

“INFLUENCIA DEL MATERIAL GEOLÓGICO EN EL
RENDIMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE
MAQUINARIA PESADA EN GRAN MINERÍA,
CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Autores:

Wilder Jhoel Abanto Garcia

Daevy Andy Aucchhuaque Mariñas

Asesor:

Mg. SC. Daniel Alejandro Alva Huamán

<https://orcid.org/0000-0002-1053-9347>

Cajamarca - Perú

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Oscar Arturo Vásquez Mendoza	207418
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Victor Eduardo Álvarez Leon	123370
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Rafael Napoleón Ocas Boñon	169542
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

TESIS_JOEL_ABANTO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

6%

★ www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres por su esfuerzo, apoyo incondicional y confianza para lograr este anhelo, gracias a ellos por habernos guiado en el transcurso de nuestra carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por su protección y fortaleza, permitiéndonos culminar nuestros estudios; de igual manera nuestro sincero y profundo agradecimiento, al Ingeniero Daniel Alejandro Alva Huamán, por su asesoramiento y guía en el desarrollo de esta investigación, así también, a cada uno de nuestros docentes por sus enseñanzas y a la Universidad Privada del Norte por la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
Tabla de contenido	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	21
2.1. Tipo de Investigación	21
2.2. Población y muestra	21
CAPÍTULO III: RESULTADOS	23
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	56
CONCLUSIONES	56
Referencias	57
Anexos	59

Índice de tablas

Tabla 1. Tipo de material geológico y rendimiento de maquinaria pesada en toneladas por hora	24
Tabla 2. Rendimiento de maquinaria pesada en distintos materiales geológicos.....	24
Tabla 3. Tipo de material geológico y vida útil del cucharón de pala gigante	25
Tabla 4. Tipo de material geológico y vida útil del cargador frontal.....	25
Tabla 4. Tipo de material geológico y vida útil del cargador frontal.....	25
Tabla 5. Propiedades mecánicas de las rocas, rendimiento, producción de equipos de carguío	26
Tabla 6. Material geológico y eficiencia de la maquinaria pesada	27
Tabla 7. Plan de mantenimiento para la maquinaria en excavadoras.....	34
Tabla 8. Plan de mantenimiento para la maquinaria en cargadoras frontales.....	39
Tabla 9. Plan de mantenimiento para la maquinaria en retroexcavadoras.....	45

Índice de figuras

Figura 1. Ripabilidad de distintos medios en función de la velocidad	
Excavadora.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Ficha de control de mantenimiento	
rutinario.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Ficha de mantenimiento de maquinaria para mantenimiento rutinario.....	51
Figura 4. Orden de trabajo.....	53
Figura 5. Ficha para el control de consumo de combustible.....	54
Figura 6. Ficha para la planificación del programa de mantenimiento por mes.....	55

RESUMEN

El movimiento de tierras, comprende el grupo de actividades que producen las modificaciones necesarias para llegar al nivel de diseño de la sub rasante, mediante el empleo de maquinaria pesada. La siguiente investigación nos muestra que el mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades realizadas tras el fallo de un bien o el deterioro de su función, para permitirle cumplir con una función requerida, al menos de manera provisional, por lo que las fichas técnicas de las maquinas permiten tener acceso a las características técnicas como: tipo de motor, cilindraje, etc., que son importantes tener en cuenta en el momento de ejecutar cualquier actividad de mantenimiento; el programa de mantenimiento es una herramienta clave que se la debe seguir estrictamente realizando todos los procedimientos y recomendaciones descritos para cada máquina, logrando así mantenerla operativa y aprovechar al máximo la vida útil de la misma. Es importante tener en cuenta que los rendimientos de los equipos mineros no solo dependen de las propiedades geológicas, sino también de factores como el diseño y la eficiencia de los propios equipos, las técnicas de operación utilizadas y la experiencia del personal involucrado.

PALABRAS CLAVES: Material geológico, rendimiento, maquinaria.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los materiales geológicos tienen diferentes resistencias ya sea como suelo o como roca, lo cual, puede generar incertidumbre en la secuencia de extracción o de movimiento de dicho material, sobre todo al momento de medir el rendimiento y programar el mantenimiento de la maquinaria pesada.

El movimiento de tierras, comprende el grupo de actividades que producen las modificaciones necesarias para llegar al nivel de diseño de la sub rasante, mediante el empleo de maquinaria pesada tal como: excavadoras, cargadores frontales, tractores, volquetes, rodillos, motoniveladoras, etc., cuyas funciones y rendimientos serán analizados en la presente tesis. Previo al movimiento de tierras, es necesario ejecutar una serie de trabajos en campo para poder indicar claramente a los ingenieros de producción y a los operadores de maquinarias los sitios por donde atraviesa la vía y los niveles a los cuales deben regirse para construir los rellenos o cortes.

Las rocas poseen propiedades mecánicas las cuales definen la capacidad del material para resistir acciones externas o internas que implican la aplicación de fuerzas sobre el mismo, además de parámetros geológicos-geotécnicos, los cuales varían en distintos tipos de rocas. Estos son: valores de cohesión (C), ángulo de fricción interna (ϕ), módulo de Young (E) y coeficiente de Poisson (ν). Además, características como: mineralogía, rugosidad, alteraciones, dureza, etc.

Los factores geológicos que dominan el comportamiento y las propiedades mecánicas de los macizos rocosos son (González de Vallejo, 2002): • La litología y propiedades de la matriz

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

rocosa. • La estructura geológica y las discontinuidades. • El estado de esfuerzos a que está sometido el material. • El grado de alteración o meteorización. • Las condiciones hidrogeológicas.

Como estudios que son relevantes, se encuentran variados autores que analizan estos parámetros (UCS, ángulo de fricción, cohesión, módulo de Young, coeficiente de Poisson, rugosidad/JRC) de forma independiente, principalmente Luis González de Vallejo (González de Vallejo, 2002) y Richard Goodman (Goodman,1989), quienes presentan la mayor parte de material existente respecto a esta materia. Otros autores como Gerceck en el año 2007 y Kahraman en el año 2001, aportan al estudio, pero en una manera mucho más limitada, específicamente acotados a una litología.

Ensayo uniaxial o de compresión simple (UCS) permite determinar en laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a compresión simple (UCS), y sus constantes elásticas: el módulo de Young (E , parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.) y coeficiente de Poisson (ν , parámetro característico de cada material que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo). Es, por tanto, un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia y para la determinación de su deformabilidad. La relación entre los esfuerzos aplicados en el ensayo es: $\sigma_1 \neq 0 ; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$.

El ensayo de compresión triaxial representa las condiciones de las rocas in situ sometidas a esfuerzos confinantes, mediante la aplicación de presión hidráulica uniforme alrededor de la probeta, como se puede ver en la Ilustración 2. Permite determinar la envolvente o línea de resistencia del material rocoso ensayado, a partir de la que se obtienen los valores de sus parámetros resistentes cohesión (c , es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

la roca) y fricción (ϕ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca). El ensayo de compresión triaxial es el más extendido de los ensayos de compresión multiaxial en mecánica de rocas. La relación entre los esfuerzos aplicados a la probeta es: $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$. Los resultados del ensayo de compresión triaxial dependerán fundamentalmente, además de las características de la roca, de la presión confinante aplicada. El valor de la resistencia compresiva para un determinado valor de σ_3 se obtiene dividiendo la fuerza aplicada por la sección de la probeta. La resistencia peak será diferente en cada caso, aumentando según lo hace σ_3 . La interpretación de los resultados de este ensayo se basa en la aplicación del criterio de rotura de Mohr-Coulomb. A partir de las curvas $\sigma - \epsilon$ obtenidas para diferentes valores de σ_3 , se pueden dibujar los círculos de Mohr y la envolvente de rotura, que proporciona los valores de c y ϕ del material ensayado (González de Vallejo, 2002).

La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material. La cohesión, c , es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman la roca. El ángulo de fricción interna, ϕ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca; para la mayoría de las rocas este ángulo varía entre 25° y 45° . La fuerza friccional depende del ángulo de fricción y del esfuerzo normal, σ_n , actuando sobre el plano considerado. La resistencia de la roca no es un valor único, ya que además de los valores de c y ϕ , depende de otras condiciones, como la magnitud de los esfuerzos confinantes, la presencia de agua en los poros o la velocidad de aplicación de la carga de rotura. También, incluso en rocas aparentemente isotropas y homogéneas, los valores de c y ϕ pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica (González de Vallejo, 2002).

