



Plan de Mantenimiento orientado en el Pilar de Mantenimiento Planificado de TPM para un equipo de perforación Sumdrill XY-1 de empresas dedicadas a la exploración geotécnica

Guillermo Carmen Motta

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Asesor

Fernando Villada Duque, Doctor (PhD) en Ingeniería Eléctrica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(Carmen Motta, 2024)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Carmen Motta, (2024). *Plan de Mantenimiento orientado en el Pilar de Mantenimiento Planificado de TPM para un equipo de perforación Sumdrill XY-1 de empresas dedicadas a la exploración geotécnica* [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Cohorte XXVIII.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	3
Resumen	7
1. Introducción	8
2. Justificación	9
3. Objetivos	10
3.1. Objetivo general	10
3.2. Objetivos específicos.....	10
4. Marco teórico.....	11
4.1. Definición de Mantenimiento.....	11
4.1.1. Mantenimiento correctivo o a la falla (CM);	11
4.1.2. Mantenimiento preventivo (PM).....	12
4.1.3. Mantenimiento predictivo (PdM).....	13
4.2. Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	14
4.2.1. Pilares de Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	15
4.2.1.1. Primer Pilar – Mejoras Enfocadas o Kobetsu Kaisen	16
4.2.1.2. Segundo Pilar -Mantenimiento Autónomo	16
4.2.1.3. Tercer Pilar – Mantenimiento Planificado	16
4.2.1.4. Cuarto Pilar – Mantenimiento de Calidad	16
4.2.1.5. Quinto Pilar -Prevención del Mantenimiento	17
4.2.1.6. Sexto Pilar – Mantenimiento de áreas soporte.....	17
4.2.1.7. Séptimo pilar – Polivalencia y desarrollo de habilidades	17
4.2.1.8. Octavo Pilar – Seguridad y Entorno	17
4.3. Método de las 5S	18
4.4. Plan de mantenimiento	18

5.	Empresas del sector geotécnico	19
5.1.	Equipo de perforación Sumdrill Petty	20
5.2.	Equipo de perforación Sumdrill XY1	21
5.3.	Equipo de perforación Sumdrill XY2 -B	22
6.	Metodología	24
7.	Implementación pilar de Mantenimiento Planificado	25
7.1.	Condiciones iniciales de la empresa.....	25
7.2.	Decisión de la dirección	25
7.3.	Campaña de información	25
7.4.	Creación de la estructura	26
7.5.	Selección de equipo piloto	26
7.6.	Descripción del equipo.....	28
7.6.1.	Ficha técnica.....	29
7.6.2.	Funcionamiento de los sistemas.....	30
8.	Fallas históricas del equipo.....	35
9.	Análisis de modo de falla y efecto (AMEF)	36
10.	Recomendaciones de mantenimiento del fabricante	41
11.	Plan de Mantenimiento Planificado	42
12.	Carta de Lubricación	47
13.	Conclusiones	48
14.	Referencias	49

Lista de tablas

Tabla 1	Ventajas y desventajas mantenimiento correctivo	12
Tabla 2	Ventajas y desventajas mantenimiento preventivo.	13
Tabla 3	Ventajas y desventajas mantenimiento predictivo.	14
Tabla 4	Especificaciones técnicas Sumdrill Petty	21
Tabla 5	Especificaciones técnicas Sumdrill XY-1	22
Tabla 6	Especificaciones técnicas Sumdrill XY-2B	23
Tabla 7	Datos de equipos del 2023.	26
Tabla 8	Funcionamiento de los sistemas.	30
Tabla 9	Análisis de modo de falla y efecto AMFE	37
Tabla 10	Tabla de mantenimiento Petty	41
Tabla 11	Plan de mantenimiento planificado Sumdrill XY-1	43

Lista de figuras

Figura 1	Pilares de mantenimiento productivo total TPM	15
Figura 2	Metodología de las 5s	18
Figura 3	Equipo de percusión – Trípode.....	19
Figura 4	Equipo de rotopercusión Sumdrill Petty.....	20
Figura 5	Equipo de rotopercusión Sumdrill XY-1	21
Figura 6	Equipo de rotopercusión Sumdrill XY-2B	22
Figura 7	Flujograma implementación plan de mantenimiento planificado.	24
Figura 8	Elaboración propia grafico de rendimiento de equipos en el año 2023.....	27
Figura 9	Equipo piloto Sumdrill XY-1	28
Figura 10	Ficha técnica equipo Sumdrill XY-1.....	29
Figura 11	Fallas históricas equipo piloto Sumdrill XY-1	35
Figura 12	Ficha o Carta de lubricación	47

Resumen

El estudio realizado en este trabajo es dar herramientas para mejorar la disponibilidad del equipo de rotoperusión en una de las empresas del sector geotécnico mediante un plan de mantenimiento generado por la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM). Donde se implementó el pilar de mantenimiento planificado. Se abordó un caso de estudio centrado en el equipo de perforación de la marca Sumdrill XY1 dando herramientas para mejorar la disponibilidad y aumentar la eficiencia operativa.

Palabras clave: Mantenimiento planificado, Mantenimiento Productivo Total, geotecnia, Sumdrill XY-1.

1. Introducción

La exploración geotécnica desempeña un papel fundamental en el desarrollo de proyectos de ingeniería, proporcionando información crítica sobre las características del subsuelo. En este contexto, las empresas geotécnicas en su proceso de extracción de muestras han evidenciado una reducción de la eficiencia de su equipo de rotoperforación Sumdrill XY1 manifestados en tiempos de reparación prolongados, costos elevados de mantenimientos correctivos y daños de piezas debido a falta de intervenciones oportunas, impactando los tiempos de ejecución de proyectos y la disponibilidad de equipos para su labor de exploración de campo.

La presente monografía se centra en el desarrollo de un plan de mantenimiento planificado orientado por la metodología del Mantenimiento Total Productivo (TPM) que proporciona una herramienta que permite contribuir en el desarrollo de prácticas de mantenimiento efectivo y sostenible, con motivo de mejorar la disponibilidad y confiabilidad del equipo Sumdrill XY-1 así como aumentar su desempeño en las actividades de exploración de campo, de igual manera, se incluye la creación de la carta de lubricación del equipo, que marcaría el inicio del pilar de mantenimiento autónomo. Este documento fomenta una cultura de buenas prácticas y responsabilidad de los operadores, sentando bases para una mejora continua del mantenimiento seguro del equipo.

2. Justificación

La empresa analizada se caracteriza por su enfoque multidisciplinario y altos estándares de calidad, atendiendo las necesidades de sus clientes con personal altamente calificado. La prestación de servicios abarca áreas diversas como Consultoría, Interventoría, Exploraciones geotécnicas, y ensayos de laboratorio, con un enfoque centrado en ofrecer servicios eficientes y efectivos que aporten un alto valor agregado.

El área de exploración geotécnica o perforación y sondeos exploratorios, es una unidad de negocio totalmente operativa donde se tiene gran variedad de equipos de rotoperusión de los cuales se tienen Sumdrill Petty, Sumdrill XY2-B y Sumdrill XY1, Este último equipo durante los últimos años ha presentado tiempos de reparación altos, mantenimientos correctivos con costos elevados y daños de sistemas por falta de intervenciones a tiempo.

Dichas causas han aumentado los tiempos de ejecución de los proyectos y disminuido la disponibilidad de los equipos en la empresa, por lo cual, se refleja la necesidad de diseñar e implementar un plan de mantenimiento para el equipo de rotoperusión Sumdrill XY1 en aras de prevenir daños a futuros y aumentar la disponibilidad del equipo. Este enfoque contribuirá directamente a mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos de mantenimientos correctivos y elevar la calidad de los servicios de exploración de campo ofrecidos.

La ejecución de un plan de mantenimiento no solo responde a la necesidad interna de la empresa geotécnica, también se alinea con la visión de la empresa de proporcionar servicios de exploración geotécnica eficientes y efectivos que agreguen un alto valor a sus clientes. La implementación exitosa de este plan no solo fortalecerá la posición competitiva de la empresa en el mercado, sino también contribuirá a elevar los estándares de calidad en la industria geotécnica. Responde a los interrogantes del por qué se desea conocer el tema y por qué se seleccionó, así como cuál es el aporte que tendrá el texto a la ciencia.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Dar una herramienta para mejorar la disponibilidad y eficiencia operativa del equipo de rotopercusión Sumdrill XY1 de la empresa geotécnica, con la ejecución de un plan de mantenimiento orientado con el tercer pilar de la metodología mantenimiento total productivo (TPM) para minimizar los tiempos de inactividad y asegurar un rendimiento óptimo en todas las operaciones.

