



Ministerio De Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Mecánica

Trabajo de Diploma

Para optar por el Título de

Ingeniero Mecánico

Título: Evaluación de los indicadores de rendimiento de los equipos de
excavación – carga

Autor: Guillermo Lores Matos

Tutores: Ing. Marlo Leyva Tarafa

Dra. C. María Isabel García de la Cruz

Moa, 2017

“Año 59 de la revolución”



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Guillermo Lores Matos, autor del presente trabajo y los tutores; Dra. María Isabel García e Ing. Marlo Leyva Tarafa, certificamos la propiedad intelectual de este trabajo, a favor del ISMMM y a la Facultad de Electromecánica y Metalúrgica, los cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

Firma del Autor:

Guillermo Lores Matos

Firma de los Tutores:

Dra. María Isabel García

Ing. Marlo Leyva Tarafa



PENSAMIENTO

“ En la disciplina está el secreto de la productividad, en la tecnología, en la organización racional, eficiente: en el uso racional y eficiente de las máquinas, de los recursos humanos.

Por eso nosotros tenemos que tener disciplina, tenemos que desarrollar métodos científicos, verdaderamente, de organización y dirección, y tenemos que dominar la tecnología. Por esa vía podemos hacer mucho más de lo que pueden hacer los capitalistas.”

Fidel Castro 8-1-1989



AGRADECIMIENTOS

Le doy primeramente las gracias a ese dios que está en el cielo, el cual me ha acompañado y ayudado en todos los momentos de mi vida. A mis abuelos por haber logrado formar y educar de la mejor manera posible a mis padres. Agradezco también a mis padres los cuales se esforzaron extraordinariamente para ayudarme a conquistar mi meta, a enorme familia, tíos, primos, sobrinos, etc. sin excepción de ninguno, aprovecho esta ocasión para decirles que nunca les fallaré y que espero que estos lazos tan fuertes que tenemos continúen y si es posible que se fortalezcan aún más en el futuro. Se le agradece también a todos mis amigos, vecinos del barrio, compañeros de aula y universidad, por estar presentes en mi vida la mayor parte del tiempo, los cuales también aportaron un poco de ayuda que este día llegara. A los profesores que lograron formarme desde los primeros años de vida hasta la actualidad, a mis tutores, por ser unas personas tan dedicadas y amantes de su trabajo. Y por último, y aclaro, no menos importante, le agradezco a mi pareja sentimental, la cual en el tiempo que llevamos de relación ha logrado hacer de mí una mejor persona, todo esto mencionado ha sido escrito con mucha sinceridad y amor, en verdad les estoy eternamente agradecido.



DEDICATORIA

Este trabajo de diploma va dedicado especialmente a mis padres Guillermo y Nilvia, por haberse sacrificado tanto por sus 3 hijos, a quienes lograron educar modestamente como personas sencillas, educadas y nobles. Por encaminarnos correctamente en los estudios, sin importar sacrificio alguno y por haber enseñado lo hermoso que es ser una persona solidaria, amable, respetuosa y digna de una familia unida, a quienes les debo todo.

Lo dedico a mis hermanas queridas: Nilviannis (Yayi), quien se ocupó de mí a temprana edad cuando mi madre no podía atenderme porque estaba atareada en la con los trabajos de la casa, para mí fue un ejemplo a seguir desde pequeño, ya que siempre fue una de las primeras en sus estudios, obteniendo como resultado un título académico. A mi hermana Nadiana (Nana), pequeña de edad, pero ya no de tamaño, quien desde sus primeros pasitos me perseguía por toda la casa y se ponía a llorar si la dejaba sola, ella ha estado en todo momento encima de mí haciendo de las suyas, ahora es su turno para demostrarnos que también puede realizarse como profesional, a ambas las amo con la vida y no sé qué sería de mi vida sin ellas,

También lo dedico a mi familia, amigos y mi novia, los cuales siempre estuvieron atentos, demostrándome que siempre se pueden lograr los objetivos trazados si se pone empeño, sacrificio, disciplina, amor y mucho interés sobre todo. Todos me demostraron lo encantadora que es la vida si se tiene tantas personas incondicionales con quien contar, los que no miran para el costado para darte un consejo, corregirte, darte un abrazo o una sonrisa. Con mucho amor y cariño mi logro va dedicado a todos ustedes.

**RESUMEN**

En el presente trabajo es expuesto el proceso productivo de la Unidad Básica Minera (UBM) de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara donde se realiza un trabajo continuo de extracción de menas lateríticas mediante equipos de excavación – carga. Debido a la ineficiente evaluación de los indicadores de rendimiento de estos equipos, es utilizada una metodología de evaluación inadaptada para este tipo de máquinas, por tanto se establece una metodología de evaluación de los parámetros técnicos – productivos del equipamiento de excavación – carga en correspondencia con las condiciones reales de explotación con el objetivo de elevar los niveles de fiabilidad de los mismos.

Se caracterizaron los equipos de excavación – carga marca XCMG por las horas de explotación y las horas planificadas para el mantenimiento. Se determinaron los parámetros tecnológicos y de explotación, para calcular los indicadores de rendimiento a partir del ciclo de trabajo y la tecnología de diseño. Esta investigación arrojó como resultado que la máquina de mayor rendimiento es la RE – 1393; con 255,95 t/h y 91,73 t/h de productividad promedio calculada y trabajada, con una disponibilidad de 96,98 % logrando un rendimiento general del 88 % en las operaciones mineras en el frente de carga.



ABSTRACT

In the present work the production process of the Basic Mining Unit (UBM) of the company Comandante “Ernesto Che Guevara” is exposed where a continuous work of extraction of laterite ores by means of equipment of excavation - load is realized. Due to the inefficient evaluation of the performance indicators of these equipment, an inadequate evaluation methodology is used for this type of machines, therefore a methodology is established for the evaluation of the technical - productive parameters of the excavation - load equipment in correspondence with The real conditions of exploitation with the aim of raising the levels of reliability of the same. The XCMG excavation - load equipment was characterized by the hours of operation and the planned hours for maintenance. The technological and operational parameters were determined to calculate the performance indicators from the work cycle and the design technology. This research showed that the most efficient machine is the RE – 1393; with 255,95 t/h and 91,73 t/h of average productivity calculated and worked, with an availability of 96,98 % achieving an overall performance of the 88 % in mining operations on the loading front.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I. Marco Teórico Conceptual.....	4
1.1. Introducción.....	4
1.2. Análisis bibliográfico	4
1.3. Características geológicas de los yacimientos.....	4
1.3.1. Ubicación geográfica	4
1.3.2. Breves características geológicas de los yacimientos.....	5
1.4. Descripción del flujo tecnológico de la UBMECG.....	6
1.5. Características generales y parámetros de explotación técnica de los equipos...9	
1.6. Parámetros de explotación técnica del equipo	10
1.6.1. Explotación técnica del equipamiento de excavación-carga.....	10
1.6.2. Descripción de la máquina.....	11
1.7. Indicadores de rendimiento: productividad y fiabilidad de los equipos	13
1.7.1. Fiabilidad de los equipos.....	14
1.8. Disponibilidad de los equipos	16
1.8.1. Mantenibilidad de los equipos.....	19
1.9. Relación entre disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad	20
1.10. Conclusiones del capítulo	20
Capítulo II. Materiales y Métodos utilizados en la investigación.....	21
2.1. Introducción.....	21
2.2. Instrumentos y métodos utilizados en la investigación	21
2.3. Fiabilidad	21
2.4. Mantenibilidad	22
2.4.1. Parámetros básicos de la mantenibilidad.....	23
2.4.2. Factores principales de la mantenibilidad.....	23
2.5. Tiempo promedio entre falla (TPEF)	24
2.6. Disponibilidad técnica	25
2.7. Cálculo de los indicadores de rendimiento	26
2.8. Determinación de los parámetros tecnológicos de los equipos.....	27
2.8.1. Rendimiento nominal	27
2.8.2 Rendimiento real.....	27
2.9. Determinación de la cantidad de ciclos de llenado, volumen productivo y productividad de los equipos.....	30
2.9.1. Determinación de la cantidad de ciclos de trabajo	30



2.9.2. Determinación del volumen productivo	30
2.9.3. Determinación de la productividad real de las retroexcavadoras.....	30
2.10. Conclusiones del capítulo	31
Capítulo III. Análisis de los resultados de la investigación, valoración económica e impacto medioambiental	32
3.1. Introducción	32
3.2. Utilización del equipamiento de excavación – carga.....	32
3.2.1. Afectaciones presentadas en los equipos marca XCMG modelo XE700.....	33
3.3. Análisis de los resultados de la investigación	33
3.3.1. Relación entre los índices de la fiabilidad.....	34
3.3.2. Disponibilidad técnica	38
3.4. Determinación de los parámetros tecnológicos	44
3.4.1. Rendimiento del equipo	44
3.5. Parámetros tecnológicos según la metodología de Paraszczak (2005)	45
3.6. Vinculación de la productividad promedio con el tiempo de trabajo de los equipos	47
3.7. Valoración económica	52
3.8. Impacto medio ambiental.....	53
3.8.1. Medidas de seguridad para el trabajo con los equipos de excavación - carga	53
3.9. Conclusiones del capítulo	54
CONCLUSIONES GENERALES	56
BIBLIOGRAFÍAS CONSULTADAS	58
ANEXOS	61



INTRODUCCIÓN

Hoy día en la rama industrial, todos los procesos y maquinarias forman parte del proceso productivo, estas se identifican por necesitar una elevada fiabilidad, productividad y un alto rendimiento, para contribuir con la eficiencia, eficacia y efectividad, logrando así la confiabilidad operacional, conservando o adquiriendo, altos niveles de producción en compañía de las necesidades determinadas por las empresas.

