Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento mediante la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para incrementar la disponibilidad de las máquinas perforadoras GEO 3000 de una empresa que brinda servicios de perforación diamantina

Tesis presentada por:

Aguilar Gordillo, Sarlet Romina

ORCID: 0000-0003-1037-923X

para optar el Título Profesional de Ingeniera Industrial

Asesor:

Mgtr. Pilco Chambilla, Freddy Wilber

ORCID: 0000-0002-9322-7612

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 28 de Septiembre del 2026

Dictamen: 018901-C-EPII-2026

Visto el borrador del expediente 018901, presentado por:

2018200072 - **AGUILAR GORDILLO SARLET ROMINA**

Titulado:

PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS PERFORADORAS GEO 3000 DE UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

29267647 - **VALENCIA BECERRA ROLARDI MARIO**
DICTAMINADOR



29643059 - **TUPAYACHY QUISPE DANNY PAMELA**
DICTAMINADOR



29648840 - **CHURA QUISPE FRANZ**
DICTAMINADOR



PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS PERFORADORAS GEO 3000

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	15%	4%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	1%
6	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%
10	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
11	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
12	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
13	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi refugio, mi fortaleza en los momentos de dificultad y mi guía en cada paso de este camino.

A mis padres, Aurora y Javier, por su amor incondicional, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación, y por enseñarme que, con determinación, no existen obstáculos imposibles de superar.

A mi hermano Luis, por su cariño, apoyo constante y por acompañarme en cada etapa de este camino.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la Universidad Católica de Santa María, y a la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, por brindarme los conocimientos y herramientas que contribuyeron a mi formación académica y al desarrollo de mi vida profesional.

A mi asesor de tesis, por su orientación, disposición y apoyo durante el desarrollo de la presente investigación.

A mis padres y a mi hermano, por su amor incondicional, por acompañarme en cada etapa y motivarme constantemente a seguir creciendo tanto en lo personal como en lo profesional.

Finalmente, a todas las personas que forman parte de mi vida y que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo, confianza y motivación para alcanzar esta meta y continuar trabajando por cada uno de mis objetivos.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad desarrollar una propuesta de mejora para la gestión del mantenimiento basada en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), aplicada a las máquinas perforadoras diamantinas GEO 3000 de una empresa dedicada a servicios de perforación para exploración minera. La propuesta surge debido a la necesidad de incrementar la disponibilidad de los equipos, considerando que las fallas y tiempos de mantenimiento afectaban el cumplimiento de los metros programados de perforación y generaban pérdidas económicas.

Para diagnosticar la situación actual durante el año 2025, se analizaron los indicadores de disponibilidad, MTBF y MTTR, además de los metros no perforados y su impacto económico. Posteriormente, mediante un análisis de causa raíz, se identificaron deficiencias en el mantenimiento preventivo y correctivo, la disponibilidad de repuestos y el control de la información. En función de estos resultados, se plantearon acciones de mejora bajo el enfoque RCM, incluyendo programas de mantenimiento preventivo, clasificación de repuestos críticos, registros de averías e indicadores de mantenimiento.

Finalmente, la evaluación económica proyectada para un periodo de un año obtuvo un índice beneficio/costo de 1.10, lo que significa que por cada dólar invertido en la implementación de la propuesta se estima generar un beneficio de 1.10 dólares, equivalente a un beneficio neto de 0.10 dólares. Este resultado evidencia que los beneficios económicos proyectados superarían los costos de implementación, por lo que la propuesta presenta viabilidad económica. Cabe precisar que estos valores son estimaciones, debido a que la propuesta aún no ha sido implementada.

Palabras clave: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Disponibilidad Mecánica, Máquinas Perforadoras GEO 3000.

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop an improvement proposal for maintenance management based on the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology, applied to GEO 3000 diamond drilling machines operated by a company providing drilling services for mining exploration. The proposal arose from the need to increase equipment availability, considering that failures and maintenance downtime affected the completion of scheduled drilling meters and resulted in economic losses.

To diagnose the current situation during 2025, the availability, MTBF, and MTTR indicators were analyzed, along with the undrilled meters and their economic impact. Subsequently, a root cause analysis was conducted to identify deficiencies in preventive and corrective maintenance, spare parts availability, and information management. Based on these findings, improvement actions were proposed under the RCM approach, including preventive maintenance programs, critical spare parts classification, failure records, and maintenance indicators.

Finally, the economic evaluation projected for a one-year period yielded a benefit-cost ratio of 1.10; this means that for every dollar invested in implementing the proposal, a return of 1.10 dollars is expected—equivalent to a net benefit of 0.10 dollars. This result indicates that the projected economic benefits would exceed the implementation costs, demonstrating the economic viability of the proposal. It should be noted that these figures are estimates, as the proposal has not yet been implemented.

Keywords: Reliability-Centered Maintenance (RCM), Mechanical Availability, GEO 3000 Drilling Machines.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO 2

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1.1. Descripción del problema 2

1.1.2. Formulación del problema 4

1.1.3. Sistematización del problema 4

1.2. OBJETIVOS 4

1.2.1. Objetivo general 4

1.2.2. Objetivos específicos 5

1.3. JUSTIFICACIÓN 5

1.3.1. Justificación teórica 5

1.3.2. Justificación metodológica 6

1.3.3. Justificación práctica 6

1.4. DELIMITACIONES 7

1.5. HIPÓTESIS 8

1.6. VARIABLES E INDICADORES 8

1.6.1. Variable Independiente 8

1.6.2. Variable Dependiente 10
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 11
1.7.1. Tipo y nivel de investigación 11
1.7.2. Diseño de investigación 11
1.7.3. Población y muestra 11
1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 12
1.7.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 13
2.1. Antecedentes 13
2.2. Marco teórico conceptual 20
2.2.1. Mantenimiento 20
2.2.2. Gestión de mantenimiento 22
2.2.3. Confiabilidad y mantenibilidad 27
2.2.4. Indicadores de mantenimiento 29
CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL 33
3.1. Origen 33
3.2. Sector y Actividad Productiva 33
3.3. Principales Clientes 34
3.4. Cultura Organizacional 35
3.4.1. Visión 35
3.4.2. Misión 35

3.4.3. Políticas 35

3.4.4. Objetivos 36

3.5. Estructura Organizacional 36

3.6. Principales Procesos 42

3.7. Gestión actual del mantenimiento sobre la máquina perforadora GEO 3000 43

3.7.1. Mantenimiento Preventivo 43

3.7.2. Mantenimiento Correctivo 69

3.8. Máquinas Perforadoras 81

3.8.1. Máquina LM 90 82

3.8.2. Máquina LM 75 83

3.8.3. Máquina UDR 650 84

3.8.4. Máquina Subhorizontal para drenes T100 85

3.8.5. Máquina GEO 95 86

3.8.6. Máquina LF 230 87

3.8.7. Máquina GEO 3000 88

3.9. Características de la máquina perforadora GEO 3000 91

3.10. Datos de indicadores 99

3.10.1. Indicador: Disponibilidad 100

3.10.2. Indicador: MTBF 105

3.10.3. Indicador: MTTR 107

3.10.4 Análisis de metros perforados 110

3.11. Priorización de fallas de la perforadora GEO 3000 115
3.11.1 Clasificación de las fallas por sistema 115
3.11.2. Análisis de Pareto 116
3.11.3. Análisis Causa – Raíz 117
3.11.4. Diagrama de Ishikawa 119
3.12. Problemas identificados en la gestión de mantenimiento 120
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA 121
4.1. Estructura de la propuesta 121
4.2. Desarrollo de la propuesta 122
4.2.1. Gestión de Mantenimiento preventivo 122
4.2.2. Gestión de Repuestos 154
4.2.3. Gestión de Mantenimiento correctivo 168
4.2.4. Gestión de información 174
4.3. Influencia de la propuesta en los indicadores de mantenimiento 179
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA 180
5.1. Costos de la propuesta 180
5.1.1. Costos de Capacitación de Implementación del Plan 180
5.1.2. Costo del Mantenimiento Preventivo 181
5.1.3. Costo de Componentes y Repuestos 182
5.1.4. Costos Administrativos 185
5.1.5 Costos de software 185

5.1.6. Costos totales 186
5.2. Beneficios estimados de la propuesta 186
5.2.1. Benchmarking interno 187
5.2.2. Metodología de la simulación 188
5.2.3. Análisis de sensibilidad 191
5.3. Índice Beneficio – Costo 192
CONCLUSIONES 194
RECOMENDACIONES 196
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dimensiones e indicadores de la variable independiente 9

Tabla 2 Dimensiones e indicadores de la variable dependiente..... 10

Tabla 3 Mantenimientos preventivos anuales..... 53

Tabla 4 Mantenimiento preventivo tipo 1..... 54

Tabla 5 Mantenimiento preventivo tipo 2..... 54

Tabla 6 Evaluación del costo de mantenimiento preventivo actual - anual..... 55

Tabla 7 *Resumen de las máquinas perforadoras* 89

Tabla 8 Criterios de análisis de criticidad..... 90

Tabla 9 Clasificación de criticidad..... 90

Tabla 10 Matriz de criticidad por modelo..... 90

Tabla 11 Disponibilidad mecánica..... 101

Tabla 12 Perdidas de ingreso económico por baja disponibilidad mecánica..... 104

Tabla 13 Indicador MTBF 105

Tabla 14 Indicador MTTR..... 108

Tabla 15 Cumplimiento de metros perforados..... 111

Tabla 16 Perdida de ingreso por metros no perforados 114

Tabla 17 Resumen de indicadores 115

Tabla 18 Horas de indisponibilidad por sistemas de la perforadora GEO 3000..... 116

Tabla 19 Análisis causa raíz de la ineficiencia gestión del mantenimiento de la máquina GEO 3000..... 118

Tabla 20 Estructura general de la propuesta de mejora 121

Tabla 21 Sistemas funcionales y componentes de la Máquina GEO 3000..... 123

Tabla 22 Codificación de componentes..... 124

Tabla 23 Acciones a tomar para las fallas en el Sistema de Rotación 134

Tabla 24 Acciones a tomar para las fallas en el Sistema Hidráulico 135

Tabla 25 Acciones a tomar para la falla en el Sistema de Potencia 136

Tabla 26 Acciones a tomar para la falla en el sistema eléctrico 137

Tabla 27 Acciones a tomar para la falla de poleas y estructura 137

Tabla 28 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) de los componentes críticos de la máquina perforadora GEO 3000 139

Tabla 29 Hoja de información RCM de los componentes críticos de la máquina perforadora GEO 3000 141

Tabla 30 Hoja de decisión RCM de los componentes críticos de la máquina perforadora GEO 3000 142

Tabla 31 Mantenimiento preventivo 250 horas - Materiales e insumos 149

Tabla 32 Mantenimiento preventivo 1000 horas - Repuestos 150

Tabla 33 Mantenimiento preventivo 1000 horas - Materiales e insumos 150

Tabla 34 Mantenimiento preventivo 2000 horas - Repuestos 151

Tabla 35 Mantenimiento preventivo 2000 horas - Materiales e insumos 151

Tabla 36 Mantenimiento preventivo 5000 horas - Repuestos 152

Tabla 37 Mantenimiento preventivo 5000 horas - Materiales e insumos 152

Tabla 38 Mantenimiento preventivo 5000 horas - Servicios externos 152

Tabla 39 Cálculo de la Consecuencias de la falla 156

Tabla 40 Cálculo de índice de criticidad y asignación del nivel de criticidad 158

Tabla 41 Componentes de criticidad alta 159

Tabla 42 Componentes con criticidad media 160

Tabla 43 Componentes con criticidad baja 160

Tabla 44 Repuestos tipo A 162

Tabla 45 Repuestos tipo B 164

Tabla 46 Repuestos tipo C 166

Tabla 47 Costos de Capacitación 181

Tabla 48 Costo de mantenimiento preventivo 182

Tabla 49 Costo de componentes críticos 183

Tabla 50 Costo de repuestos críticos 184

Tabla 51 Costo total de Componentes y Repuestos críticos 185

Tabla 52 Costos Administrativos 185

Tabla 53 Costos totales de la propuesta 186

Tabla 54 Benchmarking interno 187

Tabla 55 Simulación del ingreso adicional con una disponibilidad mecánica de 92 % 189

Tabla 56 Beneficio estimado de la propuesta al 95% 190

Tabla 57 Análisis de sensibilidad 191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la estructura organizacional 41

Figura2 Mapa de procesos 42

Figura 3 Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo de la máquina GEO 3000 44

Figura4 Check list del mantenimiento preventivo mensual 52

Figura5 Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo en taller 57

Figura6 Orden de trabajo 66

Figura7 Conformidad de salida de Máquina a proyecto - Check list Máquina Perforadora 68

Figura8 Diagrama de flujo de Mantenimiento Correctivo de la máquina GEO 3000 70

Figura9 Informe de Mantenimiento 81

Figura 10 Máquina LM 90 83

Figura 11 Máquina LM 75 84

Figura12 Máquina UDR 650 85

Figura13 Máquina Subhorizontal para drenes T100 86

Figura 14 Máquina perforadora GEO 95 87

Figura 15 Máquina perforadora LF 230 88

Figura 16 Máquina perforadora GEO 3000 89

Figura17 Esquema - Máquina GEO 3000 92

Figura 18 Motor Cummins 93

Figura 19 Caja de la unidad de rotación 93

Figura 20 Chuck y Caja de transmisión 94

Figura 21 Tanque hidráulico 94

Figura 22 Winche de izaje KPL 95

Figura 23 Carrete Wireline 95

Figura 24 Dual pump drive 96

Figura 25 Base deslizante 96

Figura 26 Tren de poleas 97

Figura27 Bombas hidráulicas 98

Figura 28 Chamber para bomba de lodos 98

Figura29 Mezclador de lodos 99

Figura30 % Disponibilidad mecánica 102

Figura31 Indicador MTBF 106

Figura32 Indicador MTTR 109

Figura 33 Comparativo entre los metros perforados y los metros proyectados 112

Figura 34 Cumplimiento de metros perforados 113

Figura 35 Diagrama de Pareto de las horas de indisponibilidad por sistema 116

Figura36 Diagrama de Ishikawa de la baja disponibilidad mecánica de las máquinas perforadoras GEO 3000 119

Figura37 Formato de inspección diaria 144

Figura 38 Formato de mantenimiento preventivo de 250 horas 145

Figura 39 Formato de mantenimiento preventivo de 1000 horas 146

Figura 40 Formato de mantenimiento preventivo de 2000 horas 147

Figura 41 Formato de mantenimiento preventivo de 5000 horas 148

Figura 42 Programación Semanal de los Mantenimientos Preventivos 153

Figura 43 Registro de Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo 154

Figura 44 Solicitud de Reposición de Repuestos, Materiales e Insumos 168

Figura 45 Formato de Reporte de Uso y Averías de la Máquina Perforadora GEO 3000 ... 170

Figura 46 Registro y análisis de avería 173

Figura47 Formato de Monitoreo de Perforación de la Máquina GEO 3000 176

Figura 48 Formato Análisis de tendencia de proceso - Indicadores 177

Figura 49 Listado de registros internos del área de mantenimiento - Máquina GEO3000 .. 178

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Disponibilidad mecánica por máquina.....201

Anexo 2 Metros ejecutados y metros perforados 203

Anexo 3 Ponderación de Frecuencia de falla FF y la consecuencia de la falla CF 205

Anexo 4 Matriz de Criticidad 207

Anexo 5 Muestra del registro de las fallas de máquina 207

Anexo 6 Guía de entrevista a personal experto 209

Anexo 7 Presiones de funcionamiento y regulación de la máquina perforadora 210

Anexo 8 Costo detallado del mantenimiento preventivo.....211

INTRODUCCIÓN

La gestión del mantenimiento es un elemento fundamental dentro de las organizaciones modernas, ya que permite garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, contribuyendo directamente a la eficiencia operativa y a la reducción de costos. Según John Moubray, en su obra RCM II: Reliability-Centered Maintenance, el mantenimiento no solo debe enfocarse en reparar fallas, sino en prevenirlas mediante un enfoque sistemático orientado a la confiabilidad, lo que permite maximizar el desempeño de los activos y minimizar riesgos operativos (Moubray, 1991).

Es por ello que esta investigación plantea elaborar una propuesta de mejora para la gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad a maquinas perforadoras de una empresa que brinda servicios de perforación diamantina, en donde el contexto actual será considerado con el propósito de optimizar la productividad de los equipos de perforación mediante el incremento del MTBF. Para ello, se dará inicio con la flota de activos identificados como críticos en el análisis de criticidad, y en dichos equipos se realizará un análisis más detallado a nivel de sistemas y componentes.

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron elaborar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, el cual contribuye a que el activo opere dentro de los parámetros para los que fue diseñado. Asimismo, el monitoreo de condiciones contemplado en dicho plan facilitará la detección oportuna de fallas potenciales antes de que ocasionen paradas no programadas, permitiendo la aplicación adecuada de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del problema

La empresa de la que se desarrolla la investigación lleva más de 30 años brindando servicios de perforación diamantina en el sector minero, en la actualidad la empresa cuenta con clientes en Perú, Chile.

Actualmente en Perú la empresa viene trabajando en proyectos al centro y sur del país, siendo Arcata, en donde se cuenta con 4 máquinas, los modelos de máquinas con los que cuenta la empresa son LF 230, LM 90, GEO 95, GEO 75, UDR 650, T 100 siendo la más importante la GEO 3000 ya que esta máquina está destinada para la exploración en superficie y cuenta con la ventaja de poder perforar en taladros verticales y semihorizontales, estas máquinas son ensambladas por la propia empresa y representan un 71.43% del total de las maquinas con las que se cuentan.

El servicio ofrecido por la empresa de perforación se sustenta en el cumplimiento de metas previamente establecidas por los clientes en cuanto a los metros a perforar dentro de un plazo determinado. No obstante, este objetivo se ve afectado cuando las perforadoras GEO 3000 no alcanzan una disponibilidad mínima operativa, situación que se atribuye a una gestión ineficiente del área de mantenimiento a lo largo del tiempo. En ese contexto, el presente trabajo se desarrollará tomando como referencia este modelo específico de equipo de perforación.

Una vez que se gana el contrato con el cliente, la empresa se basa en alcanzar y cumplir con los metros y el tiempo pactado en el mismo, en donde en la mayoría de los casos no se cuenta con la disponibilidad mínima de máquinas perforadoras GEO 3000 esto

en consecuencia de una gestión ineficiente del área de mantenimiento, en ese sentido el trabajo se desarrollara en base al modelo de perforadora GEO 3000.

El principal problema identificado es en consecuencia de varias causas, siendo las más relevantes la falta de buena planificación y control para realizar mantenimientos preventivos y correctivos, si bien solo se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo este no llega a ser suficiente ya que no se toman todos los componentes de la máquina para poder realizar un correcto mantenimiento preventivo, de la misma manera existen demoras en la identificación y reparación de fallas, no se cuenta con repuestos o componentes de stock en los almacenes, existe la rotación de personal por lo se dificulta poder dar una solución inmediata a las fallas de las maquinas perforadoras debido al poco conocimiento de las mismas, no se llevan de manera organizada y correcta los indicadores lo que se ve reflejado en una mala y tardía toma de decisiones.

Estos problemas identificados se traducen en pérdidas económicas para la empresa, ya que, si hablamos de costos de perforación diamantina en Perú, estos varían entre 90 y 300 USD por metro en términos operativos y al interrumpir la operación debido a las fallas se puede llegar a perder cifras considerables.

En base a lo expuesto previamente, se considera necesaria la elaboración de una propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora GEO 3000 para la empresa de perforación de exploración minera de la cual se desarrolla la presente investigación.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Pregunta general

¿De qué manera una propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento mediante la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) permitirá incrementar la disponibilidad de las máquinas perforadoras Geo 3000 de una empresa que brinda servicios de perforación diamantina?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cómo se presenta actualmente la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora Geo 3000 en una empresa dedicada a la exploración minera?
- ¿Qué factores críticos se identifican en la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora Geo 3000 de la empresa analizada?
- ¿Qué medidas pueden implementarse para optimizar la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora Geo 3000 en la empresa objeto de estudio?
- ¿Las medidas propuestas generan beneficios económicos para la empresa?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento mediante la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para incrementar la disponibilidad de las máquinas perforadoras Geo 3000 de una empresa que brinda servicios de perforación diamantina.

1.2.2. Objetivos específicos

OBJETIVO 1: Analizar la situación actual de la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora Geo 3000 de la empresa que se brinda servicio de perforación diamantina.

OBJETIVO 2: Identificar los puntos críticos presentes en la gestión actual del mantenimiento de la máquina perforadora Geo 3000 de la empresa en investigación.

OBJETIVO 3: Proponer acciones orientadas a optimizar la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora Geo 3000 en una empresa de perforación diamantina de exploración minera.

OBJETIVO 4: Determinar si las acciones propuestas generan beneficios económicos para la empresa.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación teórica

La presente investigación se sustenta en los fundamentos teóricos de la gestión del mantenimiento industrial, particularmente en el enfoque de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés), el cual busca asegurar que los equipos cumplan sus funciones dentro de parámetros óptimos de operación. Este enfoque integra conceptos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, permitiendo identificar fallas potenciales, analizar sus causas y establecer estrategias de mantenimiento más eficientes y proactivas.

En el contexto de maquinaria perforadora utilizada en servicios de perforación diamantina, la aplicación de modelos teóricos de gestión del mantenimiento resulta fundamental debido a las exigentes condiciones operativas y al impacto directo que tienen las fallas en la continuidad de los proyectos. Desde la teoría, el mantenimiento basado en

la confiabilidad propone metodologías sistemáticas para la toma de decisiones, priorización de intervenciones y optimización de recursos, lo cual contribuye a mejorar el desempeño operativo de los equipos.

Asimismo, esta investigación se justifica teóricamente al aportar una adaptación de dichos modelos al sector de perforación diamantina, ampliando su aplicación en contextos específicos donde existe limitada literatura. De esta manera, se contribuye al desarrollo del conocimiento en ingeniería de mantenimiento, proporcionando un marco conceptual que puede ser replicado o ajustado en empresas con características similares.

1.3.2. Justificación metodológica

La presente investigación se justifica metodológicamente en la aplicación de un enfoque sistemático para analizar y mejorar la gestión del mantenimiento en máquinas perforadoras Geo 3000. Se emplearán herramientas como el análisis de criticidad, AMFE y evaluación de indicadores de confiabilidad, lo que permitirá identificar fallas y proponer estrategias de mejora basadas en datos reales.

Asimismo, el estudio tiene un enfoque aplicado, ya que utiliza información histórica de operación y mantenimiento para sustentar la propuesta, garantizando resultados válidos y replicables en contextos similares.

1.3.3. Justificación práctica

La propuesta de mejora tiene como objetivo incrementar la disponibilidad de la máquina perforadora Geo 3000 mediante la disminución de las horas de inactividad ocasionadas por mantenimientos correctivos. Esta optimización permitirá aumentar la cantidad de metros perforados, lo que contribuirá a una mayor productividad en las

actividades de los proyectos y, en consecuencia, a un incremento en los ingresos de la empresa.

1.3.3.1. Política, Económica y/o Social

La propuesta tiene como finalidad aumentar los ingresos económicos de la empresa en estudio, a partir del incremento en la cantidad de metros de perforación obtenido.

1.3.3.2. Profesional, Académica y/o Personal

La presente investigación se justifica en el ámbito profesional y académico, ya que permite aplicar los conocimientos de ingeniería de mantenimiento en un contexto real, fortaleciendo competencias en gestión y análisis de fallas. Asimismo, aporta al desarrollo académico al adaptar el enfoque de mantenimiento basado en la confiabilidad a un entorno específico, sirviendo como referencia para futuros estudios.

1.4. DELIMITACIONES

La presente investigación se lleva a cabo en el área de mantenimiento de las máquinas perforadoras GEO 3000 de una empresa dedicada a servicios de perforación para exploración diamantina y geotecnia en el sector minero, cuya sede principal se ubica en Arequipa, desde donde opera a nivel nacional.

La información analizada corresponde al periodo comprendido entre enero y diciembre del año 2025, mientras que el desarrollo del estudio se realizará durante los años 2025 y 2026.

1.5. HIPÓTESIS

La implementación de una propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento mediante la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) incrementará la disponibilidad de las máquinas perforadoras Geo 3000 de una empresa que brinda servicios de perforación diamantina.

1.6. VARIABLES E INDICADORES

1.6.1. Variable Independiente

Tabla 1

Dimensiones e indicadores de la variable independiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Nivel de medición	Definición conceptual	Definición operacional
Variable Independiente: Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento mediante la metodología de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM).	Gestión del mantenimiento preventivo	Número de actividades preventivas programadas	Razón	Cantidad de tareas de inspección, limpieza, lubricación, ajuste o sustitución incorporadas en los programas de mantenimiento preventivo.	Se determinará mediante el conteo de las actividades preventivas incluidas en los programas de 250, 1000, 2000 y 5000 horas para los sistemas y componentes de las perforadoras GEO 3000. La unidad de medida será el número de actividades programadas.
	Gestión del mantenimiento correctivo	Número de formatos para el registro y análisis de averías diseñados	Razón	Cantidad de documentos estandarizados diseñados para registrar las fallas presentadas, las intervenciones realizadas, las causas probables y las medidas preventivas establecidas para evitar su recurrencia.	Se determinará mediante el conteo de los formatos diseñados en la propuesta para la gestión del mantenimiento correctivo de las perforadoras GEO 3000: reporte de uso y averías y formato de análisis de averías. La unidad de medida será el número de formatos diseñados.
	Gestión de repuestos	Número de componentes críticos identificación	Razón	Cantidad de componentes de las máquinas perforadoras cuya falla presenta un impacto significativo sobre la continuidad operativa, la seguridad, el mantenimiento o el desempeño del equipo.	Se determinará mediante el conteo de los componentes de las perforadoras GEO 3000 clasificados como de alta criticidad, de acuerdo con los resultados y rangos establecidos en la matriz de criticidad. La unidad de medida será el número de componentes críticos identificados.
		Categorización de repuestos	Ordinal	Proceso mediante el cual los repuestos se clasifican según su importancia para la continuidad operativa del equipo y la necesidad de mantenerlos disponibles en inventario.	Los repuestos asociados a los componentes de las perforadoras GEO 3000 se clasificarán en las categorías A, B y C, según su necesidad de disponibilidad: A, repuestos indispensables que deben mantenerse en stock; B, repuestos importantes cuya disponibilidad se evaluará considerando su consumo, plazo de adquisición e impacto operativo; y C, repuestos que no requieren mantenerse permanentemente en stock. La medición se realizará mediante la categoría asignada a cada repuesto.
		Cantidad requerida de repuestos y componentes en stock	Razón	Número de unidades de repuestos y componentes que se propone mantener disponibles para atender oportunamente las actividades de mantenimiento y reducir el riesgo de paralización de las máquinas perforadoras.	Se determinará mediante el conteo de las unidades de repuestos y componentes propuestas para cada almacén, considerando su criticidad, categoría de stock y necesidad para la continuidad operativa de las perforadoras GEO 3000. La unidad de medida será el número de unidades requeridas por repuesto o componente.
	Gestión de la información	Número de indicadores de mantenimiento definidos	Razón	Cantidad de indicadores establecidos para medir, monitorear y controlar el desempeño de las máquinas y de las actividades de mantenimiento, con la finalidad de apoyar la toma de decisiones.	Se determinará mediante el conteo de los indicadores de mantenimiento definidos en la propuesta para las perforadoras GEO 3000: disponibilidad mecánica, tiempo medio de reparación (MTTR), tiempo medio entre fallas (MTBF) y cumplimiento de la planificación del mantenimiento preventivo. La unidad de medida será el número de indicadores definidos.
		Número de registros internos definidos y estandarizados	Razón	Cantidad de documentos y formatos establecidos para registrar, organizar, controlar y conservar la información generada por las actividades de mantenimiento.	Se medirá mediante el conteo de los registros internos generados durante un periodo determinado en el área de mantenimiento. La unidad de medida será el número de registros generados por periodo evaluado.

Nota: Dimensiones e indicadores de la variable independiente. Creación propia

1.6.2. Variable Dependiente

Tabla 2
Dimensiones e indicadores de la variable dependiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Nivel de medición	Definición conceptual	Definición operacional
Variable Dependiente: Disponibilidad de Máquinas perforadoras.	Disponibilidad de Maquinas perforadoras	Horas totales de trabajo	Razón	Tiempo total considerado para evaluar el funcionamiento y la disponibilidad de las máquinas perforadoras durante un periodo determinado.	Se determinará mediante la suma de las horas de operación o perforación y las horas paradas por mantenimiento registradas para las perforadoras GEO 3000 durante cada mes de 2025. La información se obtendrá de los reportes operacionales y registros de mantenimiento. La unidad de medida será horas.
		Horas paradas por mantenimiento	Razón	Tiempo en el que los equipos permanecen fuera de operación debido a actividades de mantenimiento preventivo o correctivo.	Se determinará mediante la suma mensual de las horas de inactividad por mantenimiento registradas para las perforadoras GEO 3000 durante 2025. La información se obtendrá de los reportes operacionales y registros de mantenimiento de la empresa. La unidad de medida será horas de parada por mes.
		Nivel de cumplimiento de disponibilidad de maquina	Razón	Grado en que los equipos se encuentran disponibles para operar dentro del tiempo programado, garantizando la continuidad de las operaciones.	Se medirá mediante el porcentaje de disponibilidad de los equipos en un periodo determinado, calculado a partir del tiempo operativo y el tiempo total programado, utilizando registros de operación y mantenimiento. $$D\ (\%) = \frac{Horas\ de\ perforación}{Horas\ de\ perforación + Horas\ de\ mantenimiento} x100$$
		Tiempo medio de reparación (MTTR)	Razón	Tiempo promedio que se requiere para reparar un equipo y restablecer su funcionamiento después de una falla.	Se medirá mediante el promedio del tiempo total de reparación dividido entre el número de intervenciones de mantenimiento correctivo registradas en un periodo determinado, usando bitácoras y órdenes de trabajo. $$MTTR = \frac{Tiempo\ total\ de\ reparación}{Número\ de\ reparaciones}$$
		Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Razón	Tiempo promedio de operación de un equipo entre una falla y la siguiente, utilizado para evaluar su confiabilidad.	Se medirá mediante la relación entre el tiempo total de operación del equipo y el número de fallas registradas en un periodo determinado, usando reportes de operación y mantenimiento. $$MTBF = \frac{Tiempo\ total\ de\ operación}{Número\ de\ fallas}$$
	Metros perforados	Número de metros perforados	Razón	Cantidad total de avance de perforación realizado por los equipos en un periodo determinado, como resultado de las operaciones de perforación.	Se medirá mediante el registro de metros perforados acumulados por los equipos durante un periodo determinado, obtenidos de reportes de producción. La unidad de medida será metros perforados mes.
		Número de metros no perforados por paradas de máquina	Razón	Cantidad de avance de perforación que no se realiza debido a la inoperatividad de los equipos por fallas o mantenimientos.	Se medirá mediante el registro de metros de perforación perdidos durante las horas de parada de los equipos, obtenidos de reportes de operación y órdenes de mantenimiento. La unidad de medida será metros no perforados por periodo evaluado.

Nota: Dimensiones, indicadores e instrumentos de la variable dependiente. Creación propia

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Tipo y nivel de investigación

1.7.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como finalidad proponer una solución a un problema real identificado en la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora diamantina, buscando mejorar su disponibilidad y desempeño operativo mediante la implementación de herramientas de ingeniería de mantenimiento.

1.7.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptivo, debido a que se analiza la situación actual de la gestión del mantenimiento de la máquina perforadora diamantina, identificando sus principales características y deficiencias. Asimismo, presenta un enfoque propositivo, ya que se plantea una mejora orientada a optimizar el desempeño del equipo.

1.7.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental de corte transversal, ya que no se manipulan las variables y la recolección de datos se realiza en el periodo 2025.

1.7.3. Población y muestra

La población está conformada por 30 máquinas perforadoras diamantinas GEO 3000 de la empresa de servicios de perforación.

La muestra estará conformada para el periodo enero y febrero por 4 y 3 máquinas y de marzo a diciembre con 4 máquinas perforadoras diamantinas, seleccionadas en función de su criticidad y disponibilidad de información.

1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se emplearán las técnicas de observación directa, análisis documental y entrevista. La observación permitirá evaluar las condiciones operativas y prácticas de mantenimiento de las máquinas perforadoras diamantinas. El análisis documental se utilizará para revisar registros históricos de fallas y reportes de mantenimiento. Asimismo, se aplicarán entrevistas al personal técnico y supervisores del área de mantenimiento.

Los instrumentos utilizados serán la ficha de observación, formatos de registro de datos de mantenimiento y guía de entrevista, los cuales permitirán recopilar información relevante para el análisis de la gestión del mantenimiento.

1.7.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se emplearán técnicas de codificación y tabulación de la información recolectada, utilizando herramientas informáticas como Microsoft Excel, lo que permitirá organizar los datos en tablas y gráficos.

El análisis de datos será de tipo descriptivo, mediante el uso de indicadores de mantenimiento como el MTBF (tiempo medio entre fallas), MTTR (tiempo medio de reparación) y disponibilidad de los equipos. Asimismo, se realizará un análisis de criticidad y de fallas, apoyado en herramientas como diagramas de Pareto, con la finalidad de identificar los principales problemas en la gestión del mantenimiento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

(Nayhua Gamarra, 2018) Desarrollo un estudio en la Universidad Católica de Santa María enfocado en el diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para perforadoras Atlas Copco CT20, concluyendo que la aplicación de esta metodología permite incrementar el tiempo medio entre fallas y mejorar la confiabilidad operativa de los equipos de perforación.

En donde la investigación tuvo como objetivo diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con la finalidad de incrementar el tiempo medio entre fallas (MTBF) en la flota de perforadoras. Para su desarrollo, se emplearon como referencia estándares internacionales como las normas SAE JA1011, SAE JA1012, ISO 14224 e ISO 15663-1, las cuales establecen lineamientos para la gestión del mantenimiento, el ciclo de vida de los activos y el uso de indicadores clave como disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.

Como resultado, la implementación del plan de mantenimiento permitió mejorar el MTBF en un 13% en la flota de perforadoras Atlas Copco CT20, evidenciando la efectividad de la metodología aplicada y recomendando su extensión a otros equipos críticos de la empresa.

(Chacaliaza Barrantes & Estela Vasquez, 2021) Aplicación de la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de equipos de carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca (Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte).

El objetivo principal fue proponer la implementación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de dichos equipos. Como resultado, la disponibilidad mecánica inicial, estimada en 84%, se incrementó a 94% tras la aplicación del plan,

evidenciando una mejora del 10%. Asimismo, la evaluación económica del sistema de mantenimiento propuesto mostró resultados favorables, con un Valor Anual Neto de S/. 74,473.17, una Tasa Interna de Retorno de 66.9% y un índice de retorno de S/. 2.04 por cada sol invertido, contribuyendo así a la rentabilidad de la empresa.

(Mollapaza, 2025) Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en sistema de molienda en una empresa minera del sur del Perú.

Se desarrolló la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la bomba de ciclones PU001 (Warman 650), considerada un equipo de criticidad muy alta debido a su función esencial en el circuito de molienda y clasificación. El diagnóstico inicial permitió identificar 20 modos de falla recurrentes, los cuales generaban elevados costos por fallas no planificadas y pérdidas de producción, estimados en 15.7 millones de dólares anuales, evidenciando la ausencia de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo adecuadas.

A partir de la aplicación de la metodología RCM, se diseñó un plan de mantenimiento optimizado con enfoque proactivo, cuyo costo operativo anual se redujo a 2.4 millones de dólares. Como resultado, se estimó un ahorro potencial significativo, lo que sustenta la viabilidad económica de su implementación. Asimismo, el estudio resalta la necesidad de integrar los planes de mantenimiento en sistemas de gestión como SAP PM y de conformar equipos multidisciplinarios que aseguren la ejecución, seguimiento y mejora continua del proceso, contribuyendo al fortalecimiento de la confiabilidad operacional.

(Pariapaza Justo, 2021) Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo).

La investigación sobre la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en una unidad minera (2021) aborda la problemática de las constantes paradas de equipos que afectan la productividad. El estudio, de tipo aplicado con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, evaluó información del área de mantenimiento antes y después de la implementación del plan.

Se realizaron análisis de criticidad y de modos de falla en molinos de bolas, lo que permitió establecer un programa de mantenimiento más eficiente. Como resultado, se evidenció una mejora en la eficiencia, eficacia y productividad del área, demostrando que la aplicación del RCM contribuye significativamente al desempeño del mantenimiento en la unidad minera.

(Auccalla Centeno, 2023). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para incrementar la productividad del área de mantenimiento en una empresa minera metalúrgica, Pisco (Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola).

En la investigación desarrollada en una empresa minera en Pisco (2023), se evaluó el impacto de la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la productividad del área de mantenimiento. El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental, considerando como muestra órdenes de mantenimiento registradas en un periodo de seis meses.

Los resultados evidenciaron que la aplicación del RCM incrementó significativamente la productividad, así como la eficiencia y la eficacia del área de mantenimiento, además de reducir los reprocesos. En conjunto, estos hallazgos demuestran que la implementación de estrategias basadas en confiabilidad contribuye a mejorar el desempeño operativo en empresas del sector minero.

(Narváez Edwards & Palza Bernuy, 2020). Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo).

Para la siguiente investigación se utilizaron herramientas de análisis como Pareto y Jackknife, se identificó al sistema de motor diésel como el principal causante de las fallas. A partir de ello, se aplicó la metodología RCM, incluyendo el análisis de funciones, modos y efectos de falla, así como la definición de tareas de mantenimiento adecuadas.

Los resultados evidenciaron mejoras significativas en indicadores clave como la disponibilidad, el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), superando las metas establecidas y generando un impacto económico positivo. Esto demuestra la efectividad del RCM en la optimización del mantenimiento de equipos mineros.

(Salvador Maguiña, 2023). Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para incrementar la disponibilidad de los camiones Caterpillar 797F en una empresa minera a tajo abierto, ubicado en Morococha, Yauli – Junín, 2023 (Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte).

La investigación tuvo como finalidad evaluar el impacto de la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones CAT 797F en operaciones de minería a tajo abierto. El estudio presentó un enfoque mixto, de tipo descriptivo y propositivo, utilizando información de mantenimiento recopilada entre enero y junio de 2023. Los resultados evidenciaron que el motor representaba el componente con mayor incidencia de fallas, alcanzando el 37,90% y acumulando 3,087.22 horas de reparación. Asimismo, mediante el análisis de Pareto se identificaron las principales causas

asociadas al mantenimiento, destacándose la necesidad de priorizar sistemas críticos para optimizar la eficiencia operativa. Finalmente, se concluyó que la aplicación del plan, orientado a mejorar los sistemas de combustible, aire y lubricación, junto con la implementación de hojas de decisión, permitiría incrementar la disponibilidad de la flota y generar beneficios económicos en las operaciones mineras. El estudio concluye que la aplicación del MCC incrementa la disponibilidad y confiabilidad operacional en flotas mineras de alto impacto productivo.

(Moreno Osorio, 2021), Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad en una flota de tractores de una empresa minera (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo).

Como antecedente de investigación, el estudio tuvo como propósito implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para incrementar la disponibilidad de una flota de tractores utilizados en una presa de relaves de una empresa minera. La investigación analizó el historial de fallas de los equipos durante los años 2018 y 2019, empleando indicadores de mantenimiento como MTBF y MTTR, con los cuales se determinó una disponibilidad inicial promedio de 88.53%, valor inferior al estándar requerido. Asimismo, mediante la identificación de equipos críticos y la aplicación del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), se diseñó un plan de mantenimiento orientado a mejorar la gestión de los equipos seleccionados. Los resultados obtenidos después de la implementación evidenciaron un incremento de la disponibilidad hasta 96.5%, demostrando la efectividad del mantenimiento basado en confiabilidad para optimizar el desempeño operativo y generar beneficios económicos en operaciones mineras. La aplicación de RCM permitió elevar la disponibilidad operacional mediante el análisis de fallas y criticidad en equipos de movimiento de tierras.

(Betanco Castillo, Romero Grádiz, & Vega Gonzales, 2025). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de las perforadoras Flexiroc T35 utilizando el software MP en la empresa Explotec S.A., Nicaragua* (Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería). Repositorio UNI Nicaragua.

Como antecedente de investigación, el estudio presentó una propuesta de plan de mantenimiento para perforadoras Flexiroc T35 basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), aplicada con el propósito de optimizar la gestión de mantenimiento en equipos de perforación minera. La investigación se enfocó en el análisis de fallas y en la identificación de acciones técnicamente viables para reducir costos y tiempos de parada en equipos complejos y reparables. Asimismo, se realizó un diagnóstico del estado actual de los subsistemas de las perforadoras, elaborándose una matriz de análisis de fallas que permitió establecer actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. El plan propuesto fue complementado con el uso de un software de mantenimiento para la planificación de actividades y el seguimiento de indicadores clave de desempeño, tales como disponibilidad, confiabilidad y tiempo medio entre fallas (MTBF). Finalmente, el estudio concluyó que la aplicación del RCM y el adecuado control de inventarios de repuestos críticos contribuyen a disminuir tiempos de inoperatividad y costos logísticos, mejorando la eficiencia operativa de los equipos de perforación. El estudio diseñó un plan RCM para perforadoras Flexiroc T35 mediante análisis de criticidad y modos de falla, permitiendo reducir averías y mejorar la disponibilidad de los equipos de perforación.

(Flores Escalante, 2023). 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 (Tesis de pregrado, Universidad Continental)

Como antecedente de investigación, el estudio tuvo como objetivo determinar el impacto de la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de una excavadora de orugas CAT 336DL utilizada en la construcción de una presa de relaves en una empresa minera cuprífera. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental, considerando el análisis de indicadores de mantenimiento como MTBF, MTTR y disponibilidad. Asimismo, mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa, el análisis de criticidad y el diagrama de Pareto, se identificaron las principales causas de fallas y los sistemas más críticos de la excavadora, destacándose los sistemas de lubricación e hidráulico. Posteriormente, se aplicó la metodología RCM para definir funciones, modos de falla y actividades de mantenimiento orientadas a mejorar el desempeño del equipo. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, concluyendo que la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad contribuye eficazmente a optimizar la gestión de mantenimiento y la operatividad de maquinaria pesada en el sector minero.

(Condori Revilla & Satalaya Aguilar, 2022). Propuesta de optimizar la exploración utilizando perforación diamantina en la contrata minera MDH PD S.A.C. – Unidad Minera Cerro de Pasco, 2022 (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo).

La investigación propone mejoras operacionales en perforación diamantina para incrementar el rendimiento y productividad en exploración minera, identificando deficiencias en la gestión operativa y tiempos improductivos.

(Barrera Carreño, 2025). Desarrollo de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la flota de equipos perforación de túneles mineros y viales tipo Jumbo

Epiroc Boomer S1D en la constructora ESTYMA S.A. (Monografía, Universidad Industrial de Santander).

Como antecedente de investigación, el estudio desarrolló una estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicada a la flota de equipos Jumbo Epiroc Boomer S1D de la empresa ESTYMA S.A., con el objetivo de optimizar la disponibilidad operacional y disminuir los costos generados por fallas no planificadas. La investigación evidenció que la gestión tradicional basada únicamente en mantenimiento preventivo y correctivo no respondía adecuadamente a las exigencias operacionales, por lo que se aplicaron herramientas como el análisis de criticidad y el FMEA para identificar y priorizar las fallas más relevantes en los sistemas de perforación, hidráulico, aire-agua y eléctrico. Asimismo, se diseñó un plan de mantenimiento bajo los lineamientos del RCM, incorporando actividades preventivas, predictivas y de monitoreo de condición, alineadas con normas internacionales de gestión de activos y confiabilidad. Los resultados demostraron mejoras en la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipos, además de una reducción significativa de costos de mantenimiento e impactos ambientales. Finalmente, se concluyó que la aplicación de la metodología RCM constituye una alternativa efectiva para fortalecer la eficiencia y competitividad de las operaciones mineras y viales.

2.2. Marco teórico conceptual

2.2.1. Mantenimiento

2.2.1.1. Origen y Evolución

La evolución del mantenimiento industrial está estrechamente vinculada con la necesidad de preservar la funcionalidad de los equipos utilizados en las actividades de producción. En las primeras etapas de la Revolución Industrial, la intervención sobre la maquinaria se realizaba principalmente cuando ocurría una avería que impedía su funcionamiento. Esta práctica,

denominada mantenimiento correctivo, se caracterizaba por actuar de manera reactiva ante los desperfectos, en un contexto en el que la complejidad de los equipos y el impacto económico de las interrupciones productivas eran relativamente menores en comparación con las exigencias de la industria actual. (Moubray, 1991).

La expansión de los procesos industriales y la creciente dependencia de la maquinaria a lo largo del siglo XX impulsaron la búsqueda de estrategias que permitieran reducir las interrupciones no planificadas. En este contexto, el mantenimiento preventivo adquirió importancia como una alternativa basada en la ejecución periódica de inspecciones y tareas de conservación, con el propósito de anticipar posibles deterioros y favorecer una mayor duración de los activos. Su desarrollo cobró especial relevancia durante la Segunda Guerra Mundial, debido a que las exigencias de la producción industrial y militar requerían equipos disponibles y capaces de operar de manera continua. (Wireman, 2004).