La Deformabilidad es la propiedad que posee la roca de alterar su forma en respuesta a fuerzas externas. Según intensidad y el modo de la fuerza en conjunto a las características

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

mecánicas de la roca, la deformación será permanente o elástica (recupera su forma original después de la fuerza). La deformabilidad de la roca se expresa por sus constantes elásticas E y ν :

$$E = \sigma/\epsilon \alpha x \text{ (Unidades de esfuerzo).} \quad \text{y} \quad \nu = \epsilon t/\epsilon \alpha x \text{ (Adimensional)}$$

El grado de meteorización de la roca es una observación importante en cuanto a que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia. Habla de una alteración natural de los materiales rocosos, que conlleva procesos físicos de disgregación y químicos de descomposición. Por otro lado, el grado de alteración corresponde a la modificación de las características de los materiales, de su composición o de sus propiedades, normalmente por exposición al ambiente. Es consecuencia de la interacción material normalmente por exposición al ambiente.

El comportamiento mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están condicionados por el número de familias de discontinuidades. La orientación de las diferentes familias con respecto a una obra o instalación sobre el terreno puede determinar, además, la estabilidad de esta. Para la caracterización global del macizo rocoso a partir de datos de afloramientos, además de la descripción de sus componentes, la matriz rocosa y las discontinuidades, deben ser considerados otros factores representativos del conjunto, como son: número y orientación de las familias de discontinuidades, tamaño de bloque e intensidad de fracturación y grado de meteorización (González de Vallejo, 2002).

Villegas (2010) nos dice que “Los niveles de producción nos ayuda a definir la cantidad de equipos y la combinación en el ciclo operacional (match pala camión, ángulos de perforación, etc.) son detalles importantes que se deben analizar”.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Indica que los aspectos que más se valoran en la selección son el rendimiento del equipo, el costo (de inversión y de mantenimiento) y la ergonomía (cabina, asientos, visualización y operación del equipo). “Previo a la decisión de compra se realiza un benchmarking de las marcas que, ya que existen en el mercado y cumplan con nuestros estándares, además de tener en cuenta los requerimientos y observaciones de las áreas operativas (mina y mantenimiento), y las opiniones de los operadores”, comenta.

Considerando su característica de infalibilidad y gran influencia en el circuito productivo, los equipos de maquinaria pesada necesitan, entre otros muchos elementos, una especial y constante atención en el tema del mantenimiento. En esta línea, diversos especialistas coinciden en que la seguridad, alto rendimiento, capacidad de carga, mínimo consumo de insumos y mayor vida útil, son elementos técnicos fundamentales en la toma de decisión sobre adquirir un camión para una operación minera. Para ello, en las unidades mineras se realizan diferentes programas de mantenimiento.

A) Mantenimiento Correctivo: Es reparación o sustitución de partes o componentes de un equipo cuando se presente una falla, el cual se convierte en una ocurrencia de urgencia o emergencia.

B) Mantenimiento Programado: Vigilancia e inspección de los puntos más débiles en un período de tiempo definido (horas de trabajo) y que el incumplimiento de ello pueda dar lugar a una avería o falla. Entre los diferentes tipos de mantenimientos programados destacan el preventivo y el predictivo:

- **Mantenimiento preventivo.** - Inspecciones periódicas para conocer el estado del equipo y programar las correcciones necesarias para ser realizadas en los momentos más oportunos y antes de que se lleguen a producir las averías.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

- **Mantenimiento predictivo.** - Es un refinamiento del mantenimiento preventivo. Está basado en técnicas de inspección o de reconocimiento no destructivo que miden el progreso de los desgastes a lo largo del tiempo el cual predice el punto y momento del fallo de una forma más precisa y correcta que una fijación estadística del momento de sustitución, como ocurre en los programas normales de mantenimiento preventivo.

Por otro lado, la compañía menciona que han desarrollado diferentes niveles de mantenimiento para extender al máximo la vida útil de los equipos. “Como parte de las estrategias de soporte, promovemos el mantenimiento preventivo y predictivo, que permiten obtener la información necesaria para prevenir y predecir posibles fallas que se ocasionan por el desgaste de las piezas que se genera en la operación”, indican. De esta manera se buscan reducir la necesidad de hacer mantenimientos no programados, los cuales resultan ser mucho más costosos para el cliente puesto que suponen fallas imprevistas, las cuales resultan muchas veces en la inoperatividad de los equipos afectados hasta que se solucionen los problemas. “En líneas generales, durante el mantenimiento preventivo se reemplaza fundamentalmente los filtros y fluidos. De acuerdo a las estrategias del mantenimiento predictivo y las recomendaciones del fabricante, a lo largo de la vida de la máquina, se reparan o reemplazan sus componentes menores y mayores”, explican. Por ejemplo, los motores (componentes mayores) de los grandes equipos mineros son reparados en su Centro de Reparación de Componentes (CRC), certificado por Caterpillar Taller de Clase Mundial. Igualmente, en los talleres de sus sucursales se reparan continuamente componentes de las máquinas de nuestros clientes. Cuando una máquina Caterpillar cumple con su ciclo de vida y ya no es posible seguir dándole mantenimiento, Ferreyros ofrece la posibilidad de reconstruirla completamente y darle una vida adicional bajo el programa CatCertifiedRebuild (Reconstrucción Certificada Caterpillar). Estos equipos regresan

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

a la operación del cliente con cero horas de operación y una nueva garantía de Caterpillar. La empresa tiene excelentes experiencias con este programa, tanto con camiones reconstruidos bajo esta modalidad en el sur y norte del país, como con otro tipo de máquinas a lo largo del territorio. (Maldonado, 2012)

A lo largo de los años, la minería peruana viene apreciando las ventajas de una tendencia que se impulsa activamente: la del gigantismo, a través del uso de equipos de máximas dimensiones para impulsar la productividad y la búsqueda del menor costo por tonelada.

El material geológico y sus características fisicoquímicas marcan la pauta para el desgaste de los componentes de la maquinaria pesada utilizada en gran minería.

La resistencia del material geológico presente en las zonas donde se realiza ña gran minería y el tipo de operación que en ellas se realiza, determinan el tipo de maquinaria pesada que se utilizan.

El programa de mantenimiento que se implemente en cada proyecto minero depende del tiempo de uso de cada maquinaria, además del desgaste provocado en los componentes de las maquinas por el material geológico al que se enfrentan día a día.

La maquinaria pesada utilizada en gran minería, es seleccionada por cada unidad minera según el rendimiento que estas hayan presentado en unidades mineras de iguales características en el material geológico, tiempo de operación y consumo de energía

Salinas (2018) menciona que en general, para roca intacta la mayoría de los parámetros geomecánicos se encontraban dentro de los rangos propuestos bibliográficamente. Existe un número menor de muestras que se alejan de los valores referenciales, siendo la meteorización, alteración y variación mineralógica presentes en estas muestras posiblemente las responsables.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

En cambio, para discontinuidades se encontró una relación entre el coeficiente de rugosidad (JRC), mineralogía, cohesión (C) y ángulo de fricción (ϕ), lamentablemente este análisis se realizó solamente con 4 muestras, razón por la cual no se puede concluir nada al respecto.

El rendimiento de excavación (expresado en m³/h o ML/h) depende principalmente: de la resistencia de la roca (resistencia a la compresión) y del carácter abrasivo de la roca.

En terreno rocoso, el rendimiento de las zanjadoras puede llegar a ser entre 15 y 20 veces superior al de los métodos convencionales (excavadoras).

En terreno blando, el rendimiento de las zanjadoras puede llegar a ser entre 5 y 10 veces superior al de los métodos convencionales (excavadoras).

El rendimiento real de una zanjadora depende de un conjunto de factores tales como el tipo de terreno (suelo blando, suelo compacto, roca), litología, dureza de la roca, de las condiciones específicas y la organización de la obra y otros factores como el clima, así como la potencia transmitida a la cadena de excavación.

En esta línea, diversos especialistas coinciden en que la seguridad, alto rendimiento, capacidad de carga, mínimo consumo de insumos y mayor vida útil, son elementos técnicos fundamentales en la toma de decisión sobre adquirir un camión para una operación minera.

Para ello, en las unidades mineras se realizan diferentes programas de mantenimiento. Luis Villegas, gerente de Operaciones de la Unidad Minera Cerro Lindo, comenta que en la operación llevan a cabo la gestión del mantenimiento, apoyados en una plataforma que les permite garantizar su funcionamiento y alargar su vida útil en base a un trabajo preventivo (Horizonte minero, 2018)

Para lo cual, realizan los siguientes tipos de mantenimiento:

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

A) Mantenimiento Correctivo. - Reparación o sustitución de partes o componentes de un equipo cuando se presente una falla, el cual se convierte en una ocurrencia de urgencia o emergencia.