La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, es una empresa que garantiza la producción de Níquel + Cobalto con una calidad reconocida a escala internacional, manteniendo índices de eficacia y eficiencia que le permiten ser competitiva en el mercado, para lo cual cuenta con un capital humano idóneo, con un perfeccionamiento constante de su tecnología y cuidado del medio ambiente, constituyendo un símbolo para la Industria Cubana actual.

El esquema tecnológico de la fábrica comienza en la Unidad Básica Minera. La extracción y transporte del mineral es la actividad fundamental, por lo cual todos los trabajos mineros están encaminados a que esta se realice exitosamente, pero a la vez la extracción y el transporte de mineral están subordinados a las exigencias del proceso industrial y a las condiciones naturales del yacimiento.

El conjunto de máquinas mineras es de prioridad máxima en estos procesos, puesto que estas definen el volumen de producción del material que se tendrá en el proceso, dentro de las cuales se pueden mencionar los vehículos de tiro y carga, las máquinas perforadoras, buldóceres, dragalinas, camiones de volteo y por último, pero no menos importante están las excavadoras marca XCMG 700, de 68 ton de capacidad.



Situación problemática

La explotación del equipamiento de excavación – carga en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECG), se rigen por los parámetros técnicos productivos que regulan el funcionamiento de estas máquinas. En esta política durante el proceso, no se tiene en cuenta: la evaluación correcta del desempeño de los equipos durante el periodo de explotación en los yacimientos lateríticos, mediante la metodología que sistematiza el funcionamiento de las máquinas. Por tanto durante el proceso productivo de estos equipos no se realiza una correcta planificación de las operaciones mineras que deben de realizar durante la explotación de los yacimientos, para obtener unos niveles elevados de rendimiento general a partir de la productividad de los mismos.

Problema de la investigación

Ineficiente evaluación de los indicadores de rendimiento de los equipos de excavación – carga de la UBMECG con la utilización de la metodología de evaluación.

Objeto de investigación

Metodología para determinar los indicadores de rendimiento y parámetros técnico – productivos de los equipos de excavación y carga.

Objetivo general

Evaluar los indicadores de rendimiento de las máquinas de excavación – carga de la UBMECG, partiendo de las particularidades de la metodología de evaluación para determinar el funcionamiento adecuado de estos equipos.

Campo de acción

Equipamiento de excavación – carga de la UBMECG.

Hipótesis

Si se establece una evaluación de los parámetros técnicos - productivos del equipamiento de excavación – carga en la UBMECG en correspondencia con las condiciones reales de explotación entonces, se puede determinar los indicadores de



rendimiento y elevar los niveles de fiabilidad de los mismos para realizar una planificación de las operaciones mineras de los yacimientos en explotación.

Objetivos específicos

1. Caracterizar los equipos mineros de excavación – carga de la UBMECG.
2. Analizar los parámetros tecnológicos y de explotación de los equipos de excavación – carga empleados en la UBMECG.
3. Evaluar los parámetros técnicos productivos para conocer los indicadores de rendimiento.

Tareas

1. Análisis del estado del arte con relación a las características de los equipos mineros de excavación – carga de la UBMECG.
2. Adecuación de los procedimientos de cálculo para el análisis de los parámetros tecnológicos y de explotación de los equipos de excavación – carga empleados en la UBMECG.
3. Evaluación de los ciclos de trabajo, los parámetros técnicos productivos y los indicadores de rendimiento mediante la metodología.
4. Valoración de las pérdidas económicas y el impacto medioambiental.

Los métodos de investigación científicos utilizados en la investigación son los siguientes:

Métodos Teóricos:

Histórico – lógico: para el estudio y utilización de los indicadores técnico – productivos, durante el proceso de explotación de los equipos mineros que trabajan en la industria del níquel; fundamentalmente en los yacimientos de Moa.

Análisis – síntesis: para arribar a las conclusiones que se obtendrán en el desarrollo del trabajo de experimentación, determinando los ciclos de trabajo de los equipos en la UBMECG y los principales parámetros de explotación.

Hipotético – deductivo: mediante este método se podrá formular la hipótesis y pronosticar resultados.



Métodos Empíricos:

Observación directa: para caracterizar el problema, además de analizar las diferentes bitácoras de trabajo de los diferentes equipos que laboran en el proceso de la producción de la UBMECG.

Revisión de documentos: para el análisis de documentos sobre el tema objeto de estudio.

Matemático – estadístico: se emplea en el cálculo y determinación de los indicadores técnico – productivos y la metodología de los parámetros de explotación de los equipos; a través de los instrumentos aplicados mediante de los modelos matemáticos y representación mediante los anexos.

Capítulo I. Marco Teórico Conceptual

1.1. Introducción

En este capítulo se describe brevemente la situación actual del comportamiento de los indicadores técnicos productivos y su efecto en el rendimiento y la fiabilidad de las máquinas de excavación – carga de la UBMECG; de igual forma se exponen las características de los yacimientos donde se realizó el estudio. Se caracteriza su proceso productivo. Y conceptos básicos.

En tal sentido y según lo expresado el objetivo que se persigue es establecer los fundamentos teóricos acerca de la utilización de las máquinas mineras que se emplean en el proceso productivo de la UBMECG y los indicadores técnicos productivos, además del efecto del mantenimiento en estos.

1.2. Análisis bibliográfico

Durante el desarrollo de la investigación se consultaron un total de 29 materiales bibliográficos, de los cuales, en el trabajo sólo se refieren los que en mayor medida contribuyeron a la realización de la misma. La revisión bibliográfica se orientó en dos direcciones fundamentales, la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del estudio a realizar y los trabajos que sobre el tema desde el punto de vista técnico y práctico se han llevado a cabo, que constituyen, una valiosa información.

1.3. Características geológicas de los yacimientos

1.3.1. Ubicación geográfica

El área de ubicación de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara se encuentra al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda, ubicado en la provincia Holguín, en la costa norte, entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 km. de la Ciudad de Moa y a 2 km. del pueblo de Punta Gorda y forma parte del macizo montañoso de Sagua - Moa-Baracoa (figura 1.1).

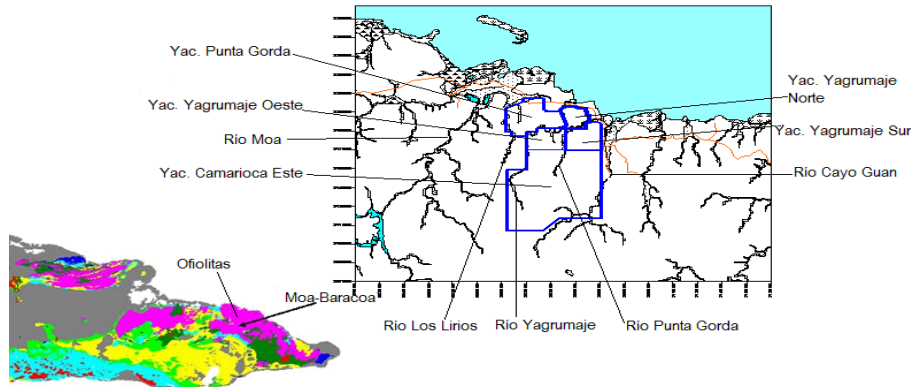


Figura 1.1. Plano de ubicación de la zona de la base minera.

Fuente (García, 2013)

1.3.2. Breves características geológicas de los yacimientos

El área objeto de estudio está conformada por los yacimientos que integran la concesión de explotación de la “Empresa Comandante Ernesto Che Guevara”, estos son: Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Oeste, Yagrumaje Sur y Camarioca Este.