La incorporación de nuevas tecnologías al entorno industrial favoreció la evolución de las prácticas de mantenimiento hacia enfoques basados en la evaluación del estado real de los activos. En este contexto, el mantenimiento predictivo adquirió relevancia al utilizar técnicas de diagnóstico, como el análisis de vibraciones, la termografía y el análisis de lubricantes, para identificar indicios de deterioro en los componentes de los equipos. La información obtenida mediante estas herramientas permite estimar la aparición de posibles anomalías y planificar las intervenciones de acuerdo con las condiciones detectadas, contribuyendo a mejorar la utilización de los recursos y disminuir las interrupciones no programadas. (Mobley, 2002)

En la década de 1960 se introdujo el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), metodología desarrollada inicialmente en la industria aeronáutica de Estados Unidos con la finalidad de garantizar altos niveles de seguridad y confiabilidad en sistemas críticos. Este enfoque

propone analizar las funciones del equipo, los modos de falla y las consecuencias asociadas, permitiendo establecer tareas de mantenimiento acordes con la criticidad de cada activo (Nowlan & Heap, 1978). Debido a sus resultados favorables, el RCM fue posteriormente adoptado en sectores como minería, manufactura, energía y transporte.

En la actualidad, el mantenimiento es considerado una actividad estratégica dentro de las organizaciones industriales, ya que contribuye directamente a mejorar la disponibilidad, confiabilidad y productividad de los equipos. Además, el desarrollo de tecnologías vinculadas a la Industria 4.0 ha permitido incorporar herramientas digitales, sensores inteligentes y sistemas de análisis de datos para optimizar la gestión del mantenimiento y fortalecer la competitividad empresarial (Campbell & Jardine, Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions, 2001).

2.2.2. Gestión de mantenimiento

a) Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se caracteriza por ejecutar acciones de reparación una vez que un equipo presenta una avería que afecta su funcionamiento. Las actividades asociadas a esta modalidad comprenden la identificación de la causa del desperfecto y la recuperación de las condiciones operativas mediante la reparación o sustitución de los elementos afectados. Debido a que no requiere necesariamente una programación anticipada de las intervenciones, esta estrategia fue utilizada ampliamente en las primeras etapas del desarrollo industrial, cuando predominaba una gestión reactiva frente a las fallas de los equipos.

De acuerdo con (Moubray, 1991), el mantenimiento correctivo comprende las intervenciones técnicas destinadas a recuperar la capacidad funcional de un equipo cuando este presenta una avería que impide o limita el cumplimiento de sus funciones. Su utilización puede ser conveniente en activos cuya indisponibilidad no representa consecuencias significativas para la seguridad, el proceso productivo o la continuidad de las operaciones, siempre que esta decisión se sustente en una evaluación de los riesgos asociados.

A diferencia de las estrategias preventivas y predictivas, esta modalidad se activa como respuesta a una falla ya manifestada, por lo que la reparación se realiza después de identificar el problema. En el sector industrial y minero, la dependencia de este enfoque puede ocasionar periodos prolongados de inactividad, incremento de los gastos de reparación y retrasos en las actividades programadas, con posibles repercusiones en el cumplimiento de las metas de producción.

El mantenimiento correctivo presenta diversas características técnicas y operacionales que permiten diferenciarlo de otras estrategias de mantenimiento:

- Se ejecuta después de la ocurrencia de una falla.
- Tiene un enfoque reactivo.
- Puede generar paradas inesperadas de producción.
- Requiere disponibilidad inmediata de personal y repuestos.
- Incrementa el riesgo de daños secundarios en el equipo.
- Su costo puede variar dependiendo de la gravedad de la avería.

En las operaciones de perforación minera, la ocurrencia de averías no previstas puede afectar el desarrollo de las actividades programadas y reducir el avance de los trabajos, generando consecuencias económicas y operacionales. Ante esta situación, una adecuada planificación y administración de las reparaciones resulta necesaria para limitar el tiempo de inactividad de los equipos, controlar los costos asociados a las fallas y contribuir al cumplimiento de los requisitos de seguridad durante las operaciones.

b) Mantenimiento preventivo

De acuerdo con (Campbell & Jardine, Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions, 2001), el mantenimiento preventivo se basa en la ejecución sistemática de intervenciones previamente establecidas, cuya finalidad es preservar la funcionalidad de los equipos y disminuir la probabilidad de interrupciones por averías. Estas acciones contribuyen a mantener el desempeño de los activos y a controlar su deterioro a lo largo del tiempo. En los sectores industrial y minero, su aplicación adquiere especial importancia debido a que la maquinaria opera bajo condiciones exigentes que pueden acelerar el desgaste de sus elementos mecánicos, hidráulicos y eléctricos. Por ello, la programación de inspecciones, ajustes y sustituciones de componentes permite gestionar de manera anticipada las necesidades de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo tiene diversos objetivos relacionados con la eficiencia operacional y conservación de los activos. Entre los más importantes destacan:

- Prevenir fallas inesperadas.
- Incrementar la disponibilidad de los equipos.
- Mejorar la confiabilidad operacional.
- Prolongar la vida útil de los componentes.

- Reducir costos de reparación.
- Minimizar tiempos muertos.
- Garantizar condiciones seguras de trabajo.
- Optimizar la productividad.

En equipos de perforación minera, el cumplimiento de programas preventivos permite mantener el rendimiento de sistemas hidráulicos, motores y mecanismos de perforación, reduciendo interrupciones en la operación.

c) Mantenimiento predictivo

De acuerdo con (Mobley, 2002), el mantenimiento predictivo se apoya en el seguimiento de variables operativas y en el uso de herramientas de diagnóstico que permiten reconocer desviaciones respecto al funcionamiento habitual de los equipos. La información obtenida facilita la identificación temprana de condiciones anormales y la planificación oportuna de las acciones correctivas necesarias para conservar la capacidad operativa de los activos.

A diferencia del mantenimiento preventivo, cuya programación suele establecerse mediante intervalos predeterminados de tiempo o utilización, el enfoque predictivo prioriza los resultados del análisis de condición para determinar cuándo intervenir. De esta manera, puede contribuir a mejorar la disponibilidad de la maquinaria y a utilizar los recursos de mantenimiento de forma más eficiente, siempre que se disponga de información confiable y de técnicas de monitoreo adecuadas.

Entre las principales ventajas del mantenimiento predictivo destacan:

- Reducción de fallas inesperadas.
- Disminución de costos correctivos.

- Incremento de la disponibilidad de equipos.
- Optimización de recursos y repuestos.
- Mayor seguridad operacional.
- Prolongación de la vida útil de los activos.
- Mejora de la productividad.

En equipos de perforación minera, estas ventajas permiten reducir tiempos muertos y mejorar el desempeño operativo de la maquinaria.

d) Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Según (Moubray, 1991), el mantenimiento centrado en la confiabilidad es un proceso sistemático utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que un activo físico continúe desempeñando las funciones deseadas por sus usuarios.

Asimismo, Reliability-centered Maintenance establece que el RCM se fundamenta en el análisis de funciones y consecuencias de falla, priorizando la seguridad, la operación y el impacto económico de los activos.

El RCM ofrece diversos beneficios para la gestión industrial:

- Incremento de la confiabilidad operacional.
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Disminución de fallas inesperadas.
- Optimización de recursos.
- Mejora de la seguridad industrial.
- Incremento de la disponibilidad de equipos.
- Mayor eficiencia en la planificación del mantenimiento.

En minería, estas ventajas permiten mantener la continuidad de las operaciones y reducir pérdidas económicas derivadas de paralizaciones.

2.2.3. Confiabilidad y mantenibilidad

Según (Moubray, 1991), la confiabilidad constituye un indicador de la capacidad de un equipo para desempeñar la función requerida sin presentar fallas durante un periodo determinado y bajo condiciones específicas de operación. En los procesos industriales, este atributo resulta relevante porque influye en la continuidad de las actividades productivas y en la necesidad de efectuar reparaciones no previstas. Un mayor nivel de confiabilidad puede contribuir a disminuir las interrupciones operativas y los gastos derivados de las averías.

Desde una perspectiva probabilística, la confiabilidad expresa la posibilidad de que un activo mantenga su funcionamiento durante un intervalo de tiempo definido, considerando las condiciones bajo las cuales opera. Su evaluación adquiere especial importancia en actividades como la minería, la perforación y la manufactura, debido a que las fallas de los equipos pueden ocasionar retrasos en la producción, incrementos en los costos de mantenimiento y situaciones que comprometan la seguridad operacional.

Matemáticamente, la confiabilidad suele expresarse mediante la probabilidad de supervivencia de un equipo durante un tiempo determinado:

$$R(t) = e^{-\lambda}$$

Donde:

R(t): Confiabilidad en el tiempo t

λ: Tasa de fallas

t: Tiempo de operación

Entre los principales objetivos de la confiabilidad se encuentran:

- Incrementar la disponibilidad de los equipos.
- Reducir fallas inesperadas.
- Optimizar costos de mantenimiento.
- Mejorar la seguridad operacional.
- Incrementar la vida útil de los activos.

En equipos de perforación minera, la confiabilidad es esencial debido a que las interrupciones operacionales afectan directamente el avance de producción y generan altos costos de inactividad.

La mantenibilidad influye directamente en la disponibilidad de los equipos, ya que un sistema con alta mantenibilidad permite reducir los tiempos de reparación y retorno a operación. Por ello, durante el diseño y gestión de activos industriales se busca simplificar las tareas de mantenimiento mediante accesibilidad adecuada, modularidad de componentes y disponibilidad de repuestos.

Uno de los indicadores más utilizados para medir la mantenibilidad es el Tiempo Medio de Reparación (MTTR).

Un valor bajo indica mayor mantenibilidad.

Las principales características de una buena mantenibilidad son:

- Facilidad de acceso a componentes.

- Rapidez en las reparaciones.
- Disponibilidad de herramientas y repuestos.
- Procedimientos de mantenimiento estandarizados.
- Reducción del tiempo fuera de servicio.

En maquinaria minera y equipos de perforación, la mantenibilidad es un factor crítico debido a que las operaciones requieren máxima disponibilidad y rápida atención ante fallas mecánicas o hidráulicas.

2.2.4. Indicadores de mantenimiento

a) MTBF (Mean Time Between Failures)

Según (García Garrido, 2003), el tiempo medio entre fallas (MTBF) es un indicador de mantenimiento que permite estimar el intervalo promedio de funcionamiento de un equipo entre averías. Su análisis facilita la evaluación de la confiabilidad operacional, ya que valores más elevados suelen reflejar una menor frecuencia de fallas y una mayor continuidad del servicio en los equipos industriales y mineros.

Según (Moubray, 1991), el MTBF es una medida fundamental para analizar la frecuencia de fallas y establecer estrategias de mantenimiento orientadas a incrementar la confiabilidad operacional.

El cálculo del MTBF se realiza mediante la siguiente expresión:

$$MTTF = \frac{Tiempo\ total\ de\ operación}{Número\ total\ de\ fallas}$$

En las operaciones de perforación minera, un MTBF alto refleja intervalos más prolongados entre averías, favoreciendo la continuidad de los trabajos, el cumplimiento de las metas de producción y la disminución de las pérdidas económicas asociadas a las fallas.

Sin embargo, un MTBF bajo puede evidenciar problemas relacionados con:

$$MTTR = \frac{Tiempo\ total\ de\ reparación}{Número\ de\ reparaciones}$$

Donde:

- MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas.
- Tiempo total de operación: horas efectivas de funcionamiento del equipo.
- Número total de fallas: cantidad de averías ocurridas durante el período analizado.

El resultado generalmente se expresa en horas y sirve para estimar cuánto tiempo puede operar un equipo antes de sufrir una nueva avería.

El MTBF tiene gran importancia en la gestión del mantenimiento porque permite:

- Evaluar la confiabilidad de los equipos.
- Identificar activos críticos.
- Planificar mantenimientos preventivos.
- Reducir tiempos muertos.
- Mejorar la disponibilidad operacional.
- Optimizar costos de mantenimiento.

En equipos de perforación minera, un MTBF elevado indica que la maquinaria posee un buen desempeño operativo y menor frecuencia de averías, lo

cual contribuye al cumplimiento de los programas de producción y reducción de pérdidas económicas.

- Deficiente mantenimiento.
- Sobrecarga operacional.
- Mala calidad de repuestos.
- Errores de operación.
- Desgaste prematuro de componentes.

Por ello, las empresas industriales realizan seguimiento constante de este indicador para implementar acciones correctivas y mejorar la confiabilidad de sus activos.

b) MTTR (Mean Time To Repair)

Según (García Garrido, 2003), el tiempo medio de reparación (MTTR) mide la duración promedio necesaria para reparar un equipo tras una falla y restablecer su funcionamiento. Este indicador permite evaluar la mantenibilidad de los activos, considerando que un MTTR menor representa una recuperación más rápida y una reducción del tiempo de inactividad.

c) Disponibilidad

Según (García Garrido, 2003), la disponibilidad constituye un indicador clave en la gestión del mantenimiento, ya que permite determinar la proporción de tiempo en que un equipo se encuentra operativo y en condiciones de cumplir las funciones requeridas. Su comportamiento está relacionado con la confiabilidad y la mantenibilidad, debido a que considera tanto la frecuencia con que se presentan las fallas como el tiempo necesario para recuperar la operatividad del activo.

En las actividades mineras y de perforación, este indicador permite evaluar el aprovechamiento de la maquinaria y reconocer cómo las interrupciones afectan la productividad, la continuidad de las operaciones y los costos asociados al mantenimiento. Por esta razón, incrementar la disponibilidad de los equipos contribuye a reducir los periodos de inactividad y mejorar el cumplimiento de los objetivos operacionales. Su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$D\ (\%) = \frac{Horas\ de\ perforación}{Horas\ de\ perforación + Horas\ de\ mantenimiento} x100$$

Donde las horas de mantenimiento comprenden las intervenciones preventivas y correctivas. Se excluyen las paradas por causas operativas, stand by, movimiento entre plataformas, recursos humanos y seguridad, debido a que no corresponden a la condición mecánica del equipo.

CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1. Origen

La empresa de la que se tratara la siguiente investigación, es una empresa peruana fundada en septiembre de 1995, en la ciudad de Arequipa, dedicada a la prestación de servicios especializados de perforación para la exploración minera.

Desde el año 2003, consolidó una ventaja competitiva significativa al iniciar la fabricación de brocas y accesorios de perforación. Esta estrategia permitió optimizar costos de adquisición y mejorar la disponibilidad de insumos críticos para sus operaciones, incrementando su competitividad dentro del sector.

Años más tarde, la organización reforzó su posicionamiento entre las principales empresas de perforación del Perú al desarrollar y ensamblar sus propias máquinas de perforación modulares.

Asimismo, la empresa ha mantenido un firme compromiso con la responsabilidad social, promoviendo iniciativas orientadas al desarrollo y bienestar de las comunidades cercanas a los proyectos donde opera. Esta visión ha contribuido al fortalecimiento de sus relaciones con los distintos grupos de interés y al desarrollo sostenible de las zonas de influencia.

Actualmente, la empresa cuenta con un equipo humano conformado por aproximadamente 280 colaboradores, quienes contribuyen al cumplimiento de los objetivos organizacionales y al fortalecimiento continuo de sus operaciones.

3.2. Sector y Actividad Productiva

Pertenece al sector minero, específicamente al subsector de servicios especializados para la exploración minera.

La actividad principal consiste en brindar servicios de perforación para la exploración minera, permitiendo la obtención de información geológica necesaria para la evaluación y desarrollo de yacimientos minerales. Entre sus principales servicios se encuentran:

- Perforación diamantina de superficie.
- Perforación diamantina subterránea.
- Perforación por circulación reversa (RC).
- Servicios de geotecnia.
- Instalación de piezómetros.
- Servicios de drenaje y monitoreo geotécnico.
- Fabricación y suministro de accesorios para perforación.

3.3. Principales Clientes

Con el transcurso de los años, la empresa objeto de estudio ha consolidado una importante cartera de clientes dentro del sector minero. Entre sus principales clientes destacan:

- Southern Copper Corporation Sucursal del Perú
- Compañía Minera Antapaccay S.A.
- Sierra Minera Caraz S.A.C.
- Hochschild S.A.

Asimismo, durante los últimos dos años, la empresa ha desarrollado actividades en diversos proyectos mineros, entre los que se encuentran Michiquillay (Cajamarca), Arcata (Cayarani).

3.4. Cultura Organizacional

La empresa dispone de una visión, misión, políticas y objetivos claramente establecidos, los cuales fueron definidos por la gerencia en coordinación con el área administrativa y el sistema integrado de gestión.

3.4.1. Visión

"Ser una empresa internacional líder en perforación, generando el mayor valor para nuestros clientes, comprometidos con el cuidado del medio ambiente, la seguridad y la calidad de servicio".

3.4.2. Misión

"Somos un equipo que brinda soluciones de perforación en minería e hidrocarburos, a nivel internacional, con personal experimentado, efectivo en costos, enfocados en seguridad y medio ambiente, orientado a la satisfacción de nuestros clientes, la comunidad relacionada y de nosotros mismos".

3.4.3. Políticas

- Mejorar continuamente el desempeño del Sistema Integrado de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud Ocupacional, promoviendo la consulta y la participación de todo el personal, proporcionando los recursos para la planificación, operación y verificación.
- Cumplir con los requerimientos de nuestros clientes, la legislación vigente aplicable, así como otros requisitos asumidos voluntariamente relacionados con calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional.

- Ejecutar continuamente programas de capacitación, entrenamiento, motivación y comunicación para el personal con la finalidad de elevar su productividad y desarrollo personal.
- Fortalecer nuestra cultura de prevención de los incidentes, asociados a nuestras actividades, apoyándonos en el liderazgo y compromiso del personal. Eliminar peligros y reducir los riesgos para la seguridad y salud ocupacional manteniendo un sistema de control. Brindar condiciones seguras y saludables para prevenir lesiones y deterioro de la salud en el trabajo. El sistema de seguridad y salud ocupacional es compatible con los otros sistemas de gestión.
- Proteger el medio ambiente, incluida la prevención de la contaminación en las actividades, productos y servicios que realizamos.

3.4.4. Objetivos

- Mejorar la segregación de residuos sólidos en Site.
- Garantizar que el índice de accidentabilidad no exceda 0.22.
- Reducir las condiciones subestándares: orden y limpieza site y proyectos.
- Cumplir con el metraje anual planificado.
- Incrementar la satisfacción del cliente.

3.5. Estructura Organizacional

La empresa cuenta con una estructura organizacional de tipo lineo-funcional, conformada por una Gerencia General, una Gerencia Administrativa y las áreas correspondientes para la coordinación de sus actividades. A continuación, se describen sus principales funciones:

- **Gerencia:** Responsable de la dirección, gestión y planificación estratégica de la organización, orientando las acciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos empresariales.
- **Administración:** Encargada de supervisar y controlar el adecuado desarrollo de las actividades en todas las áreas de la empresa, garantizando la calidad de los servicios brindados y la satisfacción de los clientes. Asimismo, tiene a su cargo la valorización de los servicios y el seguimiento de la emisión y gestión de facturas a los clientes.
- **Contabilidad:** Tiene la responsabilidad de llevar el control y registro de todas las actividades económicas y financieras de la empresa, asegurando que cada movimiento relacionado con ingresos, gastos y demás transacciones sea documentado correctamente. Esta área mantiene una estrecha coordinación con Administración para supervisar y analizar la situación financiera de la organización.
- **Recursos Humanos:** Su función principal es gestionar el talento humano de la empresa mediante la búsqueda, selección, contratación e incorporación de nuevos colaboradores. Además, participa en la evaluación del desempeño del personal y en la toma de decisiones relacionadas con promociones, renovaciones o culminación de contratos. De igual manera, desarrolla iniciativas orientadas a fortalecer el clima organizacional y fomentar la integración entre los trabajadores.
- **Operaciones:** Área encargada de dirigir y supervisar todas las actividades vinculadas a los proyectos de perforación. Su labor comprende la planificación, coordinación y disposición de los recursos humanos, equipos, herramientas y materiales necesarios para la ejecución de los trabajos. Asimismo, monitorea permanentemente el desarrollo

de las operaciones en campo, verificando el cumplimiento de los programas establecidos y el avance diario de las actividades de perforación.

- **Producción Planta:** Esta unidad tiene como finalidad la elaboración de herramientas, componentes y elementos utilizados en las actividades de perforación. Se encuentra organizada en dos especialidades: una orientada a la manufactura de accesorios y piezas de uso operativo, y otra enfocada en la producción de brocas para distintos tipos de perforación. Adicionalmente, colabora con el área de Mantenimiento en la fabricación de repuestos y componentes mecánicos requeridos para la operatividad de los equipos. También participa, junto con la Planta de Ensamblaje, en el desarrollo e implementación de mejoras estructurales y modificaciones técnicas en las perforadoras.
- **Logística:** Es responsable de gestionar el abastecimiento oportuno de materiales, equipos, herramientas e insumos necesarios para el funcionamiento de la empresa. Asimismo, coordina la contratación y seguimiento de proveedores y servicios externos, garantizando el suministro eficiente de los recursos requeridos por cada área.
- **Planta de Ensamblaje:** Tiene a su cargo la fabricación, integración y puesta en funcionamiento de las máquinas perforadoras. Además, desarrolla adecuaciones y modificaciones técnicas en los equipos con el propósito de satisfacer requerimientos específicos de los clientes y optimizar el desempeño de las operaciones.
- **Mantenimiento:** Su principal función es preservar la disponibilidad y confiabilidad de los activos de la empresa mediante la planificación y ejecución de actividades de inspección, mantenimiento y reparación. Estas labores abarcan máquinas perforadoras, vehículos de apoyo y otros equipos, pudiendo realizarse tanto en campo como en las instalaciones del taller.

- **Almacenes:** Se encarga de la administración y control de los inventarios, asegurando la disponibilidad de materiales, repuestos y suministros necesarios para las operaciones. Asimismo, supervisa la recepción, almacenamiento, conservación y despacho de los recursos, garantizando una adecuada gestión de existencias. Mantiene una coordinación permanente con el área de Operaciones para verificar que, antes del inicio de cada proyecto, se cuente con todos los elementos requeridos para el desarrollo de los trabajos de perforación.
- **Sistema Integrado de Gestión:** Esta unidad organizacional tiene como propósito asegurar la implementación, seguimiento y mejora continua de los sistemas de gestión adoptados por la empresa. Entre sus principales responsabilidades se encuentra la supervisión del cumplimiento de los criterios relacionados con calidad, seguridad y salud ocupacional, así como la protección del medio ambiente en todas las operaciones de perforación. Del mismo modo, verifica que las actividades se desarrollen conforme a los estándares, protocolos y exigencias establecidos por los clientes del sector minero y por la normativa aplicable.

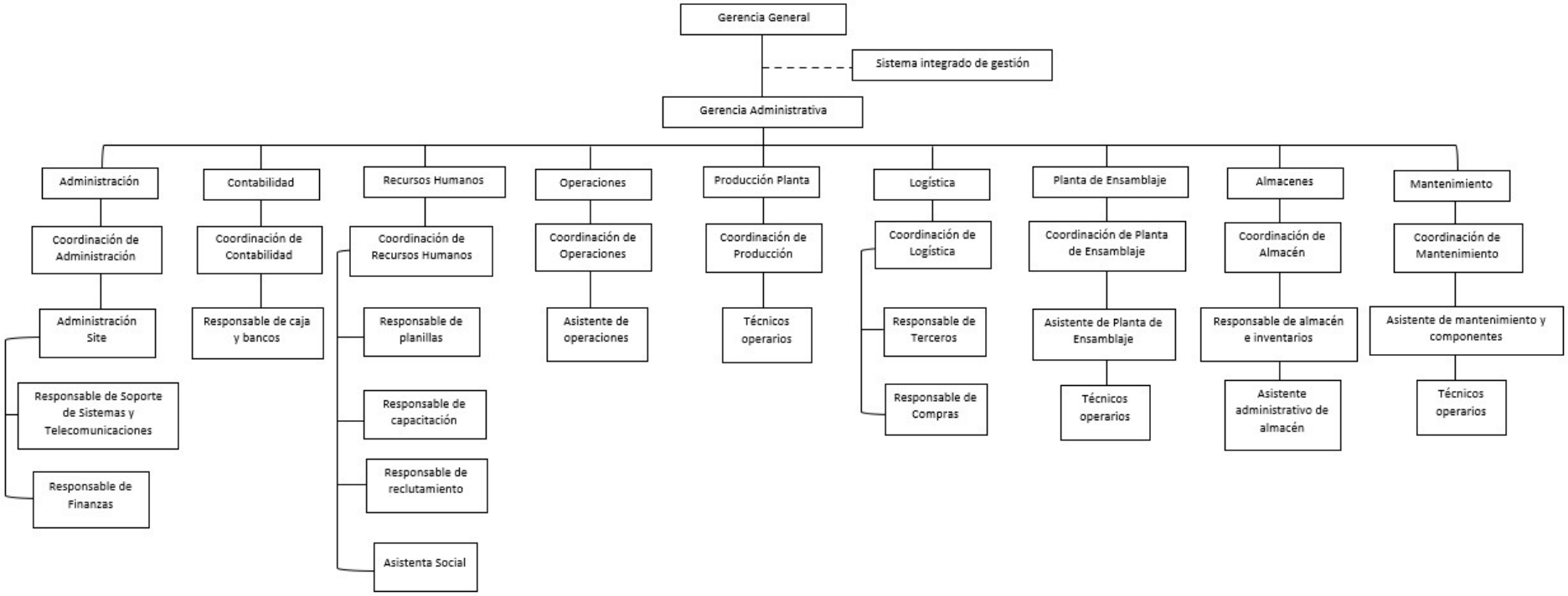
  Adicionalmente, la empresa cuenta con una estructura organizativa orientada a la ejecución de proyectos, dentro de la cual destacan los siguientes cargos:

- **Administrador de Proyecto:** Profesional encargado de gestionar los aspectos administrativos, contractuales y de coordinación con el cliente durante el desarrollo del proyecto. Su función principal es garantizar una adecuada gestión de los recursos y el cumplimiento de los compromisos establecidos entre ambas partes.
- **Residente de Proyecto:** Responsable de dirigir y supervisar las operaciones en campo, actuando como principal representante de la empresa dentro del proyecto. Tiene a su

cargo la coordinación de las actividades operativas, la conducción del personal y la toma de decisiones necesarias para asegurar el cumplimiento de las metas de producción, seguridad, calidad y eficiencia operativa.

Figura 1

Organigrama de la estructura organizacional



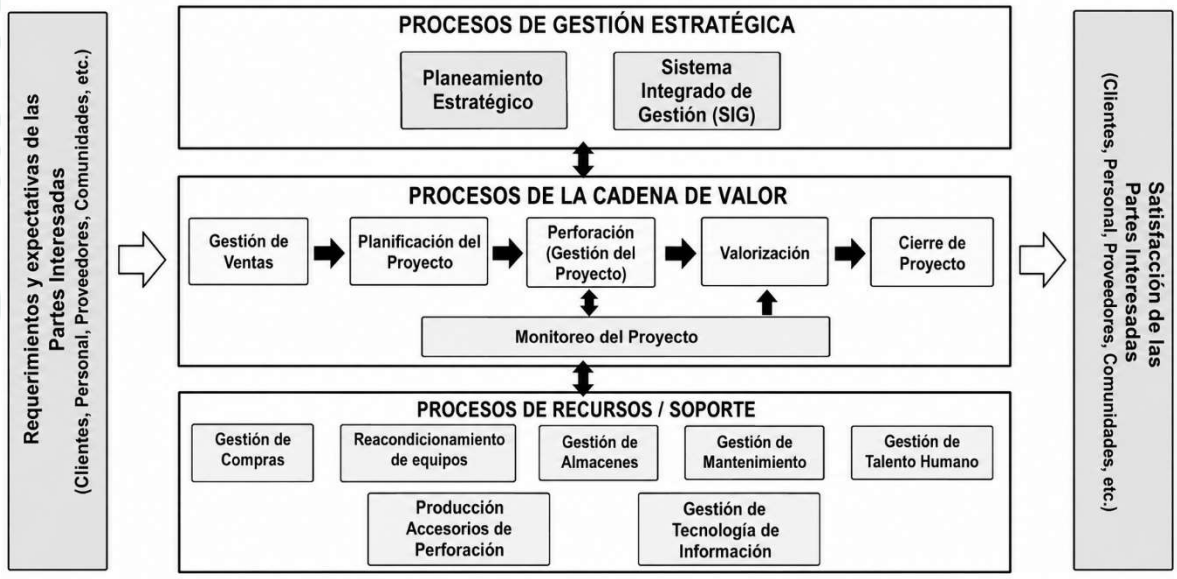
Nota: Muestra la estructura jerárquica de la empresa. Es útil para entender la ubicación del área de mantenimiento dentro del contexto organizativo. Elaboración propia.

3.6. Principales Procesos

La empresa objeto de estudio dispone de una estructura de procesos conformada por tres niveles principales. En primer lugar, los procesos de gestión estratégica, que comprenden el planeamiento y el Sistema Integrado de Gestión. En segundo lugar, los procesos relacionados con la cadena de valor, entre los que se encuentran la gestión de ventas, la planificación de proyectos, la ejecución de perforaciones, la valorización y el cierre de proyectos. Finalmente, cuenta con procesos de soporte, tales como la gestión de compras, el reacondicionamiento de equipos, la administración de almacenes, el mantenimiento, la gestión del talento humano, la fabricación de accesorios y la tecnología de la información. La interacción de estos procesos se muestra en la figura 2.

Figura2

Mapa de procesos



Nota: Adaptado del área de Sistema Integrado de Gestión de la empresa de estudio

3.7. Gestión actual del mantenimiento sobre la máquina perforadora GEO 3000

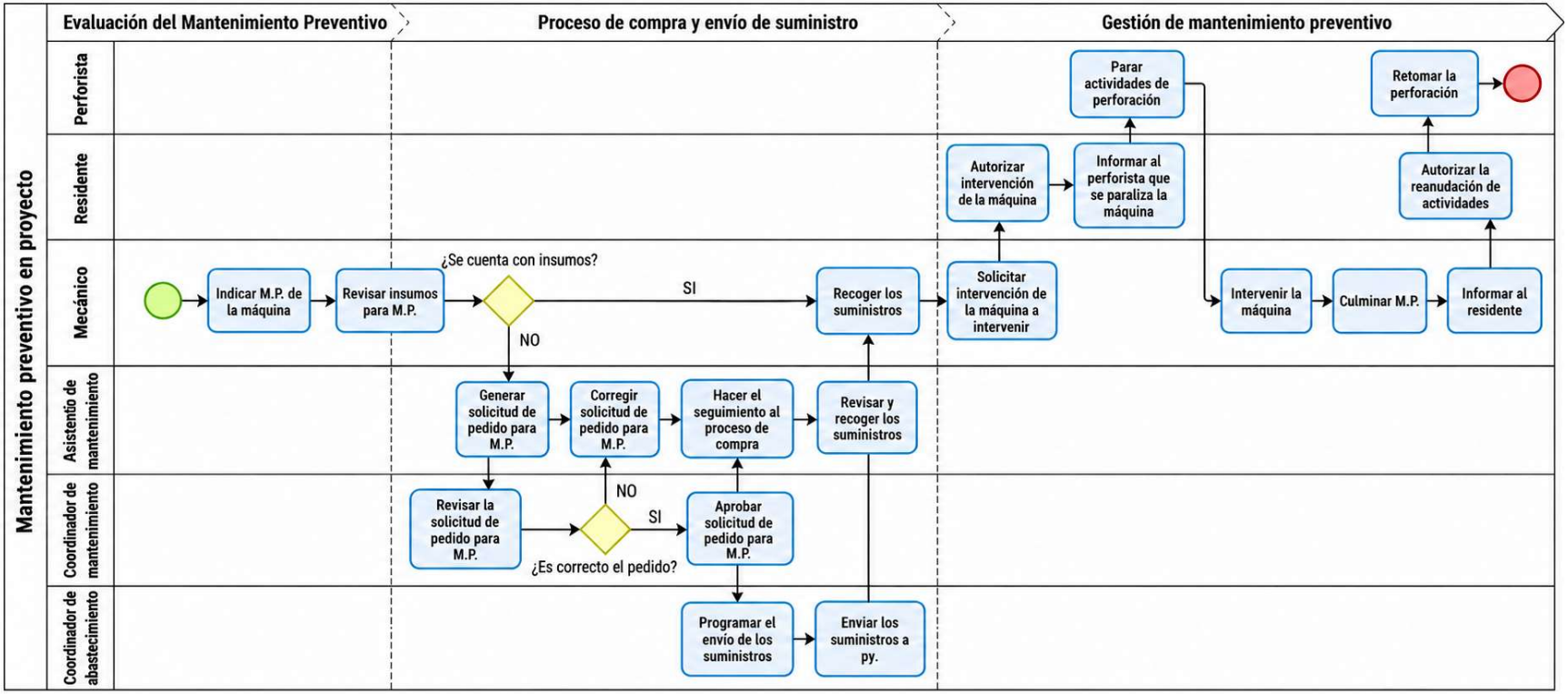
Actualmente, la empresa cuenta con actividades de mantenimiento preventivo y correctivo; sin embargo, estas no son ejecutadas completamente y presentan deficiencias en su programación y cumplimiento. En el caso del mantenimiento preventivo, se ha identificado que las actividades se programan principalmente con base en días calendario, en lugar de considerar las horas efectivas de operación de cada máquina. Esta situación dificulta establecer el momento óptimo para realizar las intervenciones, debido a que las máquinas perforadoras presentan diferentes niveles de utilización durante sus operaciones. En consecuencia, algunas actividades de mantenimiento pueden ejecutarse antes de alcanzar las horas de servicio recomendadas, mientras que otras pueden efectuarse de manera tardía, incrementando la probabilidad de desgaste prematuro, fallas y paradas no programadas. Por ello, resulta necesario establecer una programación del mantenimiento preventivo basada en las horas reales de operación y en las condiciones de funcionamiento de los equipos, de manera que las intervenciones se realicen de forma oportuna y contribuyan a mejorar su confiabilidad y disponibilidad.

3.7.1. Mantenimiento Preventivo

Los mantenimientos preventivos se dan una vez que la máquina está en el proyecto o unidad minera, siendo el siguiente:

Figura 3

Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo de la máquina GEO 3000



Nota: Elaboración propia

Como se pudo evidenciar, el proceso está conformado por un total de 22 actividades, las cuales se detallan a continuación con mayor precisión:

Actividad 1: Indicar mantenimiento preventivo de la máquina.

Responsable: Mecánico

El mantenimiento preventivo estipulado por la empresa solo está diseñado para el motor de la máquina más no para los demás componentes, este mantenimiento está a cargo del personal técnico que se lleva a cabo mediante 2 tipos siendo el mantenimiento Tipo 1 cada 20 días y el mantenimiento Tipo 2 cada 40 días.

Actividad 2: Revisar insumos para el mantenimiento preventivo.

Responsable: Mecánico

El mecánico se dirige al almacén del proyecto con la finalidad de verificar la disponibilidad de los suministros requeridos para la ejecución del mantenimiento preventivo. Esta validación se realiza de manera presencial con el responsable del almacén, debido a que actualmente no se dispone de un registro actualizado del stock en el sistema de gestión del almacén del proyecto.

Actividad 3: ¿Se cuenta con insumos?

Responsable: Mecánico

En caso de no contar con el stock disponible, se procede con la Actividad 4 para continuar con el proceso de abastecimiento. Por otro lado, si se dispone de los suministros requeridos, se continúa directamente con la Actividad 13.

Actividad 4: Generar solicitud de pedido para mantenimiento preventivo.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento genera la solicitud de compra de los suministros requeridos mediante el sistema ERP Dynamics utilizado por la empresa, con la finalidad de gestionar el abastecimiento necesario para la ejecución del mantenimiento preventivo.

Actividad 5: Revisar la solicitud de pedido para el mantenimiento preventivo.

Responsable: Coordinador de mantenimiento

El coordinador de mantenimiento realiza la revisión de los suministros solicitados, verificando que los materiales requeridos y las cantidades sean las adecuadas para la ejecución del mantenimiento preventivo.

Actividad 6: ¿Es correcto el pedido?

Responsable: Coordinador de mantenimiento

En el caso de no ser correcto el pedido se pasa a la actividad 8 y el caso de ser correcto se pasa a la actividad 7.

Actividad 7: Aprobar la solicitud de pedido para el mantenimiento preventivo.

Responsable: Coordinador de mantenimiento

El coordinador de mantenimiento presenta la solicitud de compra a la gerencia para su revisión y aprobación. Una vez autorizada, el coordinador procede a aprobar la solicitud mediante el sistema ERP, permitiendo que esta sea derivada al área logística para continuar con el proceso de adquisición. En algunos casos, la aprobación puede presentar demoras debido a la disponibilidad del gerente encargado de realizar la validación.

Actividad 8: Corregir solicitud de pedido para el mantenimiento preventivo.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento se encarga de corregir la solicitud de pedido de acuerdo con los cambios solicitados por el coordinador de mantenimiento, mediante el sistema ERP Dynamics, una vez corregido se pasará a generar el nuevo pedido y pasará a la revisión por el coordinador de mantenimiento.

Actividad 9: Hacer el seguimiento al proceso de compra.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente realiza las coordinaciones correspondientes con las áreas de logística, contabilidad, finanzas y almacén central, con el objetivo de gestionar el proceso de compra hasta la recepción de los suministros en el almacén central. Cabe mencionar que el tiempo de atención de cada solicitud puede variar dependiendo de los tiempos de respuesta y posibles retrasos generados en las diferentes áreas involucradas.

Actividad 10: Revisar y recoger los suministros.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente se encarga de la revisión y el recojo de los repuestos y suministros de la mano con el mecánico supervisor del taller para evitar haya errores y posteriormente poder enviarlos hacia proyecto.

Actividad 11: Programar el envió de los suministros.

Responsable: Coordinador de almacén

El almacén central coordina y programa el despacho de los suministros hacia el almacén del proyecto, considerando como destino en Condesuyos, según los requerimientos establecidos.

Actividad 12: Enviar los suministros a proyecto.

Responsable: Coordinador de almacén

El almacén central se encarga de realizar el despacho de los suministros hacia el almacén del proyecto. En el caso del proyecto Arcata, debido a su ubicación en Condesuyos, el tiempo de traslado es de aproximadamente 1 o 1 ½ día, considerando que los envíos se realizan desde Arequipa hacia Condesuyos y luego debe ingresar a la unidad minera que se encuentra a 3 horas.

Actividad 13: Recoger los suministros.

Responsable: Mecánico

Una vez que se culminan las actividades 3 y 12, el mecánico procede a revisar y recepcionar los suministros.

Actividad 14: Solicitar la intervención de la máquina a intervenir.

Responsable: Mecánico

El mecánico informa al residente sobre la máquina que requiere intervención para la ejecución del mantenimiento preventivo, con la finalidad de que este autorice la detención de las actividades de la perforadora y, de esta manera, se pueda proceder con la realización del mantenimiento.

Actividad 15: Autorizar intervención de la máquina.

Responsable: Residente

El residente evalúa la solicitud de parada de la máquina por un periodo de 2 horas, con el fin de ejecutar el mantenimiento preventivo correspondiente.

Actividad 16: Informar al perforista que se para la máquina.

Responsable: Residente

Luego de realizar la evaluación y culminar con las coordinaciones necesarias, el residente autoriza la intervención de la máquina perforadora, permitiendo así el inicio del mantenimiento correspondiente e informando al perforista parar con la operación.

Actividad 17: Parar actividades de perforación.

Responsable: Perforista

El perforista recibe la indicación del residente, procede a ubicar la máquina en la posición adecuada y, posteriormente, realiza el apagado del equipo.

Actividad 18: Intervenir la máquina.

Responsable: Mecánico

El mecánico se desplaza hacia la máquina llevando todos los suministros necesarios y ejecuta el mantenimiento preventivo tipo 1 que se da cada 20 días, el cual incluye el reemplazo de los siguientes componentes:

- Filtro de aceite LF 3000
- Aceite de motor 15w40

Mientras que el mantenimiento preventivo tipo 2 se da al cabo de 40 días, el cual incluye el reemplazo de los siguientes componentes:

- Filtro de aceite LF 3000
- Filtro de petróleo PC 42 F53125
- Filtro de petróleo PER 43 F60043
- Elemento Racor de petróleo FSP 2040-30
- Aceite de motor 15w40

Actividad 19: Culminar mantenimiento preventivo.

Responsable: Mecánico

El mecánico realiza la verificación de los parámetros de funcionamiento del motor, ejecuta la limpieza correspondiente y da por concluido el mantenimiento preventivo. Finalmente, procede al llenado del formato Check List de Mantenimiento Preventivo de Máquinas.

Actividad 20: Informar al residente

Responsable: Mecánico

El mecánico comunica al residente la finalización del mantenimiento preventivo de la máquina, con el propósito de que se autorice la reactivación de las actividades del personal de operaciones.

Actividad 21: Autorizar la reanudación de actividades.

Responsable: Residente

Se otorga la autorización para el reinicio de las actividades operativas.

Actividad 22: Retomar la perforación.

Responsable: Perforista

El perforista notifica a los ayudantes y al personal correspondiente la reanudación de las actividades, procediéndose a continuar con las labores de perforación.

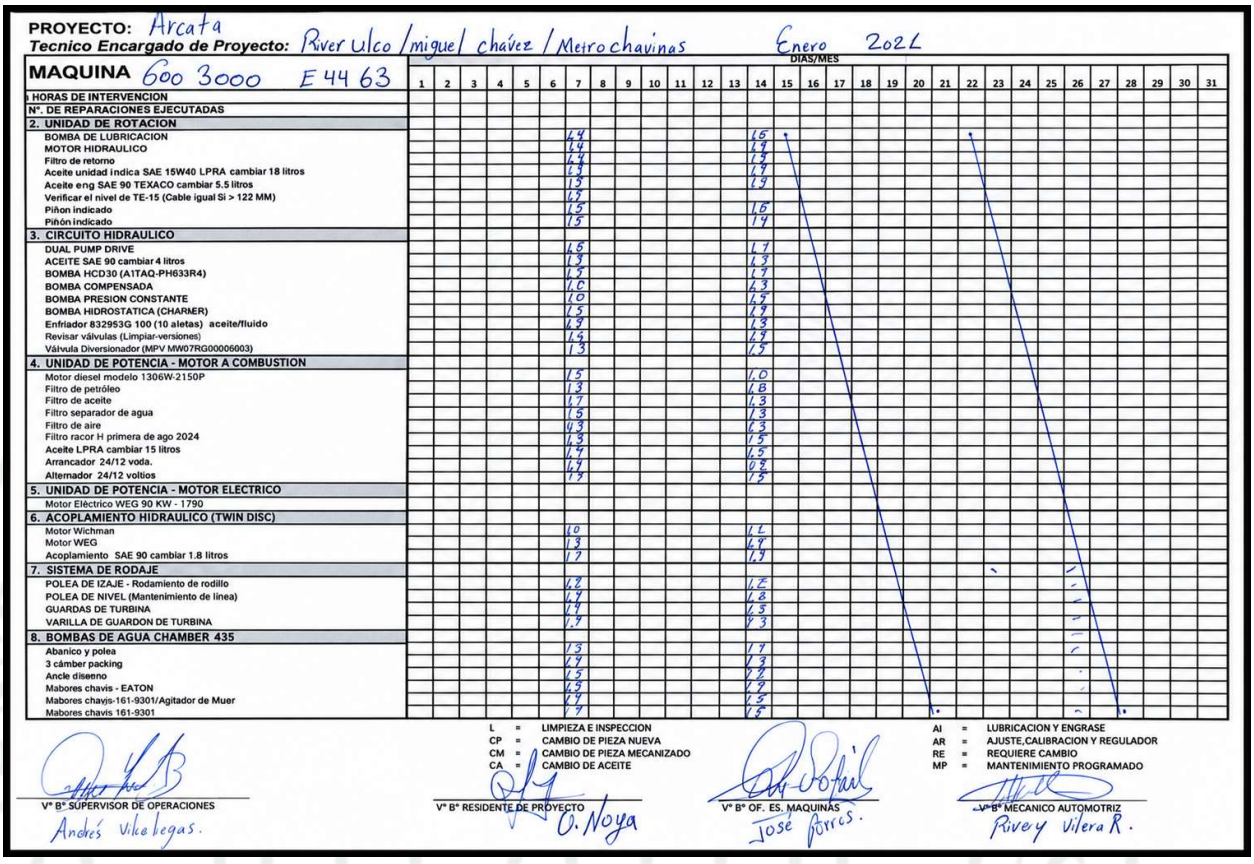
Durante la ejecución del mantenimiento preventivo, se identificaron diversas deficiencias, entre las cuales destacan:

- La falta de un adecuado seguimiento en la programación, ejecución y control de los mantenimientos preventivos en horas para el motor de las máquinas perforadoras.
- La ausencia de un plan de mantenimiento preventivo para los componentes críticos de dichas máquinas.
- La falta de disponibilidad de stock de suministros como filtros y aceite de motor; demoras en el proceso de compra.

Adicionalmente, para este proceso se emplea el formato denominado Check List de Mantenimiento Preventivo de Máquinas, el cual permite a los mecánicos registrar y documentar la ejecución de los mantenimientos preventivos realizados a las máquinas perforadoras.