B) Mantenimiento programado. - Vigilancia e inspección de los puntos más débiles en un período de tiempo definido (horas de trabajo) y que el incumplimiento de ello pueda dar lugar a una avería o falla. Entre los diferentes tipos de mantenimientos programados destacan el preventivo y el predictivo:

- **Mantenimiento preventivo.** - Inspecciones periódicas para conocer el estado del equipo y programar las correcciones necesarias para ser realizadas en los momentos más oportunos y antes de que se lleguen a producir las averías.

- **Mantenimiento predictivo.** - Es un refinamiento del mantenimiento preventivo. Está basado en técnicas de inspección o de reconocimiento no destructivo que miden el progreso de los desgastes a lo largo del tiempo el cual predice el punto y momento del fallo de una forma más precisa y correcta que una fijación estadística del momento de sustitución, como ocurre en los programas normales de mantenimiento preventivo.

Por otro lado, la compañía menciona que han desarrollado diferentes niveles de mantenimiento para extender al máximo la vida útil de los equipos.

“Como parte de las estrategias de soporte, promovemos el mantenimiento preventivo y predictivo, que permiten obtener la información necesaria para prevenir y predecir posibles fallas que se ocasionan por el desgaste de las piezas que se genera en la operación”, indican.

De esta manera se buscan reducir la necesidad de hacer mantenimientos no programados, los cuales resultan ser mucho más costosos para el cliente puesto que suponen fallas imprevistas,

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

las cuales resultan muchas veces en la inoperatividad de los equipos afectados hasta que se solucionen los problemas.

“En líneas generales, durante el mantenimiento preventivo se reemplaza fundamentalmente los filtros y fluidos. De acuerdo a las estrategias del mantenimiento predictivo y las recomendaciones del fabricante, a lo largo de la vida de la máquina, se reparan o reemplazan sus componentes menores y mayores”, explican.

Por ejemplo, los motores (componentes mayores) de los grandes equipos mineros son reparados en su Centro de Reparación de Componentes (CRC), certificado por Caterpillar Taller de Clase Mundial. Igualmente, en los talleres de sus sucursales se reparan continuamente componentes de las máquinas de nuestros clientes.

Cuando una máquina Caterpillar cumple con su ciclo de vida y ya no es posible seguir dándole mantenimiento, Ferreyros ofrece la posibilidad de reconstruirla completamente y darle una vida adicional bajo el programa CatCertifiedRebuild (Reconstrucción Certificada Caterpillar).

Estos equipos regresan a la operación del cliente con cero horas de operación y una nueva garantía de Caterpillar. La empresa tiene excelentes experiencias con este programa, tanto con camiones reconstruidos bajo esta modalidad en el sur y norte del país, como con otro tipo de máquinas a lo largo del territorio. (Maldonado, 2012)

El desarrollo de esta investigación permitirá determinar la influencia del material geológico en el rendimiento de la maquinaria pesada y en su programa de mantenimiento.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Con respecto a lo expuesto anteriormente, formulamos la siguiente pregunta: ¿Cuál es la influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca, 2021?

El objetivo principal de la investigación es determinar la influencia del material geológico en el rendimiento y el programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería en Cajamarca 2021.

La hipótesis sería que el material geológico influye significativamente en el rendimiento y el programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

Por el fin la investigación es aplicada porque aplicamos los conocimientos acerca del material geológico para determinar su influencia en el rendimiento y mantenimiento de maquinaria pesada.

Por el alcance es correlacional ya que se estudiará la relación de las variables de material geológico con el rendimiento y mantenimiento de maquinaria pesada

De acuerdo con el enfoque, es del tipo cuantitativo, ya que se procesarán datos numéricos.

Presenta un diseño no experimental porque no se manipulará la variable de material geológico y es de corte longitudinal porque los datos serán tomados en diferentes momentos.

2.2. Población y muestra

La población son todos los datos de resistencia de materiales geológicos y los datos de rendimiento y mantenimiento de maquinaria pesada en una mina a tajo abierto.

La muestra son los datos de resistencia de materiales geológicos y los datos de rendimiento y mantenimiento de maquinaria pesada del área de explotación de una mina a tajo abierto.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

- Las técnicas vienen a ser la observación directa en campo.
- Análisis documental rendimiento de maquinaria pesada.

2.4. Procedimiento de recolección de datos

✓ Etapa Precampo

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

- **Búsqueda bibliográfica**

Esta etapa consiste en realizar una investigación documental para profundizar en el enfoque teórico de nuestras variables, para ello se hará una revisión en prestigiosas revistas a nivel mundial como Science Direct, Springer, Redalyc, considerando que las investigaciones encontradas estén relacionadas directamente con nuestras variables y que hayan sido publicadas en los últimos diez años.

Recopilación de datos históricos sobre rendimiento y mantenimiento de maquinaria pesada.

✓ **Trabajo de campo**

El trabajo de campo consistirá principalmente en el registro de información sobre el rendimiento de maquinaria pesada en el área de explotación.

2.5. Análisis de datos

Una vez realizado el trabajo de campo se procesará la información en Excel u otro programa estadístico para sintetizar y sistematizar la información.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Propiedades geológicas clave que influyen en los rendimientos de los equipos mineros

PROPIEDADES GEOLÓGICAS CLAVE QUE INFLUYEN EN LOS RENDIMIENTOS DE LOS EQUIPOS MINEROS.

1. Características geológicas: Los materiales geológicos varían en términos de dureza, resistencia, abrasividad y otras características físicas y químicas. Estas propiedades pueden afectar el rendimiento de los equipos mineros. Por ejemplo, un material más duro puede requerir equipos de trituración más robustos para procesarlo eficientemente.
 2. Estudio del yacimiento: Esto permite comprender la variabilidad de los materiales presentes en el yacimiento y cómo se distribuyen. Con esta información, pueden determinar qué equipos y métodos de extracción son más adecuados para el tipo de material geológico encontrado.
 3. Pruebas de laboratorio: Resistencia a la compresión, dureza y abrasión. Estas pruebas proporcionan datos cuantitativos que ayudan a predecir el rendimiento de los equipos mineros en esos materiales.
 4. Evaluación de equipos: Se deben evaluar las capacidades y limitaciones de los diferentes tipos de equipos mineros disponibles en el mercado. Consideran factores como la capacidad de carga, la potencia, la eficiencia de combustible y la vida útil de los equipos. También evalúan cómo estos equipos se desempeñan en diferentes condiciones geológicas.
 5. Modelado y simulación: Mediante el uso de software de modelado y simulación, se pueden predecir el rendimiento de los equipos en función de los parámetros geológicos y las características del equipo. Esto les permite optimizar la selección de equipos y estimar los rendimientos esperados en diferentes materiales geológicos.
-

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

TABLA 1

Tipo de material geológico y rendimiento de maquinaria pesada en toneladas por hora

Material Geológico	Resistencia (MPa)	Rendimiento de Excavadora (Toneladas por hora)	Rendimiento de Pala Gigante (Toneladas por hora)	Rendimiento de Tractor (Toneladas por hora)	Rendimiento de Cargador Frontal (Toneladas por hora)
Roca Sedimentaria	20 - 150	1,500 - 3,500	2,000 - 5,000	500 - 1,500	1,500 - 3,500
Roca Ígnea	50 - 250	1,200 - 3,000	1,500 - 4,000	400 - 1,200	1,200 - 3,000
Roca Metamórfica	40 - 200	800 - 2,000	1,000 - 3,000	300 - 1,000	800 - 2,000
Carbón	5 - 30	2,000 - 4,500	2,500 - 6,000	800 - 2,000	2,000 - 4,500
Mineral de Hierro	100 - 400	1,500 - 3,500	2,000 - 5,000	600 - 1,500	1,500 - 3,500
Oro	20 - 120	400 - 1,000	500 - 1,500	200 - 800	300 - 1,000
Cobre	60 - 250	800 - 2,000	1,000 - 3,000	300 - 1,000	500 - 1,500
Aluminio	20 - 150	1,000 - 2,500	1,500 - 4,000	400 - 1,200	800 - 2,000
Plomo y Zinc	30 - 180	800 - 2,000	1,000 - 3,000	300 - 1,000	500 - 1,500
Sal	5 - 40	800 - 2,000	1,500 - 4,000	400 - 1,200	1,000 - 2,500