3.2. Objetivos específicos

- Recopilar y presentar de manera clara y detallada todas las especificaciones técnicas del equipo Sumdrill XY-1, incluyendo la descripción de sus sistemas y/o componentes mecánicos.
- Evaluar los modos de fallas y efectos que provocan la inactividad y los costos de operación del equipo.
- Desarrollar un plan de acción preventivo para mitigar o corregir los modos de falla identificados garantizando un funcionamiento óptimo y seguro del equipo.
- Definir tareas específicas de mantenimiento con frecuencias de ejecución y responsabilidades del personal para cada actividad dentro del plan de mantenimiento.
- Proporcionar un documento con información de la cantidad, frecuencia y tipo de lubricante que requiere el equipo para que el personal pueda realizar tareas de mantenimiento autónomo de manera efectiva y segura.

4. Marco teórico

4.1. Definición de Mantenimiento

Según la norma UNE-EN 13306, 2011 el mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar la función requerida.

En la literatura existen otras definiciones de mantenimiento, en el artículo de (Olarte C et al., 2010) se define como el conjunto de acciones encaminadas a mantener el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción, enfocado a obteniendo su máximo rendimiento.

(Rondón, s. f.) define el mantenimiento en una serie de acciones ejecutadas por el personal encargado del departamento, con la finalidad de tener las condiciones de funcionamientos requeridas de los equipos, máquinas, componentes e instalaciones dentro de un proceso industrial.

En sí, el mantenimiento implica una serie de actividades planificadas y frecuentes para llevar a cabo la preservación de la eficiencia, seguridad y rentabilidad de los activos de la empresa.

Para lograr este objetivo de mantenimiento es clave conocer los tipos de mantenimiento que durante la historia se ha realizado en las diferentes industrias.

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

4.1.1. Mantenimiento correctivo o a la falla (CM);

Es un mantenimiento donde se interviene el equipo una vez ha ocurrido una falla funcional o avería mayor. Se puede presentar dos formas de correctivo el correctivo por emergencia o correctivo programado. El primero ocurre cuando un equipo presenta falla funcional de manera inesperada durante la jornada de producción y el correctivo programado tiene ocurrencia cuando se hace evidente una falla potencial, pero su efecto no para las actividades de operatividad del equipo y se interviene luego de terminar la jornada o producción. (Montilla Montaña, 2016)

Una situación muy común en el ámbito colombiano en el sector de exploración geotécnica consiste en efectuar una reparación de baja calidad y poner en funcionamiento el servicio del equipo. En este proceso de desvare no se lleva al nivel de rendimiento ideal previo a la varada, corriendo el riesgo de volver a tener fallas prontamente y con mayor severidad.

Tabla 1

Ventajas y desventajas mantenimiento correctivo

Ventajas	Desventajas
<p>No implica planificación detallada o programación de los recursos.</p> <p>En el corto plazo es un sistema de mantenimiento económico. Relación costo – servicio</p>	<p>Conlleva a la ocurrencia de fallas funcionales.</p> <p>Tiempos altos de parada para reparación, afectado la disponibilidad del equipo.</p> <p>En el mediano y largo plazo las intervenciones correctivas son más costosas.</p>

Nota: Fuente (Montilla Montaña, 2016)

4.1.2. Mantenimiento preventivo (PM)

La esencia de este mantenimiento es de prevenir la ocurrencia de fallas en un sistema productivo, basado en la ejecución de tareas básicas (Observar, inspeccionar, calibrar, ajustar, cambiar, lubricar, reparar, etc.), con frecuencias predeterminadas a cada equipo en particular. En la ejecución de estas actividades se adicionan las tareas programadas como son las recomendaciones por el fabricante del equipo, correctivos programados y overhaul. (Montilla Montaña, 2016)

En la industria de exploración geotécnica se presenta deficiencia en la ejecución de PM por la inexistencia de manuales operativos o del desconocimiento del funcionamiento de cada activo. A continuación, se presentan las ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.

Tabla 2*Ventajas y desventajas mantenimiento preventivo.*

Ventajas	Desventajas
Aumenta la confiabilidad de las maquinas/ equipos puesto que operan en mejores condiciones de seguridad ya que se presenta un seguimiento del estado y sus condiciones de funcionamiento.	Implica realizar inversión inicial y sostenida en la contratación de personal técnico para las actividades.
Prevenir la suspensión de las labores operativas o de producción.	Altos costos de inspecciones.
Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento gracias a la programación de tareas.	Si no se prioriza y eligen adecuadamente las frecuencias de mantenimiento, las tareas generan sobrecargas de trabajo técnico y no aportan al rendimiento de las máquinas.
Mayor vida útil del equipo.	
Disminución de stock en el inventario y costos asociados.	
Menor costo de la reparación.	

Nota: Fuente (Montilla Montaña, 2016)

4.1.3. Mantenimiento predictivo (PdM)

Es un mantenimiento que estudia los síntomas de falla y predecir la ocurrencia de la falla de una máquina, midiendo y analizando los cambios en las variables de operación. El mantenimiento predictivo se apoya en técnicas específicas tales como: Análisis de vibraciones, Termografías, Análisis de aceite, ensayo de tintas penetrantes, ultrasonidos, rayos X, ensayos con partículas magnéticas etc. (Montilla Montaña, 2016)

Tabla 3*Ventajas y desventajas mantenimiento predictivo.*

Ventajas	Desventajas
<p>Brinda una alta posibilidad de anticiparse a la ocurrencia de las fallas.</p> <p>Muchos de los ensayos, pruebas y mediciones se hacen con la maquina en operación.</p> <p>Minimiza la cantidad de intervenciones del equipo. El equipo se interviene cuando las pruebas y ensayos confirma la falla.</p>	<p>Inversión en equipos costosos</p> <p>Personal calificado para la toma de mediciones y análisis de la información.</p>

Nota: Fuente (Montilla Montaña, 2016)

4.2. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Es una de las estrategias que recoge el mantenimiento preventivo y predictivo que busca maximizar la productividad y servicios de una empresa, Se origina en Japón en la década de 1960, cuando se implementa en la fábrica de la industria automotriz del grupo Toyota en la empresa Nipondenso. Su enfoque principal es integrar el personal de la empresa para mejorar el proceso de producción, con el fin de aumentar la productividad del personal y la eficiencia de los equipos. (Tokutaró et al., s. f.)

La primera definición sobre TPM la estableció el instituto Japones de Ingenieros (JIPE) que luego de unos años paso a ser el instituto Japones de mantenimiento de planta (JIPM) donde incluyeron los siguientes cinco estrategias: (Tokutaró et al., s. f.)

1. Crear una organización corporativa que maximice la eficacia de los sistemas de producción.
2. Gestionar la planta con una organización que evite todo tipo de pérdidas (cero accidentes, defectos y averías) en la vida entera del sistema de producción.
3. Involucrar a todos los departamentos en la implementación del TPM.

4. Involucrar a todos los empleados desde la alta dirección a los operarios directos en un mismo proyecto.

5. Orientar decididamente las acciones hacia las “cero pérdidas” apoyándose en las actividades de los pequeños grupos autónomos.

Con estas cinco estrategias TPM busca alcanzar sistemas altamente productivos, eliminando todo tipo de pérdidas e involucrando todos los departamentos para la implementación. Uno de los puntos más relevantes de esta metodología, es la de sensibilizar y capacitar a los operadores como papel fundamental en la ejecución del mantenimiento de sus equipos de manera autónoma, donde se realizan actividades diarias como limpieza, lubricación, ajustes menores y reportes.

4.2.1. Pilares de Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Una de las características fundamental del enfoque TPM es que no se requiere la implementación de los ocho pilares a la vez, por lo cual, es necesario tener claridad de la organización para la selección de los siguientes pilares:

Figura 1

Pilares de mantenimiento productivo total TPM



Nota: Fuente (Bsg, s. f.)

4.2.1.1. Primer Pilar – Mejoras Enfocadas o Kobetsu Kaisen

Se enfoca en realizar mejoras específicas en un área o proceso en particular para eliminar pérdidas y/o reducirlas en los procesos. En lugar de buscar cambios generales o globales, se centra en identificar y abordar problemas específicos para lograr mejoras significativas que incrementen la eficacia del conjunto de la planta o efectividad del equipo. (Alba & Botero, s. f.)

4.2.1.2. Segundo Pilar -Mantenimiento Autónomo

Se enfoca en capacitar al personal operativo y documentos necesarios para la realización de actividades de mantenimientos básicos, donde el operario de producción asume la realización de la limpieza, inspección, lubricación, ajustes y reportes de fallas del equipo. El objetivo del mantenimiento Autónomo es prevenir el deterioro de los equipos y sus componentes, obteniendo resultados en el aumento de la productividad (Moyano et al., s. f.)