Figura4

Check list del mantenimiento preventivo mensual



PROYECTO: Arcata

Tecnico Encargado de Proyecto: River Ulco / miguel chávez / Meiro chavinas — Enero 2024

MAQUINA 600 3000 E 44 63 — DIAS/MES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
HORAS DE INTERVENCION																															
Nº. DE REPARACIONES EJECUTADAS																															
2. UNIDAD DE ROTACION																															
BOMBA DE LUBRICACION							14							16																	
MOTOR HIDRAULICO							14							14																	
Filtro de retorno							14							14																	
Aceite unidad indica SAE 15W40 LPRA cambiar 18 litros							13							19																	
Aceite eng SAE 90 TEXACO cambiar 5.5 litros							13							19																	
Verificar el nivel de TE-15 (Cable igual Si > 122 MM)							12																								
Piñon indicado							15							16																	
Piñón indicado							15							19																	
3. CIRCUITO HIDRAULICO																															
DUAL PUMP DRIVE							16							17																	
ACEITE SAE 90 cambiar 4 litros							13							13																	
BOMBA HCD30 (A1TAQ-PH633R4)							17							17																	
BOMBA COMPENSADA							10							13																	
BOMBA PRESION CONSTANTE							10							15																	
BOMBA HIDROSTATICA (CHARNER)							15							19																	
Enfriador 832953G 100 (10 aletas) aceite/fluido							19							13																	
Revisar válvulas (Limpiar-versiones)							14							19																	
Válvula Diversionador (MPV MW07RG00006003)							13							15																	
4. UNIDAD DE POTENCIA - MOTOR A COMBUSTION																															
Motor diesel modelo 1306W-2150P							15							10																	
Filtro de petróleo							13							18																	
Filtro de aceite							17							13																	
Filtro separador de agua							15							13																	
Filtro de aire							13							15																	
Filtro racor H primera de ago 2024							13							15																	
Aceite LPRA cambiar 15 litros							14							15																	
Arrancador 24/12 voda.							14							02																	
Alternador 24/12 voltios							19							15																	
5. UNIDAD DE POTENCIA - MOTOR ELECTRICO																															
Motor Elèctrico WEG 90 KW - 1790																															
6. ACOPLAMIENTO HIDRAULICO (TWIN DISC)																															
Motor Wichman							10							12																	
Motor WEG							13							19																	
Acoplamiento SAE 90 cambiar 1.8 litros							17							19																	
7. SISTEMA DE RODAJE																															
POLEA DE IZAJE - Rodamiento de rodillo							12							12																	
POLEA DE NIVEL (Mantenimiento de linea)							14							18																	
GUARDAS DE TURBINA							14							13																	
VARILLA DE GUARDON DE TURBINA							17							13																	
8. BOMBAS DE AGUA CHAMBER 435																															
Abanico y polea							13							17																	
3 cámber packing							14							13																	
Ancle diseno							15							12																	
Mabores chavis - EATON							15							19																	
Mabores chavis-161-9301/Agitador de Muer							14							15																	
Mabores chavis 161-9301							17							15																	

L = LIMPIEZA E INSPECCION
CP = CAMBIO DE PIEZA NUEVA
CM = CAMBIO DE PIEZA MECANIZADO
CA = CAMBIO DE ACEITE

AI = LUBRICACION Y ENGRASE
AR = AJUSTE,CALIBRACION Y REGULADOR
RE = REQUIERE CAMBIO
MP = MANTENIMIENTO PROGRAMADO

V° B° SUPERVISOR DE OPERACIONES — Andrés Vilcalegas.

V° B° RESIDENTE DE PROYECTO — O. Noya

V° B° OF. ES. MAQUINAS — José Torres.

V° B° MECANICO AUTOMOTRIZ — Rivey Vilera R.

Nota: Formato actual del área de mantenimiento

Actualmente, el mantenimiento preventivo de las perforadoras GEO 3000 se programa en función de los días transcurridos. Para su ejecución, el mecánico se desplaza hasta la ubicación del equipo con los suministros requeridos. El mantenimiento tipo 1 se realiza cada 20 días e incluye el cambio del filtro de aceite LF 3000 y del aceite de motor 15W-40. Por su parte, el mantenimiento tipo 2 se efectúa cada 40 días y comprende la renovación del aceite de motor, así como el reemplazo de los filtros de aceite LF 3000, de combustible PC 42 F53125 y PER 43 F60043, y del elemento Racor FSP 2040-30. A continuación, se presenta la tabla 3 con los mantenimientos preventivos programados por la empresa durante el año analizado, así mismo los costos de los mantenimientos.

Tabla 3
Mantenimientos preventivos anuales

Mes	N.º Mantenimientos preventivos	N.º de máquinas	Total
Enero	1	3	3
Febrero	2	3	6
Marzo	2	3	6
Abril	2	4	8
Mayo	2	4	8
Junio	2	4	8
Julio	2	4	8
Agosto	2	4	8
Setiembre	2	4	8
Octubre	2	4	8
Noviembre	2	4	8
Diciembre	2	4	8
Total mantenimientos	23		87

Nota: Elaboración propia

La tabla 3 muestra que, durante el periodo analizado, se programaron 23 intervenciones preventivas por máquina, equivalentes a un total de 87 mantenimientos para la flota considerada. En enero se efectuó un mantenimiento por cada una de las tres máquinas disponibles, mientras que, desde febrero, se programaron dos intervenciones mensuales por equipo. Además, a partir de abril, el número de máquinas aumentó de tres a cuatro, elevándose el total mensual de mantenimientos de seis a ocho.

Sin embargo, la cantidad de mantenimientos registrada no garantiza que la programación sea técnicamente adecuada. Actualmente, las intervenciones se establecen en función de los días transcurridos aproximadamente cada 20 y 40 días, sin considerar las horas reales de funcionamiento de cada perforadora. Este criterio resulta poco preciso, debido a que las máquinas operan en dos turnos de 12 horas y su utilización puede variar según las condiciones y requerimientos del proyecto.

Tabla 4

Mantenimiento preventivo tipo 1

ITEM	MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza.	$ 37.00	$ 37.00
2	Aceite de motor 15w40	5	Gal	$ 29.50	$ 147.50
3	Trapo industrial	2	Kg	$ 5.50	$ 11.00
Costo total - Mantenimiento tipo 1					$ 195.50

Nota: Elaboración propia

Tabla 5

Mantenimiento preventivo tipo 2

ITEM	MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza.	$ 37.00	$ 37.00
2	Filtro de petróleo PC 42 F53125	1	Pza.	$ 4.50	$ 4.50
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza.	$ 19.25	$ 19.25
4	Elemento Racor de petróleo FSP 2040-30	1	Pza.	$ 15.00	$ 15.00
5	Aceite de motor 15w40	5	Gal	$ 29.50	$ 147.50
6	Trapo industrial	2	Kg	$ 5.50	$ 11.00
7	Grasa multipropósito	2	Kg	$ 10.00	$ 20.00
Costo total - Mantenimiento tipo 2					$ 254.25

Nota: Elaboración propia

Tabla 6

Evaluación del costo de mantenimiento preventivo actual - anual

Mantenimiento	Costo C/U	N° de frecuencia	Costo total
Mantenimiento tipo 1	$ 195.50	12	$ 2,346.00
Mantenimiento tipo 2	$ 254.25	11	$ 2,796.75
Costo total por 1 Máquina			$ 5,142.75
Costo total por 4 Máquinas			$ 20,571.00

Nota: Elaboración propia

La tabla 6 muestra que el mantenimiento preventivo tipo 1 tiene un costo unitario de USD 195,50 y se programa 12 veces al año, generando un costo anual de USD 2 346,00 por máquina. Por su parte, el mantenimiento tipo 2 cuesta USD 254,25 y se realiza 11 veces al año, lo que representa USD 2 796,75. En conjunto, las 23 intervenciones preventivas programadas tienen un costo anual de USD 5 142,75 por perforadora y de USD 20 571,00 para las cuatro máquinas GEO 3000.

Si bien este costo preventivo resulta relativamente bajo, no necesariamente constituye una inversión eficiente. La programación se establece de acuerdo con los días de trabajo y no con las horas efectivas de operación, pese a que las perforadoras pueden trabajar en dos turnos de 12 horas.

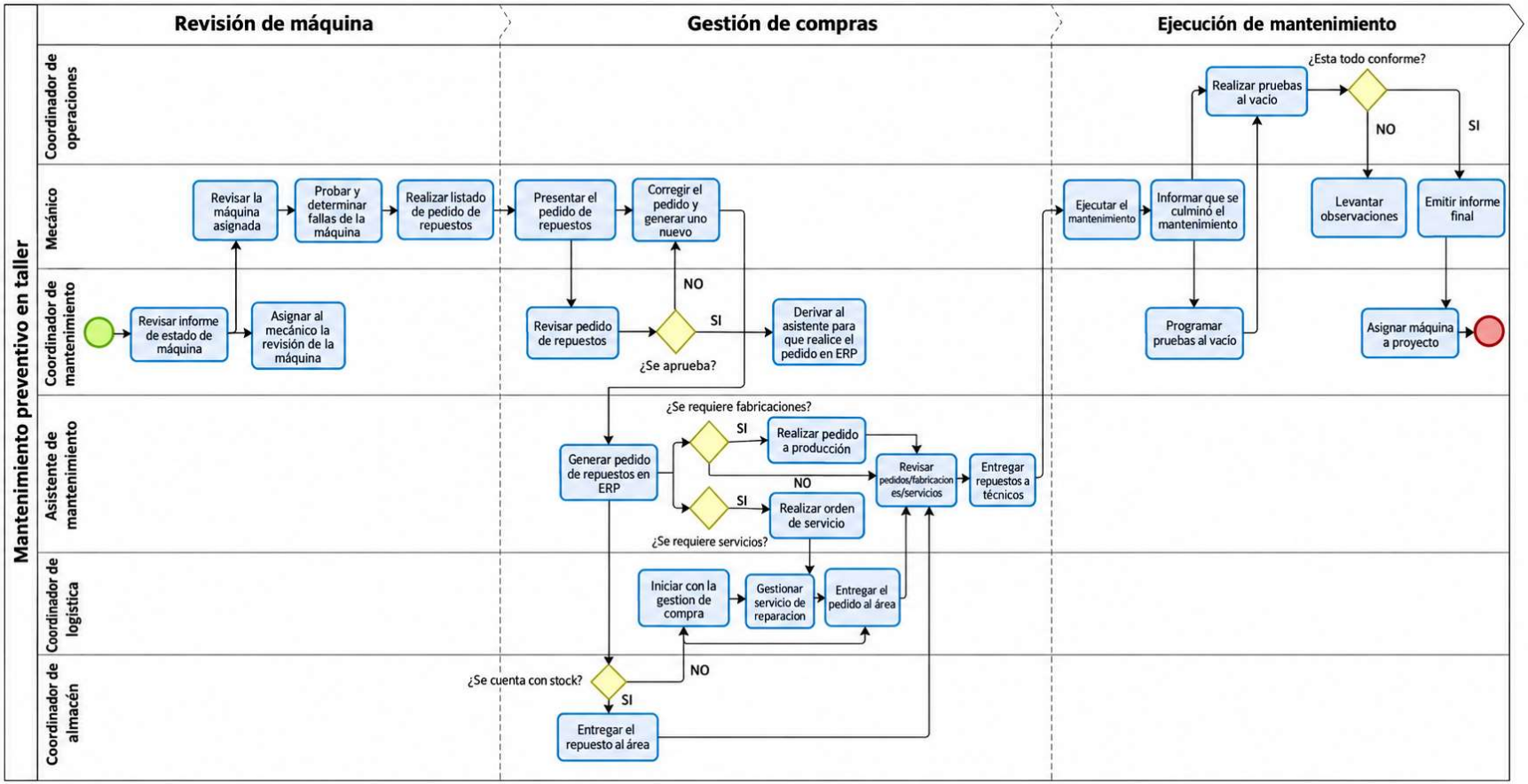
En estas circunstancias, dos equipos pueden completar el mismo número de días de trabajo, pero acumular diferentes horas efectivas de operación. Por ello, programar el mantenimiento únicamente por días puede ocasionar intervenciones anticipadas o, principalmente, mantenimientos tardíos, cuando el equipo ya ha superado el intervalo recomendado para sus componentes.

A continuación en la figura 5 se describe el proceso vigente de mantenimiento preventivo aplicado en el Taller a las máquinas perforadoras GEO 3000, el cual se desarrolla posterior al

retorno de los equipos desde los proyectos, tras la finalización de sus labores operacionales, con el objetivo de garantizar su disponibilidad y confiabilidad para futuras actividades.

Figura5

Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo en taller



Nota: Elaboración propia

Como se evidenció anteriormente, el proceso está conformado por un total de 31 actividades, las cuales serán descritas con mayor detalle a continuación, con la finalidad de explicar su desarrollo y secuencia dentro del procedimiento establecido.

Actividad 1: Revisar informe de estado de máquina.

Responsable: Coordinador de mantenimiento.

El coordinador analiza los registros del último informe de mantenimiento de las máquinas perforadoras, permitiéndole contar con una referencia inicial sobre la situación actual de los equipos y facilitar la planificación de las actividades de mantenimiento posteriores.

Actividad 2: Asignar al mecánico la revisión de la máquina.

Responsable: Coordinador de mantenimiento.

El coordinador determina la máquina a intervenir mediante la ejecución del mantenimiento preventivo, de acuerdo con la programación y las necesidades operativas del equipo.

Actividad 3: Revisar la máquina asignada.

Responsable: Mecánico

El mecánico se encarga de revisar la máquina asignada, apoyándose con los informes previos y también con la revisión en campo tanto la parte eléctrica como la mecánica.

Actividad 4: Probar y determinar fallas de la máquina.

Responsable: Mecánico

El mecánico, a partir del diagnóstico previamente elaborado, procede a identificar y determinar las fallas detectadas en el equipo, con el objetivo de establecer las acciones correctivas necesarias.

Actividad 5: Realizar listado de pedidos y repuestos.

Responsable: Mecánico

El mecánico procede al llenado del formato de Orden de Trabajo, el cual tiene como finalidad registrar los repuestos requeridos para la ejecución de las actividades de mantenimiento correspondientes.

Actividad 6: Presentar el pedido de repuestos

Responsable: Mecánico

Una vez que se termina y se consolidan los pedidos de repuestos, se procede a presentar las ordenes de trabajo al coordinador.

Actividad 7: Revisar pedido de repuestos.

Responsable: Coordinador de mantenimiento

El coordinador realiza la revisión del listado de repuestos, reparaciones y fabricaciones requeridas para la ejecución del mantenimiento, con el propósito de verificar los recursos necesarios para la intervención del equipo.

Actividad 8: ¿Se aprueba el equipo?

Responsable: Coordinador de mantenimiento

Si no se aprueba el pedido pasa a la actividad 9, en caso de que si se apruebe se pasa a la actividad 10.

Actividad 9: Corregir el pedido y generar uno nuevo.

Responsable: Mecánico

En caso de presentarse observaciones en el listado de requerimientos, el coordinador y el mecánico realizan una revisión conjunta de la información, evaluando nuevamente los recursos solicitados. Posteriormente, se procede con la aprobación correspondiente para dar continuidad al proceso de mantenimiento.

Actividad 10: Derivar al asistente para que realice el pedido en el ERP.

Responsable: Coordinador de mantenimiento

El coordinador procede a derivar el requerimiento al asistente de mantenimiento, quien será responsable de gestionar las acciones correspondientes para generar el pedido.

Actividad 11: Generar pedido de repuestos en el ERP.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento procede a gestionar la solicitud de repuestos mediante el sistema informático establecido por la empresa, registrando los requerimientos necesarios para la atención del mantenimiento programado.

Actividad 12: ¿Se cuenta con stock?

Responsable: Coordinador de almacén

Si no se cuenta con stock pasa a la actividad 13, en caso de que si se cuente con stock se pasa a la actividad 15.

Actividad 13: Iniciar con la gestión de compra.

Responsable: Coordinador de logística

En caso de no contar con disponibilidad de stock en el almacén central ubicado en Arequipa, el requerimiento es derivado al área de logística para gestionar el proceso de adquisición de los repuestos necesarios. Cabe precisar que el tiempo de atención de la compra está condicionado a la participación de otras áreas involucradas, como contabilidad y finanzas, quienes intervienen en la validación y aprobación del proceso.

Actividad 14: Entregar el pedido al área.

Responsable: Coordinador de logística

Una vez que se cierra el proceso de compras el coordinador de logística se encargara de entregar el pedido al área solicitante para poder continuar con las reparaciones asignadas y continuar con la actividad 22.

Actividad 15: Entregar el repuesto al área.

Responsable: Coordinador de almacén

El coordinador de almacén se encargará de derivar el repuesto encontrado al asistente de mantenimiento para que lo pueda revisar y posteriormente entregar al personal técnico en la actividad 22.

Actividad 16: ¿Se requiere fabricaciones?

Responsable: Asistente de mantenimiento.

Seguida de la actividad 11, se procede a revisar y validar si se requiere los repuestos para continuar con la actividad 17 y de no contar se pasa a la actividad 22.

Actividad 17: Realizar pedido a producción.

Responsable: Asistente de mantenimiento

En caso de requerirse la fabricación de componentes o partes de la máquina, se procede a generar la solicitud al área de producción de planta, la cual estará encargada de ejecutar la fabricación correspondiente. Una vez culminado el proceso, el área de producción realiza la entrega del componente solicitado, permitiendo la continuidad del proceso hacia la actividad 22.

Actividad 18: ¿Se requiere servicios?

Responsable: Asistente de mantenimiento

Continuando con la actividad 11, si se requiere servicios de reparación externos se pasa a la actividad 19, en caso de que no se requiera se pasa a la actividad 22.

Actividad 19: Realizar orden de servicio.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento procede a gestionar la solicitud de servicios externos de reparación, los cuales son requeridos principalmente para trabajos que demandan conocimientos especializados, equipos o herramientas con los que la empresa no cuenta internamente. Por ello, el requerimiento es derivado a un proveedor externo especializado para su ejecución.

Actividad 20: Gestionar servicios de reparación

Responsable: Coordinador de logística

El área de logística procede con la gestión del servicio de reparación externo, realizando las coordinaciones necesarias para la contratación del proveedor especializado. Cabe mencionar que el tiempo de ejecución del proceso de adquisición del servicio está sujeto a la intervención de otras áreas involucradas, como contabilidad y finanzas, debido a los procedimientos internos de aprobación y gestión administrativa.

Actividad 21: Entregar el pedido al área.

Responsable: Coordinador de logística

Se consolidará las actividades 14 y 20 para que se pueda entregar el pedido a las áreas solicitantes.

Actividad 22: Revisar pedidos/fabricaciones/servicios.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento se encarga de la revisión de los pedidos, fabricaciones o servicios para que luego se pueda dar la asignación de los recursos al personal de mantenimiento para iniciar con la intervención de la máquina.

Actividad 23: Entregar repuestos a los técnicos.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento procede con la entrega de los repuestos requeridos al mecánico responsable, con la finalidad de dar inicio a las actividades de intervención y ejecución del mantenimiento de la máquina perforadora.

Actividad 24: Ejecutar el mantenimiento

Responsable: Mecánico

El mecánico procede con la ejecución de las actividades de mantenimiento de la máquina perforadora. El tiempo de intervención estará condicionado por la identificación de nuevas observaciones o fallas adicionales que puedan detectarse durante el desarrollo del trabajo, las cuales podrían requerir acciones correctivas complementarias.

Actividad 25: Informar que se culminó con el mantenimiento

Responsable: Mecánico

Una vez finalizadas las actividades de mantenimiento, el mecánico procede a informar al coordinador de mantenimiento sobre la culminación de los trabajos realizados, con el objetivo de continuar con las etapas posteriores del proceso.

Actividad 26: Programar pruebas al vacío

Responsable: Coordinador de mantenimiento

El coordinador de mantenimiento se comunica con el coordinador del área de operaciones con la finalidad de programar las pruebas en vacío de la máquina perforadora, las cuales permiten validar y aprobar su condición operativa.

Actividad 27: Realizar pruebas al vacío

Responsable: Coordinador de operaciones

Se procede a la ejecución de las pruebas en vacío de la máquina perforadora en el taller de mantenimiento, con la participación del personal del área de operaciones para la verificación de su correcto funcionamiento.

Actividad 28: ¿Esta todo conforme?

Responsable: Coordinador de operaciones

Si no está conforme la prueba en vacío de la máquina pasa a la actividad 29, en caso de que si este conforme se pasa a la actividad 30.

Actividad 29: Levantar observaciones

Responsable: Mecánico

Al no obtenerse la conformidad en la prueba realizada, se procede a la subsanación de la observación identificada. Una vez levantada dicha observación, el proceso continúa con la actividad 27, en coordinación con el área de operaciones, a fin de validar y confirmar el cierre de las observaciones pendientes.

Actividad 30: Emitir informe final

Responsable: Mecánico

El mecánico procede al llenado del Informe de Mantenimiento en el cual se detallan de manera específica las actividades ejecutadas durante la intervención de la máquina GEO 3000.

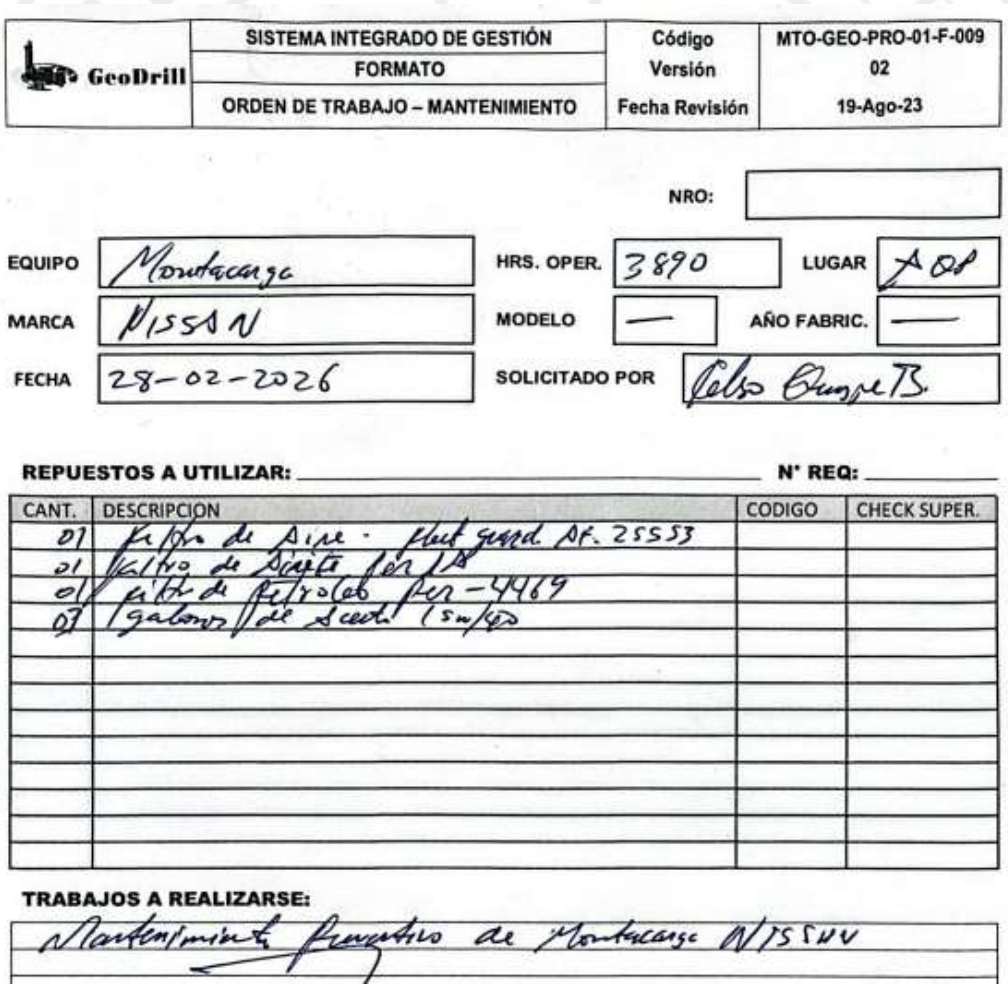
Actividad 31: Asignar máquina a proyecto.

Responsable: Coordinador de mantenimiento.

El coordinador de mantenimiento permanece a la espera de la confirmación de la gerencia para la asignación de la máquina al proyecto que sea determinado.

De manera adicional, es pertinente señalar que en este proceso se emplea el formato denominado Orden de Trabajo, el cual es utilizado por el personal mecánico para gestionar y registrar la solicitud de los repuestos requeridos en la intervención de las máquinas perforadoras.

Figura6
Orden de trabajo



GeoDrill	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Código	MTO-GEO-PRO-01-F-009
	FORMATO	Versión	02
	ORDEN DE TRABAJO – MANTENIMIENTO	Fecha Revisión	19-Ago-23

NRO:

EQUIPO	Montacarga	HRS. OPER.	3890	LUGAR	Ado
MARCA	NISSAN	MODELO	—	AÑO FABRIC.	—
FECHA	28-02-2026	SOLICITADO POR	Celso Campos T.		

REPUESTOS A UTILIZAR: _____ **N° REQ:** _____

CANT.	DESCRIPCION	CODIGO	CHECK SUPER.
01	Filtro de Aire - Hut guard Nº. 25553		
01	Valvo de Direcc (orig)		
01	Filtro de Petroleo Per-4469		
07	Galones de Aceite (5w/40		

TRABAJOS A REALIZARSE:

Mantenimiento preventivo de Montacarga NISSAN

Nota: Formato actual del área de mantenimiento

Como parte del proceso actual, se cuenta con el formato “Conformidad de salida de máquina a proyecto – Check list de máquina perforadora”, documento utilizado para verificar y formalizar la aceptación de la prueba en vacío ejecutada a la máquina perforadora antes de su traslado al proyecto. Esta validación se realiza juntamente con el área de Operaciones, asegurando que la unidad cumpla con las condiciones requeridas para su puesta en servicio. En la figura 7 se evidencia el formato correspondiente.

Figura7

Conformidad de salida de Máquina a proyecto - Check list Máquina Perforadora

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Código	MTO-GEO-PRO-01-F-005
	FORMATO	Versión	04
	CONFORMIDAD DE SALIDA DE MÁQUINA A PROYECTO CHECK LIST DE MÁQUINA PERFORADORA	Fecha Revisión	19-Ago-23

Fecha:
Hora:
Lectura (Hr.) (Km.):

Equipo:
Modelo:
Perforista:

Parte	Estado			Parte	Estado		
	Bueno	Regular	Malo		Bueno	Regular	Malo
SISTEMA HIDRAULICO				**MANOMETROS HIDRAULICOS**			
Bomba principal				Manómetro del chamber			
Bomba secundaria				Manómetro del torque			
Bomba auxiliar (tercera)				Manómetro de avance fino			
Bomba hidrostática 6423				Manómetro de peso la corona			
MOTORES HIDRAULICOS				**SISTEMA DE REFRIGERACION**			
Motor de la unidad de rotación				Cooler			
Motor del izaje				Mangueras y conexiones			
Motor del wireline				**SISTEMA MECANICO**			
Motor del mixer (tina de lodos)				Cadena			
PISTONES HIDRAULICOS				Unidad de rotación			
Pistones del castillo				Castillo			
Pistón de la unidad de rotación				Acople del motor			
Pistón de la pluma (posicionamiento)				EQUIPO DE BOMBEO			
Pistón de las gatas (4)				Chamber 435			
Pistón de grampa				**MOTOR DIESEL DE LA MAQUINA**			
Pistón para llave (stilson)				Filtro de aire			
PANEL DE MANDO HIDRAULICO				Cañerías y mangueras sin Flex			
Accionamiento de avance fino				Tanque de combustible			
Accionamiento de unidad de rotación				Bomba de inyección			
Accionamiento del chamber				Inyectores			
Accionamiento del wireline				Filtros de combustible			
Accionamiento cable de izaje				Radiador			
Accionamiento de gatas hidráulicas				Bomba de agua			
Accionamiento pistones del castillo				Termostato			
Accionamiento de la pluma				Carter			
Accionamiento del brazo hidráulico				Filtros de aceite			
Accionamiento de la prensa hidráulica				**SISTEMA ELECTRICO**			
Accionamiento para perforar				Sensor de presión de temperatura			
Accionamiento acelerador motor diésel				Batería			
Accionamiento del estrangulador diésel				Arrancador			
Mangueras hidráulicas				Alternador			
Conexiones hidráulicas				Cableado y sistema de luces			
Tanque hidráulico				Accionamiento de encendido eléctrico			

Observaciones:

Firma del Operador de Máquina

Firma del jefe de Supervisores de Operaciones y/o Supervisor de Operaciones

Firma del Mecánico

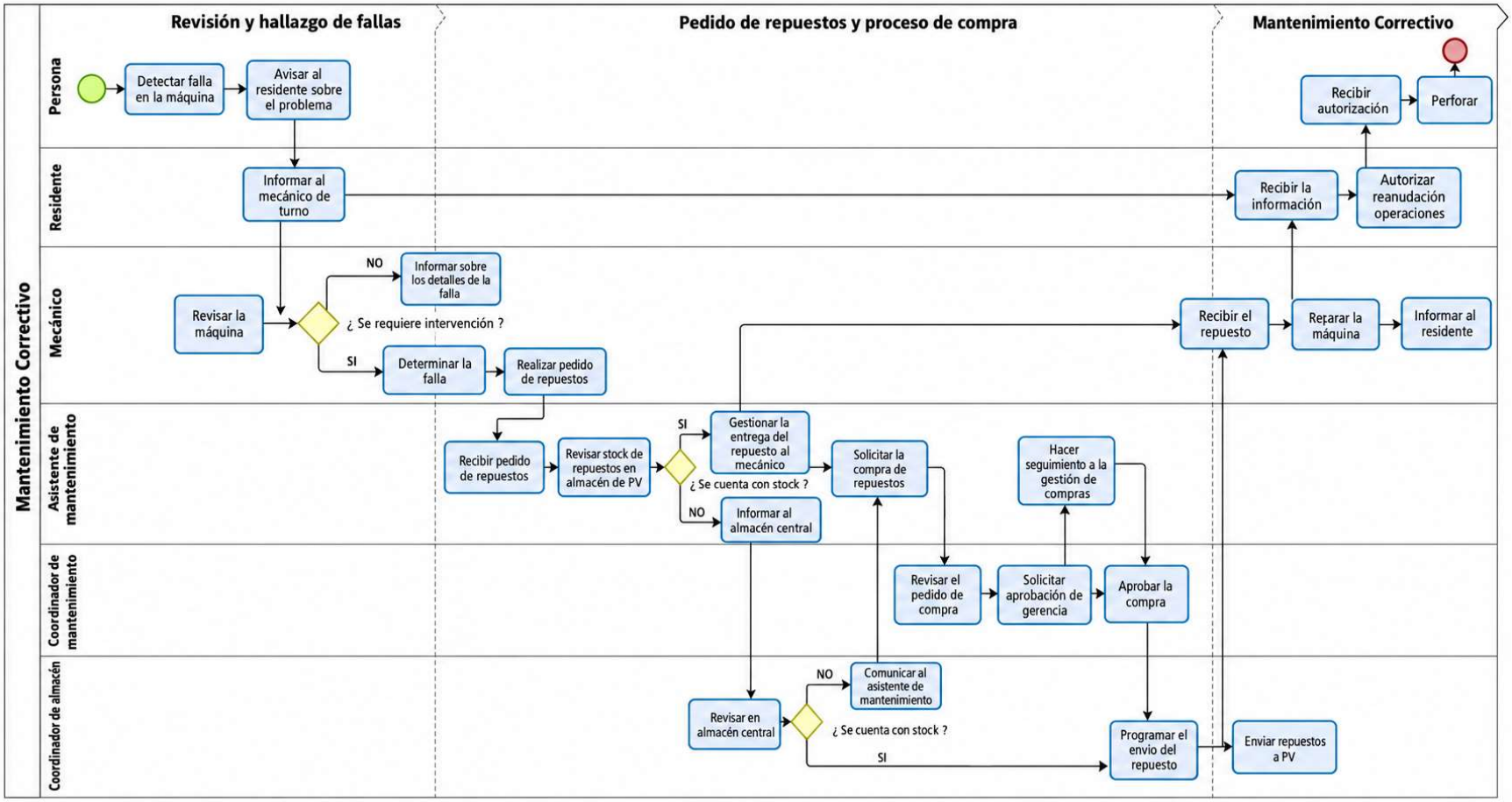
Nota: Formato actual del área de mantenimiento.

3.7.2. Mantenimiento Correctivo

A continuación, se presenta el proceso actual de mantenimiento correctivo en proyecto aplicado a las máquinas GEO 3000, donde se detallan las actividades desarrolladas para la identificación, atención y solución de las fallas presentadas durante la operación del equipo en campo.

Figura8

Diagrama de flujo de Mantenimiento Correctivo de la máquina GEO 3000



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con lo identificado previamente, el proceso está conformado por un total de 30 actividades, las cuales serán descritas con mayor detalle a continuación, con el propósito de explicar cada etapa involucrada dentro del desarrollo del mantenimiento correctivo en proyecto.

Actividad 1: Detectar falla en la máquina.

Responsable: Perforista

Cuando el perforista identifica alguna anomalía durante la operación de la máquina, debe informar al residente del proyecto para que el personal mecánico pueda realizar la inspección correspondiente. Sin embargo, durante el desarrollo de esta actividad se ha evidenciado que, en algunos casos, los perforistas no reportan oportunamente las fallas detectadas, lo que puede generar el incremento de la gravedad del problema hasta ocasionar la inoperatividad del equipo. Como consecuencia, se produce la detención de las actividades operativas mientras se realiza la intervención correctiva necesaria.

Actividad 2: Avisar al residente sobre el problema.

Responsable: Perforista

El perforista comunica al residente del proyecto las anomalías identificadas durante la operación de la máquina perforadora, con la finalidad de que se pueda gestionar la revisión y atención correspondiente del equipo.

Actividad 3: Informar al mecánico de turno.

Responsable: Residente

El residente del proyecto establece comunicación telefónica con los mecánicos responsables asignados en campo, con el objetivo de informar y brindar los detalles relacionados con la anomalía identificada en la máquina perforadora para su posterior evaluación y atención.

Actividad 4: Revisar la máquina.

Responsable: Mecánico

El mecánico procede con la revisión del equipo y el análisis de la anomalía identificada, a fin de evaluar su impacto en la operación y determinar las acciones a seguir, ya sea continuar con los trabajos de perforación o detener la máquina. Si durante la inspección se verifica que la condición presentada no representa un riesgo para el funcionamiento del equipo y puede ser corregida inmediatamente, manteniendo la operación dentro de los parámetros establecidos, se habilita la continuidad de las actividades. En caso contrario, se dispone la detención de la máquina para realizar la intervención correctiva correspondiente.

Actividad 5: ¿Se requiere intervención?

Responsable: Mecánico

Si no se requiere intervención mayor se pasa a la Actividad 6, en caso de que si se requiera se pasa a la actividad 7.

Actividad 6: Informar sobre los detalles de la falla al residente.

Responsable: Mecánico

Luego de realizar la evaluación correspondiente y ejecutar las acciones de intervención necesarias, el mecánico logra solucionar la falla presentada en el equipo de manera oportuna. Posteriormente, comunica al residente del proyecto los detalles de la incidencia ocurrida y las

actividades realizadas para su corrección, con la finalidad de gestionar la continuidad de las operaciones de perforación.

Actividad 7: Determinar la falla.

Responsable: Mecánico

Como parte de la actividad 5, cuando el mecánico especialista determina que la máquina requiere una intervención, se procede a realizar una evaluación más detallada con el propósito de identificar la causa raíz de la falla presentada. El tiempo requerido para esta inspección dependerá de diversos factores, como la accesibilidad al componente involucrado, debido a que en algunos casos la revisión implica esfuerzo físico y desmontajes adicionales. Asimismo, la eficiencia de esta etapa está directamente relacionada con los conocimientos técnicos, la experiencia y la capacidad de respuesta del personal mecánico encargado de la evaluación.

Actividad 8: Realizar pedido de repuestos.

Responsable: Mecánico

El mecánico formaliza la solicitud de repuestos mediante el documento denominado "Informe de Mantenimiento", el cual es remitido por correo electrónico al asistente de mantenimiento para gestionar la atención correspondiente. Asimismo, en dicho documento se registra una descripción general de la falla identificada, proporcionando información relevante sobre la condición presentada en el equipo y los requerimientos necesarios para su reparación.

Actividad 9: Recibir pedido de repuestos.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento recibe la información proporcionada por el mecánico, verificando los datos relacionados con la falla identificada y los requerimientos solicitados para continuar con la gestión correspondiente dentro del proceso de mantenimiento.

Actividad 10: Revisar stock de repuestos en almacén de PY.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento realiza la verificación correspondiente con el responsable de almacén, con la finalidad de confirmar la disponibilidad de los repuestos requeridos en el inventario y determinar si se cuenta con los materiales necesarios para atender la intervención del equipo.

Actividad 11: ¿Se cuenta con stock?

Responsable: Asistente de mantenimiento

Si se cuenta con stock se continua con la Actividad 12, en caso de que no se cuente con stock se pasa a la actividad 13.

Actividad 12: Gestionar la entrega del repuesto al mecánico.

Responsable: Asistente de mantenimiento

En caso el asistente de mantenimiento confirme la disponibilidad de los repuestos requeridos en el almacén del proyecto, procede a coordinar la entrega de dichos materiales al personal mecánico encargado, con el objetivo de asegurar la continuidad de las actividades de reparación y la atención oportuna de la falla presentada en el equipo.

Actividad 13: Informar al almacén central.

Responsable: Asistente de mantenimiento

Posteriormente, ante la ausencia de stock en el almacén del proyecto, el asistente de mantenimiento gestiona la verificación de disponibilidad con el almacén central de Arequipa, con la finalidad de corroborar la existencia de los repuestos requeridos y dar continuidad al proceso de abastecimiento.

Actividad 14: Revisar en almacén central.

Responsable: Coordinador de almacén

Posteriormente, el coordinador de almacén efectúa la consulta del inventario disponible en el almacén central para verificar si se cuenta con los repuestos solicitados.

Actividad 15: ¿Se cuenta con stock?

Responsable: Coordinador de almacén

Si no se cuenta con stock se continua con la Actividad 16, en caso de que si se cuente con stock se pasa a la actividad 22.

Actividad 16: Comunicar al asistente de mantenimiento.

Responsable: Coordinador de almacén

Una vez realizada la verificación, el coordinador de almacén informa al asistente de mantenimiento que el almacén central no dispone de existencias de los repuestos solicitados.

Actividad 17: Solicitar la compra de los repuestos.

Responsable: Asistente de mantenimiento

Ante la ausencia de disponibilidad de los repuestos, el asistente de mantenimiento procede a registrar la solicitud de compra en el sistema Dynamics empleado por la empresa.

Actividad 18: Revisar el pedido de la compra.

Responsable: Coordinador de mantenimiento

El coordinador de mantenimiento efectúa la revisión de los repuestos e insumos solicitados, corroborando que las cantidades especificadas sean las necesarias para la intervención.

Actividad 19: Solicitar aprobación de gerencia.

Responsable: Coordinador de mantenimiento

Una vez consolidado el requerimiento de compra, el coordinador de mantenimiento lo remite a la gerencia para su revisión y autorización. Sin embargo, este procedimiento puede experimentar retrasos cuando la disponibilidad del gerente impide realizar la evaluación y aprobación de manera oportuna.

Actividad 20: Aprobar la compra.

Responsable: Coordinador de mantenimiento

El coordinador de mantenimiento autoriza la solicitud mediante el sistema informático de la empresa, lo que habilita su envío al área de Logística para la gestión correspondiente.

Actividad 21: Hacer seguimiento a la gestión de compras.

Responsable: Asistente de mantenimiento

El asistente de mantenimiento realiza el seguimiento y la coordinación interáreas con Logística, Contabilidad, Finanzas y Almacén Central para asegurar la ejecución del proceso de

compra de los repuestos solicitados. La duración de esta gestión no es uniforme, ya que depende de los tiempos de atención, validación y aprobación establecidos por cada área participante. Adicionalmente, debido a que la máquina perforadora se encuentra inoperativa mientras no se disponga del repuesto requerido, la adquisición se orienta hacia proveedores ubicados en la zona más próxima al proyecto, con el fin de minimizar los tiempos de entrega y agilizar la reincorporación del equipo a las operaciones.

Actividad 22: Programar el envío de repuestos.

Responsable: Coordinador de almacén

Una vez que los repuestos han sido adquiridos, el almacén central coordina y programa su traslado hacia el almacén del proyecto. Es importante señalar que la compra puede efectuarse en las ciudades de Arequipa, Lima o en la ubicación más cercana al proyecto, dependiendo de la disponibilidad de los repuestos e insumos y de la planificación realizada por el área de logística. En función de estos factores, se organiza el despacho con la finalidad de garantizar el abastecimiento oportuno del almacén del proyecto.

Actividad 23: Enviar repuestos a PY

Responsable: Coordinador de almacén

El almacén central realiza el despacho de los suministros hacia el almacén del proyecto. Cuando la necesidad de atención es prioritaria, el traslado se efectúa mediante transporte aéreo con el propósito de reducir los tiempos de entrega. Sin embargo, esta modalidad de envío incrementa los costos logísticos debido al peso considerable de los repuestos transportados.

Actividad 24: Recibir el repuesto.

Responsable: Mecánico

Una vez culminada la actividad 23 y 12, el mecánico procede a recepcionar los repuestos e insumos.

Actividad 25: Reparar la máquina.

Responsable: Mecánico

El mecánico procede a reparar la máquina.

Actividad 26: Informar al residente.

Responsable: Mecánico

Una vez culminadas las actividades de reparación y verificadas las correcciones efectuadas, se comunica de forma inmediata al residente que las observaciones reportadas inicialmente por el perforista han sido subsanadas, confirmando que la máquina perforadora se encuentra nuevamente en condiciones operativas. Posteriormente, el mecánico registra en el informe de mantenimiento las intervenciones ejecutadas, así como el detalle de los repuestos empleados durante la reparación del componente correspondiente.

Actividad 27: Recibir la información.

Responsable: Residente

El residente es informado acerca de la restitución de la operatividad de la máquina perforadora, confirmándose que el equipo se encuentra en condiciones adecuadas para continuar con sus actividades.

Actividad 28: Autorizar reanudar operaciones.

Responsable: Residente

Una vez confirmada la condición operativa de la máquina perforadora, el residente autoriza el reinicio de las actividades correspondientes.

Actividad 29: Recibir autorización.

Responsable: Perforista

Una vez recibida la autorización para reiniciar las operaciones, el perforista comunica la disposición al personal de apoyo y a los demás colaboradores involucrados, con el propósito de reanudar las actividades programadas.

Actividad 30: Perforar

Responsable: Perforista

Una vez restablecidas las condiciones operativas, se da continuidad a las actividades de perforación, retomando el desarrollo normal del proceso productivo.

Durante el análisis del proceso de mantenimiento correctivo se identificaron diversas oportunidades de mejora que afectan la eficiencia de las intervenciones y la disponibilidad de las máquinas perforadoras. Entre las principales deficiencias detectadas se encuentran las siguientes:

- La comunicación tardía de las fallas o anomalías por parte de los perforistas retrasa el inicio de las acciones de mantenimiento.
- El desplazamiento interno dentro del proyecto presenta demoras debido a las largas distancias entre las áreas de trabajo y a la limitada disponibilidad de medios de transporte.

- No se dispone de un registro actualizado que permita conocer el estado y la disponibilidad de los repuestos almacenados en el proyecto.
- La ausencia de un inventario de repuestos críticos incrementa el tiempo de respuesta ante fallas imprevistas.
- El proceso de adquisición de repuestos presenta tiempos de gestión prolongados, lo que retrasa la ejecución de las reparaciones.
- El abastecimiento de repuestos críticos desde el almacén central hacia los proyectos demanda tiempos de transporte considerables; si se opta por el envío mediante transporte aéreo para reducir dichos plazos, se generan costos logísticos significativamente más elevados.

Asimismo, durante el desarrollo de este proceso se emplea el documento denominado Informe de Mantenimiento, el cual constituye el registro oficial de la intervención realizada. En este formato, el personal de mantenimiento consigna la descripción de la falla identificada, los repuestos utilizados y las actividades ejecutadas durante el proceso de reparación de la máquina.

Figura9

Informe de Mantenimiento

DE: **MANTENIMIENTO GEODRILL PY. ARCATA**

PARA: **MANTENIMIENTO ROMINA AGUILAR / JEANET APAZA**

ASUNTO: **ESTADO DE CAMIONETA V9O-762**

FECHA: **23 - 02 - 2026**

Ante todo, saludos cordiales y aprovechar para informarles lo siguiente:

Esta unidad presenta los siguientes problemas.

- Esta unidad no pasa la prueba de control de humo por parte de la minera pese a que se ha realizado lo recomendado por Arequipa que es limpieza de todo el tubo de escape y se agregó liqui moly al tanque de combustible.

-Al realizar los cambios se tiene que pisar el pedal de embrague al fondo y los cambio entran con dificulta y pérdida de fuerza en pendiente.

Este problema se presentó anteriormente y la unidad se bajó a Arequipa para su mantenimiento donde se **sugirió el cambio de todo el kit de embrague**, realizando solo el cambio del disco de embrague y retornado a proyecto el problema persiste.

-Presenta sonido anormal en la rueda delantera posicion uno, se realizó las pruebas pertinentes llegando a la conclusión que **requiere cambio del sensor del ABS**

- Cable del ABS de la rueda posicion 2 se encuentra roto ocasionando que en el tablero de la unidad se prenda el testigo de ABS y la caja de cambios **no entra en L4**

-Requiere cambio de los guardapolvos de la cremallera de dirección se encuentra resecos

-Requiere cambio de las bieletas de la barra estabilizadora presenta juego en las rotulas

-Requiere cambio de terminales de dirección se encuentran con demasiado juego

-Requiere cambio de gomas de ojo de muelle

-Revisar sistema eléctrico el modo eco de activa y desactiva solo

-Revisar el cableado del velocímetro estando en movimiento la unidad se baja a cero

-Requiere cambio de cable de freno de mano de la parte media hacia atrás

Se solicita lo siguiente.

-Kit de embrague

-Módulo de ABS (este pedido ya se solicitó)

-Cable de ABS posicion 2 (este pedido ya se solicitó)

-Juego de guardapolvos de dirección

-Juego de bieletas de barra estabilizadora (derecho e izquierdo)

-Juego de terminales de dirección (derecho e izquierdo)

-8 gomas de ojo de muelle

-Cable de freno de mano posterior el perno regulador esta soldado requiere cambio

Nota: Formato actual del área de mantenimiento

3.8. Máquinas Perforadoras

La empresa cuenta con diversos modelos de máquinas perforadoras destinadas a trabajos de perforación superficie y de interior mina, siendo responsable del ensamblaje de la mayoría de estos equipos. A continuación, se realizará una breve descripción de los principales tipos de máquinas perforadoras con los que cuenta la empresa, considerando sus características generales

y aplicaciones. No obstante, la presente investigación se encuentra enfocada en la máquina perforadora GEO 3000, debido a que constituye el equipo objeto de estudio y sobre el cual se desarrollará el análisis de la gestión del mantenimiento y la propuesta de mejora mediante la metodología RCM.