TABLA 2

Rendimiento de maquinaria pesada en distintos materiales geológicos

Material Geológico	Excavadora de Cuchara Frontal (m³/h)	Camión de Volteo (toneladas)	Perforadora (metros/hora)	Cargadora Frontal (toneladas/hora)
Carbón	Alto	Alto	Alto	Alto
Mineral de Hierro	Alto	Alto	Alto	Alto
Cobre	Alto	Alto	Alto	Alto
Oro	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Zinc	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Plomo	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Níquel	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Bauxita	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Diamantes	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Uranio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Granito	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Caliza	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

TABLA 3

Tipo de material geológico y vida útil del cucharón de pala gigante

Tipo de Material Geológico	Vida Útil del Cucharón (Horas de trabajo)
Roca Sedimentaria	10,000 - 20,000
Roca Ígnea	8,000 - 15,000
Roca Metamórfica	7,000 - 12,000
Carbón	12,000 - 25,000
Mineral de Hierro	10,000 - 20,000
Oro	6,000 - 10,000
Cobre	8,000 - 15,000
Aluminio	7,000 - 12,000
Plomo y Zinc	8,000 - 15,000
Sal	6,000 - 10,000

TABLA 4

Tipo de material geológico y vida útil del cargador frontal

Tipo de Material Geológico	Vida Útil del Cargador Frontal (Horas de trabajo)
Roca Sedimentaria	15,000 - 30,000
Roca Ígnea	12,000 - 25,000
Roca Metamórfica	10,000 - 20,000
Carbón	20,000 - 40,000
Mineral de Hierro	15,000 - 30,000
Oro	8,000 - 15,000
Cobre	12,000 - 25,000
Aluminio	10,000 - 20,000
Plomo y Zinc	12,000 - 25,000
Diamantes	6,000 - 12,000
Sal	8,000 - 15,000
Fosfato	10,000 - 20,000

TABLA 5

Propiedades mecánicas de las rocas, rendimiento, producción de equipos de carguío

Tipo de Roca	Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)	Dureza (Escala de Mohs)	Coefficiente de Rozamiento Interno	Porosidad (%)	Permeabilidad	Módulo de Elasticidad (GPa)	Coefficiente de Poisson	Rendimiento de Carguío (Toneladas por hora)	Producción de Carguío (Toneladas por año)
Granito	100 - 250	6 - 7	0.6 - 0.8	Baja	Baja	50 - 80	0.15 - 0.30	1,000 - 3,000	500,000 - 1,000,000
Mármol	60 - 100	3 - 5	0.6 - 0.8	Baja	Baja	20 - 70	0.25 - 0.35	500 - 1,500	200,000 - 500,000
Basalto	100 - 300	6	0.5 - 0.8	Baja	Baja	60 - 90	0.18 - 0.25	1,000 - 3,000	500,000 - 1,000,000
Arenisca	20 - 80	6 - 7	0.4 - 0.6	Media	Media	10 - 40	0.15 - 0.25	500 - 1,500	200,000 - 500,000
Caliza	40 - 120	3 - 4	0.4 - 0.8	Baja	Baja	10 - 30	0.15 - 0.35	800 - 2,000	300,000 - 800,000
Esquistos	50 - 150	3 - 4	0.3 - 0.6	Baja	Baja	10 - 30	0.25 - 0.35	700 - 1,800	250,000 - 700,000
Gneis	100 - 250	6 - 7	0.6 - 0.8	Baja	Baja	60 - 90	0.20 - 0.30	1,000 - 3,000	500,000 - 1,000,000
Cuarcita	100 - 200	7	0.5 - 0.8	Baja	Baja	60 - 90	0.15 - 0.25	1,200 - 2,500	600,000 - 1,200,000
Pizarra	50 - 200	3 - 4	0.4 - 0.6	Baja	Baja	10 - 40	0.25 - 0.35	800 - 1,800	300,000 - 800,000
Dolomita	60 - 150	3.5 - 4.5	0.4 - 0.8	Baja	Baja	10 - 30	0.15 - 0.35	700 - 1,500	250,000 - 700,000

TABLA 6

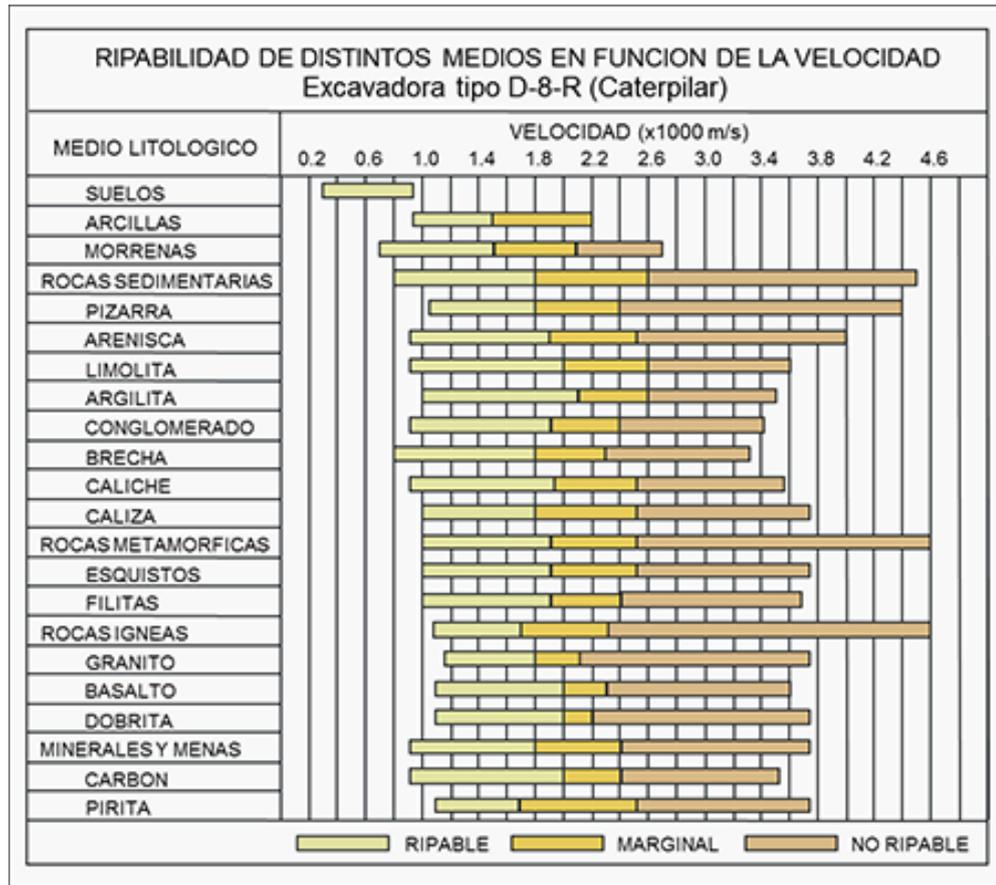
Material geológico y eficiencia de la maquinaria pesada

Material Geológico	Eficiencia de la Maquinaria Pesada
Roca Dura	Alta eficiencia en la mayoría de las máquinas, ya que son adecuadas para operaciones de perforación, excavación y carguío en este tipo de material. La productividad puede variar según la resistencia y dureza de la roca.
Carbón	Alta eficiencia en las máquinas diseñadas específicamente para la extracción de carbón, como las palas cargadoras de alta capacidad y las máquinas de corte continuo.
Mineral de Hierro	Alta eficiencia en equipos como camiones de acarreo, palas cargadoras y excavadoras, especialmente en operaciones a gran escala. Sin embargo, la eficiencia también puede verse afectada por la presencia de materiales de desecho y la necesidad de separación magnética.
Mineral de Cobre	Alta eficiencia en operaciones de trituración, molienda y flotación. La maquinaria pesada como trituradoras, molinos de bolas y celdas de flotación son clave para obtener concentrados de cobre de alta pureza.
Oro	Alta eficiencia en operaciones de trituración, molienda y concentración gravimétrica. Las máquinas como los molinos de bolas, las mesas concentradoras y los concentradores centrífugos son utilizados para extraer y concentrar partículas de oro.
Mineral de Níquel	Alta eficiencia en operaciones de trituración y molienda. La maquinaria pesada, como los trituradores de mandíbulas y los molinos de bolas, se utiliza en las etapas iniciales de procesamiento.
Mineral de Zinc	Alta eficiencia en procesos de trituración, molienda y flotación. La maquinaria pesada como trituradoras, molinos de bolas y celdas de flotación son esenciales para obtener concentrados de zinc.
Sal y Potasa	Alta eficiencia en equipos de excavación y carguío, como palas cargadoras y camiones de acarreo, debido a la naturaleza menos resistente de estos materiales.
Diamantes	Alta eficiencia en operaciones de extracción en minas a cielo abierto y subterráneas. Las máquinas de perforación, excavadoras y cribas son utilizadas para recuperar los diamantes
Otros Minerales	La eficiencia de la maquinaria pesada puede variar dependiendo de las características específicas del mineral, como la dureza, la densidad y la forma. Se requiere una selección cuidadosa de los equipos para maximizar la eficiencia.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