CONCESIÓN MINERA

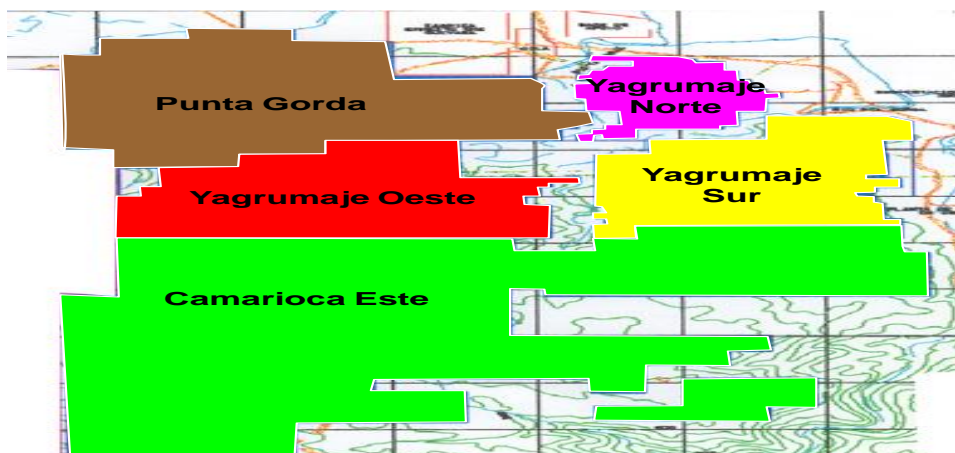


Figura 1.2. Composición de la concepción minera Empresa comandante Ernesto Che Guevara.

Fuente: (Guerra, 2012)

Yacimiento Camarioca Este

Presenta un área total de 19 km² y una potencia media de 4,90 m. Por su yacencia, es una corteza de tipo superficial desarrollada en forma de manto, en ocasiones interrumpida por afloramientos de la roca madre, aparece como una gran superficie de nivelación de relieve erosivo – denudativo con pendientes suaves que se hacen bruscas en los límites del desarrollo de la corteza.

Las menas LB+SB se encuentran distribuidas en diferentes cuerpos minerales que se caracterizan por su diversidad de tamaños, formas, potencia de las menas y de las cubiertas de estéril, reservas y contenidos de los elementos útiles. Este yacimiento se encuentra desarrollado en dos categorías: medidos e indicados. En categoría medidos se desarrollaron 30 bloques y en indicados 167 bloques. Las potencias de escombro y mineral para ambas categorías de desarrollo para el cut off de 0.9 % Ni, son 2,18 m y 6,65 m y 3.2 m y 6,6 m respectivamente. La relación escombro mineral es de 0,22 y 0,3 m³/t respectivamente. El acceso es a través de caminos construidos para las actividades de desarrollo geológico en el mismo, pero estos no poseen condiciones para la actividad minera. Este se encuentra bastante distante de la mina y requerirá de prolongación de los caminos existentes.

1.4. Descripción del flujo tecnológico de la UBMECG

La Unidad Básica Minera está destinada fundamentalmente a suministrar la materia prima mineral a la empresa Comandante Ernesto Che Guevara que cuenta con un esquema tecnológico basado en la lixiviación carbonato amoniacal del mineral reducido o proceso Carón. Inició sus operaciones mineras en 1985, con la explotación de los minerales del Yacimiento Punta Gorda, con producciones anuales hasta el año 1996 entre 1,5 a 2,3 millones de toneladas. A partir del año 1997 hasta la fecha se incrementó a 3,0 a 3,8 millones de toneladas de mineral minado. Para dar cumplimiento a su objeto social desarrolla las actividades que aparecen a continuación:

Desarrollo geológico: tiene como objetivo fundamental, la evaluación de los recursos minerales, con la finalidad de utilizarlos como materia prima ya sea a corto, mediano o largo plazo. En esta etapa se determinan los parámetros fundamentales de las menas del yacimiento, que servirán de base para la planificación de la extracción y su

procesamiento industrial. Estos trabajos se realizan por contratos a las empresas de la Unión Geólogo Minera, categorizadas para los servicios geológicos.

Preparación minera: es el conjunto de trabajos mineros a realizar para que la extracción y el transporte se ejecute con calidad y eficiencia. Estas la compone las actividades que se describen a continuación:

Desbroce: consiste en la eliminación de la vegetación y la modelación del terreno para que puedan entrar al área los equipos para el destape, se ejecuta con buldócer marca KOMATSU modelo D85E. Esta fase es de gran importancia tanto para los trabajos de destape, como para la preservación del medio ambiente.

Destape: consiste en el arranque, carga y acarreo del horizonte superior (escombros) del cuerpo mineral, que por su bajo contenido de níquel y cobalto no resulta económico enviarlo al proceso. Para realizar el mismo pueden ser utilizados una serie de equipos, que su elección está determinada por las exigencias de calidad del trabajo, potencia de la capa de escombros, relieve, distancia de transportación, etc. Actualmente los equipos más usados para el arranque-carga en estos yacimientos son las retroexcavadoras hidráulicas con capacidad volumétrica de 4 m³, camiones articulados de 40 t.

Construcción de los caminos mineros: Garantiza el transporte del mineral hasta la fábrica, depósitos o el punto de recepción de mineral. Estos se clasifican en principales o secundarios de acuerdo para el uso a que estén destinados. Los caminos principales tienen una vida relativamente larga, transportan la masa mineral desde los frentes mineros a los puntos de recepción, sirven a varios frentes de minería. Los caminos secundarios sólo sirven a uno o dos frentes mineros.

Extracción y transporte del mineral

Es la actividad fundamental de la mina, por lo cual todos los trabajos mineros están encaminados a que esta se realice exitosamente, pero a la vez está subordinada a las exigencias del proceso industrial y a las condiciones naturales del yacimiento, por lo que se precisa de depósitos de homogeneización que equilibren las fluctuaciones en los volúmenes y la calidad del mineral procedente de los frentes de minería, actualmente se trabaja en la conformación de los mismos. Actualmente el arranque (extracción) y carga se hacen con excavadoras marca dragalinas de 3 y 5 m³ de

capacidad, retroexcavadoras de 4 m³ y el transporte con camiones articulados de 40 t. En los depósitos además de estos equipos se utilizan camiones rígidos de 60 t y cargadores frontales de 4,4 m³.

El área de extracción y transporte de mineral, perteneciente a la Unidad Básica Minera (UBM) tiene como objetivo fundamental garantizar la extracción y abastecimiento del mineral bruto desde los diferentes frentes mineros al área de recepción y trituración del mismo permitiendo así la continuidad del proceso fabricación de níquel, constituyendo así un importantísimo eslabón el flujo productivo.

Punto de recepción y trituración de mineral: el mineral procedente de la mina se deposita en dos tolvas, las cuales están provistas de una criba fija en la parte superior y de un alimentador de placas en la parte inferior. De las tolvas pasa a la zaranda vibratoria donde es separado en dos fracciones +100 mm y -100 mm. Las fracciones +100 pasan a una trituradora de martillo donde son reducidas a -40mm que se unen nuevamente con las fracciones -100 mm. A través de los de transportadores de bandas No.1^a y B, el mineral pasa al transportador No.2, el cual mediante el transportador reversible No.3, pasa a los transportadores No.4^a o B, que tienen enlace con los transportadores número 14 y 15, los que trasladan el mineral directo a la fábrica. Según (Justino, 2014).

Protección al medio ambiente

En el desarrollo de los trabajos de explotación minera en el área del yacimiento Punta Gorda se ha determinado los principales problemas relacionados con los procesos erosivos principalmente en los caminos mineros y taludes permanentes.

En la actualidad, las tareas de rehabilitación de las zonas minadas de la mina de la empresa comandante Ernesto Che Guevara están siendo llevadas a cabo por la empresa “Rehabilitación de Zonas Minadas” la cual está dotada de capacitados especialistas y personal técnico especializado en la materia.

Modo de explotación y apertura

El modo de explotación aplicado es el clásico a cielo abierto con la utilización de medios mecánicos. La apertura en forma de trincheras o canales magistrales a todo

largo del talud. Es decir con el empleo de trincheras principales y el posterior desarrollo de trincheras secundarias a los diferentes frentes de trabajo.

Sistema de explotación aplicado

El sistema de explotación empleado actualmente es con arranque y carga directamente al transporte automotor, en uno y/o varios escalones, mediante excavadoras andantes o de esteras de arrastre y retroexcavadoras hidráulicas.

El desarrollo de la minería inicia su apertura en frentes continuos a través de bancos múltiples paralelos y por la horizontal, con la utilización de retroexcavadoras hidráulicas y camiones que pueden ser articulados o rígidos tanto para la minería como para el destape.