3.8.1. Máquina LM 90

La perforadora LM90 de Boart Longyear es un equipo especializado en perforación diamantina para labores de exploración minera subterránea, desarrollado para ejecutar perforaciones de mediana y gran profundidad. Su diseño robusto y su elevado rendimiento le permiten alcanzar profundidades aproximadas de 990 metros con diámetro NRQ, garantizando eficiencia y confiabilidad en proyectos de exploración de alta exigencia.

Entre sus principales prestaciones destacan su motor eléctrico de 90 kW (120 HP), un sistema hidráulico optimizado que favorece un funcionamiento eficiente y preciso, así como un cabezal de rotación de alto torque que facilita la perforación en diversas formaciones geológicas. Asimismo, el equipo cuenta con la capacidad de operar en múltiples ángulos de perforación, lo que incrementa su versatilidad en campo. En materia de seguridad y productividad, incorpora una abrazadera de barras con sistema de bloqueo seguro y la opción de integrar un manipulador semiautomático de barras, contribuyendo a reducir los riesgos operativos y mejorar el desempeño de las actividades de perforación.

Figura 10
Máquina LM 90



Nota: Perforadora LM 90 Boart Longyear

3.8.2. Máquina LM 75

La perforadora LM75 de Boart Longyear es un equipo de perforación diamantina subterránea diseñado para actividades de exploración minera de profundidad media. Se distingue por su diseño compacto, sistema hidráulico eficiente y capacidad para operar en diferentes ángulos de perforación. Asimismo, cuenta con un cabezal de rotación de alto rendimiento que le permite trabajar en diversas condiciones geológicas, garantizando una adecuada recuperación de testigos. Su robustez, seguridad operativa y facilidad de mantenimiento la convierten en una alternativa confiable para la ejecución de proyectos de exploración minera.

Figura 11
Máquina LM 75



Nota: Perforadora LM 75 Boart Longyear

3.8.3. Máquina UDR 650

La perforadora UDR 650 es un equipo multipropósito utilizado principalmente en proyectos de exploración minera debido a su capacidad para operar con diferentes métodos de perforación. Se caracteriza por su versatilidad, potencia y adaptabilidad a diversas condiciones geológicas. Además, cuenta con un sistema de rotación de alto torque y una estructura robusta que le permite alcanzar profundidades considerables, garantizando un desempeño eficiente y confiable en las operaciones de perforación. Gracias a estas características, es una de las perforadoras más empleadas en campañas de exploración minera de mediana profundidad.

Figura12
Máquina UDR 650



Nota: Perforadora UDR 650. Fotografía propia.

3.8.4. Máquina Subhorizontal para drenes T100

La perforadora T100 es un equipo especializado en trabajos de exploración minera, diseñado principalmente para la ejecución de perforaciones mediante el método de circulación reversa (RC). Su configuración permite realizar solo perforaciones horizontales de alta eficiencia. El equipo está equipado con un motor diésel de 260 HP, que le proporciona la potencia necesaria para desarrollar labores de perforación de manera continua y confiable. Asimismo, se encuentra montado sobre un sistema de orugas, lo que facilita su desplazamiento en terrenos irregulares y de difícil acceso, brindando mayor estabilidad y movilidad durante las operaciones. Gracias a su robustez, versatilidad y capacidad de trabajo, la T100 constituye una alternativa eficiente para proyectos de exploración minera que requieren rapidez en la obtención de muestras y un alto rendimiento operativo.

Figura13
Máquina Subhorizontal para drenes T100



Nota: Perforadora T100. Fotografía propia.

3.8.5. Máquina GEO 95

La GEO 95 es una máquina de perforación diamantina utilizada principalmente en actividades de exploración minera para la obtención de muestras geológicas de alta calidad. Este equipo se caracteriza por contar con un motor eléctrico de 125 HP, el cual proporciona la potencia necesaria para desarrollar operaciones de perforación de manera eficiente y segura. Debido a su diseño compacto y a sus dimensiones intermedias, es considerada una perforadora de tamaño mediano, lo que le permite combinar un buen rendimiento operativo con una mayor facilidad de transporte y montaje en comparación con equipos de mayor capacidad.

Asimismo, su estructura ha sido diseñada para facilitar las labores de movilización entre plataformas de trabajo, reduciendo los tiempos asociados al traslado e instalación del equipo. Esta característica resulta especialmente beneficiosa en proyectos de exploración donde es necesario realizar cambios frecuentes de ubicación. Gracias a su versatilidad, confiabilidad y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones geológicas, la GEO 95 constituye una alternativa eficiente para

el desarrollo de campañas de perforación diamantina, contribuyendo a la obtención de información geológica precisa para la evaluación de recursos minerales.

Figura 14
Máquina perforadora GEO 95



Nota: Perforadora GEO 95. Fotografía propia.

3.8.6. Máquina LF 230

La LF 230 es una perforadora diamantina de alto rendimiento empleada principalmente en proyectos de exploración minera que requieren la ejecución de perforaciones profundas. Este equipo ha sido diseñado para operar en condiciones exigentes, ofreciendo una elevada capacidad de perforación y un desempeño confiable en distintos tipos de formaciones geológicas.

La máquina está equipada con un motor diésel de 275 HP, el cual proporciona la potencia necesaria para desarrollar trabajos de perforación de gran profundidad de manera eficiente y continua. Gracias a su robusta estructura y a sus sistemas de perforación de alta capacidad, la LF 230 puede alcanzar importantes profundidades manteniendo una adecuada recuperación de testigos, lo que resulta fundamental para la obtención de información geológica precisa.

Figura 15
Máquina perforadora LF 230



Nota: Perforadora LF 230 Boart Longyear. Fotografía propia.

3.8.7. Máquina GEO 3000

La GEO 3000 es una perforadora diamantina desarrollada para la ejecución de trabajos de exploración minera, destacándose por haber sido diseñada, fabricada y ensamblada por la propia empresa de perforación, de acuerdo con sus requerimientos operativos y condiciones de trabajo. Esta característica le permite adaptarse eficientemente a las necesidades específicas de los proyectos donde es utilizada, garantizando un adecuado desempeño en las labores de perforación.

El equipo está equipado con un motor diésel de 260 HP, que proporciona la potencia necesaria para realizar perforaciones de manera continua y eficiente en diferentes tipos de formaciones geológicas. Asimismo, cuenta con una capacidad de perforación aproximada de 800 metros de profundidad, lo que la convierte en una alternativa adecuada para programas de exploración minera de mediana y gran profundidad.

Figura 16
Máquina perforadora GEO 3000



Nota: Máquina perforadora GEO 3000. Fotografía propia.

A continuación, se detalla el resumen de las máquinas perforadoras que cuenta la empresa:

Tabla 7
Resumen de las máquinas perforadoras

Máquina	Cantidad	% Máquinas
LM 90	3	7.14
LM 75	2	4.76
UDR 650	1	2.38
T 100	2	4.76
GEO 95	3	7.14
LF 230	1	2.38
GEO 3000	30	71.43
TOTAL	42	100

Nota: Conteo de las máquinas perforadoras

Tabla 8
Criterios de análisis de criticidad

Criterio	Peso	Escala	Descripción
Representatividad en la flota	35%	1-5	Participación porcentual de cada modelo
Demanda de mantenimiento	25%	1-5	Volumen de actividades requerido por la cantidad de equipos
Impacto operativo potencial	25%	1-5	Capacidad de las paralizaciones del modelo para afectar la operación
Alcance de la propuesta de mejora	15%	1-5	Número de máquinas que se beneficiarían con la estandarización del mantenimiento
TOTAL	100%		

Nota: Elaboración propia

Tabla 9
Clasificación de criticidad

Índice	Nivel de criticidad	Prioridad
1.00 – 1.80	Muy baja	E
1.81 – 2.60	Baja	D
2.61 – 3.40	Media	C
3.41 - 4.20	Alta	B
4.21 – 5.00	Muy alta	A

Nota: Elaboración propia

Tabla 10
Matriz de criticidad por modelo

Modelo	Valor 35 %	Demanda de mantto. 25 %	Impacto operativo 25 %	Alcance de mejora 15 %	Nivel de criticidad	Clasificación
LM 90	2	4	3	2	2.75	Media
LM 75	2	1	2	2	1.75	Muy baja
UDR 650	1	2	2	1	1.5	Muy baja
T 100	2	3	3	3	2.65	Media
GEO 95	2	2	1	3	2.15	Baja
LF 230	1	3	1	2	1.65	Muy baja
GEO 3000	5	4	5	5	4.75	Muy alta

La Tabla 10 muestra que la GEO 3000 presenta el mayor nivel de criticidad, con un índice corregido de 4.75. Este resultado se debe principalmente a que sus 30 unidades representan el 71.43 % de las 42 perforadoras de la empresa. Asimismo, concentra una mayor demanda de mantenimiento y su paralización puede afectar significativamente el avance de los proyectos de perforación. Por ello, la propuesta aplicada a este modelo tendría un mayor alcance operativo, ya que permitiría estandarizar las actividades de mantenimiento en la mayor parte de la flota. En consecuencia, se seleccionó la GEO 3000 como objeto de estudio por su elevada representatividad e influencia en la continuidad de las operaciones.

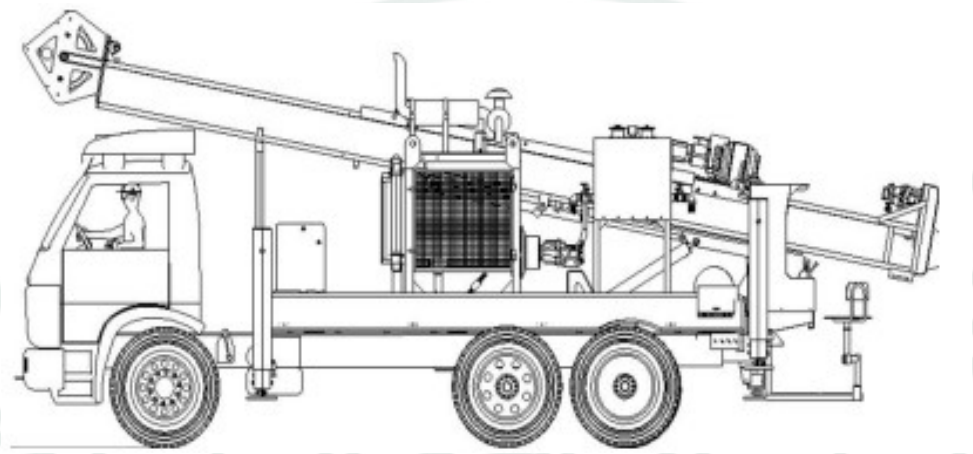
3.9. Características de la máquina perforadora GEO 3000

La máquina perforadora GEO 3000 es ensamblada en la empresa, tiene las siguientes características:

- Está diseñada para realizar perforación diamantina.
- La unidad se encuentra montada sobre un camión, lo que facilita su traslado.
- Gracias a sus dimensiones compactas, es sencilla de maniobrar en distintos terrenos.
- Tiene una capacidad de perforación de hasta 450 metros en línea HQ y 800 metros en línea NQ.
- Permite trabajar con ángulos de perforación que van desde 45° hasta 90°.
- Dispone de cuatro gatas hidráulicas que proporcionan mayor estabilidad durante la operación.
- Incorpora un panel de control tanto hidráulico como eléctrico.
- Cuenta con un tanque de combustible con capacidad de 158 galones (GL).
- Su caudal máximo alcanza los 140 litros por minuto (37 GPM).
- La presión máxima de operación es de 7.0 MPA (1000 PSI).

- Posee velocidades de avance rápida y lenta, ambas con control variable para adaptarse a las condiciones de trabajo.

Figura17
Esquema - Máquina GEO 3000



Nota: Máquina montada en camión

Componentes:

- **Motor diésel Cummins con potencia de 260 HP o 215 HP, modelo 6CTA8.3-C215:**

  Motor diésel Cummins modelo 6CTA8.3-C215, con una potencia de entre 215 y 260 HP, encargado de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de los sistemas hidráulicos y operativos de la máquina perforadora.

Figura 18
Motor Cummins



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Unidad de rotación (caja de la unidad, chuck y caja de transmisión):**

Conjunto integrado por la carcasa de la unidad, el chuck y la caja de transmisión, encargado de generar y transmitir el movimiento de rotación a la sarta de perforación, proporcionando el torque necesario para la perforación del terreno.

Figura 19
Caja de la unidad de rotación



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

Figura 20
Chuck y Caja de transmisión



Nota: Componente de la máquina

- **Tanque hidráulico:**

Depósito destinado al almacenamiento del aceite hidráulico, encargado de suministrar el fluido necesario para el funcionamiento de los diferentes sistemas hidráulicos de la máquina, además de contribuir a su enfriamiento y filtración.

Figura 21
Tanque hidráulico



Nota: Componente de la máquina

- **Winche de izaje KPL:**

Sistema de elevación utilizado para el izaje y descenso de barras, tuberías y herramientas de perforación, facilitando las maniobras de operación de forma segura y eficiente.

Figura 22
Winche de izaje KPL



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Carrete wireline:**

Equipo encargado de almacenar, enrollar y desenrollar el cable wireline, utilizado para recuperar el tubo interior y las muestras de testigo desde el interior del pozo sin necesidad de retirar toda la sarta de perforación.

Figura 23
Carrete Wireline



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Dual pump drive:**

Sistema de accionamiento diseñado para operar simultáneamente dos bombas hidráulicas, permitiendo una distribución eficiente de la potencia y

garantizando el funcionamiento adecuado de los distintos sistemas de la perforadora.

Figura 24
Dual pump drive



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Base deslizante:**

Estructura móvil que permite el desplazamiento controlado de la unidad de perforación sobre la plataforma, facilitando su posicionamiento, ajuste y operación durante los trabajos de perforación.

Figura 25
Base deslizante



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Tren de poleas:**

Conjunto de poleas y cables que guía y distribuye las cargas durante las operaciones de izaje, permitiendo un movimiento eficiente y seguro de las herramientas y componentes de perforación.

Figura 26
Tren de poleas



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Bombas hidráulicas:**

Las bombas hidráulicas transforman la energía del motor en presión hidráulica para accionar los diferentes sistemas de la perforadora.

a) Bombas primarias: Alimentan los sistemas de mayor demanda, como el winche, el wireline, el avance rápido y el mezclador de lodos, permitiendo las principales operaciones de perforación.
b) Bombas secundarias: Suministran energía a los mecanismos auxiliares, como las gatas de estabilización, el sistema de inclinación y desplazamiento del castillo, la grampa, el chuck, la llave hidráulica y el avance fino.
c) Bomba hidrostática: Se encarga del sistema de rotación, proporcionando el torque y la velocidad necesarios para girar la sarta de perforación.

d) Bomba auxiliar: Alimenta el sistema chamber, responsable de controlar el avance y el empuje aplicado durante la perforación.

Figura27
Bombas hidráulicas



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Chamber para bomba de lodos:**

Sistema encargado de transmitir y regular la potencia hacia la bomba de lodos, permitiendo controlar su funcionamiento para garantizar el suministro adecuado del fluido de perforación durante la operación.

Figura 28
Chamber para bomba de lodos



Nota: Componente de la máquina GEO 3000

- **Mezclador de lodos con tina:**

Equipo utilizado para preparar y homogeneizar los fluidos de perforación, asegurando una mezcla uniforme de agua y aditivos para mantener.

Figura29
Mezclador de lodos



Nota: Componente complementario de la máquina GEO 3000

3.10. Datos de indicadores

La condición actual de la gestión de mantenimiento aplicada a la máquina GEO 3000 será evaluada mediante los indicadores que se presentarán posteriormente. Sin embargo, antes de desarrollar dichos indicadores, es necesario considerar algunos aspectos relevantes que permiten contextualizar el análisis realizado.

Durante el periodo de recopilación de información para la presente investigación, la empresa desarrolló actividades operativas en dos proyectos mineros: Michiquillay y Arcata. El proyecto Michiquillay inició sus operaciones en octubre de 2024 y culminó en febrero del 2025 con 3 máquinas. Este proyecto se encuentra ubicado en el distrito de La Encañada, departamento de Cajamarca, teniendo como cliente principal a la empresa minera Southern Perú. Como parte de

los acuerdos establecidos al inicio del contrato, se contempló la habilitación de 140 plataformas destinadas a la ejecución de 140 sondajes diamantinos.

En el periodo considerado para la investigación, comprendido entre enero y diciembre de 2025, el proyecto Arcata contó con una operación simultánea de entre 4 y 3 máquinas perforadoras. La cantidad de equipos asignados fue definida en función de los acuerdos comerciales, negociaciones y decisiones operativas establecidas entre la empresa contratista y el cliente. Cada sondaje ejecutado alcanzó una profundidad aproximada de 700 metros.

Asimismo, es relevante señalar que en enero y febrero de 2025 fue considerado un periodo atípico dentro de las operaciones de la empresa de perforación. Esta situación se originó debido a conflictos sociales entre la compañía minera y la población local, lo que ocasionó que el proyecto Michiquillay solo pueda ejecutar las actividades hasta febrero del 2025. Como consecuencia, se presentó una disminución significativa en el avance de perforación respecto a los niveles registrados durante los meses anteriores, ya que el proyecto Arcata recién inicio en marzo del 2025 con 3 máquinas y a partir del mes de abril hasta diciembre de 2025 se tuvo 4 máquinas en el punto.

3.10.1. Indicador: Disponibilidad

Con base en la información recopilada durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2025, correspondiente a un total de 3 a 4 máquinas perforadoras GEO 3000 que operaron en los dos proyectos de estudio, fue posible determinar la disponibilidad mecánica de los equipos. Para ello, se analizaron los registros de horas efectivas de operación y los tiempos de inactividad ocasionados por la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. El detalle de las horas de operación de cada una de las perforadoras se presenta en el Anexo 1. Asimismo, en la tabla 11 se muestra un resumen mensual de la información recopilada, incluyendo los valores de disponibilidad mecánica obtenidos para cada periodo evaluado.

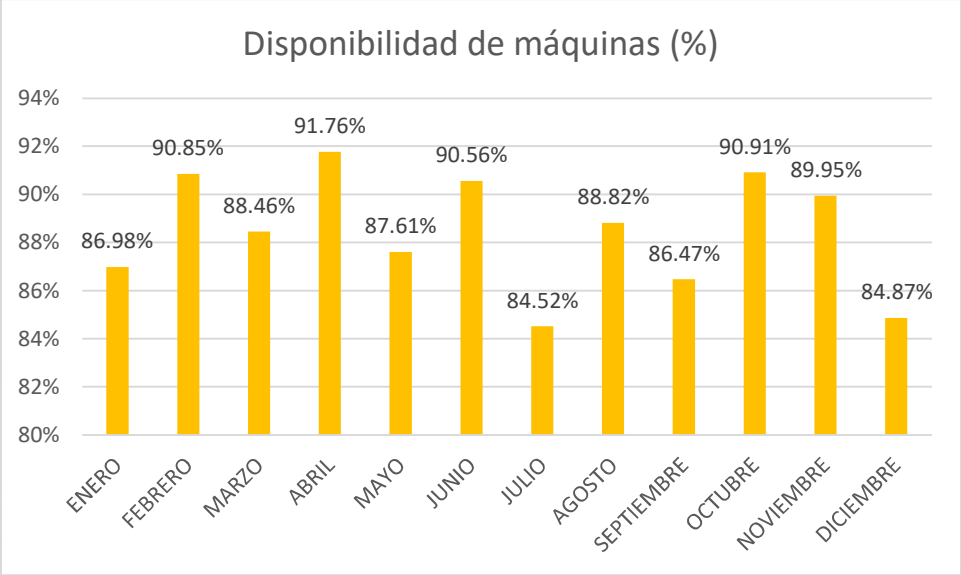
Tabla 11
Disponibilidad mecánica

Proyecto	Máquinas	Mes	Tiempo perforando (Hr)	Tiempo mantenimiento (Hr)	Tiempo total (Hr)	Disponibilidad de máquinas (%)
MICHIQUILLAY	4	ENERO	955	143	1098	86.98%
MICHIQUILLAY	3	FEBRERO	1241	125	1366	90.85%
ARCATA	3	MARZO	920	120	1040	88.46%
ARCATA	4	ABRIL	1660	149	1809	91.76%
ARCATA	4	MAYO	1485	210	1695	87.61%
ARCATA	4	JUNIO	1305	136	1441	90.56%
ARCATA	4	JULIO	1392	255	1647	84.52%
ARCATA	4	AGOSTO	1390	175	1565	88.82%
ARCATA	4	SEPTIEMBRE	1253	196	1449	86.47%
ARCATA	4	OCTUBRE	1701	170	1871	90.91%
ARCATA	4	NOVIEMBRE	1342	150	1492	89.95%
ARCATA	4	DICIEMBRE	1346	240	1586	84.87%
					Promedio	88.48%

Nota: Disponibilidad mecánica mensual de enero a diciembre del 2025. Elaboración propia

En la figura 30 se presenta la disponibilidad mecánica mediante una representación gráfica.

Figura30
% Disponibilidad mecánica



Nota: Elaboración propia

La Figura 30 presenta el comportamiento mensual de la disponibilidad mecánica de las máquinas GEO 3000 durante el período comprendido entre enero y diciembre de 2025. Del análisis de los resultados se identifica que el menor nivel de disponibilidad se registró en julio, con un valor de 84.52 %, mientras que el mayor porcentaje alcanzó el 91,76 % en abril. Sin embargo, este periodo corresponde los primeros meses en donde se integró al nuevo proyecto Arcata, claramente se hizo un mantenimiento previo en taller para que las máquinas asignadas puedan estar en proyecto.

Asimismo, la Tabla 11 resume el promedio de disponibilidad mecánica obtenido durante todo el período de evaluación, alcanzando un valor de 88.48 %. Este resultado evidencia una brecha de 6.52 puntos porcentuales respecto al objetivo mínimo establecido por la empresa y avalado por (Banda, Sanchez, & Ramos, 2024), equivalente al 95 %, lo que refleja deficiencias en

el desempeño del proceso de mantenimiento de estos equipos. En ese contexto, los resultados obtenidos demuestran la necesidad de implementar acciones de mejora orientadas a optimizar la gestión del mantenimiento de las máquinas GEO 3000, con la finalidad de incrementar su disponibilidad mecánica, reducir las interrupciones operativas y cumplir con el estándar de desempeño requerido para garantizar la continuidad y calidad del servicio brindado a los clientes.

Los bajos niveles de disponibilidad mecánica generaron un impacto económico negativo para la empresa, debido a que las prolongadas paralizaciones de las máquinas perforadoras por mantenimientos correctivos redujeron las horas efectivas de operación. Asimismo, se identificaron deficiencias en la gestión de la información, puesto que parte del personal técnico no culmina oportunamente el registro de las intervenciones realizadas. Esta situación se relaciona con la falta de formatos adecuados y la limitada disponibilidad de conexión en los proyectos, lo que ocasiona la pérdida de datos relevantes y dificulta la actualización del historial de mantenimiento, el seguimiento de las fallas y el cálculo confiable de los indicadores.

Como consecuencia, se dejó de ejecutar una cantidad considerable de metros de perforación cada mes, afectando directamente la productividad y los ingresos generados por la prestación del servicio.

Para estimar el impacto económico ocasionado por la baja disponibilidad mecánica, se consideró que las máquinas perforadoras alcanzan un rendimiento promedio de 1,3 metros por cada hora efectiva de operación. Asimismo, se tomó como referencia un valor de venta de USD 130,00 por metro perforado, sin considerar el IGV. Con base en estos parámetros, se calcularon los metros que dejaron de perforarse como consecuencia de las paradas operativas y, posteriormente, la pérdida de ingresos asociada a dicha condición. Los resultados evidencian que el efecto económico generado es significativo para la empresa. En la tabla 12 se presentan los

valores mensuales correspondientes a los metros no perforados y la estimación de la pérdida económica atribuible a la baja disponibilidad mecánica de las máquinas objeto de estudio.

Tabla 12
Perdidas de ingreso económico por baja disponibilidad mecánica

Mes	Tiempo mantenimiento (Hr)	Disponibilidad de máquinas (%)	Metros no perforados por baja disponibilidad	Pérdida de ingresos por baja disponibilidad
ENERO	143	86.98%	185.9	$ 24,167.00
FEBRERO	125	90.85%	162.5	$ 21,125.00
MARZO	120	88.46%	156	$ 20,280.00
ABRIL	149	91.76%	193.7	$ 25,181.00
MAYO	210	87.61%	273	$ 35,490.00
JUNIO	136	90.56%	176.8	$ 22,984.00
JULIO	255	84.52%	331.5	$ 43,095.00
AGOSTO	175	88.82%	227.5	$ 29,575.00
SEPTIEMBRE	196	86.47%	254.8	$ 33,124.00
OCTUBRE	170	90.91%	221	$ 28,730.00
NOVIEMBRE	150	89.95%	195	$ 25,350.00
DICIEMBRE	240	84.87%	312	$ 40,560.00
TOTAL	2069	88.48%	2689.7	$ 349,661.00

Nota: Perdida de ingreso mensual de enero a diciembre del 2025. Elaboración propia

De acuerdo con la información consignada en la tabla 12, las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo ejecutadas en las máquinas GEO 3000 acumularon un total de 2069 horas de inactividad durante el período de evaluación. La indisponibilidad de los equipos durante ese tiempo impidió el desarrollo normal de las operaciones de perforación, lo que se tradujo en una producción no ejecutada de 2689.7 metros. Al valorar esta producción no realizada con la tarifa de venta establecida por la empresa, se determinó una pérdida económica estimada en USD 349661 entre enero y diciembre de 2025. Estos resultados evidencian el impacto que tiene la baja disponibilidad mecánica sobre la productividad y la rentabilidad de las operaciones, justificando la necesidad de implementar mejoras en la gestión del mantenimiento.

3.10.2. Indicador: MTBF

Otro indicador fundamental para evaluar el estado actual de la gestión del mantenimiento de las máquinas perforadoras GEO 3000 es el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF). Este indicador permite determinar la confiabilidad operacional de los equipos al medir el intervalo promedio de funcionamiento entre la ocurrencia de una falla y la siguiente. Su análisis proporciona una visión más amplia del desempeño de las máquinas y facilita la identificación de oportunidades de mejora en las estrategias de mantenimiento implementadas.

En la tabla 13 se presentan los resultados obtenidos para este indicador.

Tabla 13
Indicador MTBF

Mes	Tiempo mantto. (Hr)	Tiempo perforando (Hr)	Tiempo total (Hr)	N° de intervenciones	MTBF (Hr)
ENERO	143	955	1098	24	39.79
FEBRERO	125	1241	1366	16	77.56
MARZO	120	920	1040	12	76.67
ABRIL	149	1660	1809	26	63.85
MAYO	210	1485	1695	48	30.94
JUNIO	136	1305	1441	21	62.14
JULIO	255	1392	1647	54	25.78
AGOSTO	175	1390	1565	32	43.44
SEPTIEMBRE	196	1253	1449	37	33.86
OCTUBRE	170	1701	1871	29	58.66
NOVIEMBRE	150	1342	1492	25	53.68
DICIEMBRE	240	1346	1586	50	26.92
				Promedio	49.44

Nota: Indicador MTBF mensual de enero a diciembre del 2025. Elaboración propia

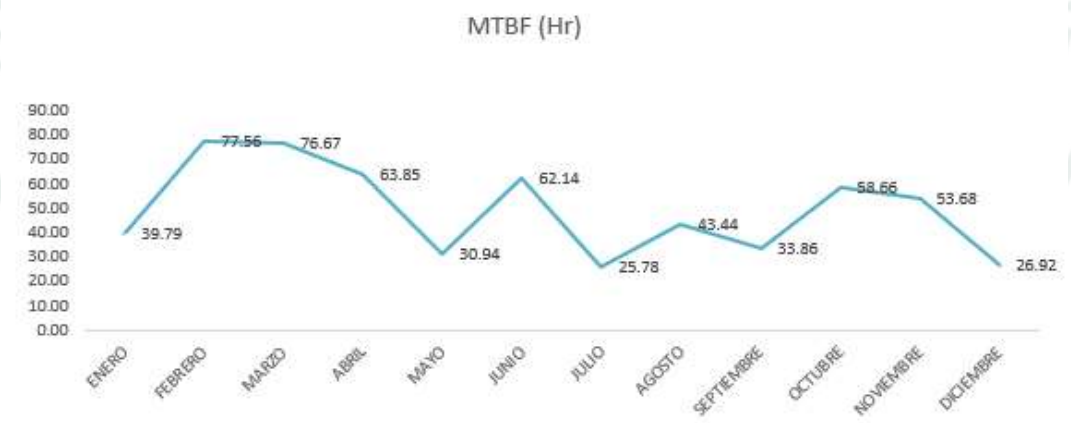
La información consignada resume el desempeño mensual de las máquinas perforadoras GEO 3000, considerando el tiempo acumulado de operación, las horas empleadas en actividades de mantenimiento, el número de intervenciones realizadas y el cálculo del indicador Tiempo

Medio Entre Fallas (MTBF). Para efectos del análisis, todas las variables de tiempo se expresan en horas.

Del mismo modo, se determina un MTBF promedio de 49.44 horas para el período evaluado. Este valor evidencia que las perforadoras, bajo las condiciones actuales de operación y mantenimiento, registran en promedio una nueva falla cada 49.44 horas de funcionamiento continuo, momento en el cual requieren una intervención por parte del personal de mantenimiento. En consecuencia, este indicador permite evaluar el nivel de confiabilidad de los equipos y constituye un parámetro de referencia para medir el impacto de futuras acciones de mejora.

Con la finalidad de analizar la evolución de este indicador durante el período de estudio, en la figura 31 se representa el comportamiento mensual del MTBF, permitiendo identificar su tendencia y las variaciones registradas a lo largo del año.

Figura31
Indicador MTBF



Nota: Elaboración propia

En la figura 31 se ilustra el comportamiento del indicador MTBF de las máquinas GEO 3000 durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2025. El análisis evidencia que

el mes de julio presentó el menor valor del indicador, registrando 25.78 horas, lo que indica que las fallas ocurrieron con mayor frecuencia y que el tiempo de operación entre una avería y la siguiente fue más reducido. En cambio, el mes de febrero alcanzó el valor máximo de 77.56 horas, reflejando un incremento en el intervalo de funcionamiento antes de la ocurrencia de una nueva falla, situación que representa una mayor confiabilidad del equipo durante dicho periodo.

La variación observada en el comportamiento del MTBF evidencia oportunidades de mejora en la gestión del mantenimiento aplicada a las máquinas GEO 3000. En ese sentido, resulta necesario establecer estrategias que permitan disminuir la recurrencia de las fallas y prolongar los periodos de operación continua, contribuyendo así a optimizar la confiabilidad y el desempeño operativo de los equipos.

3.10.3. Indicador: MTTR

El indicador MTTR permite determinar el tiempo promedio requerido para restablecer la operatividad de la máquina perforadora después de presentarse una falla. Este indicador comprende el intervalo transcurrido desde que el equipo es reportado como fuera de servicio hasta que las actividades de reparación concluyen y la máquina queda nuevamente disponible para reincorporarse a las operaciones de perforación.

Tabla 14
Indicador MTTR

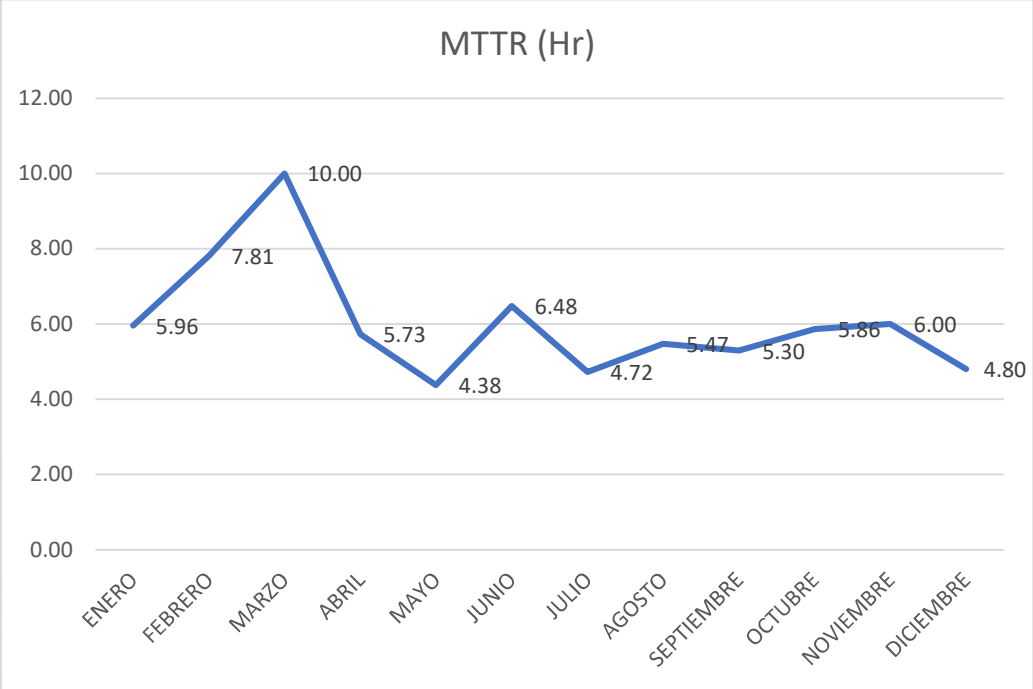
Mes	Tiempo mantenimiento (Hr)	N° de intervenciones	MTTR (Hr)
ENERO	143	24	5.96
FEBRERO	125	16	7.81
MARZO	120	12	10.00
ABRIL	149	26	5.73
MAYO	210	48	4.38
JUNIO	136	21	6.48
JULIO	255	54	4.72
AGOSTO	175	32	5.47
SEPTIEMBRE	196	37	5.30
OCTUBRE	170	29	5.86
NOVIEMBRE	150	25	6.00
DICIEMBRE	240	50	4.80
		Promedio	6.04

Nota: Indicador MTTR mensual de enero a diciembre del 2025. Elaboración propia

La tabla 14 presenta, de forma mensual, las horas empleadas en las actividades de mantenimiento, la cantidad de intervenciones realizadas y los valores correspondientes al indicador MTTR. Cabe precisar que todos los tiempos registrados y analizados se expresan en horas, lo que permite evaluar el tiempo promedio requerido para la ejecución de las reparaciones durante el periodo de estudio.

Posteriormente, en la figura 32, se ilustra la evolución mensual del indicador MTTR, con el propósito de analizar su comportamiento e identificar las variaciones registradas a lo largo del periodo evaluado.

Figura32
Indicador MTTR



Nota: Elaboración propia

La figura 32 presenta la evolución mensual del indicador MTTR durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2025. Del análisis realizado se identifica que el mes de marzo registró el mayor tiempo medio de reparación, alcanzando un valor de 10 horas. Este resultado indica que, durante dicho mes, las intervenciones efectuadas para corregir las fallas mecánicas en las máquinas perforadoras demandaron, en promedio, un mayor tiempo para restablecer la operatividad de los equipos. En contraste, mayo presentó el menor valor del indicador, con 4.38 horas, evidenciando una reducción significativa en el tiempo requerido para ejecutar las reparaciones y, por consiguiente, una mayor eficiencia en las labores de mantenimiento.

Asimismo, el análisis del periodo completo muestra que el MTTR promedio fue de 6.04 horas, tal como se aprecia en la Tabla 14. Este valor refleja que las actividades de reparación

requieren un tiempo considerable para restituir el funcionamiento de las máquinas. Si esta condición se combina con una alta frecuencia de fallas, el tiempo acumulado de indisponibilidad de los equipos se incrementa, afectando negativamente la disponibilidad mecánica y generando una disminución en la productividad, así como mayores pérdidas económicas para la empresa.

3.10.4 Análisis de metros perforados

De acuerdo con las condiciones establecidas en los contratos de perforación suscritos con los clientes, la Gerencia, en coordinación con el área de Operaciones, define mensualmente las metas de producción expresadas en metros perforados. Estas metas constituyen el parámetro para evaluar el cumplimiento del servicio y garantizar el desarrollo oportuno de las actividades comprometidas. Sin embargo, los objetivos programados no se alcanzan de manera constante debido a la reducida disponibilidad mecánica de las máquinas perforadoras, situación que limita la continuidad de las operaciones y afecta el rendimiento esperado.

En el Anexo 2 se presenta el detalle de los metros perforados ejecutados y los metros programados para cada una de las máquinas que operaron en los dos proyectos durante el periodo de estudio.

Posteriormente, en la Tabla 15 se expone un resumen correspondiente al periodo comprendido entre enero y diciembre de 2025, en el que se consolidan los metros perforados, los metros programados, los metros que dejaron de perforarse y el porcentaje de cumplimiento de la producción mensual, permitiendo evaluar el desempeño operativo de las máquinas en relación con las metas establecidas.

Tabla 15

Cumplimiento de metros perforados

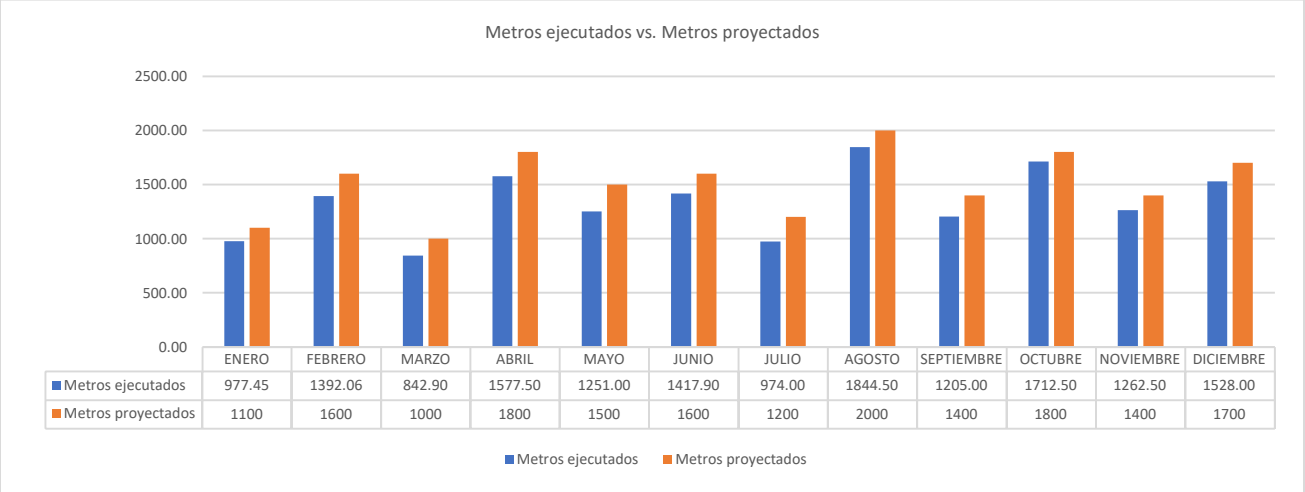
PROYECTO	N° MÁQUINAS	MES	Avance en metros				Metros proyectados	Metros no perforados	Cumplimiento de metros perforados
			PQ	HQ	NQ	Metros ejecutados			
MICHIQUILLAY	4	ENERO	63.35	312.00	602.10	977.45	1100.00	122.55	88.86%
MICHIQUILLAY	3	FEBRERO	226.51	550.55	615.00	1392.06	1600.00	207.94	87.00%
ARCATA	3	MARZO	12.20	204.00	626.70	842.90	1000.00	157.10	84.29%
ARCATA	4	ABRIL	79.00	853.20	645.30	1577.50	1800.00	222.50	87.64%
ARCATA	4	MAYO	0.00	1226.00	25.00	1251.00	1500.00	249.00	83.40%
ARCATA	4	JUNIO	0.00	960.65	457.25	1417.90	1600.00	182.10	88.62%
ARCATA	4	JULIO	10.00	206.00	758.00	974.00	1200.00	226.00	81.17%
ARCATA	4	AGOSTO	0.00	1323.50	521.00	1844.50	2000.00	155.50	92.23%
ARCATA	4	SEPTIEMBRE	0.00	1126.50	78.50	1205.00	1400.00	195.00	86.07%
ARCATA	4	OCTUBRE	25.00	1108.50	579.00	1712.50	1800.00	87.50	95.14%
ARCATA	4	NOVIEMBRE	35.00	1089.00	138.50	1262.50	1400.00	137.50	90.18%
ARCATA	4	DICIEMBRE	56.00	915.00	557.00	1528.00	1700.00	172.00	89.88%
								Promedio	87.87%

Nota: Las denominaciones PQ, HQ y NQ corresponden a los diferentes tipos de tubería utilizados en las operaciones de perforación, cuya selección depende del diámetro requerido para cada trabajo. En ese sentido, la tubería PQ posee un diámetro de 101 mm, la HQ un diámetro de 76 mm y la NQ un diámetro de 60 mm.

Con el propósito de facilitar el análisis de los resultados, en la figura 33 se presenta una comparación entre los metros efectivamente perforados y los metros programados para cada mes. Asimismo, en una figura adicional se ilustra la evolución mensual del porcentaje de cumplimiento de la producción, lo que permite apreciar el comportamiento de este indicador durante el periodo de estudio.

Figura 33

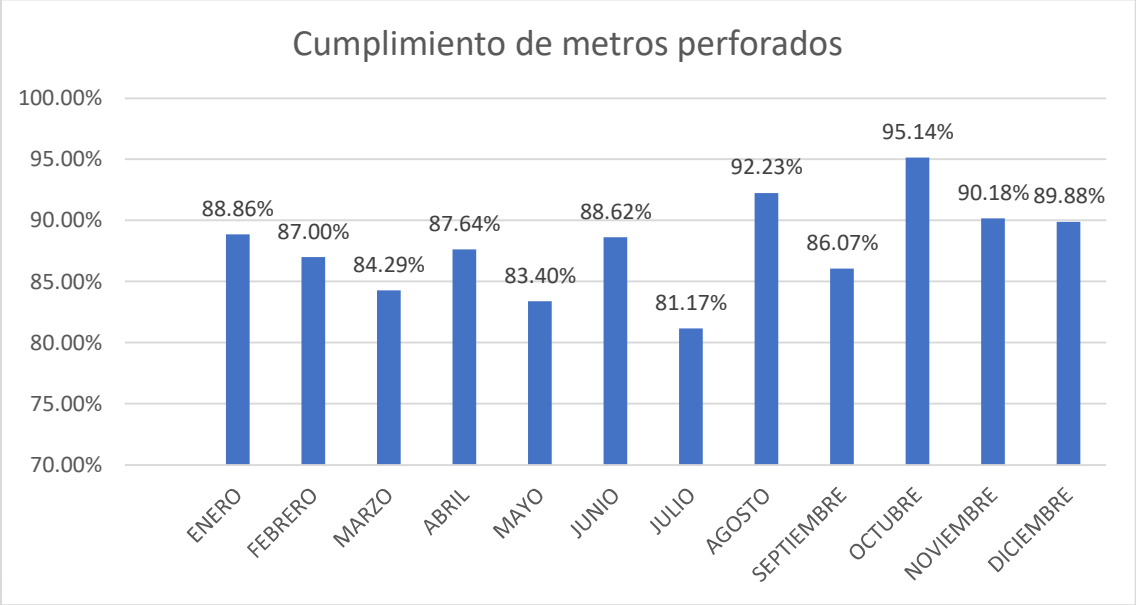
Comparativo entre los metros perforados y los metros proyectados



	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Metros ejecutados	977.45	1392.06	842.90	1577.50	1251.00	1417.90	974.00	1844.50	1205.00	1712.50	1262.50	1528.00
Metros proyectados	1100	1600	1000	1800	1500	1600	1200	2000	1400	1800	1400	1700

Nota: Elaboración propia.

Figura 34
Cumplimiento de metros perforados



Nota: Elaboración propia

A partir de las figuras 33 y 34, se evidencia que entre enero y diciembre de 2025 no se alcanzaron las metas mínimas de perforación establecidas por la empresa, ya que en ningún mes se logró cumplir con los metros programados.

Asimismo, el porcentaje de cumplimiento mostró variaciones a lo largo del periodo analizado. El valor más bajo se registró en el mes de julio, con un cumplimiento de 81.17 %, coincidiendo con el mes en el que se obtuvo la menor disponibilidad mecánica de las máquinas perforadoras, tal como se observa en la Figura 34. Esta relación sugiere que la disminución de la disponibilidad de los equipos tuvo un impacto directo en la capacidad de producción y, por consiguiente, en el logro de las metas de perforación.

Por otro lado, durante los meses de agosto, octubre y noviembre se aprecia una mejora en el porcentaje de cumplimiento respecto a los meses anteriores. Sin embargo, dicho incremento no fue suficiente para alcanzar los niveles mínimos de producción previstos por la organización.

En términos generales, el análisis del periodo de estudio revela un cumplimiento promedio de 87.87 %, equivalente a 2114.69 metros que dejaron de perforarse en relación con la meta establecida. Esta diferencia representa una disminución en la productividad de la operación y ocasiona un impacto económico negativo para la empresa, al reducir los ingresos esperados por la prestación del servicio de perforación.

Como consecuencia de los metros que dejaron de perforarse durante el periodo de estudio, la empresa experimentó una reducción en los ingresos esperados. En ese contexto, la tabla 16 presenta el detalle de la pérdida económica asociada a los metros no perforados.