FIGURA 1

Ripabilidad de distintos medios en función de la velocidad Excavadora



“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

RENDIMIENTO DE MAQUINARIA AMARILLA						
RETROEXCAVADORA DE ORUGA						
$R = (Q * \frac{3600}{T} * E) / (1 + FH)$						
Q= Capacidad del cucharón	1.02		R= Rendimiento en m3/hora			
T= Tiempo del ciclo en segundos	26		90.61			
E=Factor de rendimiento de la maquina	0.5865					
F.H= Factor de altura	-0.086					
DATOS DEL EQUIPO						
MOD. RETROEXCAVADORA	E_320C		POTENCIA	138HP	PESO	19700
TIPO DE CUCHARON	EXCAVACION_B		ANCHO CUCHARON	1370mm	CAPACIDAD	1000 1.02
TIEMPO DE CICLO						
	PROF. EXC.	CONDICION	ANG. DE GIRO	DESCARGA	TOTAL	
	0-2m	REGULAR	90°-180°	VOLQUETA	26	
FACTOR DE RENDIMIENTO						
	CONDICIONES DE LA OBRA		COEFICIENTE DE ADMINISTRACION	EFICIENCIA GENERAL		
	REGULARES		BUENA	0.5865		
FACTOR DE ALTURA						
$h = \frac{\text{(altura sobre el nivel del mar-1000 m)}}{10000}$			142	-0.0858		

RENDIMIENTO DE MAQUINARIA AMARILLA						
CARGADOR FRONTAL						
$R = \frac{(C.C.*\frac{60}{T}) * E}{(1 + F.H)}$						
C.C.= Capacidad del cucharón	18		274.24			
T= Tiempo de ciclo	2.38					
E= Factor de eficiencia	0.5525					
F.H.= Factor de Altura	-0.0858					
DATOS DEL EQUIPO						
MODELO DE CARGADOR	F_926G		POTENCIA	200HP	CAP CUCHARON	18
F.H=FACTOR DE ALTURA						
$h = \frac{\text{(altura sobre el nivel del mar-1000 m)}}{10000}$			142	-0.0858		
E= FACTOR DE EFICIENCIA						
	CONDICIONES DE LA OBRA		COEFICIENTE DE ADMINISTRACION	EFICIENCIA GENERAL		
	REGULARES		REGULAR	0.5525		
TIEMPO DE CICLO						
TIPO DE CARGUE	EN CRUZ		Vc= Velocidad de carga (m/min)	2	211.67	
CAP. CUCHARON	>5M3		Vr= Velocidad de retorno (m/min)	4	675.00	
T0= CONDICION	MODERADAMENTE DIFICIL		D= Distancia de acarreo (m)			130.00
Z= Tiempo de cargue del cucharón	0.85		2.38			
T1=TIPO MATERIAL	MEZCLADOS					
T2=TIPO DE PILA	BANDA >3M					
T3=TIEMPO DE CARGA Y DESCARGA	CAMION					
T4=OTROS FACTORES	OPERACIÓN INTERMITENTE					

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Formato de las fichas de mantenimiento y documentos de la maquinaria de la empresa minera:

FIGURA 2

Ficha de control de mantenimiento rutinario

FECHA:		EQUIPO:		
HORAS:		TIPO DE EQUIPO:		
		OK	REPARADO	DAÑOS
1. Cambiar aceite de motor y filtros				
2. Verificar el filtro de aire (cambiar si es necesario)				
3. Verificar todos los otros niveles de fluidos (llenar si es necesario)				
4. Verificar fugas mayores de aceite				
5. Verificar pernos rotos en las llantas				
6. Verificar todas las tuercas de las llantas				
7. Verificar las conexiones de la batería y los niveles de fluido				
8. Verificar todas las secciones del cardan y de las crucetas				
9. Verificar bandas (condición y tensión)				
10. Verificar pernos del eje oscilante, bocines y movimientos si tiene algún movimiento				
11. Verificar que no estén flojos todos los pines y bocines				
12. Verificar frenos de parqueo que estén en funcionamiento adecuado				
13. Verificar todos los controles de desgaste excesivo				

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

14. Verificar todas las luces			
15. Limpiar radiador (si existe)			
16. Verificar condición del cucharón (si existe)			
17. Verificar los pernos de montaje de transmisión y motor			
18. Verificar pernos de montaje del eje			
19. Verificar tubo de escape			
20. Engrasar todos los acoples (asegúrese que todas las mangueras de grasa estén conectadas)			
21. Verificar sistema de supresión de incendios			
22. Verificar extintores manuales (tanques exteriores)			

Nota. Ficha de Mantenimiento Rutinario empleada por la Empresa MineraMinera.;
Fuente: Empresa Minera.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

PLAN DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA PESADA UTILIZADA EN GRAN MINERÍA	
Tarea	Descripción
Identificación y clasificación de la maquinaria pesada:	<ul style="list-style-type: none"> • Enumerar todas las máquinas pesadas utilizadas en la operación minera, como excavadoras, volquetes, cargadores frontales, etc. • Clasificar la maquinaria según su tipo, modelo, capacidad y horas de funcionamiento.
Programa de mantenimiento preventivo:	<ul style="list-style-type: none"> • Crear un calendario de mantenimiento preventivo para cada máquina, basado en las recomendaciones del fabricante y la experiencia práctica. • Establecer intervalos regulares de mantenimiento, como mantenimiento diario, semanal, mensual y anual. • Definir las tareas de mantenimiento preventivo específicas para cada intervalo, como cambio de aceite, inspección de filtros, lubricación de componentes, revisión de sistemas eléctricos, etc.
Registro y seguimiento de mantenimiento:	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer un sistema de registro para documentar todas las actividades de mantenimiento realizadas en cada máquina. • Registrar las fechas, las tareas realizadas, las piezas de repuesto utilizadas y cualquier observación relevante durante el mantenimiento. • Seguimiento regular del historial de mantenimiento para evaluar el rendimiento de la maquinaria y planificar futuras actividades de mantenimiento.
Inspecciones regulares	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza inspecciones visuales y funcionales periódicas en la maquinaria para identificar posibles problemas o desgaste. • Establecer listas de verificación para guiar las inspecciones y asegurarte de que todos los aspectos clave se revisen de manera sistemática. • Registrar cualquier problema o hallazgo durante las inspecciones y toma las medidas necesarias para abordarlos. • Realizar inspecciones visuales y funcionales periódicas en la maquinaria para identificar posibles problemas o desgaste. • Establecer listas de verificación para guiar las inspecciones y asegurarte de que todos los aspectos clave se revisen de manera sistemática. • Registrar cualquier problema o hallazgo durante las inspecciones y toma las medidas necesarias para abordarlos.
Reparaciones y mantenimiento correctivo:	<ul style="list-style-type: none"> • Establece un procedimiento claro para manejar las reparaciones y el mantenimiento correctivo cuando se detecten problemas. • Prioriza las reparaciones según su impacto en la seguridad, la operatividad y la eficiencia de la maquinaria.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

	<ul style="list-style-type: none"> • Coordina con el personal de mantenimiento y adquiere los repuestos necesarios para las reparaciones.
Capacitación del personal	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar de que el personal encargado de la operación y el mantenimiento de la maquinaria pesada esté adecuadamente capacitado. • Proporcionar entrenamiento en el uso adecuado de la maquinaria, los procedimientos de mantenimiento preventivo y la identificación de problemas comunes. • Fomentar una cultura de seguridad y mantenimiento entre los operadores y el personal de mantenimiento.

PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO:

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA CADA MÁQUINA

En el siguiente cuadro se detalla la nomenclatura asignada para cada actividad descrita en el programa de mantenimiento:

NOMENCLATURA	ACTIVIDAD
A	Reparar
C	Cambiar
D	Drenar
R	Recoger
I	Inspeccionar, ajustar o Comprobar
L	Lubricar
P	Limpiar
V	Verificar, sustituir o revisar

EXCAVADORAS

TABLA 7

Plan de mantenimiento para la maquinaria en excavadoras

ACTIVIDAD PROGRAMADA	INTERVALOS	REALIZAR (HORAS)								
		10	25	50	100	200	400	600	800	1000
Revisar nivel del líquido refrigerante	10 HORAS	V		V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel de aceite motor		V		V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel del aceite hidráulico		V		V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel del combustible		V		V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel de aceite de transmisión		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar que no existan ruidos anormales en el motor		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar fugas del motor (visualmente)		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de los neumáticos		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar perno rotos en las llantas		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar bandas (condición y tensión)		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar conexiones de la batería		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar sistema de alumbrado (faros)		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de los frenos		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de frenos de parqueo		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar que los indicadores del tablero estén funcionando correctamente		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar extintores manuales		V		V	V	V	V	V	V	V
Verificar el estado del cucharón (si existe)	V		V	V	V	V	V	V	V	
Verificar estructura de la maquina	V		V	V	V	V	V	V	V	
Lubricar las partes móviles. (Crucetas, rotulas, etc.)	25 HORAS		L	L	L	L	L	L	L	
Cambar filtro de aire primario			C	C	C	C	C	C	C	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Verificar estado del tensado de la cadena del tren de rodaje (si es necesario tensarla)	50 HORAS			V	V	V	V	V	V	V
Verificar el ajuste de los pernos de las zapatas de la cadena				V	V	V	V	V	V	V
Cambiar filtro de aire secundario				C	C	C	C	C	C	C
Cambiar aceite de motor	200 HORAS				C	C	C	C	C	C
Cambiar filtro de aceite					C	C	C	C	C	C
Cambiar filtros de combustible					C	C	C	C	C	C
Limpiar el alojamiento y tubería del filtro de aire					P	P	P	P	P	P
Revisar el nivel de aceite hidráulico					V	V	V	V	V	V
Revisar el nivel de aceite de los mandos finales					V	V	V	V	V	V
Chequear y ajustar todos los pernos del tren de rodaje					I	I	I	I	I	I
Engrasar el torno mesa					L	L	L	L	L	L
Chequear el desgaste del freno de servicio y de parqueo					I	I	I	I	I	I
Chequear el nivel de electrolito de las baterías					I	I	I	I	I	R
Chequear la boca de llenado de los tanques de combustible y del hidráulico					I	I	I	I	I	I
Revisar y limpiar todo los respiradores y desfuegos de la maquina					V	V	V	V	V	I
Cambiar aceite hidráulico						C	C	C	C	C
Cambiar filtro del aceite hidráulico					C	C	C	C	C	
Cambiar líquido refrigerante					C	C	C	C	C	
Cambiar aceite de los mandos finales					C	C	C	C	C	
Revisar el estado del cucharón y cuchillas, si es necesario sustituirlas					V	V	V	V	V	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Verificar el estado y reemplace si es necesario las bujías de precalentamiento (si existe)	600 HORAS					V	V	V	V	V
Chequear y reajustar los pernos que soportan las bases del motor.						I	I	I	I	I
Revisar que los pernos, abrazadera de sujeción del escape no estén flojos o sueltos						V	V	V	V	V
Revisar y apretar si es necesario lo soportes de los ejes y transmisión						V	V	V	V	V
Verificar el estado de los pines y bocines y si es necesario cámbielos						V	V	V	V	V
Chequear que no existan fugas, cortes o fricción que provoquen la rotura de las mangueras hidráulicas	1000 HORAS						V	V	V	V
Chequear el estado del cable de acelerador, ahogador de la maquina (si existe)							V	V	V	V
Chequear el desgaste de los rodillos superiores e inferiores del tren de rodaje							V	V	V	V
Chequear el desgaste de la rueda guía y segmentos de catalina							V	V	V	V
Verificar la correcta lubricación de los bujes, ejes y rodamientos							V	V	V	V
Verificar el estado de las cuchillas y de la estructura del cucharón y si es necesario arreglar							V	V	V	V
Verificar el estado de la tapa del radiador							V	V	V	V
Verificar el estado de la bomba de agua, si está en mal estado sustitúyala.							V	V	V	V
Verificar el estado y comprobar el juego axial del rotor del turbo cargador (si es necesario cámbielo)							V/I	V/I	V/I	

Desmontar y verificar el estado de los inyectores, si están en mal estado sustitúyalos.	2000 HORAS							V	V	V
Verificar y medir la compresión del motor de combustión								V	V	V
Desmontar y verificar el estado del motor de arranque, si es necesario cámbielo.								V	V	V
Desmontar y verificar el estado del alternador, si es necesario cámbielo.								V	V	V
Verificar el estado de los enfriadores								V	V	V
Verificar el estado del intercooler								V	V	V
Verificar el estado de la batería								V	V	V
Revisar la compresión y realizar la prueba de fugas del motor de combustión	4000 HORAS								V	V
Desmontar y comprobar en el banco el estado de los inyectores, Si están mal sustitúyalos									V	V
Drenar y limpiar el sistema de refrigeración (si existe radiador)									D	D
Verificar el estado del termostato del motor									V	V
Inspeccione el estado del pin central y de los bujes									I	I
Desmante, inspeccione y repare si es necesario los mandos finales									I	I
Inspeccione los ejes y bujes de los brazos de levantamiento.									I	I
Chequear presión de aceite de las bombas hidráulicas de levantamiento y giro								V	V	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Verificar la presión de la bomba de aceite del motor									V	V
Reparación del motor de combustión	10000 HORAS									A

Nota. Plan de mantenimiento para la maquinaria: Excavadoras. Fuente: Autores.

 **CARGADORAS FRONTALES**
TABLA 8

Plan de mantenimiento para la maquinaria en cargadoras frontales.

ACTIVIDAD PROGRAMADA	INTERVALOS	REALIZAR (HORAS)									
		5	20	50	200	600	750	1000	2000	4000	10000
Revisar nivel del líquido refrigerante	5 HORAS	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel de aceite motor		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel del aceite hidráulico.		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel del combustible		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel de aceite de transmisión		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar que no existan ruidos anormales en el motor		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar fugas del motor (visualmente)		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de los neumáticos		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar perno rotos en las llantas		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar bandas (condición y tensión)		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar conexiones de la batería		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar sistema de alumbrado (faros)		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de los frenos		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de frenos de Parqueo		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar que los indicadores del tablero estén funcionando correctamente		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar extintores manuales		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar el estado del cucharón		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estructura de la maquina	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Lubricar partes móviles (cruquetas, rotulas, etc.)	20 HORAS		L								
Cambiar de filtro de aire primario			C								
Drenar el Agua y sedimentos del tanque de combustible			D								
Lubricar los cojinetes del cilindro de dirección			L								
Verificar la presión de inflado de los neumáticos	50 HORAS			V							
Cambiar filtro de aire secundario				C							
Verificar ajuste de pernos de la ruedas				V							
Cambiar aceite de motor	200 HORAS				C						
Cambiar filtro de aceite					C						
Cambiar filtros de combustible					C						
Chequear y ajustar todos los pernos de las bases de la transmisión					V						
Engrasar las cruceas del cardan					L						
Chequear el desgaste del freno de servicio y de parqueo (si es necesario regular)					V						
Chequear el nivel de electrolito de las baterías					V						
Revisar y limpiar todo los respiradores y desfogues de la maquina					P						
Limpiar el alojamiento y tubería del filtro de aire					P						
Inspeccionar / ajustar / reemplazar la Correa del acondicionador de aire					I						
Lubricar los Cojinetes de oscilación del eje				L							

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Lubricar los Cojinetes de bolas(central)				L	L	L	L	L	L	L	L
Verificar el nivel de aceite de los mandos finales				V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar que no existan fugas (aceite, refrigerante y combustible)				V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar el nivel del aceite de Transmisión				V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar el nivel del aceite del sistema hidráulico				V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar el nivel de aceite del diferencial delantera y posterior				V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar /limpiar los contactores del sistema eléctrico de la maquina				P	P	P	P	P	P	P	P
Cambar aceite hidráulico					C						
Cambiar aceite de transmisión					C						
Cambiar filtro hidráulico					C						
Cambiar aceite de los diferenciales					C						
Cambiar aceite de los mandos Finales					C						
Verificar el estado y reemplace si es necesario las bujías de Pre calentamiento					V						
Chequear y reajustar los pernos que soportan la bases del motor					I						
Revisar que los pernos, abrazadera de sujeción del escape no estén flojos o sueltos					V						
Revisar y apretar si es necesario lo soportes de los ejes y transmisión					V						
Limpiar el respiradero del cárter					P						