4.2.1.3. Tercer Pilar – Mantenimiento Planificado

Es un enfoque programado para mantener los equipos o productos de servicio, mediante la identificación, planificación, programación y ejecución de actividades de mantenimiento de acuerdo a los modos de falla. Avanzando gradualmente hacia la búsqueda de “cero averías”. (Safety, 2022)

4.2.1.4. Cuarto Pilar – Mantenimiento de Calidad

El propósito de este Pilar es fortalecer el sistema de calidad para producir productos sin defectos, identificando las condiciones de los equipos y establecer medidas de verificación frecuentemente, donde se evalúa si dichas condiciones se mantienen para lograr cero defectos de los productos. (Franco M & Mosquera, 2021)

4.2.1.5. Quinto Pilar -Prevención del Mantenimiento

Este pilar se centra en acciones de mejora durante la fase de diseño, instalación y puesta en marcha de los equipos. En la industria se utiliza en investigación de nuevas tecnologías o máquinas que se quiera adquirir teniendo claro el comportamiento histórico de sus activos, con el objetivo de mejorar en el diseño y reducir drásticamente las averías. (Álvarez, s. f.)

4.2.1.6. Sexto Pilar – Mantenimiento de áreas soporte

El objetivo es incrementar la eficacia de las acciones de mejoras. Cuyo proceso es recolectar, transformar, coordinar y difundir la información, realizadas con la ayuda de la organización, administración, sistemas integrados de gestión y comercial brindando la asistencia para mantener el proceso productivo funcionando al menor costo. (Serrano & Andrés, s. f.)

4.2.1.7. Séptimo pilar – Polivalencia y desarrollo de habilidades

Está enfocado en revisar y analizar los conocimientos adquiridos por los empleados, luego de realizar un plan de capacitación acerca del funcionamiento de las máquinas y acciones de prevención de riesgo de sus lugares de trabajo. (Esan, 2020)

4.2.1.8. Octavo Pilar – Seguridad y Entorno

El pilar se refiere a los estudios que debe ejecutar las empresas para garantizar la seguridad de sus colaboradores y la correcta operatividad de sus instalaciones. Este último pilar se enfoca en las acciones que se deben tomar para la identificación de los peligros y riesgos, con el fin de mitigar todo tipo de accidente e incidentes que se ven expuestos el personal de la empresa. (Esan, 2020)

4.3. Método de las 5S

La Base del Plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) es la aplicación del método de las 5S que es una herramienta que permite desarrollar un ambiente de trabajo agradable y eficiente. Implementando los cinco principios correspondientes a Seiri (Clasificación y descarte), Seiton (Orden), Seiso (Limpieza), Seiketsu (Estandarizar) y Shitsuke (Autodisciplina). (Ministerio de Salud, s. f.; Rodríguez, 2021)

Figura 2
Metodología de las 5s



Nota: fuente (Rodríguez, 2021)

4.4. Plan de mantenimiento

Según la norma UNE-EN 13306, 2011 es el conjunto estructurado de tareas de mantenimiento con los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para ejecutar el mantenimiento.

En el plan de mantenimiento se gestionarán tareas de mantenimiento enfocadas a reducir las averías o fallas presentes durante los últimos años del equipo para aumentar significativamente la producción.

Existen tres formas para identificar y determinar dichas tareas que son:

- Basarse en las instrucciones del fabricante
- Basarse en protocolos genéricos de mantenimiento
- Basarse en análisis de fallos potenciales y criterios de confiabilidad (RCM)

apoyados con la metodología de Análisis de modo de falla (AMEF).

5. Empresas del sector geotécnico

Las empresas dedicadas a la exploración geotécnica desarrollan dicha actividad con el fin de estudiar el subsuelo para conocer y caracterizar el perfil estratigráfico, con el objetivo de diseñar las cimentaciones de las obras civiles de construcción de vivienda, puentes, subestaciones, etc. Estas actividades se ejecutan con equipos de percusión (Trípodes) o máquinas de rotopercusión con broca diamantada con el fin de extraer muestras representativas a diferentes profundidades.

Las empresas colombianas dedicadas a la exploración geotécnica son empresas que tienen equipos manuales (Trípodes) para la ejecución de los ensayos SPT en profundidades menores a 20 metros, compuestos por un motor de aproximadamente 10 Horse Power, estructura y accesorios.

Figura 3

Equipo de percusión – Trípode



Nota: fuente (Dirimpex, s. f.)

Una de las variaciones de equipos en la industria de exploración de campo se refleja en las máquinas de rotopercusión con broca diamantada, capaces de llegar a profundidades hasta 100 metros de profundidad. Estos equipos mecánicos con sistema de rotación encargado de soportar y dirigir la sarta de tuberías para generar el avance en el sondeo exploratorio.

A continuación, se mencionan algunos equipos presentes en la industria Colombia con sus especificaciones técnicas.

5.1. Equipo de perforación Sumdrill Petty

Equipo de perforación exploratoria mecánico. Se usa para la ejecución de perforaciones mayores de 6 metros hasta profundidades de 30 metros con recuperación de estratos del suelo.

Figura 4

Equipo de rotopercusión Sumdrill Petty



Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico

Tabla 4*Especificaciones técnicas Sumdrill Petty*

Motor	Deutz
Potencia	26 hp (19,5 KW)
Marca	Petty
Velocidad de rotación (R/Min)	300 rpm
Fuente de alimentación	Combustible diésel
Peso de equipo	450 kg
Dimensiones (L*W*H) mm	1800*800*900

Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico

5.2. Equipo de perforación Sumdrill XY1

Equipo de perforación exploratoria mecánico. Se usa para la ejecución de perforaciones mayores de 20 metros hasta profundidades de 60 metros con recuperación de estratos del suelo.

Figura 5*Equipo de rotopercusión Sumdrill XY-1*

Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico

Tabla 5*Especificaciones técnicas Sumdrill XY-1*

Motor	Lombardini 9LD625/2
Marca	Yiwu Kaiser Enterprises
Potencia	28.5 Hp (21.25 KW)
Velocidad de rotación (R/Min)	700 rpm
Fuente de alimentación	Combustible diésel
Peso de equipo	620 kg
Dimensiones (L*W*H) mm	1620*970*1560

Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico

5.3. Equipo de perforación Sumdrill XY2 -B

Equipo de perforación exploratoria mecánico. Se usa para la ejecución de perforaciones mayores de 20 metros hasta profundidades de 120 metros con recuperación de estratos del suelo.

Figura 6*Equipo de rotoperusión Sumdrill XY-2B*

Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico

Tabla 6*Especificaciones técnicas Sumdrill XY-2B*

Motor	DEUZTH F3L914
Marca	Yiwu Kaiser Enterprises
Potencia	55 hp (41 KW)
Velocidad de rotación (R/Min)	2300 rpm
Fuente de alimentación	Combustible diésel
Peso de equipo	950 kg
Dimensiones (L*W*H) mm	2150*900*1690