Tabla 16
Perdida de ingreso por metros no perforados

MES	Metros ejecutados	Metros no perforados	Ingreso por metro perforado	Perdida de ingreso por metros no perforados
ENERO	977.45	122.55	$127,068.50	$15,931.50
FEBRERO	1392.06	207.94	$180,967.80	$27,032.20
MARZO	842.90	157.10	$109,577.00	$20,423.00
ABRIL	1577.50	222.50	$205,075.00	$28,925.00
MAYO	1251.00	249.00	$162,630.00	$32,370.00
JUNIO	1417.90	182.10	$184,327.00	$23,673.00
JULIO	974.00	226.00	$126,620.00	$29,380.00
AGOSTO	1844.50	155.50	$239,785.00	$20,215.00
SEPTIEMBRE	1205.00	195.00	$156,650.00	$25,350.00
OCTUBRE	1712.50	87.50	$222,625.00	$11,375.00
NOVIEMBRE	1262.50	137.50	$164,125.00	$17,875.00
DICIEMBRE	1528.00	172.00	$198,640.00	$22,360.00
TOTAL	**15985.31**	**2114.69**	**$2,078,090.30**	**$274,909.70**

Nota: Perdida de ingreso por metros no perforados de enero a diciembre del 2025. Elaboración propia.

De acuerdo con la información presentada en la tabla 16, se detalla de manera mensual la cantidad de metros efectivamente perforados, los metros que dejaron de ejecutarse y el impacto

económico asociado a esta diferencia. Para la estimación de las pérdidas se consideró un valor de 130 dólares por cada metro perforado, conforme a la tarifa establecida para el servicio.

En el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2025, se dejaron de perforar 2114.69 metros, lo que equivale a una pérdida de ingresos de USD 274909.7. Este resultado evidencia el efecto económico que genera el incumplimiento de las metas de producción, cuya principal causa corresponde a la baja disponibilidad mecánica de las máquinas perforadoras GEO 3000, condición que afectó la continuidad de las operaciones y redujo la capacidad de alcanzar los metros programados.

Tabla 17
Resumen de indicadores

RESUMEN DE INDICADORES	AÑO 2025
Disponibilidad mecánica	88.48%
Perdidas de ingreso por baja disponibilidad	$. 349661
MTBF	49.44
MTTR	6.04

Nota: Elaboración propia

3.11. Priorización de fallas de la perforadora GEO 3000

3.11.1 Clasificación de las fallas por sistema

Para realizar la priorización cuantitativa de las fallas registradas en las perforadoras GEO 3000 durante el año 2025, los eventos fueron clasificados de acuerdo con el sistema funcional afectado. Se consideraron los sistemas hidráulicos, de rotación, de potencia, eléctrico y de poleas y estructura. Como variable de evaluación se utilizaron las horas de indisponibilidad, debido a su relación directa con la disponibilidad de los equipos.

3.11.2. Análisis de Pareto

Tabla 18

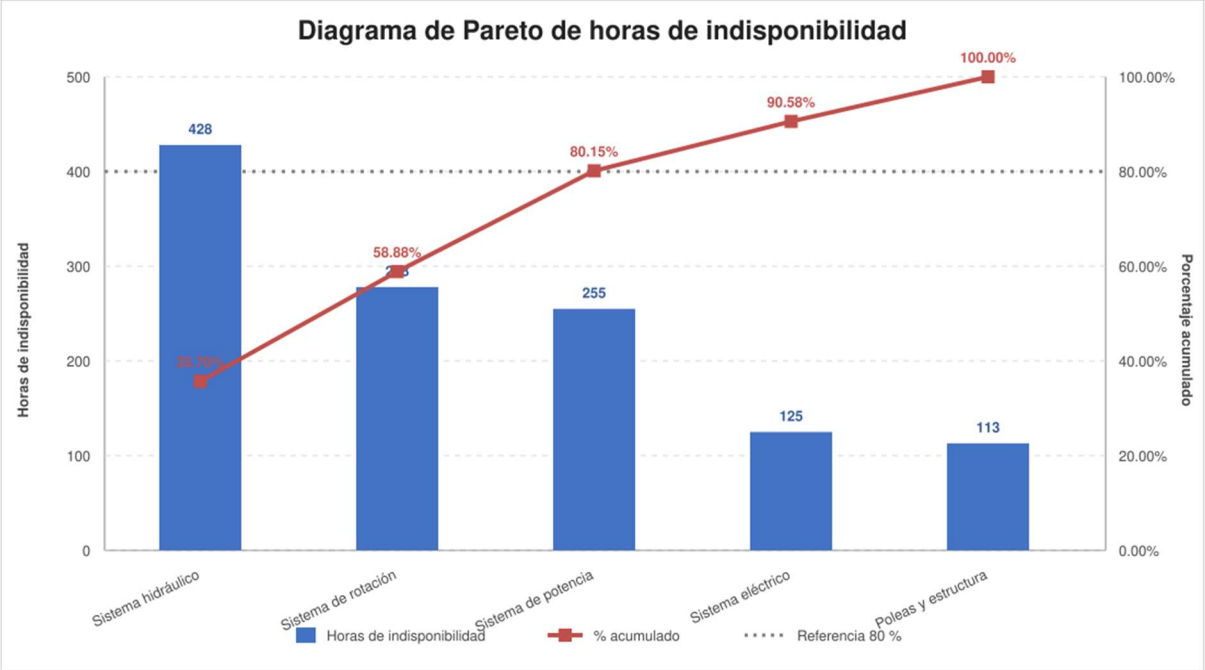
Horas de indisponibilidad por sistemas de la perforadora GEO 3000

Sistema funcional	Horas de indisponibilidad	% individual	% acumulado
Sistema hidráulico	428.00	35.70%	35.70%
Sistema de rotación	278.00	23.19%	58.88%
Sistema de potencia	255.00	21.27%	80.15%
Sistema eléctrico	125.00	10.43%	90.58%
Poleas y estructura	113.00	9.42%	100.00%
TOTAL	**1,199.00**	**100.00%**	**100.00%**

Nota: Elaboración propia

Figura 35

Diagrama de Pareto de las horas de indisponibilidad por sistema



Nota: El gráfico presenta las horas de indisponibilidad y el porcentaje acumulado correspondiente a los sistemas funcionales de las perforadoras GEO 3000 durante el periodo analizado. Elaboración propia con base en los registros de mantenimiento de la empresa.

El diagrama de Pareto permitió identificar que el sistema hidráulico presentó la mayor incidencia en la indisponibilidad de las máquinas perforadoras GEO 3000, con 428 horas, equivalentes al 35.70 % del total. Le siguieron el sistema de rotación, con 278 horas y una participación del 23.19 %, y el sistema de potencia, con 255 horas, que representaron el 21.27 %. En conjunto, estos tres sistemas concentraron el 80.15 % de las 1,199 horas de indisponibilidad analizadas. Por otro lado, los sistemas eléctricos y de poleas y estructura representaron conjuntamente el 19.85 % restante, por lo que fueron considerados de menor prioridad relativa dentro del análisis.

3.11.3. Análisis Causa – Raíz

Con la finalidad de identificar los factores que originan la ineficiente gestión del mantenimiento de las máquinas perforadoras GEO 3000 a continuación, se presenta el análisis de causa raíz. Este análisis permitirá determinar las causas fundamentales que afectan el desempeño del proceso de mantenimiento y servirán como base para el planteamiento de las acciones de mejora propuestas en la presente investigación.

Tabla 19

Análisis causa raíz de la ineficiencia gestión del mantenimiento de la máquina GEO 3000

Planteamiento del problema	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	Acción de mejora
¿Por qué es ineficiente la gestión del mantenimiento de las máquinas perforadoras GEO 3000?	La disponibilidad mecánica es inferior al objetivo establecido.	El mantenimiento preventivo y correctivo presenta diferencias en su gestión.	No existe una gestión estructurada del mantenimiento preventivo.	La programación preventiva no se ejecuta conforme a la frecuencia establecida y no cubre todos los sistemas críticos del equipo.	No se dispone de un sistema de planificación, seguimiento y control de actividades preventivas.	Diseñar e implementar un plan integral de mantenimiento preventivo.
				El diagnóstico de fallas, la atención de averías y las reparaciones presentan demoras.	No se cuenta con procedimientos estandarizados para reportar y atender oportunamente las fallas.	Implementar formatos estandarizados para el reporte y atención de averías.
			No existe una gestión eficiente del mantenimiento correctivo.	La reincidencia de fallas es elevada.	No se realiza un análisis sistemático de las causas que originan las averías.	Implementar un formato de análisis de averías.
				La disponibilidad de repuestos críticos es limitada.	No se planifica el abastecimiento de componentes de alta criticidad.	Implementar la gestión de repuestos críticos en cada proyecto.
			La gestión de repuestos es deficiente.	No se dispone de un stock mínimo de repuestos críticos.	Los repuestos no están clasificados según su nivel de criticidad.	Clasificar los repuestos y componentes de acuerdo con su criticidad.
			La gestión de la información es deficiente.	Los indicadores de mantenimiento no representan el desempeño real de los equipos.	La metodología utilizada para calcular la disponibilidad mecánica no se encuentra estandarizada.	Definir y estandarizar los indicadores de mantenimiento.
				La información técnica no se registra de forma adecuada.	No existe un procedimiento estandarizado para el registro del historial de mantenimiento.	Estandarizar los registros e historial de mantenimiento de los equipos y adaptarlo a un software.

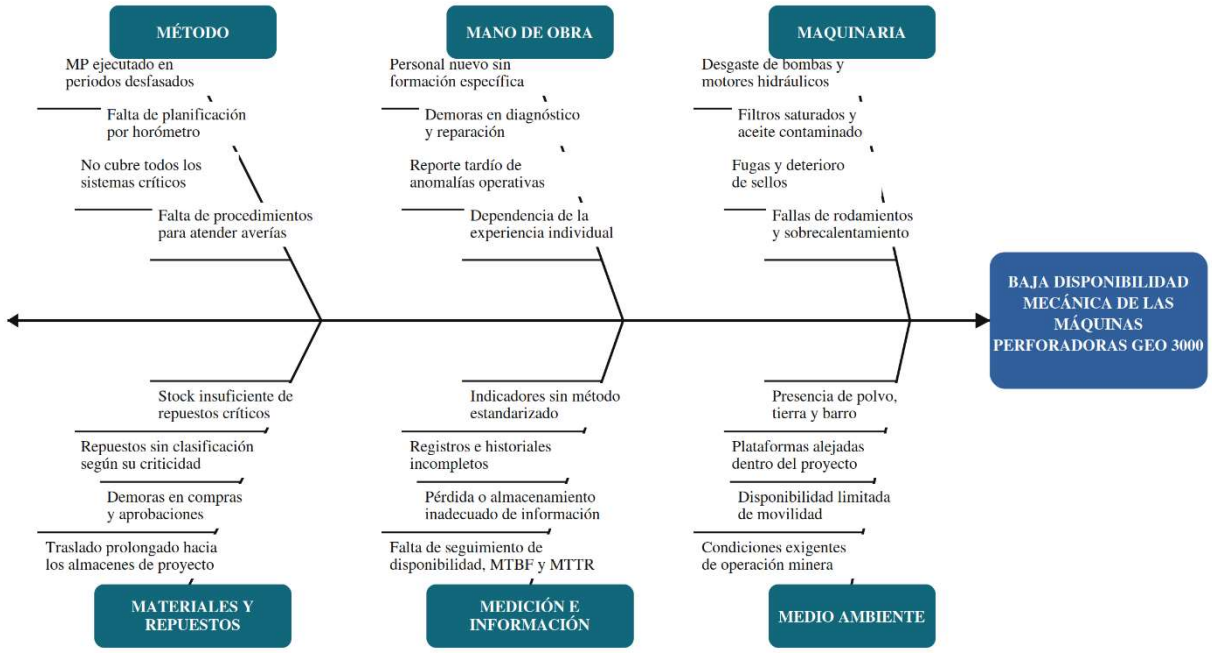
Nota: Elaboración propia

3.11.4. Diagrama de Ishikawa

Para complementar el análisis de los cinco porqués y representar de manera estructurada las causas relacionadas con la baja disponibilidad mecánica de las máquinas perforadoras GEO 3000, se elaboró un diagrama de Ishikawa. Las causas identificadas fueron agrupadas en las categorías método, mano de obra, maquinaria, materiales y repuestos, medición e información, y medio ambiente.

Figura36

Diagrama de Ishikawa de la baja disponibilidad mecánica de las máquinas perforadoras GEO 3000



Nota: Elaboración propia

3.12. Problemas identificados en la gestión de mantenimiento

Los resultados del análisis evidencian que la baja disponibilidad de las máquinas perforadoras GEO 3000 se relaciona principalmente con cuatro deficiencias de gestión. En primer lugar, no existe una planificación estructurada del mantenimiento preventivo de acuerdo con las frecuencias y los sistemas críticos del equipo. En segundo lugar, el mantenimiento correctivo presenta procedimientos insuficientes para registrar, atender y analizar las averías recurrentes. En tercer lugar, la gestión de repuestos no considera una clasificación por criticidad ni niveles mínimos de stock. Finalmente, los registros de mantenimiento y los indicadores utilizados no se encuentran adecuadamente estandarizados.

En consecuencia, la causa raíz del problema no corresponde únicamente a la ocurrencia de fallas mecánicas, sino a la ausencia de un sistema integral de gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad. Esta situación limita la planificación de las actividades preventivas, la identificación de fallas recurrentes, la disponibilidad de repuestos críticos y la toma de decisiones sustentada en información confiable.

A partir de las causas raíz identificadas, se establecieron como acciones de mejora el diseño de un plan integral de mantenimiento preventivo basado en horas de operación, la implementación de formatos estandarizados para el registro y análisis de averías, la clasificación y gestión de repuestos según su nivel de criticidad y la estandarización de los indicadores y registros de mantenimiento. Estas acciones constituyen la base para el desarrollo de la propuesta mediante la metodología RCM.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA

4.1. Estructura de la propuesta

A partir de los resultados del diagnóstico, el análisis de causa raíz y la identificación de las principales deficiencias de la gestión actual, se estructuró una propuesta de mejora basada en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). La propuesta comprende cinco líneas de intervención relacionadas entre sí: mantenimiento preventivo, gestión de repuestos, mantenimiento correctivo, gestión del personal y gestión de la información.

Tabla 20
Estructura general de la propuesta de mejora

Línea de intervención	Problema identificado	Acción propuesta	Resultado esperado
Gestión del mantenimiento preventivo	Programación preventiva desfasada y limitada principalmente al motor de combustión	Diseñar un programa preventivo por horómetro para intervalos de 250, 1,000, 2,000 y 5,000 horas, complementado con inspecciones diarias	Mayor control de las intervenciones y reducción de fallas imprevistas
Gestión de repuestos	Falta de clasificación y disponibilidad de repuestos críticos en los proyectos	Realizar el análisis de criticidad de los componentes y clasificar los repuestos según su necesidad de stock	Reducción del tiempo de espera por componentes y materiales
Gestión del mantenimiento correctivo	Demoras en el reporte, diagnóstico y reparación de averías, así como reincidencia de fallas	Implementar formatos de reporte de uso y averías, análisis de fallas y clasificación de prioridades	Atención oportuna de las averías y reducción del tiempo de reparación
Gestión de la información	Registros incompletos y cálculo inadecuado de los indicadores	Implementar un software para estandarizar los registros, historiales e indicadores de mantenimiento	Mayor trazabilidad de la información y mejor toma de decisiones

Las líneas de intervención propuestas se desarrollan en los siguientes apartados mediante la aplicación del diagrama de Pareto, el AMEF, el análisis de criticidad, las hojas de información y decisión RCM, los formatos de mantenimiento y los indicadores de control. La relación entre estas herramientas permite priorizar los sistemas y componentes críticos, seleccionar las tareas de mantenimiento y establecer mecanismos para su seguimiento.

4.2. Desarrollo de la propuesta

En este apartado se desarrollan las acciones, herramientas y formatos correspondientes a cada una de las líneas de intervención definidas en la estructura general de la propuesta.

4.2.1. Gestión de Mantenimiento preventivo

La propuesta de gestión del mantenimiento preventivo para las máquinas perforadoras GEO 3000 tiene como finalidad incrementar la confiabilidad operacional de los equipos mediante la planificación y ejecución sistemática de actividades preventivas.

4.2.1.1. Sistemas funcionales y codificación de los componentes

Estas acciones están orientadas a reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas, preservar las condiciones óptimas de funcionamiento de los componentes y prolongar la vida útil de los equipos, contribuyendo así a mejorar su disponibilidad y continuidad operativa.

- Sistema de Rotación
- Sistema Hidráulico
- Sistema de Potencia
- Sistema Eléctrico
- Poleas y Estructura

Tabla 21
Sistemas funcionales y componentes de la Máquina GEO 3000

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTES
MÁQUINA PERFORADORA GEO 3000	SISTEMA DE ROTACIÓN	Caja funk Chuck Motor hidráulico 6433-0111
	SISTEMA HIDRÁULICO	Pistón de avance Carrete wireline Bombas hidráulicas Winche de izaje KPL Motores hidráulicos Chamber bomba de lodos 360 Dual pump drive Carrete wireline Pistón de llave hidráulica Pistón de grampa hidráulica Válvulas Mangueras y conectores
	SISTEMA DE POTENCIA	Motor de combustión • Radiador • Turbo • Inyectores • Bomba de inyección • Bomba de agua • Bomba de combustible • Monoblock • Culata
	SISTEMA ELÉCTRICO	Baterías Alternador Arrancador Cables
	POLEAS Y ESTRUCTURA	Tren de poleas Base deslizante Guardas Estabilizador

Nota: Elaboración propia

Se estableció una codificación alfanumérica para identificar y controlar los componentes de la perforadora GEO 3000:

G3000-AA-BBB

- **G3000:** Identifica el modelo de la máquina perforadora.
- **AA:** Corresponde al código asignado al sistema funcional al que pertenece el componente.
- **BBB:** Representa el código de identificación del componente dentro del sistema funcional correspondiente.

Tabla 22
Codificación de componentes

Componente	Codificación
Motor de combustión (principal)	G3000-SP-MC
Caja Funk	G3000-SR-CF
Chuck Cylinder	G3000-SR-CC
Motor hidráulico 6433-0111	G3000-SR-MH6433
Bomba hidráulica 6423-460	G3000-SH-BH6423
Chamber bomba de lodos 360	G3000-SH-CB
Bomba hidráulica 70160-LBA	G3000-SH-BLBA
Motor hidráulico 193-0116-001	G3000-SH-MH193
Pistón de avance	G3000-SH-PA
Base deslizante	G3000-ET-BD
Dual Pump drive	G3000-SH-DP
Winche de izaje KPL	G3000-SH-WK
Motor hidráulico F12-060	G3000-SH-MHK
Carrete Wireline	G3000-SH-CW
Motor hidráulico 113-1057-006	G3000-SH-MH113
Pistón de llave hidráulica	G3000-SH-PLH
Pistón de grampa hidráulica	G3000-SH-PGH
Bomba hidráulica 70122-LBC	G3000-SH-BLBC
Bomba hidráulica 70553-LAR	G3000-SH-BLAR
Tren de poleas	G3000-PL-TP
Panel de control	G3000-SR-PC
Mixer de tina de lodos	G3000-ET-MTL
Motor hidráulico 101-1001-009	G3000-SH-MHTL
Tanque hidráulico	G3000-ET-TH

Nota: Elaboración propia

4.2.1.2. Fallas funcionales

A continuación, se presenta la relación de las principales fallas funcionales identificadas en las máquinas perforadoras GEO 3000 durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2025. La identificación de estas fallas se realizó a partir del análisis de los registros históricos del área de mantenimiento, utilizando como fuente principal el Registro de Fallas Anexo 5, documento que contiene información correspondiente a la Orden de Reparación (OR), proyecto, código de la máquina perforadora, descripción de la falla y fecha de ocurrencia.

Con el propósito de complementar y validar la información obtenida de los registros históricos, se consideró el criterio técnico del Supervisor de Mantenimiento, quien cuenta con más de diez años de experiencia en el mantenimiento de máquinas perforadoras GEO 3000. Para ello, se aplicó una guía de entrevista, la cual se presenta en el Anexo 6, permitiendo corroborar la información documentada e identificar aquellas fallas de mayor incidencia y relevancia operativa.

Finalmente, las fallas funcionales identificadas fueron clasificadas de acuerdo con los sistemas funcionales previamente definidos, constituyendo la base para el posterior análisis de criticidad y el desarrollo de la propuesta de mantenimiento basada en la confiabilidad.

A. Fallas en el Sistema de Rotación

- **Fallas en el Motor de Rotación**

  - Disminución de la potencia de la unidad de rotación debido a la obstrucción del filtro de aceite ocasionada por deformaciones físicas producto de impactos y por la acumulación de contaminantes.
  - Disminución de la potencia de la unidad de rotación como consecuencia de la obstrucción del filtro de aceite provocada por el desgaste propio de su vida útil.

- Pérdida de fluido hidráulico ocasionada por el deterioro de las mangueras y el aflojamiento de los conectores del circuito hidráulico.
- Reducción del desempeño de la unidad de rotación debido al desgaste progresivo de los componentes internos del motor hidráulico.

- **Fallas en la Unidad de Rotación**

- Insuficiente suministro de aceite al sistema de lubricación como consecuencia de fugas en la manguera de lubricación.
- Alteración del desempeño del sistema de lubricación debido a fluctuaciones en la presión de trabajo de las bombas lubricadoras.
- Deterioro de la capacidad de desplazamiento lateral ocasionado por el desgaste de los pistones de deslizamiento.
- Pérdida de rigidez estructural del husillo inferior, generando vibraciones durante la operación.
- Disminución de la estabilidad operativa de la unidad de rotación durante el proceso de perforación.
- Comportamiento vibratorio anormal de la unidad de rotación, afectando la precisión y continuidad de la perforación.
- Reducción de la capacidad de soporte y guiado de las baquelitas debido al desgaste progresivo originado por la fricción continua.

- **Fallas en la Caja Funk**

- Pérdida de la hermeticidad del sistema hidráulico debido a fisuras presentes en la carcasa.

- Disminución del nivel de aceite de transmisión ocasionada por derrames derivados de fugas en el sistema.
- Incremento de la fricción entre los retenes y los ejes como consecuencia de una lubricación insuficiente.
- Contaminación de los rodamientos por el ingreso de partículas externas, afectando su funcionamiento.
- Pérdida de la capacidad operativa de los rodamientos debido al desgaste asociado al término de su vida útil.

- **Fallas en el Chuck**

- Pérdida de la estanqueidad del sistema hidráulico y contaminación del *Chuck* como consecuencia del desgaste y deterioro de los sellos.
- Disminución de la presión de operación debido al deterioro de las empaquetaduras del sistema.
- Incremento de la temperatura de los rodamientos ocasionado por una lubricación insuficiente.
- Reducción de la capacidad de funcionamiento de los rodamientos como resultado del desgaste asociado al cumplimiento de su vida útil.
- Pérdida de la capacidad de sujeción del *Chuck* debido al agrietamiento y fractura de sus resortes.

B. Fallas en el Sistema Hidráulico

- **Fallas en las Bombas hidráulicas**

- Reducción del nivel de aceite hidráulico como consecuencia de la ausencia de inspecciones periódicas del sistema.

- Disminución del flujo de retorno del aceite debido a la saturación del filtro hidráulico de retorno de 10 micrones.
- Pérdida de la hermeticidad del circuito hidráulico ocasionada por fisuras en las mangueras hidráulicas.
- Pérdida de la estanqueidad del sistema hidráulico debido al aflojamiento de los conectores.
- Disminución de la presión de trabajo del sistema provocada por el funcionamiento deficiente de las válvulas de alivio.
- Contaminación del circuito hidráulico por el ingreso de partículas externas, tales como polvo, tierra y barro.
- Reducción de la capacidad de impulsión de la bomba hidráulica del *Chamber* debido al desgaste progresivo de sus componentes internos.
- Disminución del rendimiento de la bomba hidráulica del sistema de avance fino, grampas y gatas como consecuencia del desgaste de sus componentes internos.
- Pérdida de la eficiencia operativa de las bombas hidráulicas primarias y secundarias ocasionada por el desgaste de sus componentes internos.

- **Fallas en los Motores hidráulicos**

- Deterioro de las propiedades del aceite hidráulico debido a la presencia de agentes contaminantes en el sistema.
- Reducción de la capacidad de accionamiento del motor hidráulico del *Chamber* como consecuencia del desgaste progresivo de sus componentes internos.
- Disminución del desempeño del motor hidráulico del winche KPL ocasionada por el desgaste de sus componentes internos.

- Pérdida de eficiencia operativa del motor hidráulico del winche Wireline debido al desgaste asociado a sus componentes internos.
- Reducción del rendimiento del motor hidráulico de la tina de lodos como resultado del desgaste progresivo de sus componentes internos.

- **Fallas en el Chamber de agua 435**

- Incremento de la fricción entre los engranajes internos, afectando la transmisión eficiente del movimiento.
- Reducción del nivel y de la calidad del aceite como consecuencia de derrames y de la presencia de agentes contaminantes.
- Pérdida de la capacidad de sellado y soporte debido al desgaste de los asientos, *packing* y billas asociado al término de su vida útil.
- Pérdida de la integridad estructural de la culata del *Chamber* ocasionada por fisuras originadas por impactos mecánicos.

- **Fallas en los Winches de Izajes KPL y Wireline**

- Pérdida de la hermeticidad del sistema hidráulico evidenciada por la presencia de aceite debido a posibles fugas externas.
- Disminución de la estanqueidad y contaminación del winche KPL como consecuencia del desgaste y deterioro de los sellos.
- Pérdida de la capacidad de sellado y contaminación del winche Wireline ocasionadas por el desgaste progresivo de los sellos.
- Reducción de la capacidad de frenado del winche KPL debido al rayado y a las fracturas parciales de los discos húmedos.

- **Falla en el Pistón de Avance, Pistón de llave y grampa hidráulicas**

- Pérdida de la estanqueidad del pistón hidráulico debido al resecamiento y deterioro de sus sellos, ocasionando fugas de aceite hidráulico.
- Disminución de la capacidad de sellado de la llave hidráulica como consecuencia del desgaste y resecamiento de sus sellos, provocando pérdidas de aceite hidráulico.
- Contaminación del aceite hidráulico presente en el pistón de avance debido al ingreso de agentes contaminantes al sistema.

C. Fallas en el Sistema de Potencia

- **Fallas en el motor**

- Incremento de la temperatura de operación del motor debido a la insuficiente tensión de las fajas del ventilador.
- Imposibilidad de puesta en marcha del motor ocasionada por un nivel insuficiente de refrigerante.
- Pérdida de refrigerante como consecuencia de fugas en el sistema de enfriamiento.
- Disminución del nivel y de la capacidad lubricante del aceite del motor debido a pérdidas y degradación de su viscosidad.
- Restricción del suministro de combustible provocada por la contaminación del filtro de combustible.
- Reducción de la eficiencia del sistema de alimentación debido a la saturación del filtro separador de agua.

- Disminución del flujo de aceite de lubricación ocasionada por la obstrucción del filtro de aceite.
- Limitación del caudal de combustible debido a la saturación del filtro Racor.
- Reducción de la potencia del motor ocasionada por la obstrucción del filtro de aire primario como consecuencia de su desgaste.
- Disminución del rendimiento del motor debido a la obstrucción del filtro de aire secundario asociada a su desgaste.
- Interrupción parcial del flujo de combustible ocasionada por la obstrucción de los conductos debido a la presencia de impurezas.
- Elevación de la temperatura del motor provocada por el funcionamiento deficiente del radiador.
- Disminución del desempeño del motor debido a la pérdida de capacidad para desarrollar su potencia nominal.
- Reducción de la eficiencia de combustión ocasionada por la saturación y des calibración de los inyectores.
- Incremento de la temperatura del aceite del motor debido al funcionamiento deficiente del enfriador de aceite.

D. Fallas en el Sistema Eléctrico

- **Fallas en el motor de arranque**

- Imposibilidad de accionamiento del motor de arranque debido al agarrotamiento de sus rodamientos.
- Interrupción del suministro eléctrico ocasionada por la presencia de falsos contactos en los componentes internos del sistema.

- **Fallas en el alternador**

- Pérdida de la capacidad de generación eléctrica debido a la tensión inadecuada de las fajas de transmisión.
- Disminución de la capacidad de giro del alternador como consecuencia del desgaste progresivo de sus rodamientos.

- **Fallas en baterías**

- Imposibilidad de puesta en marcha del sistema debido a conexiones deficientes en los bornes de la batería.

- **Fallas para el encendido**

- Imposibilidad de puesta en marcha del sistema debido al deterioro del cableado eléctrico.
- Pérdida de la capacidad de accionamiento del sistema de parada de emergencia como consecuencia del deterioro de sus componentes.

E. Poleas y estructuras

- Incremento de las vibraciones estructurales debido al aflojamiento de los pernos de fijación.
- Disminución de la capacidad de izaje ocasionada por el desgaste progresivo de los cables de elevación.
- Restricción del desplazamiento del sistema de avance como consecuencia de una lubricación insuficiente en el carril de desplazamiento.
- Reducción de la capacidad de transmisión del mecanismo de avance debido al deterioro prematuro de la cadena de transmisión.

- Disminución de la capacidad de giro de la polea del Wireline ocasionada por el desgaste progresivo de sus rodamientos.

4.2.1.3. Medidas a adoptar según las fallas funcionales

En la tabla 23,24,25,26 y 27 se detallan las acciones preventivas planteadas, las cuales tienen como finalidad controlar las causas asociadas a las fallas identificadas, disminuir la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados y contribuir a la mejora de la confiabilidad operacional de las máquinas perforadoras.

Tabla 23
Acciones a tomar para las fallas en el Sistema de Rotación

Descripción de la falla			Descripción de la acción a tomar
Fallas en el sistema de rotación	Fallas en el Motor de rotación	Pérdida de potencia ocasionada por la obstrucción del filtro de aceite debido a deformaciones físicas e ingreso de contaminantes.	Inspeccionar el estado del filtro de aceite, realizar limpieza o reemplazo según condición encontrada.
		Disminución de potencia debido a la saturación del filtro de aceite por desgaste durante su vida útil.	Ejecutar el cambio programado del filtro de aceite de la unidad de rotación.
		Fuga hidráulica ocasionada por deterioro de mangueras y aflojamiento de conectores.	Realizar inspecciones periódicas de mangueras y conexiones hidráulicas, efectuando ajustes o reemplazos cuando sea necesario.
		Desgaste de componentes internos del motor hidráulico de la unidad de rotación.	Evaluar la condición interna del motor hidráulico y ejecutar el reemplazo del kit de reparación cuando corresponda.
		Reducción del nivel de aceite debido a fugas en la línea de lubricación.	Inspeccionar el circuito de lubricación y reemplazar la manguera deteriorada.
		Variaciones en la presión de operación de las bombas lubricadoras.	Verificar y calibrar la presión de trabajo de las bombas del sistema de lubricación.
	Fallas en la Unidad de Rotación	Deterioro de los pistones de deslizamiento lateral.	Inspeccionar el estado de los pistones y realizar su reemplazo cuando presenten desgaste.
		Vibraciones y pérdida de estabilidad del husillo inferior durante la operación.	Verificar el ajuste y alineamiento de la guía del husillo inferior.
		Inestabilidad durante el funcionamiento de la unidad de rotación.	Inspeccionar los elementos de fijación y asegurar la correcta sujeción de la unidad de rotación.
		Incremento excesivo de vibraciones en la unidad de rotación.	Ejecutar el alineamiento y ajuste de los componentes de la unidad de rotación.
		Desgaste de las baquelitas laterales debido a fricción continua.	Inspeccionar el desgaste de las baquelitas y realizar su reemplazo preventivo.
	Fallas en la Caja Funk	Fugas externas de fluido hidráulico ocasionadas por fisuras en la carcasa.	Inspeccionar periódicamente el estado de la carcasa de la Caja Funk y reemplazarla cuando presente fisuras o daños que comprometan su funcionamiento.
		Disminución del nivel de aceite de transmisión debido a pérdidas por fugas.	Verificar de forma periódica el nivel del aceite de transmisión y efectuar su reposición o cambio cuando sea necesario para garantizar una adecuada lubricación.
		Desgaste por fricción entre los retenes y los ejes provocado por una lubricación insuficiente.	Realizar el engrase programado de los retenes del cabezal para reducir la fricción y prolongar su vida útil.
		Contaminación de los rodamientos por ingreso de partículas o impurezas.	Ejecutar inspecciones periódicas a los rodamientos de la Caja Funk para detectar contaminación y prevenir fallas prematuras.
		Deterioro de los rodamientos debido al agotamiento de su vida útil.	Sustituir los rodamientos de la Caja Funk de acuerdo con los criterios establecidos en el plan de mantenimiento preventivo.
	Fallas en el Chuck	Fugas de fluido y contaminación del sistema de sujeción (Chuck) ocasionadas por el deterioro de los sellos.	Verificar periódicamente el estado de los elementos de sellado del Chuck y reemplazarlos cuando presenten desgaste que comprometa la estanqueidad del sistema.
		Disminución de la presión de trabajo originada por el deterioro de las empaquetaduras.	Evaluar las condiciones de las empaquetaduras durante las inspecciones preventivas y efectuar su renovación cuando evidencien pérdida de capacidad de sellado.
		Elevación de la temperatura en los rodamientos como consecuencia de una lubricación deficiente.	Garantizar la correcta aplicación del lubricante en los rodamientos del Chuck, respetando la frecuencia y cantidad establecidas en el plan de mantenimiento.
		Deterioro de los rodamientos del Chuck provocado por el desgaste asociado al tiempo de servicio.	Planificar el reemplazo preventivo de los rodamientos del Chuck antes de que finalice su vida útil para asegurar la continuidad operativa del equipo.
		Degradación de los resortes del Chuck manifestada mediante grietas, fracturas o deformaciones.	Sustituir los resortes que presenten daños estructurales con el propósito de mantener el correcto funcionamiento del mecanismo de sujeción.

Nota: Elaboración propia

Tabla 24

Acciones a tomar para las fallas en el Sistema Hidráulico

Descripción de la falla			Descripción de la acción a tomar
Falla en el sistema hidráulico	Falla en las bombas hidráulicas	Reducción del nivel de aceite hidráulico ocasionada por la ausencia de controles periódicos.	Establecer inspecciones rutinarias para verificar el nivel del aceite hidráulico y asegurar que se mantenga dentro de los parámetros recomendados por el fabricante.
		Obstrucción del filtro hidráulico de retorno 10Q debido a la acumulación de partículas contaminantes.	Sustituir el filtro hidráulico de retorno 10Q conforme a los intervalos definidos en el programa de mantenimiento para garantizar una adecuada filtración del fluido.
		Pérdidas de fluido hidráulico provocadas por el deterioro o agrietamiento de las mangueras.	Realizar inspecciones periódicas del estado de las mangueras hidráulicas e identificar oportunamente posibles fugas para evitar pérdidas de presión en el sistema.
		Escape de aceite hidráulico originado por conexiones hidráulicas con insuficiente ajuste.	Verificar el correcto acoplamiento y ajuste de los conectores de las mangueras hidráulicas, corrigiendo cualquier anomalía que pueda generar fugas.
		Disminución de la presión de trabajo debido a una regulación inadecuada de las válvulas de alivio.	Comprobar y calibrar las válvulas de alivio para asegurar que operen dentro de los rangos de presión establecidos para el sistema hidráulico.
		Acumulación de polvo, tierra y otros contaminantes sobre los componentes del circuito hidráulico.	Ejecutar labores de limpieza preventiva en las bombas hidráulicas para evitar la acumulación de agentes externos que puedan afectar su desempeño.
		Desgaste progresivo de los componentes internos de las bombas hidráulicas de avance fino, grampas y gatas.	Programar el reemplazo del kit de reparación de las bombas hidráulicas de avance fino, grampas y gatas con el propósito de restablecer su capacidad de funcionamiento.
		Pérdida de eficiencia en las bombas hidráulicas primarias y secundarias debido al desgaste de sus componentes internos.	Efectuar la sustitución del kit de reparación de las bombas hidráulicas primarias y secundarias para recuperar su desempeño y prolongar la confiabilidad del sistema.
	Falla en los motores hidráulicos	Deterioro de las propiedades del fluido hidráulico debido a la presencia de impurezas y agentes contaminantes.	Realizar la renovación del aceite hidráulico conforme a la periodicidad establecida en el plan de mantenimiento para preservar las condiciones óptimas de lubricación y funcionamiento del sistema.
		Pérdida de desempeño del motor hidráulico del Chamber ocasionada por el desgaste de sus componentes internos.	Sustituir el kit de reparación del motor hidráulico del Chamber cuando las inspecciones evidencien deterioro que afecte su rendimiento operativo.
		Degradación de los elementos internos del motor hidráulico del Winche KPL como consecuencia del uso continuo.	Programar el reemplazo del kit de reparación del motor hidráulico del Winche KPL para restablecer sus condiciones de funcionamiento y asegurar su confiabilidad.
		Pérdida de las condiciones operativas del motor hidráulico de la tina de lodos debido al desgaste de sus componentes internos.	Reemplazar el kit de reparación del motor hidráulico de la tina de lodos de acuerdo con los resultados de las inspecciones preventivas y los criterios establecidos por el fabricante, garantizando la continuidad de la operación.
	Falla en el chamber de agua 435	Incremento del rozamiento entre los engranajes internos debido a una lubricación insuficiente.	Implementar la lubricación periódica del Chamber 435 para minimizar el desgaste de los engranajes y garantizar un funcionamiento eficiente del mecanismo.
		Disminución del nivel y deterioro del aceite ocasionados por fugas y la incorporación de agentes contaminantes.	Renovar el aceite del Chamber cuando las inspecciones evidencien pérdida de sus propiedades o se cumpla el intervalo de mantenimiento establecido, asegurando una adecuada lubricación de los componentes internos.
		Aparición de fisuras en la culata del Chamber producto de impactos o esfuerzos mecánicos.	Verificar la integridad de la culata durante las inspecciones preventivas y reemplazarla cuando presente grietas o deformaciones que comprometan la operación del equipo.
	Falla en los winches de izaje KPL y wireline	Presencia de aceite hidráulico en el equipo como consecuencia de posibles fugas externas.	Llevar a cabo inspecciones sistemáticas para identificar y corregir oportunamente fugas de aceite hidráulico, evitando pérdidas de fluido y afectaciones al sistema.
		Pérdida de estanqueidad y contaminación interna del Winche KPL ocasionadas por el deterioro de los sellos.	Sustituir el kit de sellos del Winche KPL cuando las inspecciones evidencien desgaste o pérdida de su capacidad de sellado, garantizando la hermeticidad del sistema.
		Deterioro de los discos húmedos del sistema KPL, evidenciado por rayaduras y fracturas parciales.	Programar el reemplazo de los discos húmedos del KPL cuando presenten daños superficiales o estructurales que comprometan el correcto funcionamiento del mecanismo.
	Falla en el pistón de avance, pistón de llave hidráulica y grampa hidráulica	Fugas de aceite hidráulico en el pistón hidráulico ocasionadas por el endurecimiento y deterioro de los elementos de sellado.	Sustituir el kit de sellos del pistón hidráulico cuando se evidencie pérdida de elasticidad o desgaste que comprometa la hermeticidad y el correcto funcionamiento del componente.
		Pérdidas de fluido hidráulico en la llave hidráulica debido al envejecimiento o desgaste de los sellos.	Renovar el kit de sellos de la llave hidráulica durante las actividades de mantenimiento preventivo para garantizar un adecuado sellado y evitar fugas del sistema.
		Contaminación del aceite hidráulico presente en el pistón de avance que afecta el desempeño del sistema.	Realizar el reemplazo del aceite hidráulico del pistón de avance conforme a los intervalos de mantenimiento establecidos o cuando las inspecciones detecten pérdida de sus propiedades, asegurando el correcto funcionamiento del sistema hidráulico.

Nota: Elaboración propia

Tabla 25

Acciones a tomar para la falla en el Sistema de Potencia

Descripción de la falla			Descripción de la acción a tomar
Falla en el sistema de potencia	Falla en el motor	Incremento de la temperatura del motor ocasionado por el destensado de las fajas del ventilador.	Comprobar periódicamente la condición y tensión de las fajas del ventilador, efectuando el ajuste o sustitución cuando se detecten signos de desgaste o pérdida de tensión.
		Imposibilidad de poner en marcha el motor debido a una cantidad insuficiente de refrigerante.	Controlar el nivel del líquido refrigerante antes del inicio de la operación y restablecer su volumen o renovarlo cuando no cumpla las especificaciones técnicas.
		Pérdida de refrigerante provocada por fugas en el circuito de enfriamiento.	Inspeccionar de forma programada las mangueras, uniones y demás elementos del sistema de refrigeración para identificar deterioros y eliminar posibles fugas.
		Disminución del nivel de aceite y degradación de sus propiedades lubricantes.	Verificar el nivel y la condición del lubricante, efectuando su reemplazo dentro de los intervalos establecidos para conservar una adecuada lubricación del motor.
		Restricción del flujo de combustible debido a la contaminación del filtro principal.	Renovar el filtro de combustible conforme al programa de mantenimiento para asegurar un suministro limpio y continuo hacia el sistema de inyección.
		Saturación del filtro separador de agua por acumulación de contaminantes.	Sustituir el elemento filtrante para impedir el ingreso de agua e impurezas al circuito de combustible y preservar el funcionamiento del sistema.
		Obstrucción del filtro de aceite del motor.	Reemplazar el filtro de aceite durante cada servicio preventivo para garantizar la correcta circulación del lubricante.
		Saturación del filtro de combustible tipo Racor.	Realizar el cambio del filtro Racor de acuerdo con la vida útil recomendada, evitando restricciones en la alimentación de combustible.
		Reducción de la potencia del motor debido al deterioro o saturación del filtro de aire primario.	Evaluar periódicamente el estado del filtro de aire primario y reemplazarlo cuando su capacidad de filtración se encuentre comprometida.
		Disminución del desempeño del motor por obstrucción del filtro de aire secundario.	Sustituir el filtro de aire secundario de manera preventiva para asegurar un ingreso adecuado de aire limpio al motor.
		Obstrucción de las líneas de combustible ocasionada por sedimentos o partículas contaminantes.	Inspeccionar el estado de las tuberías de combustible y efectuar su limpieza cuando se detecte acumulación de impurezas que restrinjan el flujo.
		Sobrecalentamiento del motor originado por un deficiente desempeño del radiador.	Evaluar el estado del radiador y de sus conductos, realizando la limpieza de los elementos de intercambio térmico para optimizar la disipación del calor.
		Disminución del rendimiento del motor causada por el desgaste interno de sus componentes.	Ejecutar pruebas periódicas de compresión para determinar la condición mecánica del motor y detectar oportunamente pérdidas de eficiencia.
		Pérdida de potencia generada por la contaminación o des calibración de los inyectores.	Realizar la limpieza y calibración de los inyectores con la finalidad de recuperar el patrón de inyección y el desempeño del motor.
		Elevación de la temperatura del aceite debido al deterioro del enfriador de aceite.	Inspeccionar el funcionamiento del enfriador de aceite y reemplazar el componente, junto con sus empaques, cuando se evidencie una disminución de su capacidad de enfriamiento.

Nota: Elaboración propia

Tabla 26
Acciones a tomar para la falla en el sistema eléctrico

Descripción de la falla			Descripción de la acción a tomar
Falla en el sistema eléctrico	Falla en el Motor de Arranque	El motor de arranque no realiza el accionamiento debido al agarrotamiento de sus rodamientos.	Verificar periódicamente el estado de los rodamientos del motor de arranque, efectuando su sustitución cuando presenten desgaste, fricción excesiva o pérdida de movilidad.
		Interrupción del circuito eléctrico ocasionada por falsos contactos en los componentes internos del sistema de arranque.	Inspeccionar el funcionamiento y las conexiones del solenoide de arranque y del solenoide de precalentamiento para detectar deficiencias eléctricas que afecten la continuidad del circuito.
	Falla en el Alternador	El alternador no suministra la energía requerida debido a la pérdida de tensión de las fajas de transmisión.	Comprobar la tensión y el estado de las fajas del alternador, realizando el ajuste o reemplazo cuando se identifiquen signos de aflojamiento o deterioro.
		Deterioro de los rodamientos del alternador provocado por el desgaste durante la operación.	Evaluar periódicamente la condición de los rodamientos del alternador y reemplazarlos cuando presenten desgaste, holguras o anomalías que comprometan su funcionamiento.
	Falla en la batería	El sistema de arranque no se activa debido al aflojamiento de los bornes de la batería.	Inspeccionar el estado de los bornes de la batería y verificar el correcto apriete de las conexiones eléctricas para garantizar un suministro continuo de energía.
	Falla para el encendido	Imposibilidad de poner en marcha el equipo ocasionado por el deterioro de los conductores eléctricos.	Evaluar periódicamente la condición de los cables eléctricos, identificando daños en el aislamiento, corrosión o rupturas, y efectuar su reemplazo cuando sea necesario.
		La parada de emergencia no responde durante su accionamiento.	Comprobar el funcionamiento del sistema de parada de emergencia mediante inspecciones y pruebas operativas periódicas, verificando la integridad de sus componentes y conexiones eléctricas para asegurar su correcta activación en condiciones de emergencia.

Nota: Elaboración propia

Tabla 27
Acciones a tomar para la falla de poleas y estructura

Descripción de la falla		Descripción de la acción a tomar
Falla en poleas y estructuras	Aparición de vibraciones en la estructura debido al aflojamiento de los pernos de fijación.	Verificar periódicamente el torque de los pernos estructurales y efectuar el reapriete de las uniones que presenten pérdida de ajuste, de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
	Desgaste progresivo de los cables de izaje ocasionado por una lubricación insuficiente de las poleas.	Aplicar lubricación programada a la polea del sistema Wireline y a la polea del winche KPL para reducir la fricción y prolongar la vida útil de los cables de izaje.
	Bloqueo o dificultad en el desplazamiento del carro debido a la ausencia de lubricación en el carril de desplazamiento.	Inspeccionar el estado del carril de desplazamiento y realizar su lubricación periódica para asegurar un movimiento uniforme y minimizar el desgaste por fricción.
	Deterioro acelerado de la cadena del sistema de avance como consecuencia de una lubricación deficiente.	Ejecutar la lubricación preventiva de la cadena de transmisión del mecanismo de avance, garantizando una adecuada protección contra el desgaste y la corrosión durante la operación.
	Desgaste de los rodamientos de la polea del sistema Wireline que afecta su funcionamiento.	Evaluar la condición de los rodamientos de la polea Wireline mediante inspecciones periódicas y sustituirlos cuando presenten desgaste, holguras o anomalías que comprometan la operación del sistema.