La similitud de los ángulos de inclinación del cuerpo mineral y de la superficie del terreno natural posibilita la apertura y ejecución de la minería por cualquier horizonte o por varios a la vez y el desarrollo lo mismo de arriba hacia abajo quede abajo hacia arriba. La altura de los bancos fue diseñada a partir de diferentes análisis realizados de varios perfiles de los yacimientos, así como de los parámetros fundamentales del equipamiento.

1.5. Características generales y parámetros de explotación técnica de los equipos

Las retroexcavadoras son equipos que se diferencian fundamentalmente en el órgano de trabajo con que efectúan sus trabajos del nivel de sustentación hacia abajo y en el rodaje que puede ser sobre neumáticos o sobre esteras.

Su órgano de trabajo puede ser accionado por cables o de forma hidráulica (equipos modernos). La pala de la retroexcavadora puede tener múltiples formas y dimensiones, en dependencia de la labor a realizar.

Las capacidades de pala (nominales) de los equipos normados en Cuba oscilan entre: 0,25 m³ y superiores a 1 m³ generalmente, pero los equipos utilizados en la en las Empresas del Níquel poseen mayor capacidad ya que son empleados en la explotación minera. Estos equipos son procedentes de otros países como son China, Francia, Polonia y Japón.

Durante el trabajo de la máquina esta realiza los siguientes movimientos con su brazo:

1. Movimiento descendente del brazo auxiliar a la profundidad deseada.
2. Movimiento para efectuar la excavación y carga de la pala.
3. Giro lateral para depositar el material excavado (en un lateral sobre vehículos de transporte generalmente).

Al hacer estos movimientos cumplen un ciclo de trabajo, los cuales han sido determinados y tabulados. (Damata, A. 2017).

Campo de aplicación de las retroexcavadoras

Las retroexcavadoras son empleadas en la realización de los siguientes trabajos:

1. Zanjas (para cimientos corridos, redes hidrosanitarias, con fines para la defensa, para drenaje, etc.)
2. Fosos de cimientos aisladas y en balsa.
3. Excavación en canales de grandes dimensiones (magistrales y primarios principalmente).
4. Excavación y carga de material en canteras o préstamos.
5. Dragados y limpieza de sistemas de riego y drenaje, de ríos, etc.

Criterios de selección

El criterio de selección debe realizarse teniendo presente lo antes planteado así como las características y datos siguientes:

1. Volumen de extracción.
2. Tipo de terreno.
3. Clase de labor a realizar (forma y dimensiones).
4. Dimensiones del área de trabajo, posibles obstáculos y vías de acceso, etc.

1.6. Parámetros de explotación técnica del equipo

1.6.1. Explotación técnica del equipamiento de excavación-carga

Las retroexcavadoras hidráulicas: capacidad de la cuchara de 1,5 a 6,2 m³; motor con funcionamiento en cuatro tiempos, inyección directa, turboalimentado y emisiones reducidas al medio ambiente, filtro de aire seco con separador previo, consulta digital

del estado de funcionamiento mediante menú, control automático de alerta acústica y óptica, función de memoria de fallos y climatización por aire fresco (Catálogo de productos XCMG, 2015).

Las principales máquinas de excavación – carga analizada, que se encuentran laboreando en el proceso productivo de la UBM son las excavadoras hidráulicas marca XCMG modelo XE700 de procedencia china, en la tabla 1.1 se muestran los principales parámetros tecnológicos de esta marca de los equipos.

Tabla 1.1. Especificaciones técnicas Retroexcavadora hidráulica sobre esteras marca XCMG.

No. de Modelo	Tipo de unidad	Condición	Radio de excavación máxima	Peso	Profundidad de excavación máxima	Transmisión
XE700	Combustión Interna	Nuevo	5,81m	68000kg	6,99m	Transmisión hidráulica

Fuente: manual del equipo retroexcavadora XCMG modelo XE 700.

1.6.2. Descripción de la máquina

Tipo: Excavadora de Orugas (esteras) modelo XE700 marca XCMG

Capacidad nominal del cucharón: > 1.5m³

Tamaño: de Gran Envergadura

Tabla 1.2. Especificaciones técnicas Retroexcavadora hidráulica sobre esteras marca XCMG.

Capacidad del compartimiento		3.5 m³	
Modelo		XE700	
Peso de funcionamiento		68000 Kg	
Capacidad estándar del compartimiento		3.5 m³	
Motor	Modelo del motor		CUMMINS QSX15
	Tipo	Inyección directa	√
		Cuatro movimientos	√
		Refrigeración por agua	√
		Turbo cargó	√
		Refrigerador intermedio aire	√
	No. de cilindros		6



Características principales	Potencia clasificada/velocidad	336 kw/1800 rpm
	Torque/velocidad máximas	2102 n/1400 m
	Dislocación	15 L
	Velocidad de recorrido (alta-baja)	4.5k m/h/ 3.1 km/h
	Clasificabilidad máxima	el 70 %
	Velocidad del oscilación	7 rpm
	Presión de tierra	99 Kpa
	Fuerza de excavación del máximo del compartimiento	362 Kn
Sistema hidráulico	Bomba principal	bomba de émbolo 2
	Flujo clasificado de bomba principal	2x450 L/min
	Presión de la válvula de seguridad principal	31.5 Mpa/34.3 Mpa
	Presión del sistema experimental	3.9 Mpa
El rellenar del & fuel del petróleo	Capacidad del depósito de gasolina	880L
	Capacidad hidráulica del tanque	550 L
	Capacidad del petróleo del motor	44 L
Dimensiones de la máquina		
A	largura total	11940 mm
B	anchura total	3260 mm
C	altura total	4700 mm
D	anchura total de la superestructura	3260 mm
E	longitud de la pista	5955 mm
F	anchura total del tren de aterrizaje	4000 mm
G	anchura estándar del zapato de la pista	650 mm
H	longitud de la pista en la tierra	4685 mm
I	calibrador de pista	2800 mm /3350 mm
J	separación bajo peso contrario	1500 mm
K	separación de tierra	903 mm
L	radio del oscilación de la cola	3900 mm
Rango de trabajo		



A	Altura de excavación del máximo	11350 mm
B	Máximo que vacía altura	7370 mm
C	profundidad máxima, de excavación	6900 mm
D	Profundidad de excavación del máximo de 8 pies llano	6750 mm
E	Profundidad de excavación de la pared vertical máxima	5500 mm
F	Alcance de excavación máximo	11580 mm
G	Alcance de excavación máximo en el nivel del suelo	11290 mm
H	Radio del oscilación Mínima	4750

Fuente: Manual de explotación de la retroexcavadora modelo XCMG.

1.7. Indicadores de rendimiento: productividad y fiabilidad de los equipos

La productividad de un equipo indica el número de unidades de trabajo que produce el equipo en una hora. Esto no es una cantidad fija para un equipo dado, sino que depende principalmente de las condiciones de trabajo y de la dirección del mismo así como la destreza del operador, de su persistencia y de la coordinación con las demás fuerzas de construcción.

A la mejor productividad que puede esperarse, rígida generalmente por las limitaciones de diseño del equipo, se le denomina productividad óptima ó de pico. Dicha productividad esté basada en que el equipo trabaje los 60 min completos de cada hora. Considerando una tolerancia por factor humano al que se denomina factor de eficiencia de trabajo, esto supone que, la mayoría de los operadores, no trabaja los equipos a su máximo rendimiento en forma continua, sino que toman un descanso aproximadamente cada hora.

Existe también otro factor que se denomina factor de dirección de trabajo, para tomar en cuenta las interrupciones de operación del equipo debidas a factores dependientes del trabajo y de la dirección del mismo. La combinación de estos dos factores da un factor de eficiencia general de operación.

En las determinaciones de productividad, debe reconocerse también que si las condiciones del medio y de operación de construcción no son adecuadas para que el equipo realice su trabajo, se reducirá aún más la productividad promedio para el promedio total.

Productividad

La productividad es la relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

En realidad la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de recursos utilizados con la cantidad de producción obtenida, *Santiago Y. (2012)*.

Características generales de la productividad

La productividad evalúa la capacidad de un sistema para elaborar los productos que son requeridos y a la vez el grado en que aprovechan los recursos utilizados, es decir, el valor agregado. Una mayor productividad utilizando los mismos recursos o produciendo los mismos bienes o servicios resulta en una mayor rentabilidad para la empresa. Por ello, el Sistema de gestión de la calidad de la empresa trata de aumentar la productividad. La productividad tiene una relación directa con la mejora continua del sistema de gestión de la calidad y gracias a este sistema de calidad se puede prevenir los defectos de calidad del producto y así mejorar los estándares de calidad de la empresa sin que lleguen al usuario final. La productividad va en relación con los estándares de producción. Si se mejoran estos estándares, entonces hay un ahorro de recursos que se reflejan en el aumento de la utilidad y proceso.