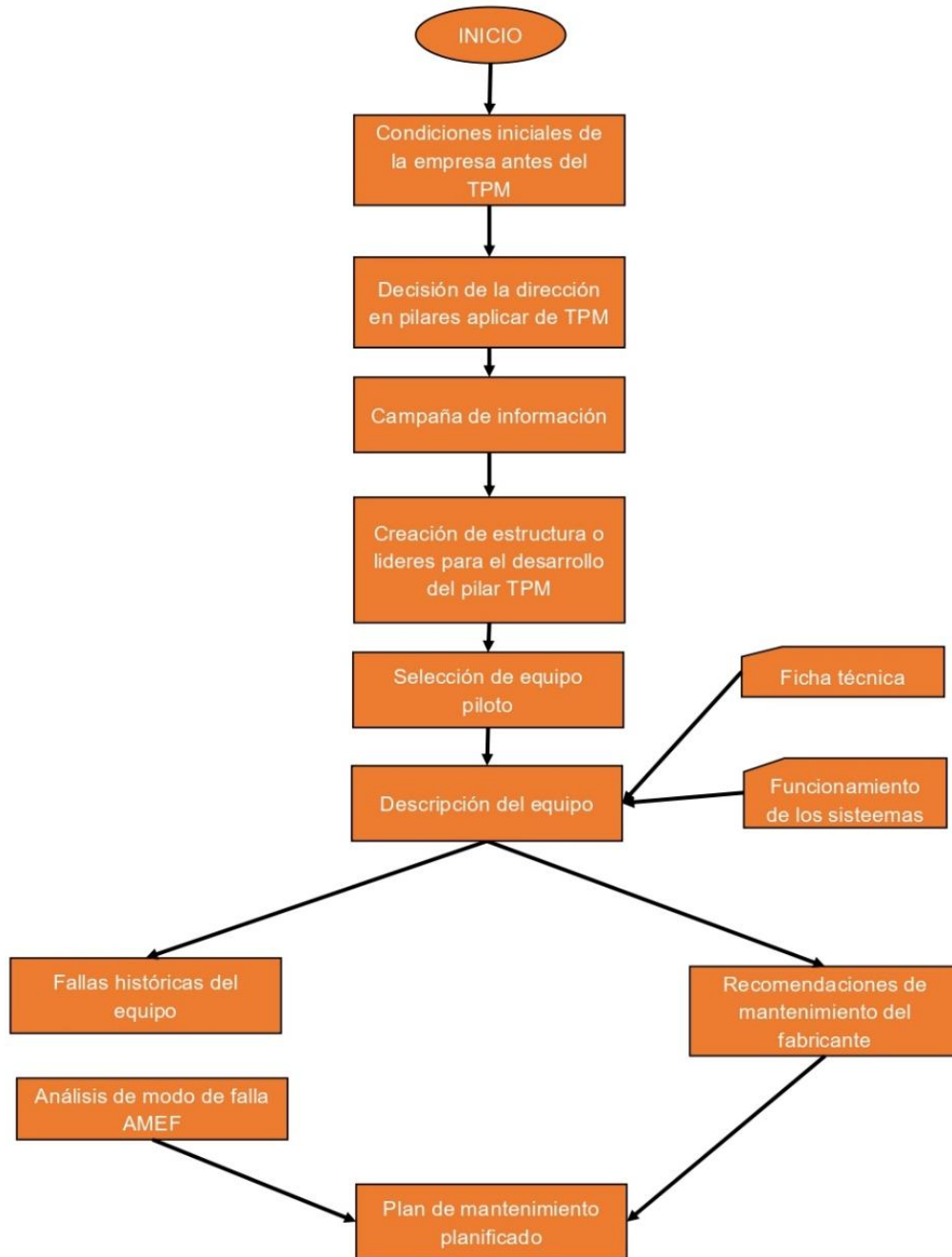
Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico.

6. Metodología

La metodología para implementar un plan de mantenimiento planificado con la estrategia de Mantenimiento Productivo Total (TPM) se muestra en el siguiente flujograma:

Figura 7

Flujograma implementación plan de mantenimiento planificado.



Nota: *Elaboración propia.*

7. Implementación pilar de Mantenimiento Planificado

7.1. Condiciones iniciales de la empresa

La exploración geotécnica desempeña un papel fundamental en el desarrollo de proyectos de ingeniería, proporcionando información crítica sobre las características del subsuelo. En este contexto, la empresa geotécnica en su proceso de extracción de muestras ha evidenciado una reducción de la eficiencia de su equipo de rotoperCUSión, manifestados en daños frecuentes de piezas, tiempos de reparación prolongados y falta de intervenciones oportunas. Llevando a costos elevados de mantenimientos correctivo, incremento de los tiempos de ejecución de proyectos por la disponibilidad de equipos para su labor de exploración de campo.

Uno de las causantes de la baja eficiencia en las empresas de geotécnicas se refleja en la no estructuración del mantenimiento de los equipos, donde las tareas no están bien distribuidas ni se plantea una periodicidad en su ejecución. Además, se presenta poca información del histórico de intervenciones realizadas a los diferentes equipos.

7.2. Decisión de la dirección

Con las condiciones iniciales de la empresa la decisión de la ejecución de varios o algún pilar de mantenimiento debe ser completamente entendido y respaldado por la alta dirección.

En esta monografía se direccionará al diseño de la metodología TPM enfocado en pilar de mantenimiento planificado para ejecutar un del plan de mantenimiento.

7.3. Campaña de información

Inicialmente, la alta dirección se encarga de informar oficialmente mediante distintas estrategias como: correo, folletos, cartelera, diapositivas, reuniones etc. al personal de su decisión de implementar el pilar de mantenimiento planificado con las diferentes áreas, estableciendo los objetivos y beneficios de la implementación. Se deberá realizar capacitaciones con el fin de comprender la metodología del pilar a desarrollar.

7.4. Creación de la estructura

La alta dirección de la empresa de exploración geotécnicas crea un equipo de trabajo dentro de la empresa, además, se designará una persona que lidere las diferentes reuniones encaminadas a la ejecución de actividades o acciones en cumplimiento de los objetivos relacionados en la implementación del pilar de mantenimiento planificado.

7.5. Selección de equipo piloto

El área de exploración geotécnica o perforación y sondeos exploratorios, es una unidad de negocio totalmente operativa donde se tiene gran variedad de equipos de rotoperusión, La variación depende de los ensayos a ejecutar o la profundidad de perforación que se requiera alcanzar.

Durante la evaluación para la selección del equipo piloto destinado a la implementación del pilar de mantenimiento planificado se registraron los siguientes datos operativos de elaboración propia de los equipos de una empresa del sector geotécnico:

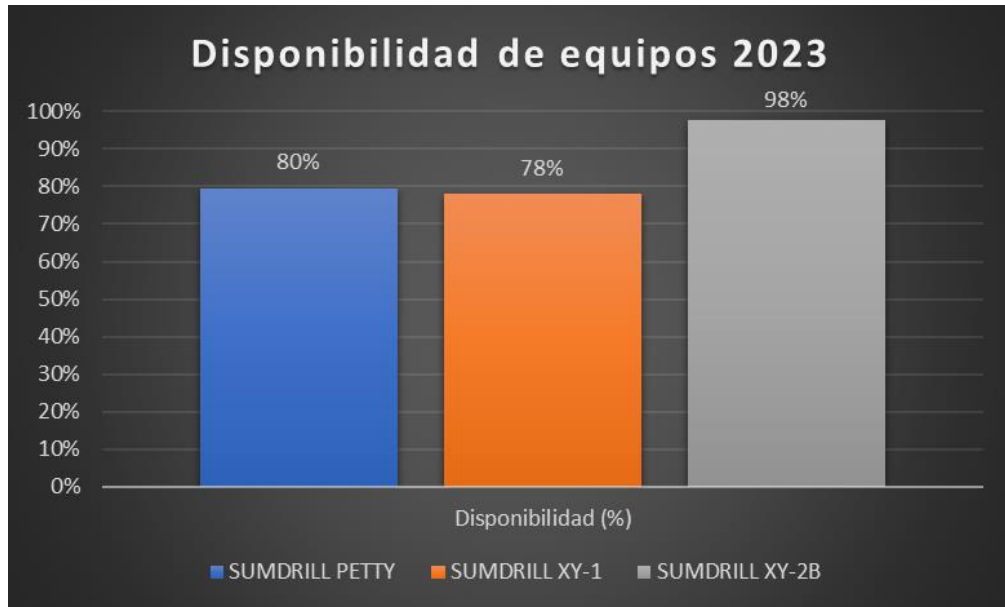
Tabla 7
Datos de equipos del 2023.

DATOS DE EQUIPOS DEL 2023				
Equipo	Horas totales de trabajo	Duración de la parada en horas	Cantidad de paradas	Disponibilidad (%)
SUMDRILL PETTY	463	94,5	22	80%
SUMDRILL XY-1	1286	282	37	78%
SUMDRILL XY-2B	1112	25	5	98%

Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico.

Figura 8

Elaboración propia gráfico de rendimiento de equipos en el año 2023



Nota: Elaboración propia con datos de la Tabla 7

En el análisis de los datos mostrados en anteriormente se ha identificado que el equipo Sumdrill XY-1 experimentó una baja disponibilidad a lo largo del año 2023, a pesar de haber acumulado la mayor cantidad de horas de trabajo durante ese período su cantidad de horas en parada es significativa. Este hallazgo sugiere la necesidad urgente de planificar un mantenimiento asociados con el equipo Sumdrill XY-1, a fin de mejorar su eficiencia operativa. La selección de este equipo como piloto para la implementación del mantenimiento planificado ofrece una valiosa oportunidad para aplicar y refinar estrategias que puedan mitigar las fallas en la operación y maximizar la disponibilidad de equipos clave en el futuro.

7.6. Descripción del equipo

El equipo Sumdrill XY-1 es una unidad de perforación de alta precisión diseñada para operaciones geotécnicas enfocadas en la exploración del subsuelo. Su estructura robusta y su sistema de funcionamiento permiten realizar perforaciones con exactitud y eficiencia en una variedad de terrenos y condiciones geológicas.

Figura 9

Equipo piloto Sumdrill XY-1



Nota: Suministrada por empresa del sector geotécnico.

7.6.1. Ficha técnica

Figura 10

Ficha técnica equipo Sumdrill XY-1.

FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO					
INFORMACIÓN GENERAL					
CÓDIGO:					
INSTRUMENTO:	EQUIPO DE PERFORACION CON MOTOR DEUTZ				
MARCA:	YIWU KAISER ENTERPRISES				
MODELO:	XY-1				
SERIE:	NO APLICA				
PROVEEDOR:	SUMINISTROS D & P LTDA	TEL:	237 58 54	CIUDAD:	BOGOTA
ACCESORIOS:	TORRE DE PERFORACION				
ESPECIFICACIONES					
FUNCIÓN GENERAL:	PERFORACION EXPLORATORIA EN DIFERENTES ESTRATOS HASTA PROFUNDIDAD DE 60 METROS				
MOTOR:	DEUTZ F2L912				
POTENCIA:	43 HP (32 Kw)				
VELOCIDAD DE ROTACIÓN (R/min):	1500 Rpm				
FUENTE DE ALIMENTACIÓN:	COMBUSTIBLE DIESEL				
PESO DE EQUIPO:	620 Kg				
DIMENSIONES (L*W*H) mm:	1620*970*1560				
DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE					
MANUAL DE OPERACIÓN:	NO				
CATÁLOGO DEL FABRICANTE:	SI				
INSTRUCTIVOS DE TRABAJO DE OPERACIÓN	NO				
PLAN DE MANTENIMIENTO FABRICANTE	NO				
OBSERVACIONES					
LIMPIEZA DEL EQUIPO SEMANAL, REVISION DE NIVELES DE ACEITE CADA JORNADA LABORAL.					



Nota: *Elaboración propia.*

7.6.2. Funcionamiento de los sistemas

Tabla 8

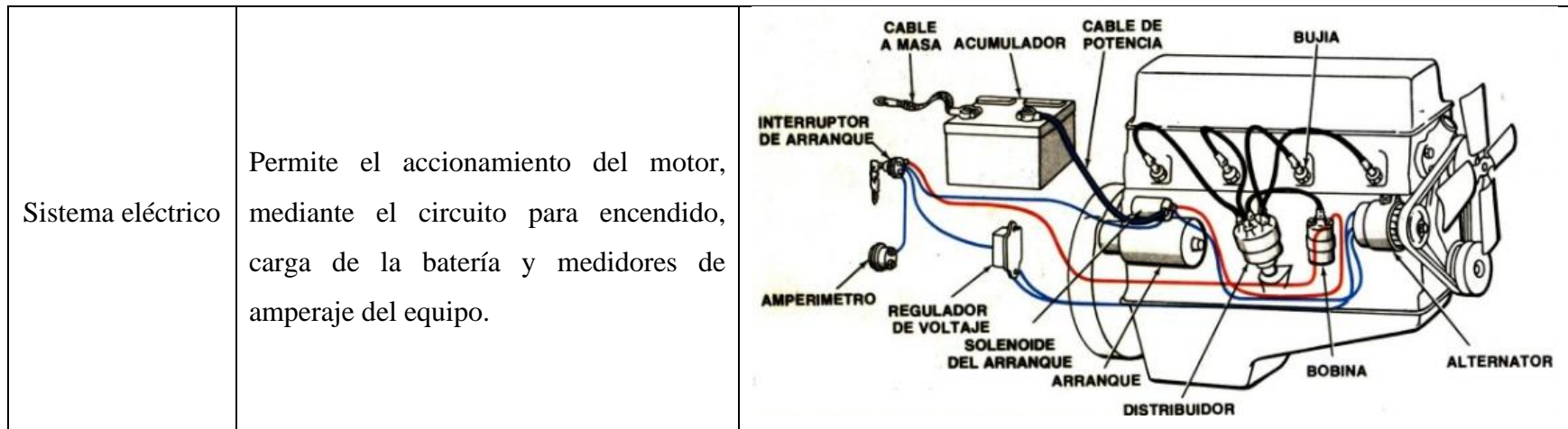
Funcionamiento de los sistemas.

MECANISMOS	FUNCIÓN	REGISTRO FOTOGRAFICO
Mandril	Sistema mecánico que permite el movimiento rotatorio del equipo.	

<p>Sistema Hidráulico</p>	<p>Compuesto por cilindros hidráulicos, unidad de potencia y unidad de mando que permite el avance vertical de la sarta de tubería en el pozo o sondeo, igualmente, el desplazamiento horizontal del equipo sobre la estructura.</p>	
<p>Caja de cambio</p>	<p>Realizar cambio de velocidad con la relación de engranajes para obtener mayor potencia en el eje de salida.</p>	

<p>Wincher o malacate</p>	<p>Sistema de tracción para el desplazamiento del equipo, desde la zona de descarga al punto de perforación</p>	
<p>Sistema de transmisión Piñón - Cadena</p>	<p>Permite transmitir el movimiento giratorio (RPM) desde el eje del motor a la caja de transmisión, igualmente, a la bomba de engranaje ubicada en la parte inferior de la caja de cambio.</p>	

<p>Clutch</p>	<p>Sistema de generación de potencia mediante ignición diésel para la generación de movimiento rotatorio en el mandril.</p>	
<p>Motor</p>	<p>Sistema de generación de potencia mediante ignición diésel para la generación de movimiento rotatorio en el mandril.</p>	



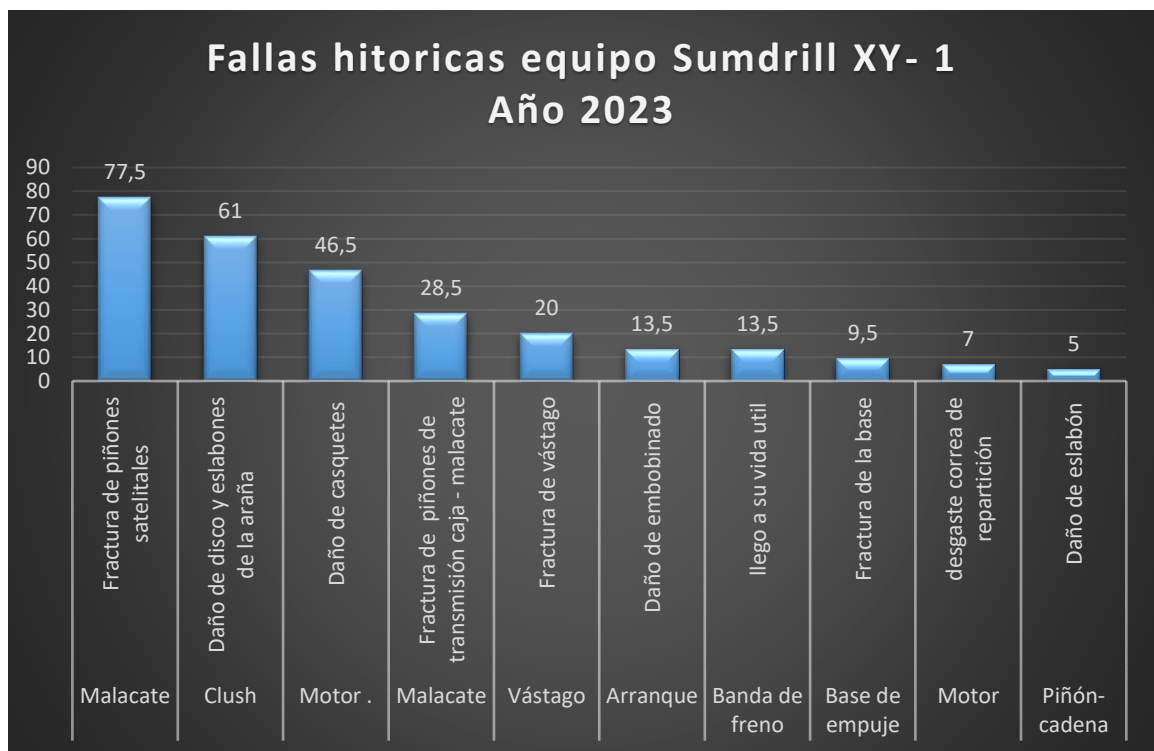
Nota. Elaboración propia.

8. Fallas históricas del equipo.

El equipo piloto ha enfrentado diversas fallas a lo largo de su operatividad, estas fallas históricas proporcionan información valiosa sobre los componentes que más han fallado en el transcurso de su operación, a continuación, se presenta un diagrama de Pareto con las fallas del año 2023 recolectadas de una empresa del sector geotécnico.

Figura 11

Fallas históricas equipo Sumdrill XY-1



Nota. Elaboración propia.

En el gráfico previo, se destaca un claro patrón en las fallas asociadas al malacate y al motor, siendo estas las que provocan los paros más extensos de equipo. Al indagar en las causas subyacentes de estas interrupciones para el malacate se da principalmente con los tiempos de fabricaciones de los nuevos engranajes, los cuales, se rediseñaron pasando de un módulo tres a un módulo cuatro para obtener mayor resistencia, en el motor estos tiempos de paro se ven reflejados a la intervención o reparación del daño del casquete o cojinete causados por bajo nivel de aceite del motor.