Nota: Elaboración propia

4.2.1.4. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)

A partir de las funciones y fallas funcionales identificadas para los sistemas priorizados mediante el Diagrama de Pareto, se desarrolló el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF). Para cada componente se determinaron los modos de falla, sus causas y efectos, y se valoraron la severidad, ocurrencia y capacidad de detección. El Número de Prioridad de Riesgo se calculó mediante el producto de estos tres criterios, permitiendo establecer las fallas que requieren una intervención prioritaria y las acciones de mantenimiento correspondientes.

Tabla 28

Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) de los componentes críticos de la máquina perforadora GEO 3000

Actividad	Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D	NPR	Acciones	S	O	D	NPR
Sistema de rotación G3000-SR-MH6433 Motor hidráulico 6433-0111 Función: generar torque y velocidad de rotación.	Pérdida de potencia por filtro de aceite saturado.	Disminución de la rotación, menor rendimiento y posible paralización.	5	Suciedad, deformación física o desgaste normal del filtro.	4	Inspección del filtro y revisión de fugas y conexiones.	4	**80**	Revisar, limpiar o cambiar el filtro de aceite de la unidad de rotación.	5	3	4	**60**
Sistema de rotación G3000-SR-CF Caja Funk Función: transmitir potencia a la unidad de rotación.	Desgaste o contaminación de rodamientos.	Vibración, calentamiento, pérdida de transmisión y detención del equipo.	5	Falta de lubricación, ingreso de contaminantes o fin de vida útil.	3	Revisión de aceite, retenes y condición de rodamientos.	3	**45**	Engrasar retenes; revisar y cambiar los rodamientos de la Caja Funk.	5	2	3	**30**
Sistema de rotación G3000-SR-CC Chuck Cylinder Función: sujetar y liberar la sarta.	Fuga hidráulica por sellos o empaquetaduras desgastadas.	Pérdida de presión, sujeción deficiente y detención de la perforación.	4	Desgaste, contaminación o término de vida útil de sellos.	5	Inspección de fugas, presión, sellos y engrase de rodamientos.	3	**60**	Revisar y cambiar sellos o empaques; verificar y engrasar rodamientos.	4	3	3	**36**
Sistema hidráulico G3000-SH-BLBA Bomba hidráulica 70160-LBA Función: suministrar caudal y presión.	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Baja presión, movimientos lentos y paralización de funciones hidráulicas.	5	Aceite contaminado, ingreso de polvo o desgaste por uso.	5	Control de nivel, limpieza y revisión de presión y fugas.	4	**100**	Cambiar el kit de reparación y controlar la limpieza del aceite hidráulico.	5	4	4	**80**
Sistema hidráulico G3000-SH-CB Chamber bomba de lodos 360 Función: suministrar caudal de fluido.	Desgaste de asientos, packing y billas.	Pérdida de caudal, interrupción del proceso y mayor indisponibilidad.	5	Fin de vida útil, contaminación o lubricación insuficiente.	4	Revisión de aceite, engrase e inspección de fugas y piezas internas.	3	**60**	Cambiar asientos, packing y billas; cambiar aceite y engrasar el Chamber.	5	3	3	**45**
Sistema hidráulico G3000-SH-MH193 Motor hidráulico 193-0116-001 Función: convertir energía hidráulica en movimiento.	Desgaste de componentes internos del motor hidráulico.	Funcionamiento lento, pérdida de capacidad y parada del sistema asociado.	5	Contaminación del aceite y desgaste progresivo de piezas.	4	Control de contaminación del aceite y evaluación del desempeño.	5	**100**	Cambiar aceite contaminado y el kit de reparación del motor hidráulico.	5	3	5	**75**
Sistema de potencia G3000-SP-MC Motor de combustión principal Función: suministrar potencia a la perforadora.	Filtros saturados o inyectores descalibrados.	Bajo rendimiento, reducción del avance y posible parada del equipo.	5	Contaminación, mantenimiento tardío o combustible con impurezas.	2	Revisión de filtros, conductos, inyectores y compresión.	5	**50**	Cambiar filtros; limpiar conductos y calibrar los inyectores.	5	2	3	**30**
Sistema de potencia G3000-SP-MC Motor de combustión principal Función: operar en el rango normal de temperatura.	Sobrecalentamiento por fajas sueltas o radiador deficiente.	Pérdida de potencia, daño del motor y detención de la perforadora.	5	Falta de ajuste, suciedad del radiador o refrigeración insuficiente.	3	Inspección de fajas, refrigerante, mangueras y radiador.	4	**60**	Ajustar fajas, revisar refrigerante y limpiar o reparar el radiador.	4	2	4	**32**

Nota: Elaboración propia

4.2.1.5. Hojas de información y decisión RCM

Los resultados del diagrama de Pareto permitieron identificar los sistemas que concentran la mayor cantidad de horas de indisponibilidad. Posteriormente, mediante el análisis de criticidad, se priorizaron los componentes considerando el impacto de sus fallas. Los componentes clasificados con criticidad alta fueron seleccionados para el desarrollo del AMEF y de las hojas de información y decisión RCM.

A partir de esta selección y de los resultados del AMEF, se elaboró la hoja de información RCM de la máquina perforadora GEO 3000. En ella se definieron, para cada componente crítico, su función, falla funcional, modo de falla, causa probable, efecto de falla y controles existentes. Esta información constituye la base para la posterior elaboración de la hoja de decisión RCM y la selección de las tareas de mantenimiento.

Tabla 29

Hoja de información RCM de los componentes críticos de la máquina perforadora GEO 3000

N.º	Sistema	Código	Componente	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de falla	Controles existentes	NPR inicial
1	Sistema de rotación	G3000-SR-MH6433	Motor hidráulico 6433-0111	Generar el torque y la velocidad de rotación requeridos.	No entrega el torque o la velocidad requeridos.	Pérdida de potencia por filtro de aceite saturado.	Suciedad, deformación física o desgaste normal del filtro.	Disminución de la rotación, menor rendimiento y posible paralización de la perforación.	Inspección del filtro y revisión de fugas y conexiones.	80
2	Sistema de rotación	G3000-SR-CF	Caja Funk	Transmitir potencia hacia la unidad de rotación.	No transmite la potencia de manera estable.	Desgaste o contaminación de rodamientos.	Falta de lubricación, ingreso de contaminantes o fin de vida útil.	Vibración, calentamiento, pérdida de transmisión y detención del equipo.	Revisión de aceite, retenes y condición de rodamientos.	45
3	Sistema de rotación	G3000-SR-CC	Chuck Cylinder	Sujetar y liberar la sarta con la presión requerida.	No mantiene la presión o fuerza de sujeción.	Fuga hidráulica por sellos o empaquetaduras desgastadas.	Desgaste, contaminación o término de vida útil de sellos.	Pérdida de presión, sujeción deficiente de la sarta y paralización de la perforación.	Inspección de fugas, presión, sellos y engrase de rodamientos.	60
4	Sistema hidráulico	G3000-SH-BLBA	Bomba hidráulica 70160-LBA	Suministrar el caudal y la presión requeridos por el circuito hidráulico.	No suministra el caudal o la presión requeridos.	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Aceite contaminado, ingreso de polvo o desgaste por uso.	Baja presión, movimientos lentos y paralización de funciones hidráulicas.	Control de nivel, limpieza y revisión de presión y fugas.	100
5	Sistema hidráulico	G3000-SH-CB	Chamber bomba de lodos 360	Suministrar el caudal de fluido requerido durante la perforación.	No mantiene el caudal o la presión de trabajo.	Desgaste de asientos, packing y billas.	Fin de vida útil, contaminación o lubricación insuficiente.	Pérdida de caudal, interrupción de la circulación del fluido y paralización de la perforación.	Revisión de aceite, engrase e inspección de fugas y piezas dañadas.	60
6	Sistema hidráulico	G3000-SH-MH193	Motor hidráulico 193-0116-001	Convertir la energía hidráulica en movimiento y torque.	Entrega movimiento o torque insuficiente.	Desgaste de componentes internos del motor hidráulico.	Contaminación del aceite y desgaste progresivo de piezas.	Funcionamiento lento, pérdida de capacidad y detención del sistema asociado.	Control de contaminación del aceite y evaluación del desempeño.	100
7	Sistema de potencia	G3000-SP-MC	Motor de combustión (principal)	Suministrar potencia a la perforadora.	No entrega la potencia requerida.	Filtros saturados o inyectores descalibrados.	Contaminación, mantenimiento tardío o combustible con impurezas.	Bajo rendimiento, reducción del avance y posible parada del equipo.	Revisión de filtros, conductos, inyectores y compresión.	50
8	Sistema de potencia	G3000-SP-MC	Motor de combustión (principal)	Operar dentro del rango normal de temperatura.	No mantiene la temperatura normal de operación.	Sobrecalentamiento por fajas sueltas o radiador deficiente.	Falta de ajuste, suciedad del radiador o refrigeración insuficiente.	Pérdida de potencia, daño del motor y detención de la perforadora.	Inspección de fajas, refrigerante, mangueras y radiador.	60

Nota: Elaboración propia

Tabla 30

Hoja de decisión RCM de los componentes críticos de la máquina perforadora GEO 3000

N.º	Código	Componente	Modo de falla	¿Evidente durante la operación?	Consecuencia de la falla	Tipo de consecuencia	Control existente	Tarea recomendada	Frecuencia propuesta	Responsable	Decisión RCM	NPR inicial	NPR residual
1	G3000-SR-MH6433	Motor hidráulico 6433-0111	Pérdida de potencia por filtro de aceite saturado.	Sí	Reducción de la velocidad y del torque de rotación; puede detener la perforación.	Operacional	Inspección del filtro y revisión de fugas y conexiones.	Revisar, limpiar o cambiar el filtro de aceite de la unidad de rotación.	Cada 3 meses	Mecánico	Tarea a condición	80	60
2	G3000-SR-CF	Caja Funk	Desgaste o contaminación de rodamientos.	Sí	Vibración, calentamiento, pérdida de transmisión y detención del equipo.	Operacional	Revisión de aceite, retenes y condición de rodamientos.	Engrasar retenes; revisar y cambiar los rodamientos de la Caja Funk según condición.	Cada 250 h	Mecánico	Tarea a condición y restauración	45	30
3	G3000-SR-CC	Chuck Cylinder	Fuga hidráulica por sellos o empaquetaduras desgastadas.	Sí	Pérdida de presión y sujeción deficiente de la sarta; riesgo de interrupción de la operación.	Seguridad y operacional	Inspección de fugas, presión, sellos y engrase de rodamientos.	Revisar y cambiar sellos o empaques; verificar y engrasar rodamientos.	Diaria y cada 250 h	Mecánico	Tarea a condición	60	36
4	G3000-SH-BLBA	Bomba hidráulica 70160-LBA	Desgaste de componentes internos de la bomba.	Sí	Baja presión, movimientos lentos y paralización de funciones hidráulicas.	Operacional	Control de nivel, limpieza y revisión de presión y fugas.	Cambiar el kit de reparación y controlar la limpieza del aceite hidráulico.	Diaria y cada 250 h	Mecánico	Tarea a condición y restauración	100	80
5	G3000-SH-CB	Chamber bomba de lodos 360	Desgaste de asientos, packing y billas.	Sí	Pérdida de caudal e interrupción de la circulación del fluido de perforación.	Operacional	Revisión de aceite, engrase e inspección de fugas y piezas dañadas.	Cambiar asientos, packing y billas; cambiar aceite y engrasar el Chamber.	Cada 250 h	Mecánico	Tarea a condición y restauración	60	45
6	G3000-SH-MH193	Motor hidráulico 193-0116-001	Desgaste de componentes internos del motor hidráulico.	Sí	Pérdida de movimiento o torque y detención del sistema asociado.	Operacional	Control de contaminación del aceite y evaluación del desempeño.	Cambiar aceite contaminado y el kit de reparación del motor hidráulico.	Cada 250 h	Mecánico	Tarea a condición y restauración	100	75
7	G3000-SP-MC	Motor de combustión (principal)	Filtros saturados o inyectores descalibrados.	Sí	Bajo rendimiento, reducción del avance y posible parada del equipo.	Operacional	Revisión de filtros, conductos, inyectores y compresión.	Cambiar filtros; limpiar conductos y calibrar los inyectores.	Según manual / cada 250 h	Mecánico	Tarea de sustitución programada	50	30
8	G3000-SP-MC	Motor de combustión (principal)	Sobrecalentamiento por fajas sueltas o radiador deficiente.	Sí	Pérdida de potencia, daño del motor y detención de la perforadora.	Operacional	Inspección de fajas, refrigerante, mangueras y radiador.	Ajustar fajas; revisar refrigerante y limpiar o reparar el radiador.	Diaria y cada 250 h	Mecánico	Tarea a condición	60	32

Nota: Elaboración propia

Los resultados muestran que la mayoría de los modos de falla pueden gestionarse mediante tareas a condición, debido a que su deterioro puede identificarse durante la operación a través de inspecciones de fugas, presión, temperatura, vibración, contaminación del aceite y pérdida de rendimiento. Para los componentes con desgaste interno se propusieron tareas a condición acompañadas de restauración, mientras que para los filtros del motor de combustión se estableció una sustitución programada. Estas decisiones permiten orientar el mantenimiento hacia la detección oportuna del deterioro y reducir las horas de indisponibilidad asociadas a los sistemas hidráulico, de rotación y de potencia.

4.2.1.6. Plan de Mantenimiento preventivo

Con base en los resultados obtenidos durante el análisis previo, se diseñaron los formatos de inspección diaria y de mantenimiento preventivo para frecuencias de 250, 1000, 2000 y 5000 horas de funcionamiento. Dichos formatos reúnen las actividades preventivas propuestas para los diferentes sistemas de la máquina que se presentan a continuación.

Figura37
Formato de inspección diaria

MANTENIMIENTO PREVENTIVO – INSPECCIÓN DIARIA MÁQUINA PERFORADORA GEO 3000	VERSIÓN 1 FECHA REVISIÓN 10-May-25

FECHA:	ENCARGADO:
MÁQUINA:	PROYECTO:
TURNO: A ☐ B ☐	HORÓMETRO/KM:

Actividades	Realizado	Estado				Comentarios	
		Bueno	Regula	Malo	N/A		
Sistema de rotación							
Verificar el nivel de aceite de transmisión							
Aplicar lubricante a los retenes del cabezal							
Inspeccionar los empaques y sellos							
Inspeccionar filtros							
Inspeccionar carcasa							
Aplicar lubricante en sello rotativo							
Sistema hidráulico							
Verificar nivel de aceite hidráulico							
Inspeccionar mangueras hidráulicas							
Inspeccionar conectores de las mangueras							
Inspeccionar fugas de aceite							
Sistema de potencia							
Inspeccionar el nivel de aceite de motor							
Inspeccionar fajas del ventilador							
Inspeccionar fajas del refrigerante							
Sistema eléctrico							
Verificar funcionamiento de luces							
Verificar parada de emergencia							
Inspeccionar indicadores del tablero							
Poleas y estructura							
Verificar perneria floja							
Aplicar lubricante en grampa hidráulica							
Aplicar lubricante en polea Wireline							
Aplicar lubricante en polea de winche KPL							

Observaciones:

V°B° Mecánico	V°B° Operador	V°B° Residente
Nombre:	Nombre:	Nombre:

Nota: Elaboración propia

Figura 38

Formato de mantenimiento preventivo de 250 horas

MANTENIMIENTO PREVENTIVO - 250 HORAS MÁQUINA PERFORADORA GEO 3000	VERSIÓN 1 FECHA REVISIÓ 10-May-25

FECHA:	ENCARGADO:
MÁQUINA:	PROYECTO:
TURNO: A ☐ B ☐	HORÓMETRO/KM:

Actividades 250 horas	Realizado	Estado				Requiere			Comentarios	
		Bueno	Regular	Malo	N/A	C	L	E		
Sistema de rotación										
Verificar el nivel de aceite de transmisión										
Verificar pistones de deslizamiento lateral										
Aplicar lubricante en retenes de cabezal										
Verificar sellos y empaques de Chuck										
Inspeccionar presión de bomba de lubricación										
Revisar ajuste del husillo inferior										
Verificar mangueras y conectores										
Limpiar filtro de la unidad de rotación										
Sistema hidráulico										
Verificar nivel de aceite hidráulico										
Inspeccionar fugas de aceite										
Aplicar lubricante Chamber 435										
Sistema de potencia										
Inspeccionar el nivel de aceite de motor										
Inspeccionar fajas del ventilador										
Inspeccionar fajas del refrigerante										
Reemplazar el aceite de motor										
Reemplazar filtro de combustible										
Reemplazar filtro separador de agua										
Reemplazar filtro de aceite de motor										
Reemplazar filtro de combustible racor										
Verificar conductos y radiador										
Verificar conductos de combustible										
Sistema eléctrico										
Verificar fajas de alternador										
Verificar bornes de baterías										
Validar funcionamiento de luces										
Verificar parada de emergencia										
Poleas y estructura										
Verificar pernería floja										
Aplicar lubricante en grampa hidráulica										
Aplicar lubricante en polea Wireline										
Aplicar lubricante en polea de winche KPL										

C= Cambio o reemplazo

L= Limpieza y engrase

E= Evaluación mayor

Observaciones:

V°B° Mecánico	V°B° Operador	V°B° Residente
Nombre:	Nombre:	Nombre:

Nota: Elaboración propia

Figura 39

Formato de mantenimiento preventivo de 1000 horas

MANTENIMIENTO PREVENTIVO - 1000 HORAS MÁQUINA PERFORADORA GEO 3000	VERSIÓN 1 FECHA REVISIÓN 10-May-25
FECHA: MÁQUINA: TURNO: A ☐ B ☐	ENCARGADO: PROYECTO: HORÓMETRO/HR:

Actividades 1000 horas	Realizado	Estado				Requiere			Comentarios
		Bueno	Regular	Malo	N/A	C	L	E	
Sistema de rotación									
Sustituir el cambio de aceite de la transmisión									
Sustituir el filtro de la unidad de rotación									
Inspeccionar el estado de las pistas del sistema de deslizamiento lateral									
Lubricar los rodamientos del Chuck mediante la aplicación de grasa									
Verificar el estado de los sellos y empaque del Chuck									
Verificar boquillas laterales de base de deslizamiento									
Comprobar la presión de funcionamiento de la bomba de lubricación									
Inspeccionar el estado de los rodamientos de la Caja turk									
Verificar el ajuste de la guía del husillo inferior									
Sistema hidráulico									
Verificar el nivel de aceite del sistema hidráulico									
Inspeccionar la presencia de fugas de aceite en el sistema hidráulico									
Revisar el estado del filtro hidráulico de retorno de 100									
Realizar el cambio del aceite de Charvter									
Sustituir los asientos, empaques y billas de Chamber									
Sustituir kit de reparación del motor y bomba hidráulica de chamber									
Ajustar la regulación de las válvulas de alivio									
Sistema de potencia									
Verificar el estado y la tensión de las fajas del ventilador									
Comprobar el nivel del liquido refrigerante									
Realizar el cambio del aceite del motor									
Sustituir el filtro de combustible									
Reemplazar el filtro separador de agua									
Cambiar el filtro de aceite del motor									
Sustituir el filtro de combustible tipo Racor									
Inspeccionar el estado de los conductos y del radiador del sistema de refrigeración									
Verificar la conexión de los conductos de combustible									
Sistema eléctrico									
Verificar y ajustar la tensión de las fajas del alternador									
Inspeccionar el estado y ajuste de las bornas de las baterías									
Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de iluminación									
Verificar la operatividad del sistema de parada de emergencia									
Poleas y estructura									
Verificar el ajuste de los pernos de fijación									
Lubricar el carril de desplazamiento mediante la aplicación de grasa									
Realizar el cambio del aceite del winche IPL									
Lubricar la grampa hidráulica mediante la aplicación de grasa									
Engrasar la polea del sistema wireline									
Lubricar la polea del winche IPL mediante la aplicación de la grasa									

C- Cambio o reemplazo
L- Limpieza y engrase
E- Evaluación mayor

Observaciones:

Nombre: V°B° Mecánico

Nombre: V°B° Operador

Nombre: V°B° Residente

Nota: Elaboración propia

Figura 40

Formato de mantenimiento preventivo de 2000 horas

MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 2000 HORAS MÁQUINA PERFORADORA G&O 3800	VERSIÓN	1
	FECHA REVISIÓN	10-May-24

FECHA: **MÁQUINA:** **TURNO:** A B	**ENCARGADO:** **PROYECTO:** **HORÓMETRO:**

Actividades 2000 horas	Realizado	Estado				Requiere			Comentarios
		Bueno	Regular	Malo	N/A	C	L	E	
Sistema de rotación									
Sustituir el aceite de la caja de la transmisión									
Reemplazar el filtro de la unidad de rotación									
Inspeccionar el estado de los piñones del sistema de deslizamiento lateral									
Revisar el kit de la sellos del Chuck									
Cambiar los rodamientos de la caja bulk									
Sustituir el rodamiento del Chuck									
Comprobar la presión de la bomba de lubricación									
Inspeccionar las bajas en el aparaje de brazo de deslizamiento									
Revisar las mangueras de lubricación									
Reemplazar mastillo del Chuck									
Inspeccionar y cambiar según sea la unidad de rotación									
Reemplazar el kit de reparación del motor hidráulico de la unidad de rotación									
Sistema hidráulico									
Verificar el nivel de aceite del sistema hidráulico									
Inspeccionar la presencia de fugas de aceite en el sistema hidráulico									
Revisar el estado del bloqueo del filtro de retorno de 10Q									
Realizar el cambio del aceite de Chamber									
Sustituir los tuberías, mangueras y brida del Chamber									
Inspeccionar las mangueras hidráulicas									
Inspeccionar las conexiones hidráulicas									
Ajustar las válvulas de alivio									
Reemplazar kit de sello(LDR) y válvula unidirec									
Reemplazar kit de sello del eje en la válvula y pistón hidráulica									
Reemplazar kit de reparación en motor y bomba hidráulica de chamber									
Inspeccionar bombas hidráulicas									
Sistema de potencia									
Verificar el estado y la tensión de las fajas del ventilador									
Comprobar el nivel del liquido refrigerante									
Realizar el cambio del aceite del motor									
Sustituir el filtro de combustible									
Reemplazar el filtro separador de agua									
Cambiar el filtro de aceite lubricador									
Sustituir el filtro de combustible tipo Racor									
Reemplazar el filtro de aire primario									
Cambiar el filtro de aire secundario									
Verificar el estado del enfriador de aceite									
Examinar los conductos y el radiador									
Limpiar los conductos de combustible									
Sistema eléctrico									
Verificar y ajustar la tensión de las fajas del alternador									
Inspeccionar el estado y ajuste de los bornes del alternador									
Inspeccionar y sustituir los rodamientos del alternador									
Verificar y reemplazar los rodamientos del alternador									
Comprobar el funcionamiento de las luces									
Examinar el cableado de arranque									
Evaluar el cableado de procesamiento									
Verificar el funcionamiento de la parada de emergencia									
Poleas y estructura									
Verificar el juego de los pernos de fijación									
Buscar el carril de desplazamiento,mediante la aplicación de grasa									
Realizar el cambio del aceite del winche EPL									
Verificar la cadena de transmisión de avance									
Lubricar la garra hidráulica mediante la aplicación de la grasa									
Engrasar la polea del winche primario									
Lubricar la polea del winche EPL, mediante la aplicación de la grasa									
Inspeccionar el alojamiento del guía cable									

C= Cambio o reemplazo
L= Limpieza y engrase
E= Evaluación mayor

Observaciones:

Nombre: **V°B° Mecánico**

Nombre: **V°B° Operador**

Nombre: **V°B° Residente**

Nota: Elaboración propia

Figura 41
Formato de mantenimiento preventivo de 5000 horas

MANTENIMIENTO PREVENTIVO - 5000 HORAS MÁQUINA PERFORADORA GTO 3000	VERSIÓN 1 FECHA REVISIÓN 10-May-25

FECHA:	ENCARGADO:
MÁQUINA:	PROYECTO:
TURNO: A B	HORÓMETROXM:

Actividades 5000 horas	Realizado	Estado				Requiere			Comentarias	
		Bueno	Regular	Malo	N/A	C	L	E		
Sistema de rotación										
Verificar el cambio de aceite de la transmisión										
Reemplazar el filtro de la unidad de rotación										
Renovar las pistaas de desplazamiento lateral										
Lubricar las rótulas del cabezal										
Inspeccionar y reemplazar la carcasa de la caja funk										
Verificar las uñas del chuck										
Renovar boquillas laterales de base de deslizamiento										
Realizar el alineamiento de la unidad de rotación										
Sistema hidráulico										
Verificar el nivel de aceite del sistema hidráulico										
Inspeccionar la presencia de fugas de aceite en el sistema hidráulico										
Verificar el nivel de aceite hidráulico										
Limpiar el enfriador de aceite										
Reemplazar las mallas, packing y billas del Chamber										
Reemplazar culata de Chamber										
Reemplazar discos húmedos de KPL										
Renovar el de reparación de bomba hidráulicas de avance fino, rampas y grúas										
Renovar el de reparación de bomba hidráulicas primaria y secundaria										
Renovar el de reparación de motores hidráulicos de winche KPL										
Renovar el de reparación de motores hidráulicos de winche wireline										
Renovar el de reparación de motores hidráulicos de tina de lodos										
Sistema de potencia										
Verificar el estado y la tensión de las fajas del ventilador										
Comprobar el nivel del liquido refrigerante										
Realizar el cambio del aceite del motor										
Sustituir el filtro de combustible										
Reemplazar el filtro separador de agua										
Cambiar el filtro de aceite del motor										
Sustituir el filtro de combustible tipo Racer										
Reemplazar el enfriador de aceite y sus empaques										
Limpiar el radiador										
Revisar las conexiones de combustible										
Monitorear la compresión del motor										
Limpiar y calibrar los inyectores										
Sistema eléctrico										
Comprobar el funcionamiento de las luces										
Inspeccionar el estado de las cablaseléctricas										
Verificar el funcionamiento de la parada de emergencia										
Poleas y estructura										
Lubricar el carril de desplazamiento mediante la aplicación de grasa										
Realizar el cambio del cable del winche KPL										
Lubricar la cadena de transmisión de avance										
Lubricar la grampa hidráulica mediante la aplicación de grasa										
Engrasar la polea del sistema wireline										
Lubricar la polea del winche KPL mediante la aplicación de la grasa										

C= Cambio o reemplazo
L= Limpieza y engrase
E= Evaluación mayor

Observaciones:

V°B° Mecánico	V°B° Operador	V°B° Residente
Nombre:	Nombre:	Nombre:

Nota: Elaboración propia

Asimismo, antes de ejecutar las actividades de mantenimiento preventivo, es indispensable cumplir con una serie de acciones preliminares orientadas a garantizar la seguridad del personal y el adecuado desarrollo de los trabajos. Entre ellas se encuentran: utilizar los equipos de protección personal (EPP), completar el IPERC, ATS u otro documento de seguridad exigido por el cliente, ubicar la máquina perforadora sobre una superficie estable, aplicar el procedimiento de bloqueo y etiquetado mediante candado y tarjeta de seguridad, y delimitar el área de intervención.

Al finalizar las labores de mantenimiento preventivo, se deberán ejecutar las actividades de cierre correspondientes, las cuales comprenden reinstalar todas las guardas de protección de la máquina perforadora, retirar el sistema de bloqueo y etiquetado, poner en marcha el equipo verificando previamente que no exista personal no autorizado dentro del área delimitada, inspeccionar la ausencia de fugas, retirar la delimitación del área de trabajo y comunicar al residente la culminación del mantenimiento preventivo.

De igual manera, la ejecución eficiente de los mantenimientos preventivos programados requiere la disponibilidad oportuna de los repuestos, materiales e insumos necesarios. En la siguiente sección se detallan los recursos requeridos para el desarrollo de estas intervenciones.

Tabla 31

Mantenimiento preventivo 250 horas - Materiales e insumos

ITEM	MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza.
2	Filtro de petróleo PC 42 F53125	1	Pza.
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza.
4	Elemento Racor de petróleo FSP 2040-30	1	Pza.
5	Aceite de motor 15w40	5	Gal
6	Trapo industrial	2	Kg
7	Grasa multipropósito	2	Kg

Nota: Elaboración propia

Tabla 32

Mantenimiento preventivo 1000 horas - Repuestos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Billa para Chamber 435	6	Pza.
2	Seat Valve Chamber 435	6	Pza.
3	Packing Cylinder 435	3	Pza.
4	Seal kit para bomba 70160	1	Jgo
5	Seal kit para motor 193-0116-001	1	Jgo

Nota: Elaboración propia

Tabla 33

Mantenimiento preventivo 1000 horas - Materiales e insumos

ITEM	MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza.
2	Filtro de petróleo PC 42 F53125	1	Pza.
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza.
4	Elemento Racor de petróleo FSP2040-30	1	Pza.
5	Aceite de motor 15w40 y Chamber	6	Gal
6	Trapo industrial	2	Kg
7	Grasa multipropósito	2	Kg
8	Aceite SAE 80w90	1	Bal
9	Filtro de aceite PC211	1	Pza.
10	Aceite SAE 80w140	1	Gal

Nota: Elaboración propia

Tabla 34

Mantenimiento preventivo 2000 horas - Repuestos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Billa para chamber 435	6	Pza.
2	Seat valve chamber 435	6	Pza.
3	Packing cylinder 435	3	Pza.
4	Seal kit para bomba 70160	1	Jgo
5	Seal kit para motor 193-0116-001	1	Jgo
6	Kit de sellos de pulmón hidráulico GEO 3000	1	Jgo
7	Rodamiento 6210 ZNR	1	Pza.
8	Rodamiento 6211 ZNR	1	Pza.
9	Rodamiento 6207 ZNR	1	Pza.
10	Rodamiento 6308 ZNR	1	Pza.
11	Rodamiento 51134 M	1	Pza.
12	Resortes rojos p/sombrero de Chuck	10	Pza.
13	Shaft seal p/motor EATON6433	1	Jgo
14	Rodamiento 6901 de alternador de motor	2	Pza.
15	Rodamiento 4517 de arrancador de motor	2	Pza.
16	Kit de sellos p/winche KPL	1	Jgo
17	Kit de sellos p/winche wireline	1	Jgo

Nota: Elaboración propia

Tabla 35

Mantenimiento preventivo 2000 horas - Materiales e insumos

ITEM	MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza.
2	Filtro de petróleo PC 42 F53125	1	Pza.
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza.
4	Elemento Racor de petróleo FSP 2040	1	Pza.
5	Aceite de motor 15w40 y Chamber	6	Gal
6	Trapo industrial	2	Kg
7	Grasa multipropósito	2	Kg
8	Aceite SAE 80w90	1	Bal
9	Filtro de aceite PC211	1	Pza.
10	Filtro hidráulico 932670Q-10Q-TO	2	Pza.
11	Aceite SAE 80w140	1	Gal
12	Filtro de aire primario A-2405	1	Pza.
13	Filtro de aire secundario A-2405	1	Pza.
14	Aceite hidráulico SAE 46	3	Bal
15	Refrigerante para motor	5	Gal

Nota: Elaboración propia

Tabla 36

Mantenimiento preventivo 5000 horas - Repuestos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Billa para chamber 435	6	Pza.
2	Seat valve chamber 435	6	Pza.
3	Packing cylinder 435	3	Pza.
4	Pistones de deslizamiento	2	Pza.
5	Baquelitas laterales de base deslizamiento	1	Jgo
6	Culata de chamber 435	1	Pza.
7	Carcasa de caja funk	1	Pza.
8	Discos húmedos para winche KPL	4	Pza.
9	Shaft seal p/bomba 6423	1	Jgo
10	Seal kit p/bomba 70553	1	Jgo
11	Seal kit p/bomba 70122	1	Jgo
12	Seal kit p/motor 113-1057-006 delantero	1	Jgo
13	Seal kit p/motor 113-1057-006 posterior	1	Jgo
14	Seal kit p/motor 101-1001-009	1	Jgo
15	Enfriador de aceite con empaques p/motor	1	Jgo

Nota: Elaboración propia

Tabla 37

Mantenimiento preventivo 5000 horas - Materiales e insumos

ITEM	MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza.
2	Filtro de petróleo PC42 F53125	1	Pza.
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza.
4	Elemento racor de petróleo FSP 2040-30	1	Pza.
5	Aceite de motor 15w40 y chamber	6	Gal
6	Trapo industrial	2	Kg
7	Grasa multipropósito	4	Kg
8	Aceite SAE 80w90	1	Bal
9	Filtro de aceite PC211	1	Pza.
10	Aceite SAE 80w140	1	Gal

Nota: Elaboración propia

Tabla 38

Mantenimiento preventivo 5000 horas - Servicios externos

ITEM	SERVICIOS EXTERNOS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Medida de compresión de motor	1	Servicio
2	Calibración de inyectores de motor	1	Servicio

La programación de los mantenimientos preventivos de las máquinas perforadoras se efectuará con una periodicidad semanal, estableciendo previamente las fechas específicas para cada intervención. Esta actividad será responsabilidad del Asistente de Mantenimiento, quien se encargará de identificar las unidades que requieren mantenimiento durante la semana, así como el tipo de servicio preventivo que corresponde según el plan establecido y las horas de operación de cada equipo. Una vez definida la programación, se comunicará oportunamente al Residente de Proyecto el cronograma de intervención, con la finalidad de coordinar la disponibilidad de las máquinas y garantizar la ejecución de los trabajos sin afectar la continuidad de las operaciones.

En la figura 42 se presenta una cartilla diseñada para facilitar la programación semanal de los mantenimientos preventivos de las máquinas perforadoras GEO 3000. Este formato permite organizar y controlar las intervenciones programadas, identificando oportunamente las unidades que requieren mantenimiento, el tipo de servicio a ejecutar y las fechas establecidas para su realización, contribuyendo así a una adecuada planificación y seguimiento de las actividades de mantenimiento.

Figura 42

Programación Semanal de los Mantenimientos Preventivos

PROGRAMA SEMANAL - MANTENIMIENTO PREVENTIVO															
MES:			AÑO:												
ITEM	MÁQUINA	PROYECTO	SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3			SEMANA 4			
			Hr.	Día	Tipo de Mantto.	Hr.	Día	Tipo de Mantto.	Hr.	Día	Tipo de Mantto.	Hr.	Día	Tipo de Mantto.	
1	GEO 3000-41														
2	GEO 3000-48														
3	GEO 3000-68														
4	GEO 3000-71														
5	GEO 3000-83														
6	GEO 3000-101														
7	GEO 3000-104														
8	GEO 3000-106														
9															
10															

Nota: Elaboración propia

Con el propósito de mejorar el control y seguimiento de los mantenimientos preventivos de las máquinas perforadoras, se diseñó un Registro de Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo. Este documento permite consolidar la información esencial de cada intervención realizada, registrando datos como el horómetro, la fecha de ejecución y el tipo de mantenimiento efectuado. Asimismo, constituye un historial técnico de las actividades preventivas ejecutadas en cada equipo, facilitando la trazabilidad de las intervenciones, la verificación del cumplimiento del programa de mantenimiento y la toma de decisiones orientadas a optimizar la gestión del mantenimiento. En la figura 43 se presenta el formato propuesto.

Figura 43

Registro de Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo

REGISTRO DE CUMPLIMIENTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO MÁQUINA PERFORADORA GEO 3000						VERSIÓN FECHA REVISIÓN	1 10-May-25
MÁQUINA PERFORADORA:						**AÑO:**	
TIPO DE MANTENIMIENTO	**Realizado**	**Horómetro**	**Fecha**	**Ejecutado por**	**Lugar (Proyecto)**	**Próximo Mantto. (Hr)**	**Observación**
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP – 1000 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP – 2000 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP – 1000 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP – 2000 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP – 5000 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP – 1000 HORAS							
MP - 250 HORAS							
MP - 250 HORAS							

Nota: Elaboración propia

4.2.2. Gestión de Repuestos

Como parte de la propuesta de gestión de repuestos, se desarrollará un análisis de criticidad de los componentes que conforman la máquina perforadora Geo 3000. A partir de los resultados

obtenidos, los repuestos serán categorizados según el nivel de criticidad y los requerimientos de inventario, permitiendo establecer políticas de abastecimiento acordes con las necesidades de mantenimiento.

4.2.2.1. Análisis de criticidad

De acuerdo con la metodología planteada en la propuesta, el índice de criticidad (IC) se determinará mediante la multiplicación de la frecuencia de fallas (FF) por la consecuencia de la falla (CF). Previamente, será necesario calcular la consecuencia de falla correspondiente a cada uno de los componentes que integran la máquina perforadora Geo 3000, para lo cual se empleará la siguiente expresión matemática:

$$CF = IP + SS + CR + TR + TO$$

La tabla 39 muestra las ponderaciones correspondientes a los criterios de impacto en la seguridad y salud, costos de reparación, tiempo de reparación y tiempo de operación de los componentes de la máquina perforadora. La asignación de estos valores se realizó siguiendo los lineamientos metodológicos propuestos por Gasca et al. (2017), los cuales se detallan en el Anexo 3.

Tabla 39
Cálculo de la Consecuencias de la falla

Sistema funcional	Componente	Impacto en la producción (IP)	Seguridad y salud (SS)	Costo de reparación (CR)	Tiempo de reparación (TR)	Tiempo de operación (TO)	Consecuencia de falla (CF)
Sistema de rotación	Motor hidráulico 6433-0111	4	3	2	4	3	16
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 70160-LBA	4	2	1	4	3	14
Sistema de rotación	Chuck Cylinder	4	3	1	3	3	14
Sistema hidráulico	Chamber bomba de lodos 435	4	2	1	3	3	13
Sistema hidráulico	Motor hidráulico 193-0116-001	4	1	2	3	3	13
Sistema de rotación	Caja Funk	3	2	2	2	3	12
Sistema de potencia	Motor de combustión (principal)	4	2	2	4	3	15
Sistema hidráulico	Motor hidráulico F12 060	4	2	2	3	3	14
Sistema hidráulico	Motor hidráulico 113-1057-006	4	2	1	3	3	13
Sistema hidráulico	Carrete Wireline	3	1	1	3	3	11
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 6423-460	2	1	2	2	3	10
Sistema hidráulico	Motor hidráulico 101-1001-009	2	1	2	2	2	9
Sistema hidráulico	Winche de izaje KPL	3	1	1	2	2	9
Sistema hidráulico	Mixer de tina de lodos	1	1	1	1	3	7
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 70122-LBC	1	2	2	2	3	10
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 70553-LAR	1	2	2	2	3	10
Sistema hidráulico	Dual pump drive	4	1	1	2	2	10
Poleas y estructura	Tren de poleas	2	3	1	1	2	9
Sistema hidráulico	Pistón de avance	4	3	2	3	3	15
Sistema hidráulico	Pistón de grampa hidráulica	1	1	1	1	3	7
Sistema hidráulico	Pistón de llave hidráulica	1	1	2	1	2	7
Sistema hidráulico	Tanque hidráulico	2	1	1	1	2	7
Sistema hidráulico	Base deslizante	2	2	1	1	3	9
Sistema eléctrico	Panel de control	1	1	1	2	2	7

Nota: Elaboración propia

Una vez determinada la consecuencia de falla de cada componente, se calculará el índice de criticidad (IC), lo que permitirá establecer el nivel de criticidad correspondiente. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 40. La clasificación del nivel de criticidad se efectuó conforme a los criterios definidos en la matriz de criticidad, la cual se incluye en el Anexo 4.

Tabla 40

Cálculo de índice de criticidad y asignación del nivel de criticidad

Sistema funcional	Componente	Consecuencia de falla (CF)	Frecuencia de falla (FF)	Índice de criticidad (IC)	Nivel de criticidad
Sistema de rotación	Motor hidráulico 6433-0111	16	4	64	Alta
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 70160-LBA	14	4	56	Alta
Sistema de rotación	Chuck Cylinder	14	4	56	Alta
Sistema hidráulico	Chamber bomba de lodos 435	13	4	52	Alta
Sistema hidráulico	Motor hidráulico 193-0116-001	13	4	52	Alta
Sistema de rotación	Caja Funk	12	4	48	Alta
Sistema de potencia	Motor de combustión (principal)	15	3	45	Media
Sistema hidráulico	Motor hidráulico F12 060	14	3	42	Media
Sistema hidráulico	Motor hidráulico 113-1057-006	13	3	39	Media
Sistema hidráulico	Carrete Wireline	11	3	33	Media
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 6423-460	10	3	30	Media
Sistema hidráulico	Motor hidráulico 101-1001-009	9	3	27	Media
Sistema hidráulico	Winche de izaje KPL	9	3	27	Media
Sistema hidráulico	Mixer de tina de lodos	7	3	21	Baja
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 70122-LBC	10	2	20	Baja
Sistema hidráulico	Bomba hidráulica 70553-LAR	10	2	20	Baja
Sistema hidráulico	Dual pump drive	10	2	20	Baja
Poleas y estructura	Tren de poleas	9	2	18	Baja
Sistema hidráulico	Pistón de avance	15	1	15	Baja
Sistema hidráulico	Pistón de grampa hidráulica	7	2	14	Baja
Sistema hidráulico	Pistón de llave hidráulica	7	2	14	Baja
Sistema hidráulico	Tanque hidráulico	7	2	14	Baja
Sistema hidráulico	Base deslizante	9	1	9	Baja
Sistema eléctrico	Panel de control	7	1	7	Baja

Nota: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos, los componentes serán clasificados de acuerdo con el nivel de criticidad determinado.

A. Criticidad Alta

De acuerdo con la clasificación presentada en la tabla 41, los componentes considerados de alta criticidad requieren mantener un inventario mínimo de dos unidades en el proyecto. La disponibilidad inmediata de estos repuestos permitirá atender oportunamente cualquier falla que se produzca durante la operación de perforación, minimizando los tiempos de parada y contribuyendo a la continuidad de las actividades de mantenimiento y producción.

Tabla 41
Componentes de criticidad alta

N°	Componente	Stock mínimo	Ubicación
1	Chuck Cylinder	2	Alm. Proyecto
2	Caja Funk	2	Alm. Proyecto
3	Motor hidráulico 6433-0111	2	Alm. Proyecto
4	Bomba hidráulica 70160-LBA	2	Alm. Proyecto
5	Motor hidráulico 193-0116-001	2	Alm. Proyecto
6	Chamber bomba de lodos 435	2	Alm. Proyecto

Nota: Elaboración propia

B. Criticidad Media

En el caso de los componentes con criticidad media, se propone disponer de un stock mínimo equivalente a una unidad por cada componente. Estos repuestos deberán almacenarse en el almacén del proyecto para garantizar su disponibilidad oportuna durante las actividades de mantenimiento, contribuyendo a reducir los tiempos de espera y a mantener la continuidad de las operaciones.

Tabla 42
Componentes con criticidad media

N°	Componente	Stock mínimo	Ubicación
1	Motor de combustión (principal)	1	Alm. Proyecto
2	Motor hidráulico F12-060	1	Alm. Proyecto
3	Motor hidráulico 113-1057-006	1	Alm. Proyecto
4	Winche de izaje KPL	1	Alm. Proyecto
5	Carrete wireline	1	Alm. Proyecto
6	Bomba hidráulica 6423-460	1	Alm. Proyecto
7	Motor hidráulico 101-1001-009	1	Alm. Proyecto

Nota: Elaboración propia

C. Criticidad Baja

Para los componentes de baja criticidad, se propone mantener un stock mínimo de una unidad en el almacén central y trasladarla al proyecto cuando sea necesaria, optimizando así el espacio y los costos de inventario.

Tabla 43
Componentes con criticidad baja

N°	Componente	Stock mínimo	Ubicación
1	Pistón de llave hidráulica	1	Alm. Central
2	Tren de poleas	1	Alm. Central
3	Dual pump drive	1	Alm. Central
4	Mixer de tina de lodos	1	Alm. Central
5	Pistón de avance	1	Alm. Central
6	Pistón de grampa hidráulica	1	Alm. Central
7	Tanque hidráulico	1	Alm. Central
8	Bomba hidráulica 70122-LBC	1	Alm. Central
9	Bomba hidráulica 70553-LAR	1	Alm. Central
10	Base deslizante	1	Alm. Central
11	Panel de control	1	Alm. Central

Nota: Elaboración propia

4.2.2.2. Clasificación de repuestos según la necesidad de stock

Posteriormente, se efectuará la clasificación de los componentes considerando las siguientes categorías:

A. Repuestos A

   Esta categoría comprende los repuestos que, debido a la elevada criticidad de los componentes a los que pertenecen, deben mantenerse disponibles de forma permanente en el almacén del proyecto. Su almacenamiento en sitio garantiza una respuesta inmediata ante la ocurrencia de fallas, contribuyendo a reducir los tiempos de inactividad de los equipos y asegurar la continuidad de las operaciones.