1.7.1. Fiabilidad de los equipos

La fiabilidad puede ser definida de forma general como la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo de un tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado.

Debe observarse que hay cuatro atributos específicos de esta definición. Estos son: (1) probabilidad; (2) un funcionamiento adecuado; (3) calificación con respecto al entorno; y (4) tiempo. Los cuatro son importantes. (Joel A. Nichlas. c/ Edison, 4).

El estudio de la fiabilidad se utiliza en el análisis de data operativa para mantenimiento, mediante la cual es posible conocer el comportamiento de los equipos en operación con el fin de:

- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de situación económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

Los índices de fiabilidad se descomponen en:

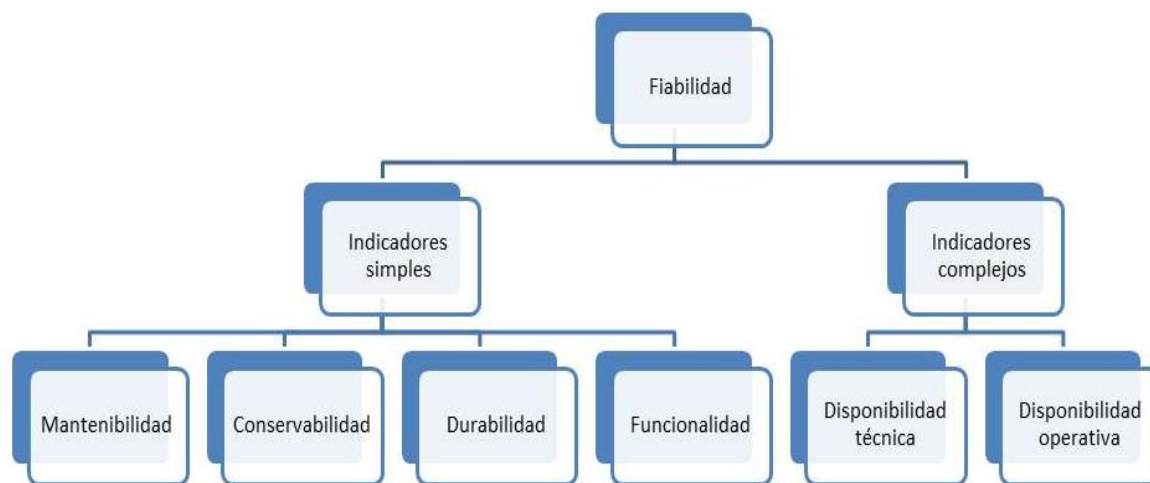


Figura 1.3.Representación esquemática de los índices de fiabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Objetivo de la fiabilidad

La fiabilidad es un indicador que mide la capacidad de una planta o equipo para cumplir su plan de producción previsto. En una instalación industrial se refiere habitualmente al cumplimiento de la producción planificada, y comprometida en general con clientes internos o externos. El incumplimiento de este programa de carga puede llegar a

acarrear penalizaciones económicas, y de ahí la importancia de medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión del mantenimiento de una instalación.

Para el cálculo de este indicador hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Horas anuales de producción, tal y como se ha detallado en el apartado anterior.
- Horas anuales de parada o reducción de carga debidas exclusivamente a mantenimiento correctivo no programado.

Como puede verse, no se tiene en cuenta para el cálculo de este objetivo ni las horas dedicadas a mantenimiento preventivo programado que supongan parada de planta ni las dedicadas a mantenimiento correctivo programado. Para un cálculo correcto y coherente de este factor debe definirse siempre cual es la distinción entre mantenimiento correctivo programado y no programado.

El objetivo de mantenimiento persigue que este parámetro esté siempre por encima de un valor establecido en el diseño técnico-económico de la planta, y su valor es habitualmente muy alto (igual o superior incluso al 99,0%). Una instalación bien gestionada no debería tener ningún problema para alcanzar este valor.

Sucesos casuales estudiados en la teoría de la fiabilidad

Fallo parcial (daño, deterioro): suceso que afecta el estado técnico correcto de un objeto, pero mantiene su capacidad de trabajo.

Fallo total: suceso que afecta la capacidad de trabajo del objeto.

Clasificación de los fallos totales

1. Surgimiento
2. Manifestación
3. Eliminación

1.8. Disponibilidad de los equipos

La disponibilidad, objeto principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió manteamiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica la disponibilidad se expresa

como el porcentaje de tiempo que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

Objetivo de la disponibilidad

La disponibilidad se define como la proporción del tiempo que dicho equipo ha estado en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico.

El objetivo más importante de mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy caro, anti rentable. Conseguir pues el objetivo marcado de disponibilidad con un coste determinado es pues generalmente suficiente.

La disponibilidad es un indicador que ofrece muchas posibilidades de cálculo y de interpretación. La definición de la fórmula de cálculo de la disponibilidad tendrá un papel vital para juzgar si el departamento de mantenimiento de cualquier instalación industrial está realizando su trabajo correctamente o es necesario introducir algún tipo de mejora.

Importancia de la disponibilidad

El concepto de disponibilidad tiene mucha importancia en el cálculo de los factores de efectividad, al evaluar la influencia de la disponibilidad de un equipo sobre la efectividad global del sistema.

A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad técnica, el tiempo promedio entre fallas y el tiempo promedio para reparar (TPEF y TPPR) es posible para la dirección del departamento técnico de explotación de los equipos evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad con la planificación de los tiempos para el MPP, para reducir o regular los tiempos entre fallas y la reducción de los tiempos fuera de servicio; y así combinar dos sistemas de mantenimiento como el correctivo y el preventivo.

La disponibilidad técnica es un elemento importante para determinar los factores técnicos derivados en la influencia de los costos, ya sea por operación o por el

mantenimiento de los equipos; en nuestro caso las máquinas de excavación, que su política se encuentra basada en función de maximización del tiempo de operación de los equipos y la minimización de los costos.

Principales factores a tener en cuenta para el cálculo de la disponibilidad

1. N° de horas totales de producción.
2. N° de horas de indisponibilidad total para producir, que pueden ser debidas a diferentes tipos de actuaciones de mantenimiento:
 - Intervenciones de mantenimiento programado que requieran parado el equipo.
 - Intervenciones de mantenimiento correctivo programado que requieran parada del equipo.
 - Intervenciones de mantenimiento correctivo no programado que detienen la producción de forma inesperada y que por tanto tienen una incidencia en la planificación ya realizada de la producción de energía.
3. Número de horas de indisponibilidad parcial, es decir, número de horas que la planta está en disposición para producir pero con una capacidad inferior a la nominal debido al estado deficiente de una parte de la instalación, que impide que ésta trabaje a plena carga.

En cuanto a los valores aceptables de disponibilidad, muchos tipos de instalaciones industriales, consiguen objetivos de disponibilidad superiores al 92% de forma sostenida (un año o varios puede obtenerse, pero no de forma continuada) es un objetivo bastante ambiciosos, siempre que se calcule de acuerdo con la fórmula propuesta por la IEEE 762/2006. Las instalaciones industriales suelen buscar objetivos entre ese 92% y un 50%, en los casos menos exigentes en lo que se disponga de una capacidad de producción muy superior a lo que es capaz de absorber el mercado.

Mejoramiento de la disponibilidad

Se puede mejorar la disponibilidad de componentes a través de la detección temprana de variantes o irregularidades en el equipo y proporcionando mantenimiento en tiempo real basado en las condiciones que se encuentre.

La adopción de estas estrategias de mantenimiento predictivo, especialmente para equipos de alta prioridad, le puede ayudar a menudo a identificar problemas antes de que estos afecten la producción.

Los beneficios incluyen la reducción significativa del tiempo muerto provocado por fallas del equipo, así como el hecho de que evitan los costos más altos de reparación por fallas catastróficas inesperadas.

El mantenimiento predictivo también reduce la necesidad de programar el tiempo muerto para dar servicio preventivo, lo que garantiza una mayor disponibilidad.

El mantenimiento como focalizador de la disponibilidad

El factor primario que distingue a las empresas líderes en disponibilidad, es que ellas reconocen que la fiabilidad no es simplemente un resultado del esfuerzo de reparación, ellas están convencidas de que la eliminación de las fallas crónicas es su misión primordial.

Las reparaciones en el mantenimiento, en este tipo de industrias, son vistas de forma diferente. Las reparaciones no son esperadas, son vistas como casos excepcionales, y resultantes de alguna deficiencia en la política de mantenimiento o descuido de la gerencia de mantenimiento. Un análisis detallado del problema, acompañado por un programa sólidamente estructurado de mejora de la fiabilidad, es la base para la eliminación de mucho trabajo innecesario.

