chancado de la Unidad Minera Raura [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8040>
- Li, C., Wang, Y., & Xie, M. (2020). Optimal preventive maintenance policies for systems with general lifetime distributions. *Reliability Engineering & System Safety*, 197, 106792. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106792>
- Lira Aquino, J., & Soto Rosales, D. (2024). Optimización del mantenimiento planificado en palas hidráulicas mediante técnicas TPM. Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte.

- London Metal Exchange. (2024). LME copper monthly average prices 2024.  
<https://www.lme.com/en/metals/non-ferrous/copper#Trading>
- López, M. (2019). Análisis de fallas en sistemas mecánicos (p. 67). Ediciones Técnicas.
- Makoni, A., & Mbohwa, C. (2021). Availability analysis of mining equipment using failure modes and effects analysis (FMEA) in Zimbabwean gold mines. *South African Journal of Industrial Engineering*, 32(3), 133–146.  
<https://sajie.journals.ac.za/pub/article/view/2205>
- Martínez, R. (2021). Técnicas avanzadas de mantenimiento (p. 89). Editorial Ingeniería.
- Martins, R. M., da Silva, C. A., & Oliveira, A. P. (2022). Unplanned downtime and maintenance strategies in Brazilian iron ore operations. *International Journal of Mining Science and Technology*, 32(5), 591–599.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2022.05.008>
- Mokgohloa, L. E., & Mbohwa, C. (2024). Evaluation of maintenance practices in open pit platinum mines. In *ASME 2024 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. <https://doi.org/10.1115/IMECE2024-11625>
- Morales, J. (2021). Sistemas informáticos aplicados al mantenimiento (p. 58). Ediciones Tecnológicas.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Palmer, R. D. (2019). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook* (4th ed., p. 45). McGraw-Hill Education.
- Paredes Villar, M. (2024). Diseño de plan de mantenimiento preventivo en chancadora primaria de unidad minera Chinalco. Tesis profesional, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Phocco Quispe, J. F. (2024). Propuesta de mejora de la disponibilidad en equipos de chancado y molienda en una planta minera peruana [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Continental.  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16461>
- Quispe León, J. (2020). Plan de mantenimiento preventivo y predictivo para garantizar la confiabilidad de transformadores del molino SAG de una planta concentradora de cobre [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia – CONCYTEC.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_ac7b36bc66cec72cd910dbeca261dc8](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_ac7b36bc66cec72cd910dbeca261dc8)
- Ramírez, P. (2019). Logística de mantenimiento y gestión de repuestos (p. 102). Ediciones Logísticas.

Rivera Quintana, A. (2021). Diseño de un sistema de mantenimiento predictivo y planificado en planta Ore Sorting de San Rafael\*. Tesis profesional, Universidad Nacional de San Agustín.

Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution (2nd Rev. & Exp. ed.). ASQ Quality Press

Standards Norway. (2011). NORSOK Standard Z-008:2011 – Criticality analysis for maintenance purposes (p. 9). <https://www.standard.no>

SymX AI. (2023). Revolutionizing predictive maintenance in the mining industry with AI. <https://symx.ai/revolutionizing-predictive-maintenance-in-the-mining-industry-with-ai>

Torres, S. (2021). Indicadores de confiabilidad en mantenimiento (p. 78). Editorial Técnica.

Vargas, L. (2019). Gestión de fallas y paradas en plantas industriales (p. 91). Editorial Ingeniería.

Yalico, R. (2021). Implementación de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad en la Unidad Minera El Porvenir [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/12294>