Tabla 44
Repuestos tipo A

ITEM	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	N° DE PARTE	CANTIDAD	UNIDAD
1	GEO3000-SR-CF	GEAR SHAFT INPUT 21T CAJA FUNK GEO 3000	4023709	2	Pza.
2	GEO3000-SR-CF	GEAR COUNTER SHAFT 2ND P/CAJA FUNK GEO3000	4023314	2	Pza.
3	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6210 ZNR	6210 ZNR	2	Pza.
4	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6211 ZNR	6211 ZNR	2	Pza.
5	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6207 ZNR	6207 ZNR	2	Pza.
6	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6308 ZNR	6308 ZNR	2	Pza.
7	GEO3000-SR-CF	SHAFT MAIN P/CAJA FUNK GEO 3000	4023878	2	Pza.
8	GEO3000-SR-CF	ADAPTADOR FUNK-MOTOR GEO 3000	-	2	Pza.
9	GEO3000-SR-CF	TAPA DE CAJA FUNK STD	-	2	Pza.
10	GEO3000-SR-CC	KIT DE SELLOS P/PULMÓN HIDRAÚLICO GEO 3000	-	2	Jgo
11	GEO3000-SR-CC	RESORTE ROJO P/SOMBRERO DE CHUCK	-	21	Pza.
12	GEO3000-SR-CC	RODAMIENTO 51134M	2076287	2	Pza.
13	GEO3000-SR-CC	ESCOBILLA REDONDA P/PULMÓN HIDRÁULICO	-	2	Jgo
14	GEO3000-SR-CC	CARTUCHO NFCC-HCN SUN HYDRAULICS	-	2	Pza.
15	GEO3000-SR-CC	CARTUCHO CBEA-LHN	-	2	Pza.
16	G3000-SR-MHUR	OVERHAUL GASKET KIT MOTOR 6433-011	990094-001	2	Pza.
17	G3000-SR-MHUR	SHAFT SEALP/MOTOR EATON 6433	990709-000	2	Jgo
18	G3000-SR-MHUR	ROTATING GROUP SUBASS P/MOTOR EATON 6433	103871-000	2	Pza.
19	G3000-SR-MHUR	VALVE PLATE P/MOTOR EATON 6433	104872-000	2	Pza.
20	G3000-SR-MHUR	SWASHPLATE SUBASSEMBLY P/MOTOR 6433	104872-000	2	Pza.
21	G3000-SH-MHUR	GEROTOR SET & CPLR SUBASSY P/BOMBA	70112-642	2	Pza.
22	G3000-SH-MHUR	SEAL KIT P/BOMBA EATON 70160	70170-902	2	Pza.
23	G3000-SH-MHUR	SWASH PLATE INSERT P/BOMBA EATON 70160	70170-504	2	Pza.
24	G3000-SH-MHUR	VALVE PLATE P/BOMBA EATON 70160 LBA	70113-009	2	Pza.
25	G3000-SH-MHUR	ROTATING ASSY P/BOMBA EATON 70160	70111-692	2	Pza.
26	G3000-SR-MHUR	VALVE PLATE P/MOTOR EATON 193-0116-001	21722-000	2	Pza.
27	G3000-SR-MHUR	WEAR PLATE P/MOTOR EATON 193-0116-001	22026-000	2	Pza.
28	G3000-SR-MHUR	SEAL KIT P/MOTOR 193-0116-001	61267-000	2	Pza.
29	G3000-SR-MHUR	CONTROL SPOOL P/MOTOR 193-0116-001	220449-000	2	Pza.
30	G3000-SR-MHUR	GERATOR P/MOTOR 193-0116-001	21625-003	2	Pza.
31	G3000-SH-BC	PACKING CYLINDER 435	-	2	Pza.
32	G3000-SH-BC	CUP PLUNGER 435	-	2	Pza.
33	G3000-SH-BC	NUT PLUNGER 435	-	2	Pza.
34	G3000-SH-BC	RETEN 25X42X10 MM HMSA	-	2	Pza.
35	G3000-SH-BC	BILLA P/CHAMBER 435	-	12	Pza.
36	G3000-SH-BC	VALVE CHAMBER 435	-	12	Pza.
37	G3000-SH-BC	VALVE PRESSURE RELIEF	-	12	Pza.
38	G3000-SH-BC	RODAMIENTO 63002 2RS1	63002	2	Pza.

Nota: Elaboración propia

B. Repuestos B

Los repuestos de esta categoría corresponden a aquellos que no requieren mantenerse en inventario; sin embargo, es indispensable contar con proveedores previamente identificados que permitan gestionar su adquisición de manera oportuna cuando se presente la necesidad de reemplazarlos. Esta estrategia contribuye a reducir los tiempos asociados al proceso de compra y a garantizar la continuidad de las actividades de mantenimiento. En la tabla 45 se presentan los repuestos clasificados como tipo B.

Tabla 45

Repuestos tipo B

ITEM	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	N° DE PARTE	CANTIDAD	UNIDAD
1	GEO3000-SP-MC	ENFRIADOR DE ACEITE P/MOTOR CUMMINS MODEL 6CTA 8.3	-	2	Pza.
2	GEO3000-SP-MC	PREBOMBA 4988747 P/MOTOR CUMMINS 6CT839	-	2	Pza.
3	GEO3000-SP-MC	SOLENOIDE DE STRANG P/BOMBA DE INYECCION 24V	-	2	Pza.
4	GEO3000-SP-MC	VENTILADOR 7 ASPAS MOTOR CUMMINS FN9154	391132600	1	Pza.
5	GEO3000-SP-MC	INYECTOR P/MOTOR CUMMINS 6CTA8.3-C260	-	1	Jgo
6	GEO3000-SP-MC	TERMOSTATO DE 76” CUMMINS 6CTA8.3-C260	-	2	Pza.
7	GEO3000-SP-MC	TAPÓN DE MONOBLOCK P/MOTOR CUMMINS 6CTA8.3-C260	-	2	Pza.
8	GEO3000-SP-MC	MOTOR DE ARRANQUE P/MOTOR CUMMINS 6CTA8.3-C260	-	2	Pza.
9	GEO3000-SP-MC	ALTERNADOR P/MOTOR CUMMINS 6CTA8.3	-	2	Pza.
10	G3000-SH-MHW	SEAL KIT P/MOTOR EATON 113-1057-006 DELANTERO	61237	1	Jgo
11	G3000-SH-MHW	SEAL KIT P/MOTOR EATON 113-1057-006 POSTERIOR	61238	1	Jgo
12	G3000-SH-MHW	VALVE PLATE P/MOTOR EATON 113-1057-006	21666-000	1	Pza.
13	GEO3000-SH-WK	DISCO HUMEDO P/KPL 12	-	6	Pza.
14	GEO3000-SH-WK	RETEN 115X165X15 MM	-	2	Pza.
15	GEO3000-SH-CW	RODAMIENTO 6205 2RSC3	-	4	Pza.
16	G3000-SH-BHUR	SHAFT SEAL P/BOMBA EATON 6423	990709-000	1	Jgo
17	G3000-SH-BHUR	VALVE PLATE P/BOMBA EATON 6423	105098-000	1	Pza.
18	G3000-SH-MHTL	SEAL KIT P/MOTOR EATON 101-1001-009	60540-000	1	Jgo
19	G3000-SH-BHG	SEAL KIT P/BOMBA EATON 70122	70122-902	1	Jgo
20	G3000-SH-BHS	SEAL KIT P/BOMBA EATON 70553	70523-900	1	Jgo
21	G3000-SR-PC	MANOMETRO 2 ½” 0-6000PSI 0-400BAR	-	1	Pza.
22	G3000-SR-PC	MANOMETRO 2 ½” 0-3000PSI 0-200BAR	-	1	Pza.
23	-	BAQUELITAS LATERALES DE BASE DE DESLIZAMIENTO	-	1	Jgo
24	-	MANGUERA HIDRÁULICA SAE 100R2AT-4	-	2	Mt
25	-	MANGUERA HIDRÁULICA SAE 100R2AT-8	-	10	Mt
26	-	MANGUERA HIDRÁULICA SAE 100R2AT-6	-	5	Mt
27	-	MANGUERA HIDRÁULICA SAE 100R2AT-2	-	4	Mt

Nota: Elaboración propia

C. Repuestos C

Debido a la amplia cantidad de repuestos que integran la categoría Tipo C, estos se presentan de forma general, con el propósito de facilitar su descripción y organización. La clasificación correspondiente se muestra en la tabla 46.

Tabla 46

Repuestos tipo C

ITEM	DESCRIPCIÓN	ITEM	DESCRIPCIÓN
1	ABRAZADERA P/MANGUERA	28	ORING VITON
2	ABRAZADERA C/TORNILLO SIN FIN 1”	29	PERNO CABEZA AVELLANADA D/FE
3	ADAPTADORES	30	PERNO CABEZA ESTRIADA D/FE
4	ANGULO DE FIERRO	31	PERNO HEXAGONAL D/FE
5	PLANCHA DE ASBESTO 2”	32	PERNO SOCKET ALLEN DE ACERO
6	ATACABLE 10”	33	PIN D/PISTON MOTOR CUMMINS
7	BORNE P/BATERIA NEGATIVO Y POSITIVO	34	PISTA P/RODAMIENTO 39581
8	ARANDELA DE PRESIÓN	35	PORTACARBÓN P/ARRANCADOR 24V
9	CABLE AUTOMOTRIZ GTP 16AWG	36	PROTECTOR P/MANGUERA
10	CABLE C/PERILLA MICROMÉTRICA	37	PULSADOR DE ARRANQUE
11	CAJA DE PASO RECTANGULAR METÁLICA	38	RELAY AUTOMOTRIZ DE 5 PINES
12	CARBÓN P/ALTERNADOR BX-202	39	RODAMIENTOS
13	CHAVETA D/ACERO	40	SEGURO TIPO R
14	CONECTOR RÁPIDO	41	SILICONA GREY
15	CORREA A16	42	SOCKET P/FARO DELANTERO
16	DISCO DE DESBASTE 2”	43	SELENOIDE ARRANCADOR 24V
17	DRIZA DE 3/16”	44	TACÓMETRO ELÉCTRICO 24V
18	EJE D/FIERRO METÁLICO	45	TAPÓN DE ACERO HEMBRA JIC12
19	EJE P/MIXER GEO 3000	46	TERMINAL AISLADO
20	EMPAQUES DE INTERCOOLER P/GEO3000	47	TUERCA HEXAGONAL
21	ENCHUFE MONOF 2P-TIERRA LEVITON 30ª	48	UNIÓN ARMADA
22	FARO 16 LED CUADRADO 24V 48W	49	UNIÓN DE BRONCE
23	MANGUERA CORRUGADA	50	VÁLVULA CHECK
24	MANGUERA DE SILICONA	51	VÁLVULA DE COMPUERTA DE BRONCE
25	MANGUERA SINFLEX	52	VÁLVULA DE CONTROL DE CAUDAL
26	ORING D/CAMISA P/MOTOR CUMMINS	53	VISOR D/CONTROL DE TEMPERATURA
27	ORING D/NITRILO	54	VOLANDA DE ALUMINIO

Nota: Elaboración propia

Tal como se indicó previamente, los repuestos clasificados como Tipo A deben mantenerse de forma permanente en el almacén del proyecto, debido a su elevada criticidad para la continuidad de las operaciones de mantenimiento. En consecuencia, cada vez que uno de estos repuestos sea utilizado, el personal de mantenimiento mecánico deberá gestionar su reposición de manera inmediata, con el fin de prevenir situaciones de desabastecimiento que puedan afectar la disponibilidad de los equipos. Asimismo, cuando sea necesario abastecer algún componente considerado crítico, la solicitud deberá tramitarse mediante el mismo procedimiento. Para ello, se empleará el formato denominado Solicitud de Reposición de Repuestos, Materiales e Insumos, el cual permitirá controlar y registrar oportunamente los requerimientos. En la figura 44 se presenta el formato propuesto:

Figura 44

Solicitud de Reposición de Repuestos, Materiales e Insumos

SOLICITUD DE REPOSICIÓN DE REPUESTOS, MATERIALES E INSUMOS MÁQUINA PERFORADORA GEO 3000					VERSIÓN 1 FECHA REVISIÓN 10-May-25	
FECHA: MÁQUINA: N° DE AVERÍA: MOTIVO: **M.P** **M.C**					ENCARGADO: PROYECTO: HORÓMETRO/KM:	
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**CANTIDAD SOLICITADA**	**CANTIDAD APROBADA**	**OBSERVACIÓN**	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
V°B° Mecánico Nombre:		V°B° Operador Nombre:			V°B° Residente Nombre:	

Nota: Elaboración propia

4.2.3. Gestión de Mantenimiento correctivo

En relación con la gestión del mantenimiento correctivo, se plantea establecer mecanismos que permitan mejorar el registro, seguimiento y análisis de las fallas presentadas en las máquinas perforadoras. Para ello, se propone utilizar un Formato de Reporte de Uso y Averías de la Máquina Perforadora, destinado a registrar las incidencias ocurridas durante la operación, así como implementar un Formato de Análisis de Avería, mediante el cual se podrá identificar y evaluar las causas asociadas a las fallas. Asimismo, el adecuado desarrollo de esta gestión requiere

complementar dichas acciones con el cumplimiento de las propuestas planteadas para la gestión de repuestos y la gestión del personal, debido a que ambos aspectos contribuyen a una atención oportuna y eficiente de las intervenciones correctivas.

4.2.3.1. Formato de Reportes de Uso y Averías de la Máquina perforadora GEO 3000

El registro será completado por el perforista responsable de la máquina perforadora al finalizar la jornada correspondiente a su turno de trabajo, considerando que la operación se desarrolla en dos turnos, A y B. En dicho formato se consignará el estado operativo de la máquina, indicando si las actividades se desarrollaron con normalidad o si se identificó alguna anomalía durante la operación. Cuando se reporte alguna observación, el personal de mantenimiento deberá realizar el seguimiento correspondiente, efectuando la inspección y evaluación de la condición de la máquina perforadora. La información registrada permitirá detectar de manera temprana posibles fallas o condiciones anormales, facilitando la intervención oportuna del área de mantenimiento y reduciendo el riesgo de que estas evolucionen hasta generar una detención imprevista de la máquina por pérdida de operatividad.

Figura 45

Formato de Reporte de Uso y Averías de la Máquina Perforadora GEO 3000

FORMATO DE REPORTE DE USO Y AVERÍAS DE LA MÁQUINA PERFORADORA GEO 3000	VERSIÓN: 1 FECHA REVISIÓN: 10-May-25

FECHA:	OPERADOR:
MÁQUINA:	PROYECTO:
TURNO:	HORÓMETRO/KM:

REPORTE DE USO Y AVERÍAS DE LA MÁQUINA PERFORADORA									
COMPONENTES	ESTADO			COMENTARIOS	ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN	ESTADO			COMENTARIOS
	Bueno	Malo	N/A			Bueno	Malo	N/A	
Unidad de rotación					Guarda de carrete de izaje				
Unidad de potencia					Guarda de carrete wireline				
Caja Funk					Guarda de motor de unidad de potencia				
Chuck					Guarda de motor del equipo de bombeo				
Pistones de avance					Guarda de tuberia				
Winche KPL					Guarda cadena de transmisión				
Winche Wireline					Guarda radiador de motor				
Chamber bomba de agua					Guarda radiador en chamber				
Motores hidráulicos					Guarda de partes rotativas del motor				
Bombas hidráulicas					Guarda de cooler				
Mandos hidráulicos					Guarda de unidad de rotación				
Manómetros de presión					Guarda de motor de mixer				
Pstón hidráulico (levante de castillo)					Guarda de chamber				
Piston de gatas					Guarda de equipo de bombeo auxiliar				
Mandos de control					Guarda de poleas				
Poleas					Grapas de cable de izaje KPL				
Tambor de cable de izaje					Grapas de cable wireline				
Tambor de cable wireline					Whipcheck para mangueras hidráulicas				
Mezclador de fluidos (mixer)					Whipcheck para mangueras defogue				
Cadenas de avance					Cable de izaje				
Castillo					Cable wireline				
Mangueras y conectores hidráulicos					Nivel de combustible				
Nivel de aceite									
Comentario:									

V'B' Mecánico Nombre:	V'B' Operador Nombre:	V'B' Supervisor Nombre:

Nota: Elaboración propia

Asimismo, en este registro se deberá indicar si alguna de las presiones de operación o regulación de la perforadora GEO 3000 presenta valores que se encuentren fuera de los parámetros establecidos para su funcionamiento normal. Ante la identificación de alguna desviación, el personal mecánico deberá realizar el seguimiento y monitoreo correspondiente con el propósito de determinar su causa y evitar posibles afectaciones en el desempeño de la máquina. Los rangos considerados como normales para las presiones de operación y regulación de la perforadora GEO 3000 se detallan en el Anexo 7.

De manera complementaria a la verificación de las condiciones operativas de los componentes, el formato contempla la inspección de las estructuras y elementos de protección de la máquina, considerando su importancia para garantizar la seguridad del personal involucrado en

las actividades de perforación, como el operador y sus ayudantes. En caso de detectarse alguna anomalía, deterioro o condición que pueda comprometer la protección del personal, el soldador deberá registrar y comunicar inmediatamente la observación para que se adopten las acciones correctivas correspondientes.

4.2.3.2. Formato de Análisis de Avería

Se plantea la implementación del Formato de Análisis de Averías, debido a que, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante el análisis de causa raíz realizado en la gestión del mantenimiento correctivo, actualmente no se establecen acciones orientadas a eliminar o controlar las causas que originan las fallas. Esta situación incrementa la probabilidad de que las mismas averías se repitan posteriormente en las máquinas perforadoras. Por ello, el formato propuesto permitirá documentar las fallas presentadas, determinar sus causas y establecer medidas correctivas que contribuyan a prevenir su recurrencia.

El Formato de Análisis de Averías contemplará diversos campos destinados a recopilar información relevante sobre cada evento de falla. Entre los principales aspectos considerados se encuentran los siguientes:

- **Identificación de la máquina y responsables:** se registrará el código correspondiente a la máquina perforadora que presentó la avería, el proyecto donde se encuentra asignada, el número correlativo del evento y el nombre del mecánico responsable de ejecutar la intervención.
- **Registro del tiempo de reparación:** se consignará el periodo empleado para restablecer la operatividad de la máquina, considerando como punto inicial el momento en que la falla es detectada y comunicada al personal de mantenimiento, y como punto final la

culminación de los trabajos de reparación. Tanto la fecha como la hora de inicio y término deberán quedar registradas, permitiendo determinar con precisión la duración de la intervención.

- **Descripción y caracterización de la avería:** se documentarán los síntomas identificados, una descripción detallada de la secuencia de eventos que precedieron a la falla y las condiciones bajo las cuales se encontraba operando la máquina. Entre los parámetros que podrán considerarse se encuentran la temperatura, las presiones de trabajo, los niveles de vibración, entre otros datos relevantes para el diagnóstico.

- **Determinación de la prioridad de atención:** cada avería será clasificada de acuerdo con el nivel de prioridad requerido para su intervención, considerando la importancia de la falla y su impacto sobre la continuidad operativa de la máquina. Para ello, se establecerán los siguientes niveles:

  Nivel 1 – Averías urgentes: requieren atención inmediata, ya que afectan la operatividad de la máquina y los metros de perforación.

  Nivel 2 – Averías importantes: no detienen la máquina, pero deben ser atendidas oportunamente para evitar su agravamiento.

  Nivel 3 – Averías programables: pueden ser atendidas en una fecha previamente establecida, según la programación de mantenimiento.

  Nivel 4 – Averías programables sin fecha: su reparación se realizará durante el traslado y estandarización de la máquina entre puntos de perforación.

- **Identificación de las causas de la avería:** se determinará el origen de la falla considerando factores asociados al desgaste, fatiga o ruptura de componentes; errores operativos por una

inadecuada operación o sobreesfuerzo de la máquina; deficiencias en la intervención del personal de mantenimiento; y condiciones externas como temperatura, clima o características del terreno.

- **Definición de medidas preventivas:** las acciones serán establecidas de manera conjunta entre el mecánico responsable, perforista, supervisor operativo y coordinador de mantenimiento. Las medidas definidas deberán incorporarse al programa de mantenimiento preventivo propuesto.

  El formato será completado de manera virtual por el mecánico responsable de la reparación y posteriormente será revisado por el Supervisor y el Coordinador de Mantenimiento. En la figura 46 se presenta el Formato de Análisis de Averías de la máquina GEO 3000.

Figura 46
Registro y análisis de avería

REGISTRO Y ANÁLISIS DE AVERÍA – GEO 3000	VERSIÓN: 1 FECHA REVISIÓN: 10-May-25

PROYECTO:			N° DE AVERÍA:
MÁQUINA:			NIVEL DE AVERÍA:
MECÁNICO:			HORÓMETRO/KM:
FECHA INICIO:	HORA INICIO:		TOTAL DE HORAS:
FECHA TÉRMINO:	HORA TÉRMINO:		

DESCRIPCIÓN DE LA AVERÍA:
SÍNTOMAS DE LA MÁQUINA:
RELATO:
CONDICIONES DEL FUNCIONAMIENTO:
ÚLTIMOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS REALIZADOS:
CAUSAS PROBABLES DE LA AVERÍA:
MEDIDAS PREVENTIVAS:

V°B° Mecánico Nombre:	V°B° Sup. Mantto Nombre:	V°B° Coord. Mantto Nombre:

Nota: Adaptado del Formato de Análisis de Avería de García (2003)

4.2.4. Gestión de información

Como se indicó anteriormente, dentro de la gestión de información se plantean las siguientes acciones:

- **Establecer los indicadores de mantenimiento** que permitan evaluar y controlar el desempeño de la gestión.
- **Definir la información y los registros de uso obligatorio**, asegurando un adecuado seguimiento y trazabilidad de las actividades de mantenimiento.
- **Implementar un software de mantenimiento,** que centralice los registros, facilite la programación y el seguimiento de las actividades, y permita controlar los principales indicadores.

4.2.4.1. Indicadores de Mantenimiento

Se propone establecer los indicadores de mantenimiento que permitan evaluar de manera adecuada el desempeño de las máquinas, debido a que actualmente la empresa utiliza únicamente la disponibilidad mecánica y su aplicación no se realiza correctamente. Esta situación genera resultados poco representativos sobre el comportamiento operativo de las máquinas GEO 3000.

- Disponibilidad mecánica

$$D\ (\%) = \frac{Horas\ de\ perforación}{Horas\ de\ perforación + Horas\ de\ mantenimiento} x100$$

- Tiempo medio de reparación

$$MTTR = \frac{Horas\ paradas\ por\ mantenimiento}{N°\ de\ averías}$$

- Tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{Horas\ totales - horas\ paradas\ por\ mantenimiento}{N°\ de\ averías}$$

- Índice de cumplimiento de la planificación

$$Cumplimiento = \frac{N°\ MP\ realizados\ en\ la\ fecha\ planificada}{N°\ MP\ totales\ programados}$$

Para asegurar un adecuado procesamiento y registro de la información, se propone implementar el Formato de Monitoreo de Perforación de la Máquina GEO 3000, el cual contendrá los datos requeridos para determinar los indicadores de Disponibilidad, MTBF y MTTR. El formato será completado de manera virtual con información proveniente del proyecto, específicamente del Formato de Reporte de Perforación GLY, utilizado por el área de operaciones dentro del Sistema Integrado de Gestión de la empresa.

Para calcular el Índice de Cumplimiento de la Planificación, se utilizará la información registrada en el Registro de Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo y en la Cartilla de Programación Semanal de Mantenimientos Preventivos, ambos desarrollados en la propuesta de gestión del mantenimiento preventivo.

Figura47

Formato de Monitoreo de Perforación de la Máquina GEO 3000

MONITOREO DE MÁQUINA GEO 3000																		
Fecha			Turno	MÁQUINA 1			MÁQUINA 2			MÁQUINA 3			MÁQUINA 4			Total por dia		
Mes	Día			H.P	H.M	N° Av.	H.P	H.M	N° Av.	H.P	H.M	N° Av.	H.P	H.M	N° Av.	H.P	H.M	N° Av.
ENERO	1	Lunes	A															
			B															
	2	Martes	A															
			B															
	3	Miercoles	A															
			B															
	4	Jueves	A															
			B															
	5	Viernes	A															
			B															
	6	Sábado	A															
			B															
	7	Domingo	A															
			B															
	8	Lunes	A															
			B															
	9	Martes	A															
			B															
	10	Miercoles	A															
			B															
	11	Jueves	A															
			B															
	12	Viernes	A															
			B															
	13	Sábado	A															
			B															
	14	Domingo	A															
			B															
	15	Lunes	A															
			B															
	16	Martes	A															
			B															
	17	Miercoles	A															
			B															
	18	Jueves	A															
			B															
	19	Viernes	A															
			B															
	20	Sábado	A															
			B															
	21	Domingo	A															
			B															
	22	Lunes	A															
			B															
	23	Martes	A															
			B															
	24	Miercoles	A															
			B															
	25	Jueves	A															
			B															
	26	Viernes	A															
			B															
	27	Sábado	A															
			B															
	28	Domingo	A															
			B															
	29	Lunes	A															
			B															
	30	Martes	A															
			B															
	31	Miercoles	A															
			B															
TOTAL POR MES																		

RESUMEN DEL MES DE ENERO		
Descripción		
Horas totales de perforación	H.P	
Horas de mantenimiento	H.M	
N° de averías	N° Av.	

Nota: Elaboración propia

De manera complementaria, se propone implementar un Formato de Seguimiento de Tendencias Anuales, mediante el cual se podrá analizar la evolución y comportamiento de los cuatro indicadores de mantenimiento establecidos.

Figura 48

Formato Análisis de tendencia de proceso - Indicadores

FORMATO DE ANÁLISIS DE TENDENCIA DE PROCESO							VERSIÓN			1
INDICADORES							FECHA REVISIÓN			10-May-25
ANÁLISIS DE TENDENCIA DE PROCESO										
PERIODO EVALUADO:	2025						SEGUIMIENTO:	MENSUAL		
NOMBRE DE LOS INDICADORES:	Disponibilidad mecánica									
	MTTR (Tiempo medio de reparación)									
	MTBF (Tiempo medio entre fallo)									
	Índice de cumplimiento de la planificación									
ÁREA ENCARGADA DEL INDICADOR:	Mantenimiento									
RESPONSABLE DEL INDICADOR:	Coordinador de Mantenimiento									
AÑO	MES	DATOS					INDICADORES			
		Total de horas	Horas paradas por mantto.	N° de averías	N° MP realizados en fecha Pr.	N° MP Total Pr.	% Disponibilidad Mecánica	MTTR	MTBF	Cumplimiento de la planificación
2025	ENE									
	FEB									
	MAR									
	ABR									
	MAY									
	JUN									
	JUL									
	AGO									
	SEP									
	OCT									
	NOV									
	DIC									

Observaciones/Comentarios

Nota: Elaboración propia

4.2.4.2. Listado de Registros Internos

En el siguiente listado se presenta la descripción de los registros establecidos. El cumplimiento de estos documentos es de carácter obligatorio, por lo que cada responsable deberá asegurar su seguimiento, verificar que la información sea completada de manera adecuada y garantizar su correcto almacenamiento. Estos registros constituyen una fuente de información

relevante para el área de mantenimiento, debido a que permiten disponer de evidencia y trazabilidad de las actividades realizadas.

Figura 49

Listado de registros internos del área de mantenimiento - Máquina GEO3000

ITEM	NOMBRE DEL REGISTRO	VERSIÓN	FECHA DE REVISIÓN	TIPO DE REGISTRO		RESPONSABLE	ALMACENAMIENTO	TALLER	PROY.
				FÍSICO	ELECTR.				
1	Registro de cumplimiento del Mantenimiento preventivo	1	10/05/2025	X	X	Coordinador de Mantenimiento/ Asistente de Mantenimiento	Cronólogica		X
2	Mantenimiento preventivo de 250 horas	1	10/05/2025	X		Asistente de Mantenimiento	Cronólogica		X
3	Mantenimiento preventivo de 1000 horas	1	10/05/2025	X		Asistente de Mantenimiento	Cronólogica		X
4	Mantenimiento preventivo de 2000 horas	1	10/05/2025	X		Asistente de Mantenimiento	Cronólogica		X
5	Mantenimiento preventivo de 5000 horas	1	10/05/2025	X		Asistente de Mantenimiento	Cronólogica		X
6	Informe de Mantenimiento	2	10/05/2025		X	Asistente de Mantenimiento	Correlativa	X	
7	Orden de Trabajo - Mantenimiento	2	10/05/2025	X		Coordinador de Mantenimiento/ Asistente de Mantenimiento	Correlativa	X	
8	Conformidad de Salida de Máquina a proyecto - Check List de Máquina perforadora	4	10/05/2025	X		Coordinador de Mantenimiento	Correlativa	X	
9	Inspección de Post uso de máquina	1	10/05/2025	X		Asistente de Mantenimiento	Cronólogica		X
10	Registro y análisis de avería	1	10/05/2025	X	X	Coordinador de Mantenimiento	Correlativa		X
11	Solicitud de Reposición de Repuestos	1	10/05/2025	X	X	Asistente de Mantenimiento	Correlativa		X
12	Monitoreo de Perforación de la Máquina GEO 3000 - Indicadores	1	10/05/2025		X	Coordinador de Mantenimiento	Correlativa		X
13	Análisis de tendencia de proceso - Indicadores		10/05/2025		X	Coordinador de Mantenimiento	Correlativa		X
14	Cumplimiento del programa de entrenamiento y capacitación del personal nuevo	1	10/05/2025	X	N/A	Coordinador de Mantenimiento	Correlativa	X	X

Nota: Elaboración propia

4.2.4.3. Implementación del software de mantenimiento

Para fortalecer la gestión de la información del área de mantenimiento, se propone implementar el software Foix CMMS en su plan Basic para administrar la totalidad de las máquinas de la empresa.

La herramienta permitirá centralizar el historial de mantenimiento de los diferentes equipos, registrar sus horómetros, gestionar órdenes de trabajo, controlar los mantenimientos preventivos y correctivos, realizar el seguimiento de repuestos y recopilar la información necesaria para calcular la disponibilidad, el MTBF, el MTTR y el cumplimiento del programa de mantenimiento. De esta manera, se mejorará la trazabilidad de las intervenciones y se reducirán las pérdidas de información ocasionadas por registros incompletos o dispersos.

4.3. Influencia de la propuesta en los indicadores de mantenimiento

Las acciones planteadas en la propuesta influyen directamente en los indicadores de mantenimiento de las máquinas perforadoras GEO 3000. La programación preventiva basada en horas de operación permitirá ejecutar las intervenciones de acuerdo con el uso real de los equipos, reduciendo la probabilidad de fallas imprevistas y aumentando el tiempo medio entre fallas (MTBF). Asimismo, la estandarización de las actividades, la disponibilidad de repuestos críticos, el registro del historial de mantenimiento y la utilización de Fiix CMMS permitirán reducir los tiempos empleados en el diagnóstico, la coordinación, la búsqueda de repuestos y la reparación de las averías, contribuyendo a disminuir el tiempo medio de reparación (MTTR).

Como consecuencia del incremento del MTBF y la reducción del MTTR, disminuirán las horas de parada no programada y aumentarán las horas efectivas de operación. De esta manera, la propuesta contribuirá a incrementar progresivamente la disponibilidad mecánica desde el 88.48 % actual hasta un 92 % durante el primer año de adaptación y posteriormente alcanzar la meta proyectada del 95 %. Debido al carácter propositivo de la investigación, estos valores representan escenarios esperados y deberán verificarse después de la implementación.

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Con el propósito de determinar la viabilidad de la propuesta, se empleará el indicador Beneficio/Costo. Para ello, se estimarán y analizarán los costos asociados a su implementación, así como los beneficios que se espera obtener a partir de las mejoras planteadas.

5.1. Costos de la propuesta

Seguidamente, se efectuará la estimación de los costos totales asociados a la propuesta de mejora, considerando para ello los diferentes conceptos que intervienen en su desarrollo, los cuales se detallan a continuación:

5.1.1. Costos de Capacitación de Implementación del Plan

El costo de la capacitación será determinado considerando el número de participantes y estará a cargo de un especialista con experiencia en el tema. La formación tendrá como finalidad orientar al personal sobre la adecuada implementación, ejecución y seguimiento de las propuestas relacionadas con la gestión del mantenimiento preventivo, gestión de repuestos, gestión del mantenimiento correctivo y gestión de la información. Asimismo, se abordará el uso y aplicación correcta de los formatos establecidos para cada una de estas gestiones.

La capacitación estará dirigida al Coordinador de Mantenimiento, Supervisor de Mantenimiento, Asistente de Mantenimiento y personal técnico, conformado por mecánicos, electricistas y soldadores, debido a que estos colaboradores participan directamente en la ejecución y cumplimiento de las acciones propuestas. Los costos asociados a esta actividad se presentan en la tabla 47.

Tabla 47
Costos de Capacitación

Capacitación	N° de personas	Tiempo (Hr/día)	Costo/Hr	Días de capacitación	Total
Especialista en el tema	1	4	S/.120.00	3	S/. 1440.00
Coordinador de Mantto.	1	4	S/. 30.00	3	S/. 360.00
Supervisor mecánico	1	4	S/.20.00	3	S/. 240.00
Asistente de Mantto.	1	4	S/15.00	3	S/. 180.00
Personal técnico	10	4	S/. 20.00	3	S/. 2400.00
Costo Total en Soles					S/. 4620.00
Costo Total en dólares					$. 1370.00

Nota: Elaboración propia

5.1.2. Costo del Mantenimiento Preventivo

Se realizó la estimación de los costos asociados con la ejecución del programa de mantenimiento preventivo propuesto. Las perforadoras GEO 3000 operan en dos turnos diarios de 12 horas, lo que representa 24 horas programadas por día y 8 760 horas anuales. Al considerar una disponibilidad mecánica objetivo del 95 %, se estiman 8 322 horas efectivas de operación por máquina al año.

Bajo esta propuesta, cada perforadora alcanzaría 33 puntos de mantenimiento, tomando como intervalo básico una frecuencia de 250 horas. Para evitar la duplicidad de actividades, cuando coinciden dos o más intervalos se considera únicamente el mantenimiento de mayor alcance. De esta manera, durante el periodo anual se programan 25 mantenimientos de 250 horas, tres de 1 000 horas, cuatro de 2 000 horas y uno de 5 000 horas.

Si bien la situación actual contempla únicamente 23 mantenimientos preventivos por máquina al año, esta menor cantidad no significa que la programación sea la más adecuada, debido a que las intervenciones se establecen en función de los días transcurridos y no de las horas reales

de operación. En cambio, los 33 mantenimientos planteados responden al nivel efectivo de utilización de cada perforadora. Aunque esta propuesta supone una mayor cantidad de intervenciones y una inversión superior, permitirá atender oportunamente los requerimientos del equipo, reducir la probabilidad de fallas imprevistas y contribuir al incremento de su disponibilidad mecánica.

El detalle de los costos correspondientes a cada frecuencia de mantenimiento se desarrolla en el Anexo 8. Para un periodo de un año, el costo total estimado de la ejecución del programa preventivo propuesto en las cuatro perforadoras asciende a USD 73 635,40, monto que se presenta en la Tabla 48.

Tabla 48
Costo de mantenimiento preventivo

Mantenimiento	Costo C/U ($)	N° de frecuencia	Costo total ($)
Mantenimiento 250 horas	$. 254.25	25	$. 5593.50
Mantenimiento 1000 horas	$. 682.95	3	$. 2048.85
Mantenimiento 2000 horas	$. 1897.45	4	$. 5692.35
Mantenimiento 5000 horas	$. 2413.95	1	$. 2413.95
Costo total por máquina			$. 18408.85
Costo total de 4 máquinas			$. 73635.40

Nota: Elaboración propia

5.1.3. Costo de Componentes y Repuestos

La tabla 49 comprende la valorización de los componentes identificados con criticidad alta y media que actualmente no disponen de existencias en los almacenes de la empresa ni en el taller central de mantenimiento. En estos casos, se ha considerado el costo de adquisición requerido para garantizar su disponibilidad. Por su parte, los componentes pertenecientes a estas mismas

categorías de criticidad que no presentan un valor de compra corresponden a aquellos que ya se encuentran disponibles en el inventario del taller central de mantenimiento.

Tabla 49
Costo de componentes críticos

Componente	Cantidad	Costo C/U ($)	Costo total ($)
Motor hidráulico 6433-0111	2	$. 1200.00	$. 2400.00
Bomba hidráulica 70160-LBA	2	$. 1425.00	$. 2850.00
Motor hidráulico 193-0116-001	2	$. 1025.00	$. 2050.00
Motor hidráulico F12060	1	$. 1181.00	$. 1181.00
Motor hidráulico 113-1057-006	1	$. 1050.00	$. 1050.00
Costo total			$. 9531.00

Nota: Elaboración propia

De manera complementaria, se realizó la valorización de los repuestos clasificados como Tipo A, cuya disponibilidad permanente en el almacén del proyecto resulta necesaria debido a su nivel de importancia y al impacto que podría generar su ausencia durante las actividades de perforación. El detalle de los costos asociados a estos repuestos se presenta a continuación.

Tabla 50
Costo de repuestos críticos

ITEM	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	N° DE PARTE	CANTIDAD	UNI.	COSTO C/U ($)	COSTO TOTAL ($)
1	GEO3000-SR-CF	GEAR SHAFT INPUT 21T CAJA FUNK GEO 3000	4023709	2	Pza.	$ 95.00	$ 190.00
2	GEO3000-SR-CF	GEAR COUNTER SHAFT 2ND P/CAJA FUNK GEO3000	4023314	2	Pza.	$ 70.00	$ 140.00
3	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6210 ZNR	6210 ZNR	2	Pza.	$ 7.50	$ 15.00
4	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6211 ZNR	6211 ZNR	2	Pza.	$ 12.00	$ 24.00
5	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6207 ZNR	6207 ZNR	2	Pza.	$ 16.50	$ 33.00
6	GEO3000-SR-CF	RODAMIENTO 6308 ZNR	6308 ZNR	2	Pza.	$ 18.00	$ 36.00
7	GEO3000-SR-CF	SHAFT MAIN P/CAJA FUNK GEO 3000	4023878	2	Pza.	$ 50.00	$ 100.00
8	GEO3000-SR-CF	ADAPTADOR FUNK-MOTOR GEO 3000	-	2	Pza.	$ 47.50	$ 95.00
9	GEO3000-SR-CF	TAPA DE CAJA FUNK STD	-	2	Pza.	-	-
10	GEO3000-SR-CC	KIT DE SELLOS P/PULMÓN HIDRAÚLICO GEO 3000	-	2	Jgo	$ 53.50	$ 107.00
11	GEO3000-SR-CC	RESORTE ROJO P/SOMBRERO DE CHUCK	-	21	Pza.	$ 17.00	$ 357.00
12	GEO3000-SR-CC	RODAMIENTO 51134M	2076287	2	Pza.	$ 210.00	$ 420.00
13	GEO3000-SR-CC	ESCOBILLA REDONDA P/PULMÓN HIDRÁULICO	-	2	Jgo	$ 210.00	$ 420.00
14	GEO3000-SR-CC	CARTUCHO NFCC-HCN SUN HYDRAULICS	-	2	Pza.	$ 86.00	$ 172.00
15	GEO3000-SR-CC	CARTUCHO CBEA-LHN	-	2	Pza.	$ 65.00	$ 130.00
16	G3000-SR-MHUR	OVERHAUL GASKET KIT MOTOR 6433-011	990094-001	2	Pza.	$ 237.00	$ 474.00
17	G3000-SR-MHUR	SHAFT SEALP/MOTOR EATON 6433	990709-000	2	Jgo	$ 126.00	$ 252.00
18	G3000-SR-MHUR	ROTATING GROUP SUBASS P/MOTOR EATON 6433	103871-000	2	Pza.	$ 690.00	$ 1,380.00
19	G3000-SR-MHUR	VALVE PLATE P/MOTOR EATON 6433	104872-000	2	Pza.	$ 108.00	$ 216.00
20	G3000-SR-MHUR	SWASHPLATE SUBASSEMBLY P/MOTOR 6433	104872-000	2	Pza.	$ 81.00	$ 162.00
21	G3000-SH-MHUR	GEROTOR SET & CPLR SUBASSY P/BOMBA	70112-642	2	Pza.	$ 210.00	$ 420.00
22	G3000-SH-MHUR	SEAL KIT P/BOMBA EATON 70160	70170-902	2	Pza.	$ 91.00	$ 182.00
23	G3000-SH-MHUR	SWASH PLATE INSERT P/BOMBA EATON 70160	70170-504	2	Pza.	$ 63.00	$ 126.00
24	G3000-SH-MHUR	VALVE PLATE P/BOMBA EATON 70160 LBA	70113-009	2	Pza.	$ 72.00	$ 144.00
25	G3000-SH-MHUR	ROTATING ASSY P/BOMBA EATON 70160	70111-692	2	Pza.	$ 520.00	$ 1,040.00
26	G3000-SR-MHUR	VALVE PLATE P/MOTOR EATON 193-0116-001	21722-000	2	Pza.	$ 82.00	$ 164.00
27	G3000-SR-MHUR	WEAR PLATE P/MOTOR EATON 193-0116-001	22026-000	2	Pza.	$ 85.00	$ 170.00
28	G3000-SR-MHUR	SEAL KIT P/MOTOR 193-0116-001	61267-000	2	Pza.	$ 100.00	$ 200.00
29	G3000-SR-MHUR	CONTROL SPOOL P/MOTOR 193-0116-001	220449-000	2	Pza.	$ 81.00	$ 162.00
30	G3000-SR-MHUR	GERATOR P/MOTOR 193-0116-001	21625-003	2	Pza.	$ 587.00	$ 1,174.00
31	G3000-SH-BC	PACKING CYLINDER 435	-	2	Pza.	$ 10.00	$ 20.00
32	G3000-SH-BC	CUP PLUNGER 435	-	2	Pza.	$ 4.50	$ 9.00
33	G3000-SH-BC	NUT PLUNGER 435	-	2	Pza.	$ 4.00	$ 8.00
34	G3000-SH-BC	RETEN 25X42X10 MM HMSA	-	2	Pza.	$ 1.20	$ 2.40
35	G3000-SH-BC	BILLA P/CHAMBER 435	-	12	Pza.	$ 5.80	$ 69.60
36	G3000-SH-BC	VALVE CHAMBER 435	-	12	Pza.	$ 4.30	$ 51.60
37	G3000-SH-BC	VALVE PRESSURE RELIEF	-	12	Pza.	$ 3.00	$ 36.00
38	G3000-SH-BC	RODAMIENTO 63002 2RS1	63002	2	Pza.	$ 11.00	$ 22.00
		Costo total - Repuesto tipo A					$ 8,723.60

A continuación, se presenta la valorización económica total asociada a los componentes y repuestos identificados como críticos.

Tabla 51
Costo total de Componentes y Repuestos críticos

Descripción	Costo ($)
Costo de adquisición de componentes críticos	$. 9531.00
Costo de adquisición de repuestos críticos	$. 8723.60
Costo Total	$. 18254.60

Nota: Elaboración propia

5.1.4. Costos Administrativos

Tabla 52
Costos Administrativos

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Recursos Materiales				
Impresión de formatos	Mes	12	S/. 25.00	S/. 300.00
Materiales de oficina	Paquete	14	S/. 20.00	S/. 280.00
Recursos tecnológicos				
Internet	Mes	12	S/. 110.00	S/. 1320.00
Teléfono móvil	Mes	12	S/. 90.00	S/. 1080.00
Otros				
Servicio de luz	Mes	12	S/. 40.00	S/. 480.00
Movilidad	Paquetes	1	S/. 400.00	S/. 400.00
Costo total en soles				S/. 3860.00
Costo toral en dólares				$. 1160.00

Nota: Elaboración propia

5.1.5 Costos de software

El plan Fiix Basic presenta un costo unitario de USD 40.00 mensuales por usuario. Para la propuesta se consideran tres licencias, destinadas al coordinador, supervisor y asistente de mantenimiento. Por tanto, el costo mensual total será de USD 120.00, equivalente a una inversión anual de USD 1,440.00. La configuración inicial será realizada por el personal responsable del mantenimiento, por lo que no se consideran costos adicionales de implementación.

5.1.6. Costos totales

Tabla 53
Costos totales de la propuesta

Descripción	Monto
Costos de Capacitación de Implementación del Plan	$. 1370.00
Costo de Mantenimiento Preventivo	$. 73635.40
Costo de Componentes y Repuestos	$. 18254.60
Costos Administrativos	$. 1160.00
Costos de Software	$. 1440.00
TOTAL	$. 95860.00

Nota: Elaboración propia

5.2. Beneficios estimados de la propuesta

De acuerdo con lo desarrollado en la presente investigación, la propuesta tiene como finalidad contribuir a la mejora de la gestión del mantenimiento de las máquinas perforadoras GEO 3000, buscando incrementar su disponibilidad mecánica. La determinación de una disponibilidad mecánica del 95 % como nivel de referencia se sustenta en antecedentes científicos relacionados directamente con equipos de perforación utilizados en operaciones mineras. En este sentido, (Banda, Sanchez, & Ramos, 2024) ,en el estudio titulado *Intégrate Maintenance Management to Increpase the Availability of Drilling Equipen: Case Study in a Peruvian Mine*, analizaron la gestión del mantenimiento de equipos de perforación en una operación minera peruana. Los autores señalan que, de acuerdo con estadísticas provenientes de estudios previos, una disponibilidad mecánica del 95 % constituye un nivel óptimo para el desempeño de los equipos en operaciones mineras. Asimismo, mediante la simulación del plan de mantenimiento propuesto, estimaron una disponibilidad potencial del 92 % durante el primer año, la cual favorecería la continuidad operativa de los equipos y el cumplimiento de los proyectos.

En la empresa analizada se registró una disponibilidad mecánica promedio de 88.48 % durante el año 2025. A partir de esta línea base, la presente propuesta plantea alcanzar progresivamente una disponibilidad del 92 % durante una primera etapa y aproximarse posteriormente a la meta referencial del 95 %. Para ello, será necesario efectuar un seguimiento permanente de las acciones propuestas, evaluar el comportamiento de los indicadores de mantenimiento, identificar posibles desviaciones y establecer las medidas correctivas correspondientes bajo un enfoque de mejora continua. Debido al carácter propositivo de la investigación, estos porcentajes representan resultados proyectados y no valores obtenidos mediante una implementación.