1.8.1. Mantenibilidad de los equipos

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

En términos probabilísticas Francois Monchy, define la mantenibilidad como la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de mantenimiento de un sistema en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos. O simplemente la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo (t).

1.9. Relación entre disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad

Para aumentar la producción de una planta o equipo es indispensable que las tres disciplinas disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se relacionen entre sí, de tal manera que:

Si se quiere aumentar la disponibilidad en una planta sistema o equipo, se debe:

- Aumentar la confiabilidad, expresada por el TMEF.
- Reducir el tiempo empleado en la reparación, empleado por el TMEF.
- Aumentar el TMEF y reducir el TMPR simultáneamente.

1.10. Conclusiones del capítulo

El análisis de la bibliografía consultada aportó:

1. Información acerca de las características geológicas de los yacimientos lateríticos que explota la UBMECG.
2. Existen pocos elementos para la realización de una evaluación del mantenimiento de los equipos de excavación – carga en la UBMECG a partir de los regímenes de explotación de los mismos.

Capítulo II. Materiales y Métodos utilizados en la investigación

2.1. Introducción

Para determinar los sistemas e intervenciones por mantenimiento de las máquinas de excavación a partir del tiempo operativo y las posibles fallas que pueden aparecer durante el laboreo minero; es necesario conocer los principales parámetros técnicos de explotación de las retroexcavadoras, que permiten la identificación del sistema de mantenimiento partiendo de las variables estadísticas que conlleven a la realización del estudio.

En este capítulo se plantea como objetivo: Utilizar la metodología para el cálculo de los parámetros tecnológicos y las variables de mantenimiento para el diagnóstico de operacionabilidad de los equipos de excavación, así determinar el sistema de mantenimiento.

2.2. Instrumentos y métodos utilizados en la investigación

Para el análisis de los principales parámetros de explotación y del mantenimiento se utilizaron las bases de datos del comportamiento técnico de los equipos de excavación – carga de la UBMECG, correspondiente al año 2016 para el estudio de los índices del mantenimiento, ver (Anexo 1).

2.3. Fiabilidad

La fiabilidad es una de las leyes fundamentales del mantenimiento que está asociada directamente a los factores objetivos y subjetivos; partiendo de los índices de la misma, que se muestra en la figura a continuación, que a su vez son herramientas necesarias para determinar los principales parámetros del mantenimiento y sus sistema en los equipos de la industria.

Propiedad compleja de un objeto de realizar su función preestablecida y conservar sus parámetros técnicos dentro de los valores límites para un período, condiciones y régimen de explotación conocido, (Creus, 1992)

Unos de los índices fundamentales para determinar los principios y objetivos del mantenimiento es la mantenibilidad porque a través de la misma se traza la ley de distribución de la funcionabilidad que consiste; según (Navarrete, 1986). De igual forma

de disponibilidad técnica es el factor que expresa como se traza y se maneja la política del mantenimiento en la industria.

$$R(t) + q(t) = 1[\%] \quad (2.1)$$

Donde:

$R(t)$: Tiempo promedio de trabajo sin fallas

$q(t)$: Tiempo promedio de ocurrencia de fallas

El modelo matemático de la expresión anterior relaciona el trabajo del equipo en el transcurrir del tiempo y como va disminuyendo el mismo a partir del envejecimiento y de las apariciones de las fallas ocasionadas por el desgaste y la continuidad de los sistemas de mantenimiento.

2.4. Mantenibilidad

Es la capacidad del equipo o el objeto de permitir, prevenir y descubrir las causas que provocan un fallo total o parcial, y además de mantener o restablecer la capacidad de trabajo al ejecutar un servicio técnico.

Es la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos establecidos.

Mantenibilidad es, entonces, la función de eficiencia que mide la capacidad de un componente o equipo de cambiar de un estado inoperante a un estado de operación satisfactorio. La mantenibilidad viene dada por el cálculo del Tiempo promedio para reparar (TPPR).

Esta ecuación se determina de forma analítica representando los datos obtenidos en la ficha técnica para la planificación del mantenimiento del equipo (Anexo 1), según el manual de indicadores del mantenimiento.

$$TPPR = \frac{TFS}{No. Intervencmtto} [hrs] \quad (2.2)$$

Dónde:

$TPPR$: Tiempo promedio para reparar (hrs)

TFS: Tiempofuera de servicio (hrs)

No.Intervencmtto: Número de intervenciones de mantenimiento.

2.4.1. Parámetros básicos de la mantenibilidad

El tiempo promedio fuera de servicio, o comúnmente llamada media del tiempo fuera de servicio (MTFS) es el parámetro básico de la mantenibilidad, el cual puede ser obtenido analíticamente o gráficamente, basándose en el número total de horas fuera de servicio por causa de una falla, y el número de acciones de mantenimiento llevado a cabo por concepto de fallas.

El tiempo fuera de servicio es donde los equipos son desconectados de la línea de trabajo hasta que es entregado de nuevo al grupo de operaciones, listo para cumplir su función.

2.4.2. Factores principales de la mantenibilidad

La buena mantenibilidad es una función de varios factores, los cuales se pueden agrupar en operacionales y de diseño.

Operacionales: Los factores operacionales, generalmente se relacionan con el factor humano encargado del equipo y de mantenerlo, así también con lo asociado al medio ambiente. A estos factores pertenecen equipos de levantamiento y manejo, políticas y normas de mantenimiento preventivo, disponibilidad de repuestos , espacio para trabajar, destreza o habilidad del personal, sistema de control de trabajo, calidad de la supervisión, comunicaciones, técnicas usadas para corregir las fallas y el soporte logístico.

Diseño: Las consideraciones que durante la fase de diseño se hagan sobre la distribución física y accesibilidad del equipo, modulación e intercambiabilidad y reemplazabilidad, normalización y niveles iniciales de repuestos, tiene una influencia significativa, no sólo sobre el nivel mismo de la mantenibilidad del sistema, sino sobre el potencial de mejoramiento de dicha mantenibilidad.

2.5. Tiempo promedio entre falla (TPEF)

El tiempo promedio entre falla o vulgarmente mal llamado la media de los tiempos entre falla, indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo.

$$TPEF = \frac{1}{\beta} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta}; [hrs] \quad (2.3)$$

Donde:

t : Tiempo de trabajo del equipo.

α : Parámetro de densidad o escala, tiempo de trabajo promedio del equipo.

β : Parámetro de forma, posibles incidencias por el tiempo de trabajo del equipo.

Este tiempo nos da el promedio general del trabajo del equipo de excavación – carga en el caso de estudio hasta la ocurrencia de una fallas debido a las labores de la minería; refleja los períodos de rentabilidad, disponibilidad, el rendimiento máximo y como planificar los diferentes tipos de mantenimiento según la necesidad de trabajo y de producción de las máquinas, (Anexo 2).

En la siguiente figura se refleja cómo está representado este tiempo combinado con el tiempo promedio para reparar, considerando estos elementos para determinar el tiempo medio o promedio de trabajo del equipo considerando la variable gamma y su relación con los parámetros de forma y de densidad.

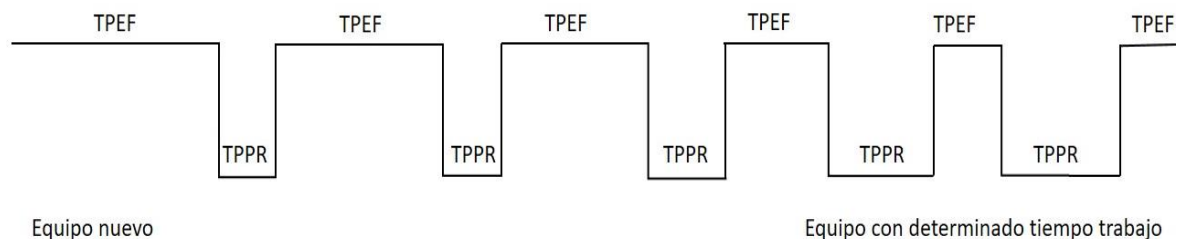


Figura 2.2. Relación tiempo de trabajo entre fallas y el tiempo promedio para reparar.