Estos datos proporcionan una base para la realización de las acciones preventivas en el análisis de modo de falla y efecto para contribuir a la confiabilidad, eficiencia y vida útil de cada componente del equipo.

9. Análisis de modo de falla y efecto (AMEF)

La metodología AMEF tuvo sus primeras aplicaciones formales en la industria Aeroespacial durante la década de los 60. Su reconocimiento como una herramienta útil para la estandarización de procesos se consolidó en mayo de 1991, cuando el comité de requerimientos de calidad de importantes fabricantes de automóviles como GM, FORD y CHRYSLER, incluyó el AMEF entre las herramientas identificadas como benéficas en la estandarización de procesos QS-9000. (Héctor, 2010)

El desarrollo y reconocimiento del AMEF como herramienta fundamental en la gestión de calidad alcanzó otro hito significativo en diciembre de 1992, cuando el grupo AIAG (Automotive Industry Action Group) completó y publicó el manual de referencia del AMEF. Su aprobación oficial y distribución tuvo lugar a principios de 1993. (Héctor, 2010)

La adopción y aplicación del AMEF en la práctica industrial se materializó en el proceso de entrenamiento e implantación que tuvo lugar a mediados de 1993 como parte del proceso de aprobación para Partes de Producción (PPAP). Este paso marcó un importante avance en la integración y utilización generalizada de esta metodología en la industria automotriz. (Héctor, 2010)

El análisis De Modo y Efecto de Fallas (AMEF) representa una metodología analítica fundamental diseñada para prevenir fallos o riesgos en los equipos, procesos o calidad del producto. Su propósito es asegurar que se consideren y aborden adecuadamente los posibles problemas y fallas, con el objetivo de prevenir o mitigar los efectos negativos de los fallos antes que ocurran. (Gabriela, 2017)

Para el desarrollo de la metodología AMEF se utilizaron los siguientes pasos:

- Definir para cada mecanismo los modos de fallo relevante de los componentes.
- Establecer las causas o efecto de los fallos para los modos de falla.
- Establecer las acciones preventivas para cada modo de falla que sería colocados en el mantenimiento planificado.

A continuación, se presenta la ejecución del AMEF para el equipo piloto, con el conocimiento de la industria se genera con elaboración propia:

Tabla 9
Análisis de modo de falla y efecto AMFE

PROGRAMA ADMINISTRACIÓN DE MANTENIMIENTO				EQUIPO	SUMDRILL XY1
				ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS	
MECANISMO	OBJETO	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	ACCIÓN PREVENTIVA	
Mandril	Rodamiento superior	Lubricación incorrecta, alta temperatura.	Perdida de la velocidad de rotación, desalineamiento del vástago.	Lubricación de rodamiento periódicamente	
	Rodamiento inferior	Lubricación incorrecta, alta temperatura.	Perdida de la velocidad de rotación, desalineamiento del vástago.	Lubricación de rodamiento periódicamente	
	Speed - Corona	Lubricación incorrecta, Fatiga, desgaste, ruptura	Perdida de la transmisión caja - rotación, Perdida de la funcionalidad del equipo.	Verificación de ajuste/desgaste y lubricación del sistema de transmisión periódicamente	
	Vástago	Ruptura	Sin soporte de cabezal de apriete de tubería.	Revisión de grietas periódicamente	

	Mordazas	Desgaste	No apriete o fijación de sarta de tubería, pérdida de eficiencia en el avance del sondeo.	Revisión del estado de mordaza periódicamente
	Media lunas	Desgaste	Perdida de ajuste del cabezal y vástago.	Revisión de desgaste mensual periódicamente
Cilindro botellas hidráulicas	Barras o varillas	Deformación, rayado de barras	Perdida de presión y fuga de aceite hidráulico.	Revisión estado de la barras y fugas periódicamente
	Mangueras y racor	ruptura, desajuste	Perdida de presión	Revisar estado de las mangueras y posibles fugas periódicamente
	Sellos	Erosión, endurecimiento por alta temperatura.	Fugas de aceite hidráulico, pérdida de presión.	Cambio de kit de sellos con frecuencia mensual periódicamente
Unidad de potencia Hidráulica	Filtros de retorno	Taponamiento, ruptura	Fugas y pérdida de eficiencia.	cambio de filtros periódicamente
	Mangueras, racor y uniones	Desgaste.	Fugas y pérdida de eficiencia.	Verificación de estado de mangueras, racor y uniones periódicamente
	Bomba de engranaje	Desgaste contaminación del aceite, cavitación, sobrepresión	Desgaste y/o daños de los engranajes y ejes de la bomba, aumento de la temperatura, bajo caudal.	Verificación de anomalías como ruidos, fugas, temperatura realizar periódicamente
Unidad de mando	Válvula de control	Obstrucción	Aumento de presión, daños de manguera y pérdida funcional del mandril	Limpieza de tanque hidráulico, cambio de filtro de retorno realizar periódicamente
	Mandos de control	Desgaste.	Fugas de hidráulico, pérdida de presión para el avance del sondeo	Verificar funcionamiento y fugas periódicamente
Caja de cambio	Piñones	Desgaste y/o ruptura	Desajuste del piñón y pérdida de eficiencia.	Revisión y verificación de estado de piñones periódicamente
	Rodamiento	Lubricación incorrecta, alta temperatura.	Desplazamiento de ejes de transmisión	Revisión y verificación de estado de rodamientos periódicamente
	Palanca selectora	Desgaste, desajuste	no realización de cambio de velocidad, inadecuada posicionamiento del piñón selector.	Verificar ajuste de palanca selectora periódicamente
	Bujes	Desgaste.	perdida de alineamiento de los piñones.	Revisión y verificación de estado de bujes periódicamente
Malacate	Bandas de freno	Desgaste.	deficiencia en el frenado del tambo del malacate	revisar desgastes de bandas periódicamente

	Piñones planetarios	Desgaste y/o ruptura	Perdida del sistema de transmisión para el movimiento del tambor, se tiene perdida del sistema de traslado del equipo.	revisar y verificar funcionamiento de piñones planetarios periódicamente
	Cable de arrastre	Desgaste y/o ruptura.	ocasionar accidente si se presenta la falla en movimiento	Lubricación de cable y revisión visual del estado del cable (Reducción de diámetro, corte de alambre y rasgaduras) periódicamente
	Piñones caja- malacate	Desgaste.	Perdida de transmisión de la caja al malacate, dejando sin funcionamiento el sistema de arrastre del equipo.	revisión y verificación del estado de piñones de transmisión caja- malacate periódicamente
	Rodamiento	Lubricación incorrecta, alta temperatura.	Frenado del tambor y daños del eje de transmisión.	Lubricación de rodamiento periódicamente
Transmisión Piñón - Cadena (Motor - Caja) (Motor - Bomba hidráulica)	Cadena	Desgaste y/o ruptura.	perdida de la eficiencia del sistema, no transmisión de potencia hacia el eje del malacate o bomba.	Lubricación y tensión cadena periódicamente
	Piñón	Desgaste y/o ruptura.	perdida de la eficiencia del sistema, no transmisión de potencia hacia el eje del malacate o bomba.	Revisar estado de piñones periódicamente
	Prisioneros Piñón	Desajuste	desalineamiento del sistema piñón - Cadena.	Ajustes de prisioneros periódicamente
Clutch	Disco	Desgaste	Perdida de eficiencia de sistema	Verificar y si es necesario Cambiar de disco de cluth periódicamente
	Araña	Desajuste, ruptura	Perdida de presión de discos	Verificación de estado de los eslabones y pines de la araña
	Manzana	Desgaste	perdida de recorrido del componente para engranar el sistema	Revisar el recorrido y desgaste de la manzana periódicamente
	Resorte	Elongación	perdida de tensión del cluth, desgaste de disco de cluth	Revisar estado y si es necesario cambiar periódicamente
	Rodamiento	Desgaste, ruptura	Perdida de transmisión motor - clutch	Cambio de rodamiento periódicamente
Motor	Correa de repartición	Desgaste.	perdida de la eficiencia del ventilador que controla la temperatura del motor por aire.	Revisión del estado de correa periódicamente

	Inyector	Acumulación de suciedad	perdida de potencia del motor, aumento de combustible.	Limpieza periódicamente
	Ventilador	ruptura	Aumento de temperatura del motor.	Revisión estado de ventilador y guarda periódicamente
	Varilla impulsadora	Desajuste, deformación	aumento de la temperatura del motor.	Calibración y ajuste de balancines
Sistema eléctrico	Arrancador	Conexión eléctrica, averiado o daños parte eléctrica, interruptor eléctrico, desgaste de rodamiento, engranaje libre.	Intentos fallidos de arranque y no iniciación de motor	Revisión y verificación de ruidos anormales, golpeteo y ajuste de conexiones eléctricas. Limpieza de componentes ejecutar periódicamente
	Alternador	Conexión eléctrica, averiado o daños parte eléctrica.	Agotamiento o descarga de la batería y parada del motor	Revisión y verificación de voltaje periódicamente
	Borner	sulfatación	perdida de paso continuo de corriente	Verificar y revisar el estado periódicamente
	Batería	deterioro	Perdida de almacenamiento de energía	Revisión y verificación de voltaje periódicamente
	Terminales cableados	conexiones defectuosas, ambientes corrosivos	perdidas de paso continuo de corriente y disipa la energía en forma de calor.	Verificar y revisar el estado periódicamente

Nota. Elaboración propia.