5.2.1. Benchmarking interno

Tabla 54
Benchmarking interno

Mes referente	Disponibilidad	Tiempo total (h)
ABRIL	91.76%	1,809
OCTUBRE	90.91%	1,871
FEBRERO	90.85%	1,366
JUNIO	90.56%	1,441
Promedio benchmarking	**91.02%**	
Meta propuesta	**92.00%**	
Brecha meta - benchmarking	**0.98%**	

Nota: Elaboración propia

El benchmarking interno muestra que los cuatro meses con mejor desempeño alcanzaron una disponibilidad promedio de 91.02 %. La meta de 92 % se encuentra 0.98 puntos porcentuales por encima de este valor y solamente 0.24 puntos por encima del mejor resultado mensual, correspondiente a abril, con 91.76 %. Por ello, el 92 % constituye una meta técnicamente alcanzable, pero condicionada a la ejecución del programa de mantenimiento preventivo, las tareas RCM, la disponibilidad de repuestos críticos y la reducción de los tiempos de atención de averías.

5.2.2. Metodología de la simulación

$$DM = \frac{TP}{TT} X100$$

Donde:

- DM: Disponibilidad mecánica
- TP: Tiempo de perforación
- TT: Tiempo total, compuesto por perforación y mantenimiento

El tiempo esperado de perforación se calcula mediante:

$$TPE = TT \times DM_p$$

Las horas recuperadas son:

$$HR = TPE - TP$$

Los metros adicionales se estiman mediante:

$$MA = HR \times P$$

Y el ingreso adicional:

$$IA = MA \times TM$$

Donde:

- DM_p: disponibilidad propuesta de 92 %.
- HR: horas recuperadas.
- P: productividad de 1.3 m/h.
- TM: tarifa de US$130 por metro.

Tabla 55

Simulación del ingreso adicional con una disponibilidad mecánica de 92 %

	ACTUAL				PROPUESTA AL 92%			
Mes	Tiempo mantenimiento (Hr)	Tiempo de perforación (Hr)	Disponibilidad de máquinas (%)	Tiempo total (Hr)	Disponibilidad de máquinas propuesta (%)	Tiempo de perforación adicional propuesto (Hr)	Metros perforados adicionales propuestos	Beneficio de la propuesta
ENERO	143	955	86.98%	1098	92%	55.16	71.708	$ 9,322.04
FEBRERO	125	1241	90.85%	1366	92%	15.72	20.436	$ 2,656.68
MARZO	120	920	88.46%	1040	92%	36.8	47.84	$ 6,219.20
ABRIL	149	1660	91.76%	1809	92%	4.28	5.564	$ 723.32
MAYO	210	1485	87.61%	1695	92%	74.4	96.72	$ 12,573.60
JUNIO	136	1305	90.56%	1441	92%	20.72	26.936	$ 3,501.68
JULIO	255	1392	84.52%	1647	92%	123.24	160.212	$ 20,827.56
AGOSTO	175	1390	88.82%	1565	92%	49.8	64.74	$ 8,416.20
SEPTIEMBRE	196	1253	86.47%	1449	92%	80.08	104.104	$ 13,533.52
OCTUBRE	170	1701	90.91%	1871	92%	20.32	26.416	$ 3,434.08
NOVIEMBRE	150	1342	89.95%	1492	92%	30.64	39.832	$ 5,178.16
DICIEMBRE	240	1346	84.87%	1586	92%	113.12	147.056	$ 19,117.28
INGRESO BRUTO ESTIMADO								$ 105,503.32

Nota: Elaboración propia

Tabla 56

Beneficio estimado de la propuesta al 95%

	ACTUAL				PROPUESTA AL 95%			
Mes	Tiempo mantenimiento (Hr)	Tiempo de perforación (Hr)	Disponibilidad de máquinas (%)	Tiempo total (Hr)	Disponibilidad de máquinas propuesta (%)	Tiempo de perforación adicional propuesto (Hr)	Metros perforados adicionales propuestos	Beneficio de la propuesta
ENERO	143	955	86.98%	1098	95%	88.1	114.53	$ 14,888.90
FEBRERO	125	1241	90.85%	1366	95%	56.7	73.71	$ 9,582.30
MARZO	120	920	88.46%	1040	95%	68	88.4	$ 11,492.00
ABRIL	149	1660	91.76%	1809	95%	58.55	76.115	$ 9,894.95
MAYO	210	1485	87.61%	1695	95%	125.25	162.825	$ 21,167.25
JUNIO	136	1305	90.56%	1441	95%	63.95	83.135	$ 10,807.55
JULIO	255	1392	84.52%	1647	95%	172.65	224.445	$ 29,177.85
AGOSTO	175	1390	88.82%	1565	95%	96.75	125.775	$ 16,350.75
SEPTIEMBRE	196	1253	86.47%	1449	95%	123.55	160.615	$ 20,879.95
OCTUBRE	170	1701	90.91%	1871	95%	76.45	99.385	$ 12,920.05
NOVIEMBRE	150	1342	89.95%	1492	95%	75.4	98.02	$ 12,742.60
DICIEMBRE	240	1346	84.87%	1586	95%	160.7	208.91	$ 27,158.30
				INGRESO BRUTO ESTIMADO				$197,062.45

Nota: Elaboración propia

5.2.3. Análisis de sensibilidad

La simulación anterior se desarrolló considerando una disponibilidad mecánica objetivo de 92 % y al 95%. No obstante, debido a que el resultado depende del nivel de reducción de las horas de mantenimiento, resulta necesario evaluar diferentes escenarios de disponibilidad. Para ello, se realizó un análisis de sensibilidad considerando valores comprendidos entre 90 % y 95 %, con el propósito de determinar las horas que deberían recuperarse, la reducción requerida del tiempo de mantenimiento, los metros adicionales que podrían perforarse y el ingreso adicional estimado en cada escenario.

Tabla 57
Análisis de sensibilidad

Escenario	Perforación esperada (h)	Horas recuperadas	Mantenimiento propuesto (h)	Reducción requerida	Metros adicionales	Ingreso adicional (US$)	Clasificación
90%	16,253.10	263.10	1,805.90	12.72%	342.030	$44,463.90	Conservador
91%	16,433.69	443.69	1,625.31	21.44%	576.797	$74,983.61	Benchmarking interno
92%	16,614.28	624.28	1,444.72	30.17%	811.564	$105,503.32	Objetivo de la propuesta
93%	16,794.87	804.87	1,264.13	38.90%	1,046.331	$136,023.03	Optimista
94%	16,975.46	985.46	1,083.54	47.63%	1,281.098	$166,542.74	Largo plazo
95%	17,156.05	1,166.05	902.95	56.36%	1,515.865	$197,062.45	Largo plazo exigente

5.3. Índice Beneficio – Costo

Se realizará el análisis del índice Beneficio-Costo, debido a que esta herramienta permite establecer la relación entre los beneficios económicos esperados y los costos asociados a la propuesta. De esta manera, será posible determinar su viabilidad económica y evaluar si los beneficios proyectados compensan los recursos requeridos para su implementación. Para ello, se empleará la siguiente fórmula:

$$Índice = \frac{Beneficios\ de\ la\ propuesta}{Costo\ total\ de\ la\ propuesta}$$

La interpretación del índice Beneficio-Costo se realizará considerando los siguientes criterios:

- **Índice B/C > 1:** Los beneficios obtenidos superan los costos asociados a la propuesta, por lo que su implementación resulta económicamente favorable y viable.
- **Índice B/C = 1:** Los beneficios y los costos presentan el mismo valor, por lo que la propuesta permite recuperar la inversión, pero no genera un beneficio económico adicional.
- **Índice B/C < 1:** Los costos requeridos son superiores a los beneficios esperados, por lo que la propuesta no presenta viabilidad económica bajo las condiciones evaluadas.

$$Índice\ \frac{B}{C} = \frac{105503.32}{95860} = 1.10$$

En función de la evaluación económica proyectada para alcanzar una disponibilidad mecánica del 92 %, se obtuvo una relación beneficio/costo de 1.10. Este resultado significa que, por cada USD 1.00 que se estima invertir en la implementación de la propuesta de mejora basada en RCM, se generarían USD 1.10 en beneficios económicos, lo que representa un beneficio neto estimado de USD 0.10 por cada dólar invertido. Por tanto, la propuesta presenta viabilidad económica bajo las condiciones evaluadas. Cabe precisar que estos resultados son proyecciones, debido a que la propuesta aún no ha sido implementada.

Debido a que la relación beneficio/costo es superior a uno, se determina que los beneficios económicos proyectados superarían los costos asociados a la propuesta, por lo que su implementación resultaría económicamente favorable para la empresa. Cabe precisar que este resultado es una estimación y deberá comprobarse mediante el seguimiento de los costos y beneficios después de la implementación.

CONCLUSIONES

Primera: Se diseñó una propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento basada en la metodología RCM para las máquinas perforadoras diamantinas GEO 3000. La propuesta comprende acciones relacionadas con la planificación del mantenimiento preventivo, la atención del mantenimiento correctivo, la gestión de repuestos críticos y el control de la información. De acuerdo con el análisis desarrollado, se estima que estas acciones podrían fortalecer la gestión del mantenimiento, mejorar el desempeño de los equipos y contribuir al incremento de su disponibilidad mecánica, sujeto a su posterior implementación y seguimiento.

Segunda: El diagnóstico de la situación actual permitió determinar que la disponibilidad mecánica promedio de las máquinas perforadoras durante el año 2025 fue de 88.48 %, registrándose el valor más bajo en julio, con 84.52 %. Asimismo, se contabilizaron 2,069 horas asociadas con actividades de mantenimiento correctivo, equivalentes aproximadamente a 2,689.7 metros de perforación no ejecutados y a una pérdida estimada de ingresos de US$349,661 durante el periodo analizado. Además, se obtuvo un MTBF promedio de 49.44 horas y un MTTR promedio de 6.04 horas. Estos resultados evidencian oportunidades de mejora en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos.

Tercera: Mediante el análisis de causa raíz, desarrollado con la herramienta de los 5 Porqués, se identificaron deficiencias relacionadas con la ausencia de un programa de mantenimiento preventivo orientado a los componentes críticos, la limitada disponibilidad de repuestos en los proyectos, las demoras en la atención de averías y el deficiente control de los indicadores y registros de mantenimiento. En respuesta a estas deficiencias, se diseñaron acciones de mejora que comprenden mantenimientos preventivos cada 250, 1,000, 2,000 y 5,000 horas, la gestión de repuestos críticos, formatos para registrar el uso de los equipos y las averías, el análisis de fallas y

el seguimiento de indicadores. Se espera que estas acciones permitan fortalecer el control del mantenimiento y proporcionen información oportuna para la toma de decisiones, una vez implementadas.

Cuarta: Finalmente, se realizó la evaluación económica de la propuesta considerando una disponibilidad mecánica proyectada del 92 % durante el primer año, correspondiente a la etapa de implementación, adaptación y seguimiento de las acciones planteadas. Asimismo, se estableció el 95 % como una meta de largo plazo, cuyo cumplimiento dependerá de la consolidación del plan de mantenimiento, el seguimiento de los indicadores y la aplicación continua de las acciones RCM.

Para el escenario inicial, se estimó un costo de implementación de US$ 95,860 y beneficios económicos proyectados de US$ 105,503.32, obteniéndose una relación beneficio/costo de 1.10. Esto significa que por cada dólar invertido en la propuesta se generarían aproximadamente US$ 1.10 en beneficios económicos estimados, obteniéndose un beneficio neto de US$ 0.10 por dólar invertido. Al ser este indicador superior a la unidad, se evidencia que los beneficios proyectados superarían los costos de implementación, por lo que la propuesta presenta viabilidad económica bajo las condiciones evaluadas. No obstante, su rentabilidad real deberá comprobarse una vez que sea implementada.

RECOMENDACIONES

Primera: Se recomienda considerar la implementación de la propuesta planteada para fortalecer la planificación, ejecución y control del mantenimiento de las máquinas perforadoras diamantinas, así como mejorar progresivamente su disponibilidad mecánica.

Segunda: Se recomienda efectuar un seguimiento periódico al cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo establecido para los intervalos de 250, 1,000, 2,000 y 5,000 horas, así como verificar el uso y actualización de los formatos propuestos. Esto permitirá identificar desviaciones, evaluar los indicadores de mantenimiento y establecer oportunamente las acciones de mejora necesarias.

Tercera: Se recomienda evaluar en futuras investigaciones la implementación de un software de gestión del mantenimiento (CMMS), especialmente ante el incremento de equipos en operación. Esta herramienta permitiría programar las actividades de mantenimiento, controlar las órdenes de trabajo y repuestos críticos, así como generar información actualizada para el seguimiento de indicadores y la toma de decisiones.

Cuarta: Se recomienda mantener un programa periódico de actualización técnica para el personal de mantenimiento, orientado al funcionamiento de las máquinas perforadoras, la identificación de fallas, los procedimientos de intervención y las metodologías de mantenimiento, con la finalidad de fortalecer la ejecución oportuna y adecuada de los diagnósticos y reparaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Auccalla Centeno, C. A. (2023). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para incrementar la productividad del área de mantenimiento de una empresa minera metalúrgica, Pisco 2023.* Obtenido de Repositorio San Ignasio de Loyola: https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9e87229b-c442-4a70-92d7-e69f8966cc05/content

Banda, L., Sanchez, N., & Ramos, E. (2024). Integrated Maintenance Management to Increase the Availability of Drilling Equipment: Case Study in a Peruvian Mine. *Trans Tech Publications Ltd.*, 69–77.

Barrera Carreño, C. F. (2025). *Desarrollo de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la flota de equipos de perforación de túneles mineros y viales tipo Jumbo Epiroc Boomer S1D en la constructora ESTYMA S.A.* Obtenido de Repositorio UIS: https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/34c324c2-3dbb-47ea-873c-e0842b258457/content

Betanco Castillo, J. G., Romero Grádiz, M. E., & Vega Gonzales, J. I. (2025). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de las perforadoras Flexiroc T35 utilizando el software MP en la empresa Explotec S.A Nicaragua.* Obtenido de Repositorio UNI Nicaragia: https://ribuni.uni.edu.ni/6952/1/200404.pdf

Campbell, J., & Jardine, A. (2001). *Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions.* New York: Marcel Dekker, Inc.

Campbell, J., & Jardine, A. (2001). *Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions.* New York: Marcel Dekker, Inc.

Chacaliaza Barrantes , Y. M., & Estela Vasquez, E. M. (2021). *Aplicación de la metodología RCM mantenimeinto centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos de carguio y acarreo en una empres aminera de Cajamarca 2021.* Obtenido de Repositorio de la Universidad Privada del Norte: https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/086da689-0526-4ae7-b54a-8978ea9c461d/content

Condori Revilla, A. R., & Satalaya Aguilar, R. (2022). *Propuestade optimizar la exploración utilizando perforación diamantina en la contrata minera MDH PD S.A.C.* Obtenido de Repositorio de la universidad César Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/134150/Condori_RAR-Satalaya_AR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Flores Escalante, L. (2023). *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.* Obtenido de Repositorio de la universidad Continental: https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/dc7f6bd0-2be6-4175-95ae-774ae9c44258/content

García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento.* Madrid: Díaz de Santos.

Gasca, M., Camargo, L., & Medina, B. (2017). Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos cr´ticos en el sector industrial. *Información Tecnológica*, 111-124.

Mobley, R. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance.* New York: Butterworth Heinemann.

Mollapaza, J. (2025). Empresa minera de procesamiento de concentrado de cobre en el sur del Perú: Sistema de molienda línea 1. *Researchgate*, 32.

Moreno Osorio, D. S. (2021). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad en una flota de tractores de una empresa minera.* Obtenido de Repositorio de la universidad César Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/77564/Moreno_ODS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moubray, J. (1991). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* North Carolina: Aladon LLC.

Narváez Edwards, J. D., & Palza Bernuy, A. C. (2020). *Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de.* Obtenido de Repositorio de la Universidad César Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48192/Narva%c3%a9z_EJD-Palza_BAC-SD.pdf?sequence=8&isAllowed=y

Nayhua Gamarra, J. A. (2018). *Diseño de un plan de mantenimeinto con la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad para perfroadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explodrilling.* Obtenido de Repositorio de tesis UCSM: file:///D:/rec2021/Documents/TESIS%202023/2.0/TESIS%20MANTTO/Tesis%203.pdf

Nowlan, F., & Heap, H. (1978). *Reliability-centered maintenance.* San Francisco: United Airlines.

Pariapaza Justo, E. H. (2021). *Aplicacion de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera - 2021*. Obtenido de Repositorio de la Universidad César Vallejo:

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/76453/Pariapaza_JEHN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salvador Maguiña, Y. A. (2023). *Propuesta de plan de mantenimeintocentrado en la confiabilidad (MCC)para incrementar la disponibilidad de los cmaiones caterpillar 797F en una empresa minera a tajo abierto, ubicado en Morococha, Yauli-Junin 2023.* Obtenido de Repositorio de la Universidad Privada del Norte: https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/38417fda-bd44-4c53-a249-67924aea3374/content

Wireman, T. (2004). *Total Productive Maintenance (2nd ed).* New York: Industrial Press Inc.

ANEXOS

Anexo 1
Disponibilidad mecánica por máquina

PROYECTO	MÁQUINA	MES	Tiempos Operación	Tiempo Muertos									
			Perforando	Stand By	Movi. entre plataformas	Problema Operativo	Mantenimiento	Logística	RR HH.	Seguridad	**Total Has. Muertas**	Tiempo total de Mantto	Disponibilidad de máquinas (%)
MICHIQUILLAY	GEO 3000-41	ENERO	170	0	150	5	25	0	34	38	252	195	87.18
MICHIQUILLAY	GEO 3000-48	ENERO	180	0	130	3	50	0	34	38	255	230	78.26
MICHIQUILLAY	GEO 3000-68	ENERO	300	0	0	90	43	0	62	69	264	343	87.46
MICHIQUILLAY	GEO 3000-71	ENERO	305	0	218	0	25	0	62	65	370	330	92.42
MICHIQUILLAY	GEO 3000-41	FEBRERO	450	0	25	10	25	0	56	67	183	475	94.74
MICHIQUILLAY	GEO 3000-48	FEBRERO	306	0	25	0	65	0	34	43	167	371	82.48
MICHIQUILLAY	GEO 3000-68	FEBRERO	485	0	0	0	35	0	56	60	151	520	93.27
ARCATA	GEO 3000-83	MARZO	309	0	10	0	50	0	34	45	139	359	86.07
ARCATA	GEO 3000-101	MARZO	336	0	111	0	40	0	46	51	248	376	89.36
ARCATA	GEO 3000-104	MARZO	275	0	50	0	30	0	34	43	157	305	90.16
ARCATA	GEO 3000-83	ABRIL	330	0	48	0	29	0	58	63	198	359	91.92
ARCATA	GEO 3000-101	ABRIL	400	0	0	84	70	0	62	69	285	470	85.11
ARCATA	GEO 3000-104	ABRIL	450	0	0	10	30	0	58	67	165	480	93.75
ARCATA	GEO 3000-106	ABRIL	480	0	0	16	20	0	64	100	200	500	96.00
ARCATA	GEO 3000-83	MAYO	415	0	180	54	75	0	36	65	410	490	84.69
ARCATA	GEO 3000-101	MAYO	302	0	27	6	38	0	60	83	214	340	88.82
ARCATA	GEO 3000-104	MAYO	348	0	132	80	62	0	122	126	522	410	84.88
ARCATA	GEO 3000-106	MAYO	420	0	30	8	35	0	56	67	196	455	92.31
ARCATA	GEO 3000-83	JUNIO	390	0	15	10	26	0	34	43	128	416	93.75
ARCATA	GEO 3000-101	JUNIO	510	0	0	12	50	0	56	60	178	560	91.07
ARCATA	GEO 3000-104	JUNIO	190	0	70	40	40	0	40	65	255	230	82.61
ARCATA	GEO 3000-106	JUNIO	215	0	110	10	20	0	34	45	219	235	91.49
ARCATA	GEO 3000-83	JULIO	485	0	0	90	125	0	62	69	346	610	79.51
ARCATA	GEO 3000-101	JULIO	325	0	10	15	25	0	40	43	133	350	92.86
ARCATA	GEO 3000-104	JULIO	302	0	90	0	40	0	45	52	227	342	88.30
ARCATA	GEO 3000-106	JULIO	280	0	45	20	65	0	33	47	210	345	81.16
ARCATA	GEO 3000-83	AGOSTO	455	0	60	5	15	0	55	64	199	470	96.81
ARCATA	GEO 3000-101	AGOSTO	295	0	180	54	75	0	36	65	410	370	79.73

ARCATA	GEO 3000-104	AGOSTO	303	0	22	8	50	0	50	73	203	353	85.84
ARCATA	GEO 3000-106	AGOSTO	337	0	117	18	35	0	112	116	398	372	90.59
ARCATA	GEO 3000-83	SEPTIEMBRE	415	0	22	10	45	0	46	57	180	460	90.22
ARCATA	GEO 3000-101	SEPTIEMBRE	303	0	20	20	50	0	35	40	165	353	85.84
ARCATA	GEO 3000-104	SEPTIEMBRE	285	0	105	5	26	0	40	50	226	311	91.64
ARCATA	GEO 3000-106	SEPTIEMBRE	250	0	65	25	75	0	30	45	240	325	76.92
ARCATA	GEO 3000-83	OCTUBRE	480	0	80	10	30	0	50	65	235	510	94.12
ARCATA	GEO 3000-101	OCTUBRE	470	0	15	15	25	0	60	70	185	495	94.95
ARCATA	GEO 3000-104	OCTUBRE	446	0	20	20	40	0	70	105	255	486	91.77
ARCATA	GEO 3000-106	OCTUBRE	305	0	150	50	75	0	45	70	390	380	80.26
ARCATA	GEO 3000-83	NOVIEMBRE	290	0	20	10	15	0	64	85	194	305	95.08
ARCATA	GEO 3000-101	NOVIEMBRE	445	0	5	80	100	0	70	70	325	545	81.65
ARCATA	GEO 3000-104	NOVIEMBRE	315	0	15	10	25	0	48	44	142	340	92.65
ARCATA	GEO 3000-106	NOVIEMBRE	292	0	95	8	10	0	53	53	219	302	96.69
ARCATA	GEO 3000-83	DICIEMBRE	275	0	50	10	20	0	39	48	167	295	93.22
ARCATA	GEO 3000-101	DICIEMBRE	300	0	20	16	75	0	60	78	249	375	80.00
ARCATA	GEO 3000-104	DICIEMBRE	345	0	115	25	95	0	123	103	461	440	78.41
ARCATA	GEO 3000-106	DICIEMBRE	426	0	24	18	50	0	65	60	217	476	89.50

Nota: Elaboración propia

Anexo 2

Metros ejecutados y metros perforados

PROYECTO	MÁQUINA	MES	Avance en metros				Metros proyectados	Porcentaje de cumplimiento
			PQ	HQ	NQ	Mt. ejecutados		
MICHIQUILLAY	GEO 3000-41	ENERO	0.00	0.00	161.40	161.40	200.00	81%
MICHIQUILLAY	GEO 3000-48	ENERO	0.00	0.00	196.00	196.00	200.00	98%
MICHIQUILLAY	GEO 3000-68	ENERO	25.00	12.00	137.70	174.70	200.00	87%
MICHIQUILLAY	GEO 3000-71	ENERO	38.35	326.00	107.00	471.35	500.00	94%
MICHIQUILLAY	GEO 3000-41	FEBRERO	158.20	160.00	154.00	472.20	500.00	94%
MICHIQUILLAY	GEO 3000-48	FEBRERO	0.00	167.30	301.00	468.30	500.00	94%
MICHIQUILLAY	GEO 3000-68	FEBRERO	68.31	247.25	290.00	605.56	600.00	101%
ARCATA	GEO 3000-83	MARZO	12.20	132.00	150.70	294.90	300.00	98%
ARCATA	GEO 3000-101	MARZO	0.00	24.00	301.00	325.00	400.00	81%
ARCATA	GEO 3000-104	MARZO	0.00	48.00	175.00	223.00	300.00	74%
ARCATA	GEO 3000-83	ABRIL	0.00	0.00	195.30	195.30	250.00	78%
ARCATA	GEO 3000-101	ABRIL	0.00	20.00	439.00	459.00	500.00	92%
ARCATA	GEO 3000-104	ABRIL	0.00	386.20	0.00	386.20	500.00	77%
ARCATA	GEO 3000-106	ABRIL	0.00	428.00	45.00	473.00	500.00	95%
ARCATA	GEO 3000-83	MAYO	0.00	400.50	0.00	400.50	500.00	80%
ARCATA	GEO 3000-101	MAYO	0.00	240.00	0.00	240.00	250.00	96%
ARCATA	GEO 3000-104	MAYO	0.00	482.10	0.00	482.10	500.00	96%
ARCATA	GEO 3000-106	MAYO	0.00	119.50	25.00	144.50	200.00	72%
ARCATA	GEO 3000-83	JUNIO	0.00	270.55	0.00	270.55	300.00	90%
ARCATA	GEO 3000-101	JUNIO	0.00	245.20	0.00	245.20	300.00	82%
ARCATA	GEO 3000-104	JUNIO	0.00	0.00	457.25	457.25	500.00	91%
ARCATA	GEO 3000-106	JUNIO	0.00	444.90	0.00	444.90	500.00	89%

ARCATA	GEO 3000-83	JULIO	20.00	150.00	135.00	305.00	300.00	102%
ARCATA	GEO 3000-101	JULIO	0.00	45.00	331.00	376.00	400.00	94%
ARCATA	GEO 3000-104	JULIO	0.00	37.00	210.00	247.00	300.00	82%
ARCATA	GEO 3000-106	JULIO	0.00	0.00	165.00	165.00	200.00	83%
ARCATA	GEO 3000-83	AGOSTO	0.00	15.00	421.00	436.00	500.00	87%
ARCATA	GEO 3000-101	AGOSTO	0.00	350.00	20.00	370.00	400.00	93%
ARCATA	GEO 3000-104	AGOSTO	0.00	550.00	55.00	605.00	600.00	101%
ARCATA	GEO 3000-106	AGOSTO	0.00	430.50	25.00	455.50	500.00	91%
ARCATA	GEO 3000-83	SEPTIEMBRE	0.00	180.50	33.50	214.00	300.00	71%
ARCATA	GEO 3000-101	SEPTIEMBRE	0.00	460.00	0.00	460.00	500.00	92%
ARCATA	GEO 3000-104	SEPTIEMBRE	0.00	205.50	45.00	250.50	300.00	84%
ARCATA	GEO 3000-106	SEPTIEMBRE	0.00	280.50	0.00	280.50	300.00	94%
ARCATA	GEO 3000-83	OCTUBRE	25.00	230.00	23.00	278.00	300.00	93%
ARCATA	GEO 3000-101	OCTUBRE	0.00	20.00	470.00	490.00	500.00	98%
ARCATA	GEO 3000-104	OCTUBRE		428.00	61.00	489.00	500.00	98%
ARCATA	GEO 3000-106	OCTUBRE	0.00	430.50	25.00	455.50	500.00	91%
ARCATA	GEO 3000-83	NOVIEMBRE	0.00	149.00	33.50	182.50	200.00	91%
ARCATA	GEO 3000-101	NOVIEMBRE	0.00	460.00	25.00	485.00	500.00	97%
ARCATA	GEO 3000-104	NOVIEMBRE	10.00	200.00	60.00	270.00	300.00	90%
ARCATA	GEO 3000-106	NOVIEMBRE	25.00	280.00	20.00	325.00	400.00	81%
ARCATA	GEO 3000-83	DICIEMBRE	36.00	270.00	35.00	341.00	400.00	85%
ARCATA	GEO 3000-101	DICIEMBRE	0.00	25.00	455.00	480.00	500.00	96%
ARCATA	GEO 3000-104	DICIEMBRE	0.00	415.00	42.00	457.00	500.00	91%
ARCATA	GEO 3000-106	DICIEMBRE	20.00	205.00	25.00	250.00	300.00	83%

Nota: Elaboración propia

Anexo 3

Ponderación de Frecuencia de falla FF y la consecuencia de la falla CF

Frecuencia de Fallas (FF)	**Valor**
¿Qué tan frecuente son las fallas ocurridas?	
Menos de 1 por año	1
Entre 2 y 12 por año	2
Entre 13 y 52 por año	3
Más de 52 por año (más de una por semana)	4

Impacto en la Producción (IP)	**Valor**
¿Cuál es el impacto en la producción?	
Menor al 25%	1
25% de impacto	2
50% de impacto	3
75% de impacto	4

Seguridad y Salud (SS)	**Valor**
¿Cuál es la lesión más significativa que puede presentarse en la operación del equipo?	
No hay algún riesgo de lesión	1
Lesiones leves (son asistidas dentro de la fábrica, no hay incapacidad)	2
Lesiones significativas (incapacidad entre 1 y 30 días)	3
Lesiones de incapacidad parcial o permanente (mayor de 30 días)	4

Costos de Reparación (CR)	**Valor**
¿Cuál es el costo anual del mantenimiento del equipo?	
Menos de 1000 dólares	1
Entre 1000 y 5000 dólares	2
Entre 5001 y 10000 dólares	3
Más de 10000 dólares	4

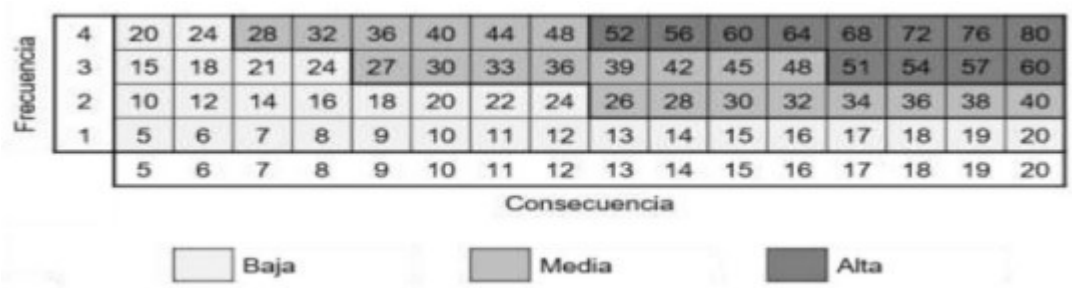
Tiempo de Reparación (TR)	**Valor**
¿Cuál es el tiempo promedio para reparar el equipo?	
Menor a 4 horas	1
Igual o mayor a 4 horas y menor a 6 horas	2
Igual o mayor a 6 horas y menor a 12 horas	3
Mayor a 12 horas	4

Tiempo de Operación (TO)	**Valor**
¿Cuál es el tiempo de trabajo de esta máquina?	
Opcionalmente	1
Un turno de trabajo	2
Dos turnos de trabajo	3
Totalmente	4

Nota: Ponderaciones extraídas de Gasca (2017)

Anexo 4

Matriz de Criticidad



Nota: Matriz extraída de Gasca (2017)

Anexo 5

Muestra del registro de las fallas de máquina

N° OR	PROYECTO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
OR- 200	MICHIQUILLAY	GEO 3000-41	Reparación del cable acelerador
OR- 201	MICHIQUILLAY	GEO 3000-48	Reparación de chamber
OR- 202	MICHIQUILLAY	GEO 3000-68	Reparación de chuck de máquina
OR- 203	MICHIQUILLAY	GEO 3000-71	Reparación de enfriador
OR- 204	MICHIQUILLAY	GEO 3000-41	Cambio de manguera de chuck
OR- 205	MICHIQUILLAY	GEO 3000-48	Cambio de tacómetro
OR- 206	MICHIQUILLAY	GEO 3000-68	Reparación de enfriador de motor
OR- 207	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de motor hidráulico
OR- 208	ARCATA	GEO 3000-101	Reparación de motores wireline
OR- 209	ARCATA	GEO 3000-104	Reparación de motor de chamber
OR- 210	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de chuck de máquina
OR- 211	ARCATA	GEO 3000-101	Reparación de KPL
OR- 212	ARCATA	GEO 3000-104	Reparación de motor Cummings
OR- 213	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de empaque de intercooler
OR- 214	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de cooler hidráulico y caja funk
OR- 215	ARCATA	GEO 3000-101	Cambio de husillo en unidad de rotación
OR- 216	ARCATA	GEO 3000-104	Cambio de sprocket en unidad de rotación
OR- 217	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de motor de chamber
OR- 218	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de bomba 70160
OR- 219	ARCATA	GEO 3000-101	Reparación de poleas y avance fino
OR- 220	ARCATA	GEO 3000-104	Reparación hidráulica mecánica
OR- 221	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de filtros y aceite
OR- 222	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de motor
OR- 223	ARCATA	GEO 3000-101	Reparación de motobomba
OR- 224	ARCATA	GEO 3000-104	Cambio de la válvula de la máquina
OR- 225	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de los sellos de la valvula prince
OR- 226	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de bomba y motorin de chamber
OR- 227	ARCATA	GEO 3000-101	Cambio de cartucho de avance fino

OR- 228	ARCATA	GEO 3000-104	Cambio de correas
OR- 229	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de manguera de chuck
OR- 230	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de motor y soldadura de máquina
OR- 231	ARCATA	GEO 3000-101	Cambio de bomba de agua
OR- 232	ARCATA	GEO 3000-104	Cambio de baterías
OR- 233	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de enfriador
OR- 234	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de motor wireline
OR- 235	ARCATA	GEO 3000-101	Cambio de guardas y soldeo
OR- 236	ARCATA	GEO 3000-104	Habilitación de bomba hidráulica
OR- 237	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de packing cylinder
OR- 238	ARCATA	GEO 3000-83	Reparación de alternador
OR- 239	ARCATA	GEO 3000-101	Cambio de faros de castillo
OR- 240	ARCATA	GEO 3000-104	Reparación de manómetro
OR- 241	ARCATA	GEO 3000-106	Reparación de mixwer
OR- 242	ARCATA	GEO 3000-83	Cambios de bomba de agua
OR- 243	ARCATA	GEO 3000-101	Cambio de mangueras
OR- 244	ARCATA	GEO 3000-104	Cambio de válvula prince
OR- 245	ARCATA	GEO 3000-106	Cambio de cartucho de avance fino

Nota: Elaboración propia

Anexo 6

Guía de entrevista a personal experto

Nota: Elaboración propia

ENTREVISTA	
Nombre del entrevistado:	
Cargo que ocupa:	

Preguntas:

1. ¿Cuáles son las fallas más comunes y con qué frecuencia ocurren en el Sistema hidráulico de la máquina perforadora GEO 3000?
2. ¿Cuáles son las fallas más comunes y con qué frecuencia ocurren en el Sistema Rotativo de la máquina perforadora GEO 3000?
3. ¿Cuáles son las fallas más comunes y con qué frecuencia ocurren en el Sistema de Potencia de la máquina perforadora GEO 3000?
4. ¿Cuáles son las fallas más comunes y con qué frecuencia ocurren en el Sistema Eléctrico de la máquina perforadora GEO 3000?
5. ¿Cuáles son las fallas más comunes y con qué frecuencia ocurren en las poleas de izaje y las estructuras de la máquina perforadora GEO 3000?
6. ¿Considera que las fallas identificadas se atienden con rapidez?
7. ¿Qué acciones preventivas se deben tomar para las fallas identificadas en el Sistema hidráulico?
8. ¿Qué acciones preventivas se deben tomar para las fallas identificadas en el Sistema rotativo?
9. ¿Qué acciones preventivas se deben tomar para las fallas identificadas en el Sistema de Potencia?
10. ¿Qué acciones preventivas se deben tomar para las fallas identificadas en el Sistema Eléctrico?
11. ¿Qué acciones preventivas se deben tomar para las fallas identificadas en poleas de izaje y las estructuras?
12. ¿Cuentan con un plan de mantenimiento preventivo de todos los sistemas que conforman la Máquina perforadora?
13. ¿Se cuenta con un stock de Componentes y Repuestos Críticos en almacén de proyecto?

Nota: Elaboración propia

Anexo 7

Presiones de funcionamiento y regulación de la máquina perforadora

PRESIONES	DESCRIPCIÓN PARAFRASEADA
Presión del sistema primario	Opera mediante la bomba hidráulica 70553. Se debe comprobar el punto de regulación del compensador de baja presión, establecido en 200 PSI, y del compensador de alta presión, configurado en 3300 PSI. Este circuito acciona únicamente el pistón de avance, el winche de izaje y el carrete Wireline. Su funcionamiento es controlado mediante la válvula MP18, calibrada a 3200 PSI.
Presión de chamber	El funcionamiento se realiza mediante la bomba hidrostática 70160. El sistema presenta un intervalo de operación comprendido entre 500 y 2000 PSI, considerando una presión promedio de trabajo de 1000 PSI.
Presión de agua	Corresponde a la presión suministrada por la bomba de lodos. Su rango operativo se encuentra entre 100 y 600 PSI y mantiene relación con la presión de avance durante el proceso de perforación. La presión promedio de operación es de 200 PSI.
Torque	Es generado mediante la bomba hidrostática 6423. El rango de presión de funcionamiento se encuentra entre 700 y 3500 PSI, con un valor promedio de 1500 PSI. El torque máximo alcanza los 500 Nm y su comportamiento depende de las RPM establecidas en el Chuck.
Presión de avance	Está asociada a la presión secundaria encargada de generar el empuje sobre el pistón de avance. Su rango de funcionamiento oscila entre 800 y 2000 PSI, mientras que la presión promedio de trabajo corresponde a 1500 PSI.
Presión del sistema secundario	Es suministrada por la bomba hidráulica 70122 y permite alimentar los sistemas de avance fino, mixer, Chuck, piloto del motor de Chamber y la grampa. El rango de operación se encuentra entre 1000 y 2000 PSI, con una presión promedio de 1500 PSI.
Presión sobre la corona	Corresponde a la presión utilizada para regular el peso de la tubería en conjunto con la presión de avance aplicada al pistón. Su rango de trabajo se encuentra entre 200 y 1500 PSI y presenta una presión promedio de 500 PSI.
Presión de la válvula prince	Esta presión permite controlar el funcionamiento de las gatas, así como el desplazamiento y la inclinación del castillo. La presión promedio de operación establecida es de 1200 PSI.

Nota: Adaptado del área de Operaciones de la empresa de estudio.

Anexo 8

Costo detallado del mantenimiento preventivo

MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 250 HORAS					
ITEM	**MATERIALES E INSUMOS**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza	$ 37.00	$ 37.00
2	Filtro de petróleo PC 42 F53125	1	Pza	$ 4.50	$ 4.50
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza	$ 19.25	$ 19.25
4	Elemento Racor de petróleo FSP 2040-30	1	Pza	$ 15.00	$ 15.00
5	Aceite de motor 15w40	5	Gl	$ 29.50	$ 147.50
6	Trapo industrial	2	Kg	$ 5.50	$ 11.00
7	Grasa multipropósito	2	Kg	$ 10.00	$ 20.00
Costo total - Mantenimiento 250 horas					$ 254.25

MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 1000 HORAS					
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Billa para Chamber 435	6	Pza	$ 7.20	$ 43.20
2	Seat Valve Chamber 435	6	Pza	$ 4.50	$ 27.00
3	Packing Cylinder 435	3	Pza	$ 14.50	$ 43.50
4	Seal kit para bomba 70160	1	Jgo	$ 90.00	$ 90.00
5	Seal kit para motor 193-0116-001	1	Jgo	$ 100.00	$ 100.00
ITEM	**MATERIALES E INSUMOS**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza	$ 37.00	$ 37.00
2	Filtro de petróleo PC 42 F53125	1	Pza	$ 4.50	$ 4.50
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza	$ 19.25	$ 19.25
4	Elemento Racor de petróleo FSP2040-30	1	Pza	$ 15.00	$ 15.00
5	Aceite de motor 15w40 y Chamber	6	Gl	$ 29.50	$ 177.00
6	Trapo industrial	2	Kg	$ 5.50	$ 11.00
7	Grasa multipropósito	2	Kg	$ 10.00	$ 20.00
8	Aceite SAE 80w90	1	Bal	$ 65.00	$ 65.00
9	Filtro de aceite PC211	1	Pza	$ 5.50	$ 5.50
10	Aceite SAE 80w140	1	Gl	$ 25.00	$ 25.00
Costo total - Mantenimiento 1000 horas					$ 682.95

MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 2000 HORAS					
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Billa para chamber 435	6	Pza	$ 7.20	$ 43.20
2	Seat valve chamber 435	6	Pza	$ 4.50	$ 27.00
3	Packing cylinder 435	3	Pza	$ 14.50	$ 43.50
4	Seal kit para bomba 70160	1	Jgo	$ 90.00	$ 90.00
5	Seal kit para motor 193-0116-001	1	Jgo	$ 100.00	$ 100.00
6	Kit de sellos de pulmón hidráulico GEO 3000	1	Jgo	$ 50.00	$ 50.00
7	Rodamiento 6210 ZNR	1	Pza	$ 8.50	$ 8.50
8	Rodamiento 6211 ZNR	1	Pza	$ 11.50	$ 11.50
9	Rodamiento 6207 ZNR	1	Pza	$ 14.50	$ 14.50
10	Rodamiento 6308 ZNR	1	Pza	$ 17.00	$ 17.00
11	Rodamiento 51134 M	1	Pza	$ 210.00	$ 210.00
12	Resortes rojos p/sombrero de Chuck	10	Pza	$ 18.00	$ 180.00
13	Shaft seal p/motor EATON6433	1	Jgo	$ 130.00	$ 130.00
14	Rodamiento 6901 de alternador de motor	2	Pza	$ 10.00	$ 20.00
15	Rodamiento 4517 de arrancador de motor	2	Pza	$ 8.50	$ 17.00
16	Kit de sellos p/winche KPL	1	Jgo	$ 33.00	$ 33.00
17	Kit de sellos p/winche wireline	1	Jgo	$ 40.00	$ 40.00
ITEM	**MATERIALES E INSUMOS**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza	$ 37.00	$ 37.00
2	Filtro de petróleo PC 42 F53125	1	Pza	$ 4.50	$ 4.50
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza	$ 19.25	$ 19.25
4	Elemento Racor de petróleo FSP 2040	1	Pza	$ 15.00	$ 15.00
5	Aceite de motor 15w40 y Chamber	6	Gl	$ 29.50	$ 177.00
6	Trapo industrial	2	Kg	$ 5.50	$ 11.00
7	Grasa multipropósito	2	Kg	$ 10.00	$ 20.00
8	Aceite SAE 80w90	1	Bal	$ 65.00	$ 65.00
9	Filtro de aceite PC211	1	Pza	$ 5.50	$ 5.50
10	Filtro hidráulico 932670Q-10Q-TO	2	Pza	$ 92.00	$ 184.00
11	Aceite SAE 80w140	1	Gl	$ 25.00	$ 25.00
12	Filtro de aire primario A-2405	1	Pza	$ 32.00	$ 32.00
13	Filtro de aire secundario A-2405	1	Pza	$ 32.00	$ 32.00
14	Aceite hidráulico SAE 46	3	Bal	$ 65.00	$ 195.00
15	Refrigerante para motor	5	Gl	$ 8.00	$ 40.00
Costo total - Mantenimiento 2000 horas					$ 1,897.45

MANTENIMIENTO PREVENTIVO - 5000 HORAS					
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Billa para chamber 435	6	Pza	$ 7.20	$ 43.20
2	Seat valve chamber 435	6	Pza	$ 4.50	$ 27.00
3	Packing cylinder 435	3	Pza	$ 14.50	$ 43.50
4	Pistones de deslizamiento	2	Pza	-	-
5	Baquelitas laterales de base deslizamiento	1	Jgo	$ 45.00	$ 45.00
6	Culata de chamber 435	1	Pza	$ 150.00	$ 150.00
7	Carcasa de caja funk	1	Pza	-	-
8	Discos húmedos para winche KPL	4	Pza	$ 145.00	$ 580.00
9	Shaft seal p/bomba 6423	1	Jgo	$ 100.00	$ 100.00
10	Seal kit p/bomba 70553	1	Jgo	$ 110.00	$ 110.00
11	Seal kit p/bomba 70122	1	Jgo	$ 112.00	$ 112.00
12	Seal kit p/motor 113-1057-006 delantero	1	Jgo	$ 92.00	$ 92.00
13	Seal kit p/motor 113-1057-006 posterior	1	Jgo	$ 50.00	$ 50.00
14	Seal kit p/motor 101-1001-009	1	Jgo	$ 40.00	$ 40.00
15	Enfriador de aceite con empaques p/motor	1	Jgo	$ 210.00	$ 210.00
ITEM	**MATERIALES E INSUMOS**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Filtro de aceite LF 3000	1	Pza	$ 37.00	$ 37.00
2	Filtro de petróleo PC42 F53125	1	Pza	$ 4.50	$ 4.50
3	Filtro de petróleo PER 43 F60043	1	Pza	$ 19.25	$ 19.25
4	Elemento racor de petróleo FSP 2040-30	1	Pza	$ 15.00	$ 15.00
5	Aceite de motor 15w40 y chamber	6	Gl	$ 29.50	$ 177.00
6	Trapo industrial	2	Kg	$ 5.50	$ 11.00
7	Grasa multipropósito	4	Kg	$ 10.00	$ 40.00
8	Aceite SAE 80w90	1	Bal	$ 65.00	$ 65.00
9	Filtro de aceite PC211	1	Pza	$ 5.50	$ 5.50
10	Aceite SAE 80w140	1	Gl	$ 25.00	$ 25.00
ITEM	**SERVICIOS EXTERNOS**	**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**COSTO TOTAL**
1	Medida de compresión de motor	1	Servicio	$ 92.00	$ 92.00
2	Calibración de inyectores de motor	1	Servicio	$ 320.00	$ 320.00
Costo total - Mantenimiento 5000 horas					$ 2,413.95

Nota: Elaboración propia