Fuente: Elaboración propia

Esta relación se muestra de forma uniforme porque lo que se determina es un promedio según el algoritmo exponencial, pero la frecuencia real se muestra en las estadísticas de la disponibilidad y el período de trabajo entre fallas va disminuyendo debido al desgaste, deterioro y aparición de fallas en los equipos, que esta variables es la que directamente es utilizada para determinar el tiempo promedio de trabajo de los equipos a partir del conocimiento de tiempo medio de trabajo, el parámetro de forma y la variable gamma expresado en la expresión a continuación, según (Tamborero, 1994).

$$E(t) = \alpha \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right); [hrs] \quad (2.4)$$

Dónde:

$E(t)$: Tiempo medio de trabajo del equipo entre los fallos. (h)

$\gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$: Relación entre gamma y el parámetro de forma.

La relación entre gamma y el parámetro de forma, que da la probabilidad estadística de la ocurrencia de fallos durante el trabajo de los equipos; es a partir de la distribución exponencial, (Anexo 3).

Estos tiempos promedio y la posibilidad de ocurrencias de fallas se determinan para conocer la disponibilidad de trabajo que tiene un equipo y para conocer la planificación del tipo de mantenimiento que se puede planificar partiendo del tiempo de trabajo.

2.6. Disponibilidad técnica

La disponibilidad se define como la probabilidad de que un equipo esté operando, o sea, disponible para su uso, durante un periodo de tiempo determinado, es decir; la disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

Es un indicador que permite estimar el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado en un tiempo dado. La disponibilidad de un elemento, equipo o componente

no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar.

La disponibilidad técnica se determina según la siguiente fórmula, referenciada en el manual de los indicadores del mantenimiento:

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR}; [\quad] \quad (2.5)$$

2.7. Cálculo de los indicadores de rendimiento

El nivel de rendimiento es una medida que indica si el equipo funciona a los máximos niveles esperados. Es posible que un equipo tenga una alta disponibilidad, sin embargo, debido a problemas técnicos no puede operar con el nivel de eficiencia más alto posible.

- Capacidad real del cubo de la retroexcavadora

$$Cc = \frac{Vs}{qc}; (m^3) \quad (2.6)$$

qc - cantidad de cubos extraídos durante la excavación. OICP, OISP.OEF.

- Productividad de las retroexcavadoras

La productividad de las retroexcavadoras depende de: la dimensión del cucharón, la longitud de la pluma, la profundidad de excavación, la potencia del motor, el tipo de suelo (dureza, granulometría, forma de partículas, contenido de humedad), la habilidad del operador, etc.

$$Qt = \frac{q \cdot 60}{T}; (t/h) \quad (2.7)$$

Dónde:

Qt : Producción Teórica de la excavadora t

q : Producción por ciclo (Vol. del cucharón) t

T : Duración del ciclo (s)

- Producción por ciclo (q)

Es igual a la capacidad colmada del cucharón. Este dato se obtiene del manual del fabricante, o directamente de las dimensiones del cucharón.

- duración del ciclo (s)

2.8. Determinación de los parámetros tecnológicos de los equipos

Los parámetros tecnológicos son las variables que indican el comportamiento del equipo en relación al rendimiento y productividad para poder planificar la periodicidad del sistema de mantenimiento, para prevenir las posibles fallas que ocurran durante el trabajo del equipo, además de los costos que generen el mantenimiento a los mismos.

2.8.1. Rendimiento nominal

Para seleccionar los indicadores que miden el rendimiento se evalúan diferentes metodologías, la de Ballester y Capote (1992) y la de Navarro (2008), coinciden que la capacidad de un equipo de movimiento de tierra, de ejecutar determinada magnitud o volumen de trabajo en un plazo de tiempo determinado, se define como su rendimiento, si lo alcanza en excelente estado técnico y condiciones de explotación es teórico o nominal (RN), ver ecuación (2.10), y disminuye sensiblemente con la distancia de transportación y condiciones reales de explotación. Éste es el mismo que proponen los fabricantes en los catálogos para la venta de los equipos.

$$RN = C \cdot \frac{60}{T_c} \text{ ó } RN = C \frac{3600}{T_c}, [t/h] \quad (2.8)$$

Dónde:

C : Capacidad de carga; (m^3).

T_c : Duración ciclo de trabajo; (min, seg).

2.8.2 Rendimiento real

Además, definen que en la evaluación del rendimiento real (RR), se tienen en cuenta coeficientes relacionados con las condiciones reales de explotación, que afectan el comportamiento del rendimiento, expresado en la ecuación (2.11). Analizando que siempre es $RN < RR$.

$$RR = RN \cdot K_{up}, [t/h] \quad (2.9)$$

Dónde:

K_{up} : Coeficiente de utilización horario que generalmente oscila entre 0,65 a 0,75; siempre es $K_{up} \leq 1$.

También determina la influencia que tienen los indicadores técnico - productivos en los indicadores económicos y la relación de estos últimos con el comportamiento del rendimiento general de los equipos mineros y selecciona los indicadores que miden el mismo, aplicando para su definición la metodología de Paraszczak (2005) y Belete *et al.* (2010), entre los que cita:

Las horas disponibles son aquellas horas en las que el equipo está operando en perfecto estado. Se determina por la siguiente ecuación:

$$HD = HH - H_a; [h] \quad (2.10)$$

Donde:

HH : Horas hábiles o totales; (h)

H_a : Horas averías; (h)

$$HH = HD(Cd); [h] \quad (2.11)$$

HD : Horas días; (h)

Cd : Cantidad de días; (h)

Las horas imprevistas son aquellas horas en las que ha ocurrido una falla y hay que sacar el equipo de operación. Se determina por la siguiente ecuación:

$$HI = HD - HE; [h] \quad (2.12)$$

Dónde:

HE : Horas efectivas trabajadas; (h)

El índice de disponibilidad es la relación entre las horas disponibles y las horas hábiles totales. Y se define por la siguiente ecuación:

$$ID = \frac{HD}{HH}; [h] \quad (2.13)$$

Índice de utilización: este indicador muestra la utilización de los equipos partiendo de la relación de las horas efectivas de producción del equipo y las posibles horas imprevistas a partir de la ocurrencia de las fallas.

$$IU = \frac{HE}{HE+HI}; [h] \quad (2.14)$$

Productividad horaria o rendimiento efectivo: propicia conocer el rendimiento a partir de la producción obtenida durante las horas de trabajo efectivas que desarrolla el equipo de excavación, con lo se obtiene el rendimiento efectivo relacionando las horas trabajadas diariamente sin las averías.

$$\mathfrak{R} = \frac{P}{HE}; [t/h] \quad (2.15)$$

Donde

P : Producción; (t)

Eficiencia Productiva: es el índice que muestra la eficiencia que presentan los equipos de excavación teniendo en cuenta la relación, producción de la máquina y las horas planificadas en el periodo, las horas para el mantenimiento, las horas que pueden ocurrir averías y el rendimiento efectivo de la máquina.

$$EP = \frac{P \cdot 100}{HH - (HM + HI) \cdot \mathfrak{R}}; [\%] \quad (2.16)$$

Dónde:

HM : Horas de mantenimiento, (h)

Costo horario: es el valor que tiene la operación de trabajo del equipo analizado en la cantidad de horas que labora.

$$C_h = \frac{G_o}{HE}; [$/h] \quad (2.17)$$

Dónde:

G_o : Gasto por operación; (\$).

Costo de operación: es el valor que la operación de trabajo del equipo teniendo en cuenta el gasto por operación y la producción obtenida de la máquina.

$$C_o = \frac{G_o}{p}; [$/t] \quad (2.18)$$

Esta metodología propicia fundamentalmente la valoración de los equipos en la parte económica y su rendimiento, evaluando mediante la factibilidad; el costo de operación, rendimiento operacional y su índice de operacionabilidad; para conocer y evaluar la disponibilidad el aporte del equipo al plan de producción de la empresa.

2.9. Determinación de la cantidad de ciclos de llenado, volumen productivo y productividad de los equipos

2.9.1. Determinación de la cantidad de ciclos de trabajo

Durante el trabajo las retroexcavadoras realizan el proceso de arranque – giro – descarga – giro, para poder realizar su ciclo de trabajo. La cantidad de ciclos de llenado realizados por el equipo en el tiempo trabajado se formula por la siguiente ecuación.

$$Cant.de\ ciclos = \frac{TPEF}{T} [\quad] \quad (2.19)$$

Dónde:

TPEF: Tiempo promedio entre fallos (hrs)

T: Tiempo del ciclo trabajo de llenado (hrs)

2.9.2. Determinación del volumen productivo

Para la determinación del volumen productivo se tienen cuenta principalmente la cantidad de ciclos para el llenado del vehículo de acarreo teniendo en cuenta el volumen de carga de este transporte.

$$Volumen\ Productivo = Cantidad\ de\ ciclos\ de\ llenado \cdot 27\ ton\ [t/h] \quad (2.20)$$

2.9.3. Determinación de la productividad real de las retroexcavadoras

La productividad de las retroexcavadoras depende principalmente de la capacidad real del cucharón, las condiciones de trabajo, tipo de suelo y de la dirección del trabajo, así como la destreza del operador, pero en términos estadísticos depende de fracción del volumen productivo y el tiempo de trabajo en que se desarrollan las operaciones en el frente de carga.

$$Productividad = \frac{Volumen Productivo}{Tiempo promedio de trabajo} [t/h] \quad (2.21)$$

2.10. Conclusiones del capítulo

1. Se establecieron las expresiones para determinar los índices de fiabilidad con el objetivo de seleccionar el tiempo promedio de trabajo de los equipos.
2. Se utilizó para el cálculo de los indicadores de rendimiento la metodología de Paraszczak (2005) aplicada en (García, 2013) a partir de la productividad, y los parámetros técnicos de explotación del equipamiento de excavación – carga de la UBMECG.