600 HORAS

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Revisar la calibración de la válvulas de admisión y escape (si es necesario calibre)						I						
Revisar el estado de la tapa del radiador						I						
Cambiar los neumáticos	750 HORAS						C					
Chequear que no existan fugas, cortes o fricción que provoquen la rotura de las mangueras hidráulicas	1000 HORAS							V	V	V	V	
Verificar la operación y buen estado de las pastillas de freno y de bloqueo y si es necesario sustitúyalas									V	V	V	V
Verificar daños y grietas en lo neumáticos									V	V	V	V
Ajustar las tuercas de las ruedas									I			
Verificar la correcta lubricación de los bujes, ejes y rodamientos									V	V	V	V
Verificar el estado de las cuchillas y de la estructura del cucharón y si es necesario arreglar									V	V	V	V
Desmontar y verificar el estado de los inyectores, si están en mal estado sustitúyalos										I	V	I
Verificar y medir la compresión del motor de combustión									V	V	V	
Desmontar y verificar el estado del motor de arranque, si está en mal estado reemplácelo									V	V	V	
Desmontar y verificar el estado del alternador, si está en mal estado reemplácelo.									V	V	V	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Verificar estado y revisar el juego axial del rotor del turbo cargador, si se encuentra en mal estado sustitúyalo.	2000 HORAS								V	V	V	
Verificar el estado de las poleas de la bomba de agua, alternador y cigüeñal, si están en mal estado reemplácelas.										V	V	V
Verificar el estado del dámper(caucho ubicado en la polea del cigüeñal), si está en mal estado cámbielo.										V	V	V
Verificar estado de enfriadores y si es necesario reemplace (si existe)										V	V	V
Verificar el estado de la batería, si es necesario cámbiela.										V	V	V
Recoger muestras de aceite del motor, transmisión, sistema hidráulico para detectar el desgaste de los elementos.										R	R	R
Revisar la compresión y realizar la prueba de fugas del motor de combustión.	4000 HORAS									V	V	
Desmonte y compruebe en el banco el estado de los inyectores, si están en mal estado sustitúyalos.										I	I	
Drenar y limpiar el sistema de refrigeración.										D	D	
Verificar el estado del termostato del motor, si está en mal estado reemplácelo.										V	V	
Inspeccione el estado del pin central y de los bujes, si está en mal estado reemplazarlos.										I	I	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Desmontar, inspeccionar y reparar si es necesario los mandos finales										V	V
Inspeccionar los ejes y bujes de los Brazos										I	I
Verificar desgaste de las chapas de biela y bancada										V	V
Verificar el ajuste de los pernos de la culata										V	V
Verificar la presión de aceite de la bomba hidráulica.										V	V
Verificar presión de aceite de la transmisión (con la maquina encendida).										V	V
Verificar la presión de la bomba de aceite del motor										V	V
Reparación del motor de combustión	10000 HORAS										A

Nota. Plan de mantenimiento para la maquinaria: Cargadoras frontales. Fuente: Autores.

RETROEXCAVADORAS

TABLA 9

Plan de mantenimiento para la maquinaria en retroexcavadoras

ACTIVIDAD PROGRAMADA	INTERVALOS	REALIZAR (HORAS)									
		5	20	50	200	600	750	1000	2000	4000	10000
Revisar nivel del líquido refrigerante.	5 HORAS	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel de aceite motor		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel de aceite hidráulico.		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel del combustible		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Revisar nivel de aceite de transmisión.		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar que no existan ruidos anormales en el motor		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar fugas del motor (visualmente).		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de los neumáticos		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar perno rotos en las llantas		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar bandas (condición y tensión)		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar conexiones de la batería		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar sistema de alumbrado (faros)		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de los frenos		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estado de frenos de parqueo		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar que los indicadores del tablero estén funcionando correctamente.		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Verificar extintores manuales		V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar el estado del cucharón		V	V	V	V	V	V	V	V	V
Verificar estructura de la maquina		V	V	V	V	V	V	V	V	V
Lubricar partes móviles. (cruetas, rotulas, etc.)			L	L	L	L	L	L	L	L
Cambiar de filtro de aire primario	20 HORAS		C	C	C	C	C	C	C	C
Drenar el Agua y sedimentos del tanque de combustible			D	D	D	D	D	D	D	D
Lubricar los cojinetes del cilindro de dirección			L	L	L	L	L	L	L	L
Verificar la presión de inflado de los neumáticos	50 HORAS			V	V	V	V	V	V	V
Cambiar filtro de aire secundario				C	C	C	C	C	C	C
Verificar ajuste de pernos de las ruedas				V	V	V	V	V	V	V
Cambiar aceite de motor					C	C	C	C	C	C
Cambiar filtro de aceite					C	C	C	C	C	C
Cambiar filtros de combustible					C	C	C	C	C	C
Chequear y ajustar todos los pernos de las bases de la transmisión					V	V	V	V	V	V
Engrasar las cruetas del cardan					L	L	L	L	L	L
Chequear el desgaste del freno de servicio y de parqueo (si es necesario regular)					V	V	V	V	V	V
Chequear el nivel de electrolito de las baterías					V	V	V	V	V	V
Revisar y limpiar todo los respiradores y desfogues de la maquina					P	P	P	P	P	P

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Limpiar el alojamiento y tubería del filtro de aire	200 HORAS				P	P	P	P	P	P	P
Inspeccionar /ajustar /reemplazar la Correa del acondicionador de aire					I	I	I	I	I	I	I
Lubricar los Cojinetes de oscilación del eje					L	L	L	L	L	L	L
Lubricar los Cojinetes de bolas (central)					L	L	L	L	L	L	L
Verificar el nivel de aceite de los mandos finales					V	V	V	V	V	V	V
Revisar que no existan fugas (aceite, refrigerante y combustible)					V	V	V	V	V	V	V
Verificar el nivel del aceite de transmisión					V	V	V	V	V	V	V
Verificar el nivel del aceite del sistema hidráulico					V	V	V	V	V	V	V
Verificar el nivel de aceite del diferencial delantera y posterior					V	V	V	V	V	V	V
Revisar /limpiar los contactores del sistema eléctrico de la maquina					P	P	P	P	P	P	P
Cambar aceite hidráulico		600 HORAS					C				
Cambiar aceite de transmisión						C					
Cambiar filtro hidráulico						C					
Cambiar aceite de los diferenciales						C					
Cambiar aceite de los mandos finales						C					
Verificar el estado y reemplace si es necesario las bujías de precalentamiento						V					
Chequear y reajustar los pernos que soportan la bases del motor						I					

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Revisar que los pernos, abrazadera de sujeción del escape no estén flojos o sueltos						V						
Revisar y apretar si es necesario lo soportes de los ejes y transmisión						V						
Limpiar el respiradero del cárter						P						
Revisar la calibración de las válvulas de admisión y escape (si es necesario calibre)						I						
Revisar el estado de la tapa del radiador						I						
Cambiar los neumáticos	750 HORAS						C					
Chequear que no existan fugas, cortes o fricción que provoquen la rotura de las mangueras hidráulicas	1000 HORAS							V	V	V	V	
Verificar la operación y buen estado de las pastillas de freno y de bloqueo y si es necesario sustitúyalas								V	V	V	V	
Verificar daños y grietas en lo neumáticos									V	V	V	V
Ajustar las tuercas de las ruedas									I			
Verificar la correcta lubricación de los bujes, ejes y rodamientos									V	V	V	V
Verificar el estado de las cuchillas y de la estructura del cucharón y si es necesario arreglar									V	V	V	V
Desmontar y verificar el estado de los inyectores, si están en mal estado sustitúyalos									I	V	I	
Verificar y medir la compresión del motor de combustión									V	V	V	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Desmontar y verificar el estado del motor de arranque, si está en mal estado reemplácelo	2000 HORAS								V	V	V	
Desmontar y verificar el estado del alternador, si está en mal estado reemplácelo.										V	V	V
Verificar estado y revisar el juego axial del rotor del turbo cargador, si se encuentra en mal estado sustitúyalo										V	V	V
Verificar el estado de las poleas de la bomba de agua, alternador y cigüeñal, si están en mal estado reemplácelas										V	V	V
Verificar el estado del dámper (caucho ubicado en la polea del cigüeñal), si está en mal estado cámbielo										V	V	V
Verificar estado de enfriadores y si es necesario reemplace (si existe)										V	V	V
Verificar el estado de la batería, si es necesario cámbiela.										V	V	V
Recoger muestras de aceite del motor, transmisión, sistema hidráulico para detectar el desgaste de los elementos.										R	R	R
Revisar la compresión y realizar la prueba de fugas del motor de Combustión.											V	V
Desmante y compruebe en el banco el estado de los inyectores, si están en mal estado sustitúyalos.										I	I	