10. Recomendaciones de mantenimiento del fabricante

En la elaboración de un plan de mantenimiento efectivo y confiable para cualquier equipo, es crucial basarse en las recomendaciones proporcionadas por los fabricantes. Estas recomendaciones ofrecen una guía fundamental para asegurar que las actividades de mantenimiento se realicen de acuerdo a especificaciones y requerimientos del equipo. Al seguir las indicaciones del fabricante, se garantiza un mantenimiento adecuado que prolonga la vida útil del equipo, reduce el riesgo de fallas y asegura un rendimiento óptimo en todas las operaciones.

En el sector geotécnico, una de las principales dificultades radica en la disponibilidad de los instructivos de mantenimiento proporcionados por los fabricantes, en este contexto, esta monografía abordará esta problemática presentando una tabla de mantenimiento del equipo Sumdrill Petty, que forma parte de la familia del equipo piloto Sumdrill XY-1. Este recurso proporciona recomendaciones prácticas que pueden ser relacionadas y analizadas en conjunto para la ejecución del plan de mantenimiento planeado del equipo XY-1.

Tabla 10

Tabla de mantenimiento Petty

TABLA DE MANTENIMIENTO PETTY CON MOTOR LOMBARDINI								
Componente	Acción	Frecuencia por Horas						
		8	50	100	250	500	750	1000
Filtro de aceite del Motor	cambio de filtro				X			
Filtro de aire de Motor	N/A							
Filtro de combustible de motor	Cambio de filtro				X			
Aceite de motor	cambio de aceite					X		
Clutch	Engrase	X						
Cadena	verificar ajuste		X					
Caja de velocidad	verificar ajuste y ruido/ cambio de aceite		X			X		
Tanque de aceite hidráulico	cambio de aceite					X		
Guaya Winche	verificar cortes y/o rasgaduras	X						
Mordazas	verificar desgaste		X					
Rotario mandril	Verificar ajuste y ruidos		X		X			
Bomba hidráulica	verificar fugas de aceite	X						
Válvulas de control	verificar funcionamiento		X					
cables eléctricos	verificar daños	X						
Cilindro Hidráulico	verificar fugas de aceite y picaduras en el vástago			X				

Poleas	verificar desgaste			X			
Mangueras	verificar conexiones y fugas de aceite			X			
Pernos y tuercas	Ajustes generales			X			
condiciones generales	Verificar ruidos y temperatura	X				X	

Nota. Fuente (Suministro, s. f.)

11. Plan de Mantenimiento Planificado

El plan de mantenimiento planificado del equipo piloto se fundamenta en un exhaustivo análisis de los modos de falla y efecto y las recomendaciones del fabricante para el equipo Sumdrill Petty que se relaciona con el funcionamiento del equipo.

Se presenta una tabla detallada del plan de mantenimiento del equipo Sumdrill XY-1, la cual proporciona las acciones preventivas a seguir y frecuencia de ejecución para cada tarea con su responsable. Este plan de mantenimiento brinda la oportunidad de iniciar la implementación del pilar de mantenimiento autónomo ya que se tienen las tareas definidas a ejecutar por los operadores.

Tabla 11

Plan de mantenimiento planificado Sumdrill XY-1

PLAN DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO SUMDRILL XY1				
Mecanismo	Componente	Acción preventiva	Frecuencia	Responsable
Estructura	Soldadura y uniones mecánicas	Revisar desgastes y cordones de soldadura	Semestral	Técnico mecánico
	Poleas guías de cable o guaya	Verificar el estado de desgaste	Semestral	Técnico mecánico
	Rodillos guías de cable o guaya	Verificar el estado de desgaste	Semestral	Técnico mecánico
	Cilindro de desplazamiento horizontal	Verificar fugas de aceite	Semestral	Técnico mecánico
	General	Pintar equipo	Semestral	Técnico mecánico
Mandrill	Rodamiento superior	Lubricar rodamiento	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Rodamiento superior	Lubricar rodamiento	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Base de empuje - Rodamiento superior	Lubricar rodamiento	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Base de empuje - Rodamiento superior	Lubricar rodamiento	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Speed - Corona	Verificar ajuste/ desgaste y Lubricar engranaje	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Mordazas	Revisar el estado de desgaste	Mensual	Operador (Mtt Autónomo)

	Vástago	verificar existencia de grietas o fisuras	Mensual	Operador (Mtt Autónomo)
	Media luna	Revisar el estado de desgaste	Mensual	Operador (Mtt Autónomo)
Cilindro hidráulicas	Sellos	Cambiar kit completo	Anual	Técnico mecánico
	Barras o varillas	Revisar estado de barras (picaduras, deformación) y fugas de aceite	Anual	Técnico mecánico
	Mangueras, racor y uniones	Verificar conexiones de mangueras, racor, fisuras con fugas de aceite	Mensual	Operador (Mtt Autónomo)
	Botellas	verificar fugas de aceite y picaduras en el vástago	Mensual	Operador (Mtt Autónomo)
Unidad de potencia Hidráulica	Tanque	Limpieza y cambio de aceite hidráulico	500 horas	Técnico mecánico
	Mangueras, racor y uniones	Verificar conexiones de mangueras, racor, fisuras con fugas de aceite	Mensual	Operador (Mtt Autónomo)
	Bomba de engranaje	Verificar de anomalías como ruidos y fugas,	Semestral	Técnico mecánico
	Filtro de retorno	Cambiar filtro	Anual	Técnico mecánico
Unidad de mando	Válvula de control	verificar funcionamiento de válvulas de control	Semestral	Técnico mecánico
	Mandos de control	Verificar fugas y revisar funcionamiento	Semestral	Técnico mecánico
Caja de Cambio	Aceite	Cambio de aceite de transmisión	500 horas	Técnico mecánico
	Palancas selectoras	Verificar ajuste de palanca	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Piñones, rodamientos y bujes	Destapar y realizar revisión visual del estado de los componentes	Semestral	Técnico mecánico
	Pernos especiales	Verificar ajuste de los pernos chasis - Caja	Semestral	Técnico mecánico
Malacate	Bandas de frenos	Cambio	Semestral	Técnico mecánico
	Resorte y tornillo	Verificar estado de resorte y tornillo	Semestral	Técnico mecánico
	Piñones planetarios	revisar y verificar funcionamiento de piñones planetarios	Anual	Técnico mecánico
	Rodamientos	Lubricar rodamiento	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)

	Cable de arrastre o guaya	Lubricar y revisar visualmente el estado del cable (Reducción de diámetro, corte de alambre y rasgaduras)	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Piñones caja-malacate	revisar y verificar el estado de los componentes	Semestral	Técnico mecánico
Transmisión Piñón - Cadena (Motor - Caja) (Motor - Bomba hidráulica)	Tornillos de guarda cadena	Ajustar	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Cadena	Lubricar y verificar la tensión	Trimestral	Técnico mecánico
	Piñones	Revisar y verificar estado de componente	Trimestral	Técnico mecánico
	Prisioneros piñones	Ajustar apriete del componente	Mensual	Operador (Mtt Autónomo)
Sistema de clutch	Disco	Verificar y si es necesario Cambiar	Anual	Técnico mecánico
	Araña	Verificación de estado de los eslabones y pines de la araña	Semestral	Técnico mecánico
	Rodamiento	cambio de rodamiento	Anual	Técnico mecánico
	Manzana	revisar el recorrido y desgaste	Anual	Técnico mecánico
	Resorte	Revisar estado y si es necesario cambiar	Semestral	Técnico mecánico
Motor	Aceite	cambio	500 horas	Técnico mecánico
	Filtro de aceite	Cambio de filtro de aceite	500 horas	Técnico mecánico
	Filtro de aire	cambio de filtro de aire principal	500 horas	Técnico mecánico
	Varilla impulsadora	Calibrar y ajustar balancines	Anual	Técnico mecánico
	Corea de repartición	Revisar el estado de desgaste	Anual	Técnico mecánico
	Ventilador	Revisar funcionamiento	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Guarda	Ajuste de tornillos (Seguridad)	Semanal	Operador (Mtt Autónomo)
	Inyector	Limpieza	Anual	Técnico mecánico
	cableado	Cambio de cableado	Anual	Técnico mecánico

Sistema eléctrico	Terminales cableados	Cambio de terminales (Arrancador y alternador)	Anual	Técnico mecánico
	Borner	Cambio de borner	Anual	Técnico mecánico
	Batería	Revisión y verificación de voltaje	Mensual	Técnico mecánico
	Arrancador	Revisión y verificación de ruidos anormales, golpeteo y ajuste de conexiones eléctricas.	Mensual	Técnico mecánico
	Arrancador	Destapar, limpiar y verificar estado de las escobillas, embobinado y rodamiento	Anual	Técnico mecánico
	Alternador	Revisión y verificación de voltaje	Mensual	Técnico mecánico

Nota. Elaboración propia.