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Drenar y limpiar el sistema de refrigeración.	4000 HORAS									D	D
Verificar el estado del termostato del motor, si está en mal estado reemplácelo.										V	V
Inspeccione el estado del pin central y de los bujes, si está en mal estado reemplazarlos.										I	I
Desmontar, inspeccionar y reparar si es necesario los mandos finales										V	V
Inspeccionar los ejes y bujes de los brazos										I	I
Verificar desgaste de las chapas de biela y bancada										V	V
Verificar el ajuste de los pernos de la culata										V	V
Verificar la presión de aceite de la bomba hidráulica.										V	V
Verificar presión de aceite de la transmisión (con la maquina encendida)										V	V
Verificar la presión de la bomba de aceite del motor										V	V
Reparación del motor de combustión	10000 HORAS										A

Nota. Plan de mantenimiento para la maquinaria: Retroexcavadoras. Fuente: Autores.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO RUTINARIO.

Este mantenimiento está a cargo del personal del departamento de lubricación debido a que ellos son los encargados del abastecimiento diario de todas las máquinas tanto dentro de la superficie como fuera de ella.

FIGURA 3

Ficha de mantenimiento de maquinaria para mantenimiento rutinario

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE						
FICHA DE MAQUINARIA PARA MANTENIMIENTO RUTINARIO						
CODIGO:	MAQUINA:					
MARCA:	TIPO DE MOTOR:					
MODELO:	UBICACIÓN DE LA MAQUINA:					
FECHA:	HOROMETRO:				No DE FICHA: 11 – 0000	
	ESTADO		REQUIERE			
	OK	MALO	Ajustar	Limpiar/ Sustituir	lubricar	Observ.
Verificar nivel de aceite motor						
Verificar que no existan ruidos anormales en el motor						
Verificar fugas del motor (aceite, agua, etc.)						
Verificar el filtro de aire						
Verificar nivel de fluido hidráulico						
Verificar nivel de combustible						
Verificar fugas de aceite en todos los circuitos hidráulicos						
Verificar estado de los neumáticos						
Verificar pernos rotos en las llantas						
Verificar todas las tuercas de las llantas						

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

Verificar las conexiones de la batería y los niveles de fluido						
Verificar bandas (condición y tensión)						
Verificar los pines y articulaciones(lubricación)						
Verificar sistema de alumbrado (faros)						
Verificar nivel del líquido refrigerante						
Verificar estado del radiador						
Verificar el tubo de escape						
Verificar estado de los frenos.						
Verificar el sistema de frenos de parqueo						
Verificar extintores manuales						
Verificar que los indicadores del tablero estén funcionando correctamente						
Verificar la condición del cucharón (si existe)						
Verificar estructura de la máquina						
REVISADO POR:						
TIEMPO EN REALIZAR MANTENIMIENTO:						
MATERIALES EMPLEADOS:						
OBSERVACIONES:						

Nota. Ficha de mantenimiento de maquinaria para mantenimiento rutinario. Fuente: Autores.

“Influencia del material geológico en el rendimiento y programa de mantenimiento de maquinaria pesada en gran minería, Cajamarca 2021”

DOCUMENTOS Y FICHAS PARA EL MANTENIMIENTO

A continuación, se detallan las fichas y documentos que se propone para llevar un mejor control del mantenimiento para la maquinaria de la Empresa Minera.

ORDEN DE TRABAJO

En el momento que el vehículo ingresa al taller habrá una persona encargada de realizar el respectivo llenado de este documento, luego será entregado al mecánico designado a realizar la actividad de mantenimiento.

FIGURA 4

Orden de trabajo

DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
FECHA:	NUMERO DE EQUIPO:	HOROMETRO:	ORDEN DE TRABAJO: No. 11-0000
PROBLEMA O DAÑO:			
SOLUCIÓN O REPARO:			
PARTES NECESARIAS PARA LA REPARACION:			
MECÁNICO(S) INVOLUCRADO(S)			HORAS:
ALGUNA OBSERVACIÓN ADICIONAL QUE SE PUEDA PROGRAMAS PARA REPAROS FUTUROS:			
Firma del Mecánico:		Revisado y Aprobado por:	

Nota. Orden de trabajo. Fuente: Autores.

FIGURA 6

Ficha para la planificación del programa de mantenimiento por mes

		UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE																																
PLANIFICACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO																																		
		MES:																																
CODIGO		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		
BC - 05																																		
LO - 02																																		
S - 18																																		
TR - 02																																		
LC - 01																																		
TH - 01																																		
CO - 07																																		

	MANTENIMIENTO RUTINARIO Y/O CORECTIVO
	MANTENIMIENTO 200 HORAS
	MANTENIMIENTO 400 HORAS
	MANTENIMIENTO 600 HORAS
	MANTENIMIENTO 800 HORAS
	MANTENIMIENTO 1000 HORAS

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Efectivamente como dice Calos (2015) el mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades realizadas tras el fallo de un bien o el deterioro de su función, para permitirle cumplir con una función requerida, al menos de manera provisional

Las fichas técnicas de las maquinas permiten tener acceso a las características técnicas como: tipo de motor, cilindraje, etc., que son importantes tener en cuenta en el momento de ejecutar cualquier actividad de mantenimiento, esto se corrobora en nuestra tesis.

El programa de mantenimiento es una herramienta clave que se la debe seguir estrictamente realizando todos los procedimientos y recomendaciones descritos para cada máquina, logrando así mantenerla operativa y aprovechar al máximo la vida útil de la misma.

Es importante tener en cuenta que los rendimientos de los equipos mineros no solo dependen de las propiedades geológicas, sino también de factores como el diseño y la eficiencia de los propios equipos, las técnicas de operación utilizadas y la experiencia del personal involucrado.

CONCLUSIONES

El programa de mantenimiento es una herramienta clave que se la debe seguir estrictamente realizando todos los procedimientos y recomendaciones descritos para cada máquina, logrando así mantenerla operativa y aprovechar al máximo la vida útil de la misma.

Los valores son solo estimaciones aproximadas y pueden variar en función de varios factores. Es importante realizar un seguimiento regular del desgaste y las condiciones de funcionamiento del equipo pesado, así como llevar a cabo un mantenimiento adecuado para prolongar su vida útil. Además, la vida útil real del cargador frontal puede depender de la calidad del diseño y la fabricación, la experiencia del operador y las prácticas de mantenimiento en el sitio minero específico.

Referencias

"Handbook of Crushing" (TerraSource Global)

"Hard Rock Miner's Handbook" (Jack de la Vergne)

"Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control" (Andrew L. Mular, Derek J. Barratt, Doug N. Halbe)

"SME Mining Engineering Handbook" (Peter Darling)

BOUCLY, Francis, Gestión de Mantenimiento, Editorial AENOR, Madrid,1999.

CATERPILLAR AMERICA COMPANY, Manual de Mantenimiento delCat 320C, Estados Unidos, (s/f)

Datos técnicos de Maquinaria Caterpillar (Recuperado el 15 de octubre del2011)

Datos técnicos de Maquinaria John Deere (recuperado el 10 de octubre del2011)

<http://ingersollrand.com/Pages/default.aspx>

<http://www.craneworks.com/pdf/Forklifts/Forklifts/8K%20Telehandler%20IR%20VR843C1.pdf>

<http://www.cat.com/equipment>

International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences

JOHN CLARK INC, Manual de Mantenimiento de JCI 250 M (s/f), Canadá

CATERPILLAR AMERICA COMPANY, Manual de Mantenimiento delCat Truck 725, Estados Unidos, (s/f)

Journal of Mining Science

Minerals Engineering

Mining Technology

PASTOR TEJEDO, Ana Clara, Gestión Integral de Mantenimiento, Marcombo Boixareu Editores, 1997.

Publicaciones técnicas y revistas:

REY SACRISTAN, Francisco, Manual del Mantenimiento Integral en la Empresa,

Anexos

ANEXO N° 1: Etapa de Precampo – Mina en Tajo Abierto





ANEXO N° 3: Etapa de Precampo - Taller