12. Carta de Lubricación

La carta de lubricación proporciona información detallada sobre los lubricantes recomendados para cada componente del equipo piloto, junto con las frecuencias de lubricación y cantidad aplicar. Esta guía práctica se realiza con elaboración propia para minimizar riesgos de fallas relacionados con los lubricantes y sirve como herramienta del pilar de mantenimiento autónoma.

Figura 12
Ficha o Carta de lubricación

FICHA DE LUBRICACIÓN						
ÁREA: MANTENIMIENTO						
REVISÓ: DIRECTOR DE PERFORACIONES						
MOTOR - SISTEMA HIDRÁULICO		Ubicación física:	TALADRO XY1	Fecha elaboración:		
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE / REF	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO
1	SWIVELL- Rodamiento cabezal de Rotación	LITH SM	6 Grs	LUBRICAR	SEMANAL	GRASERA
2	MASTIL- Rodamiento superior e Inferior	LITH SM	6 Grs	LUBRICAR	SEMANAL	GRASERA
3	CABEZAL- Rodamiento superior e Inferior	LITH SM	6 Grs	LUBRICAR	SEMANAL	GRASERA
4	TRANSMISION-Rodamiento	LITH SM	6 Grs	LUBRICAR	SEMANAL	GRASERA
5	CABLE DEL WINCHE AUXILIAR	ISO 68	6 Grs	LUBRICAR	SEMANAL	ASPERSIÓN
6	TANQUE HIDRÁULICO	ISO 68	35 Gls	CAMBIO	500 HORAS	DRENAJE
7	TRANSMISION- Collarin y palanca de Engranaje	LITH SM	6 Grs	LUBRICAR	SEMANAL	GRASERA
8	MOTOR	ISO 15W40	3,5 Gls	CAMBIO	500 Hrs	DRENAJE
8a	MOTOR - Filtro de Aceite	Ref.	1	CAMBIO	500 Hrs	ROSCADO
8b	MOTOR - Filtro Aire Primario	Ref.	1	LIMPIAR	500 Hrs	INDICADOR VISUAL
<p>Nota: Limpiar el filtro de aire cuando el indicador de restricción esté en rojo. El filtro de aire puede limpiarse hasta tres veces; al menos una vez por año, debe ser reemplazado. Siga el procedimiento de acuerdo al manual de mantenimiento del fabricante del motor. Un bombazo es generalmente aceptado como un solo golpe de la pistola de engrasar. Sin embargo, la cantidad despachada por las pistolas de engrase puede variar ampliamente (generalmente de 2 a 3 gramos).</p> <p>Advertencia: Nunca reinstalar un filtro de aire que muestre evidencia de deterioro (perforado, abollado...) permitiendo que aire no filtrado ingrese al motor. El filtro se debe limpiar con aire comprimido trabajando desde el lado "limpio" hacia el lado "sucio". La presión del aire comprimido no debe exceder de 300 kPa (3 bar; 40 psi).</p>						

Nota. Elaboración propia.

13. Conclusiones

Este plan de mantenimiento planificado orientado con la metodología TPM brinda a la empresa geotécnica mejor su disponibilidad y eficiencia operativa de su equipo Sumdrill XY-1, minimizando los tiempos de inactividad y asegurar un rendimiento óptimo en todas las operaciones y contribuye a la productividad y rentabilidad de la empresa.

Facilita una gestión más eficiente y efectiva de las actividades de mantenimiento a realizar del equipo y optimiza el uso de recursos para minimizar los costos de mano de obra y costos operativos a largo plazo.

El suministro detallado sobre lubricantes empodera al personal para realizar tareas de mantenimiento de manera efectiva y segura. Promoviendo una cultura de responsabilidad y cuidado del equipo de los operadores.

Se recomienda a las empresas desarrollar el pilar de mantenimiento autónomo para generar mayor confianza en las practicas de mantenimiento de los operadores y dar a conocer el plan de mantenimiento planificado

Se recomienda capacitar al personal operativo y técnico para la revisión e identificación de posibles fallas del equipo

Se recomienda generar grupos de trabajo para realizar análisis de causa raíz cuando se presentan paros no programados para generar acciones preventivas y adicionar en el plan de mantenimiento planificado.

Se recomienda implementar este plan de mantenimiento planificado para obtener beneficios significativos, donde se esperaría en el primer año un incremento del 5% de su disponibilidad y logrando mantener un plan de mantenimiento lograr el 90% o más de la disponibilidad de su equipo.

14. Referencias

Alba, P. A. P., & Botero, J. S. (s. f.). *Estructuración e implementación del pilar de mejora enfocada en Tetra Pak Colombia*.

Álvarez, E. F. (s. f.). *Gestión de Mantenimiento. Lean Maintenance y TPM*.

Bsg, I. (s. f.). *Los-8-pilares-del-TPM*. Recuperado 5 de mayo de 2024, de https://img.bsginstitute.com/repositorioweb/bs-campus/image_blogs/mantenimiento/los-8-pilares-del-TPM.png

Dirimpex. (s. f.). *Equipo SPT a percusión | Dirimpex*. Recuperado 5 de mayo de 2024, de <https://dirimpex.com/equipos/equipo-spt-a-percusion/>

Esan, C. (2020, junio 25). *¿Cuáles son los pilares del Mantenimiento Productivo Total? | Conexión ESAN [Graduate School of Business]*. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/cuales-son-los-pilares-del-mantenimiento-productivo-total>

Franco M, E., & Mosquera, J. de J. (2021). *Propuesta metodológica (Fusión sistémica) para articular los SIG (ISO 9001: 2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 con el pilar de TPM mantenimiento de la calidad en una Industria manufacturera*. Universidad Católica de Oriente Rionegro - Antioquia.

Gabriela, B. M. (2017). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF*. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2a368ebf-71a2-4749-a1eb-1813ec9564d5/content>

Héctor, B. T. (2010). *Análisis de modo y efecto de falla*. http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/8048/Analisis%20de%20modo%20y%20efecto%20de%20falla_2010.pdf?sequence=1

Ministerio de Salud. (s. f.). *Introducción a las 5S*. Recuperado 5 de mayo de 2024, de <http://www.digesa.minsa.gob.pe/institucional1/SGI/5S.pdf>

Montilla Montaña, C. A. (2016). *Fundamentos de mantenimiento industrial*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://doi.org/10.22517/9789587224092>

Moyano, C., Piza, R., Zaruma, J., & Guadalupe, V. (s. f.). *Implementación de un Plan de Mantenimiento Autónomo en un Taller Mecánico Industrial*.

Olarte C, W., Botero A, M., & Cañon A, B. (2010). *Importancia del mantenimiento Industrial dentro de los procesos de producción*. Scientia Et Technica Vol XVI. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316066.pdf>

Rodríguez. (2021, agosto 18). Metodología de las 5S: La Importancia en la Mejora Continua. *Embutidos Rodriguez*. <https://embutidosrodriguez.es/metodologia-5s/>

Rondón, F. A. P. (s. f.). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento Industrial*.

Safety, Culture. (2022, marzo 23). *Aprenda sobre el mantenimiento planificado I SafetyCulture*. SafetyCulture. <https://safetyculture.com/es/temas/mantenimiento-planificado/>

Serrano, F., & Andrés, D. (s. f.). *Implementación de la metodología TPM para la gestión del mantenimiento en los equipos de la planta de compostaje en la EMAC-EP*.

Suministro, D. (s. f.). *Petty Manual de Mantenimiento y Garantía*.

Tokutaró, S., Ainosuke, M., Koichi, N., & Hisao, M. (s. f.). *TPM en Industria en Proceso*.