Capítulo III. Análisis de los resultados de la investigación, valoración económica e impacto medioambiental

3.1. Introducción

Para la realización de la planificación de la explotación minera se tiene en cuenta el funcionamiento y la utilización de los equipos que participan en el proceso de extracción y acarreo, dentro de los que se encuentra las máquinas de excavación – carga como eslabón fundamental para el desarrollo de las demás tareas en la industria de este tipo. El rendimiento productivo, el volumen de extracción y la productividad son indicadores básicos que se garantizan a través de la disponibilidad técnica de los equipos.

En este capítulo se plantea como objetivo: Valorar los indicadores productivos y la obtención de las disponibilidades técnicas de estos equipos para comparar mediante la metodología de cálculo para conocer su desempeño.

En este capítulo se plantea como objetivo: Valorar los indicadores productivos y la obtención de las disponibilidades técnicas de estos equipos para comparar mediante la metodología de cálculo para conocer su desempeño.

3.2. Utilización del equipamiento de excavación – carga

La UBMECG utiliza diferentes equipos de excavación – carga para la realización de las tareas del laboreo minero (destape, extracción, escombreo y remonte), para la realización de estas existe un parque que se encargan de estas operaciones, los mismos son considerados como uno de los eslabones fundamentales en la producción de la empresa puesto que se encargan del comienzo del proceso productivo. En la tabla se muestran los equipos estudiados y el comportamiento de los mismos desde su puesta en marcha para la ejecución de las operaciones.

Tabla 3.1. *Utilización de los equipos de excavación – carga XCMG.*

No	Sigla	Fecha de Puesta en marcha	Horas Trabajadas
1	RE-1393	Noviembre 2015	7300
2	RE-1394	Noviembre 2015	7141
3	RE-1395	Noviembre 2015	7000

Fuente: Informe del taller mecánico de la UBM 2017.

3.2.1. Afectaciones presentadas en los equipos marca XCMG modelo XE700

RE-1393:

- Avería eléctrica por aceleración.

El equipo tuvo 175,6 horas de trabajo perdidas.

RE-1394:

- Averías en la manguera hidráulica y falta de aceite hidráulico
- Averías en el Motor de arranque.
- Avería por infiltración de agua refrigerante hacia el motor.

El equipo tuvo 258,88 horas de trabajo perdidas.

RE-1395:

- Sello de una manguera averiado y falta de aceite hidráulico.
- Problema en la climatización.

El equipo tuvo 362,57 horas de trabajo perdidas.

3.3. Análisis de los resultados de la investigación

Para la determinación de los resultados se partió del criterio de la ley de la fiabilidad donde se analizaron teóricamente los índices simples y complejos, determinando que el estudio se estaría basado en establecer la mantenibilidad y la disponibilidad, para establecer los indicadores de rendimiento de los equipos para medir las pérdidas de producción asociadas a la propia disponibilidad de los equipos que laboraron en el año 2016 en la UBM.

Los equipos estudiados y sus parámetros técnicos se encuentran reflejados en el (anexo 1); se analizó los parámetros técnicos y productivos de las retroexcavadoras marca XCMG; con nomenclatura RE-1393, RE-1394, RE-1395.

Las afectaciones a la disponibilidad técnica de este equipamiento minero provocan un efecto de negatividad en la productividad y el rendimiento, lo que provoca el aumento del costo de las operaciones y del mantenimiento; que se encuentra vinculado a la reducción de los volúmenes de producción.

Por supuesto para establecer los principales indicadores de rendimiento se realizaron las mediciones para establecer el ciclo de trabajo de la excavadora y por ende el ciclo de llenado del transporte de acarreo, los resultados se reflejan en el anexo 3.

3.3.1. Relación entre los índices de la fiabilidad

La mantenibilidad es uno de los elementos fundamentales para establecer el tiempo de trabajo del equipo; este parámetro se determina a partir de las horas fuera de servicio, ya sea cuando ocurre o una falla o se encuentra en período de mantenimiento; esto dará un promedio o un tiempo medio donde sería posible la reparación de los equipos; calculado a través de la expresión 2.2.

Tabla 3.2. *Tiempo Promedio entre Reparaciones de los equipos de excavación.*

Meses	TPPR (hrs)		
	RE-1393	RE-1394	RE-1395
enero	6,67	7	6,67
febrero	5,33	38	17,83
marzo	8,5	7,83	6,5
abril	6	5,36	5,5
mayo	103,27	3,26	10,5
junio	6,5	98	34,99
julio	7,17	10,83	124,33
agosto	6,5	21	111,5
septiembre	6,33	6	6,5
octubre	4,33	16,67	12,83
noviembre	6,67	17,67	8,42
diciembre	8,33	27,25	17

Fuente: Elaboración propia

Los equipos analizados en la variable tiempo promedio para la reparación (TPPR) correspondientes a los meses del año 2016, los resultados se muestran en la tabla anterior, donde se debe esclarecer que cada equipo no parte desde cero ya que presentan un tiempo de explotación acumulado, reflejado en la tabla 3.1, se observa que este tiempo promedio de reparación fluctúa a partir de la acumulación de horas efectivas para la realización de las labores en las operaciones mineras. Cabe destacar que en cada equipo va aumentando paulatinamente donde el caso de RE – 1394 aumenta a finalizar el año por la ocurrencia de paradas por mantenimiento y averías, en cuanto a RE – 1395 el aumento de horas es por las averías que presento en los

meses julio y agosto. Este tiempo expresa una relación con el tiempo promedio entre fallas que es determinado por la expresión 2.3, esta expresión exponencial vincula la fiabilidad para identificar el tiempo promedio de trabajo del equipo, denominado por α y β como la tasa promedio de fallas, (Anexo 2).

Tabla 3.3. *Tiempo Promedio entre Fallas de los equipos de excavación.*

	TPEF (hrs)		
Meses	RE-1393	RE-1394	RE-1395
Enero	429,48	387,40	381,91
Febrero	461,52	467,17	420,58
Marzo	434,19	390,46	382,17
Abril	447,17	409,25	394,59
Mayo	414,75	373,93	389,45
Junio	448,32	409,17	427,01
Julio	430,75	401	347,81
Agosto	429,05	431,20	374,04
Septiembre	447,94	411,23	396,20
Octubre	432,94	419,24	393,21
Noviembre	448,63	442,49	399,20
Diciembre	433,77	445,96	400,14

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.3, se analiza el comportamiento del período de trabajo de los equipos sin la ocurrencia de fallas o tiempo promedio entre fallas (TPEF); los mismos presentan un comportamiento estable en correspondencia a las horas efectivas promedio, señalar que estos equipos son relativamente nuevos no es frecuente encontrar averías o paradas de los mismos a no ser las planificadas por mantenimiento, según anexo 1. El equipo más estable es RE – 1393 y RE – 1395 presenta el comportamiento mostrado ya que estuvo en periodo de reparación por averías.

A partir de la determinación del tiempo de trabajo promedio podemos establecer la vinculación del TPEF y el TPPR de cada equipo de excavación – carga, para conocer la relación de los mismos en los periodos de mantenimiento y establecer la disponibilidad de los equipos a partir del tiempo que promedian los equipos durante el laboreo minero. La relación entre estos parámetros que se reflejan en las figuras 3.1, 3.2 y 3.3; donde se vincula el TPEF y el TPPR de cada equipo de excavación – carga, en el análisis se constata que en los equipos la ocurrencia de interrupciones y de averías es mínima; el equipo RE – 1393 solo presenta en el mes de mayo un tiempo

algo prolongado, el equipo RE – 1394 en el mes de junio y el equipo RE – 1395 en los meses de julio y agosto; estos tiempos están regulados por la política de mantenimiento que establece la entidad y su duración en los meses mencionados es por la aparición de fallas en los agregados de equipo, donde se tuvo que recurrir al mantenimiento correctivo para solucionar las

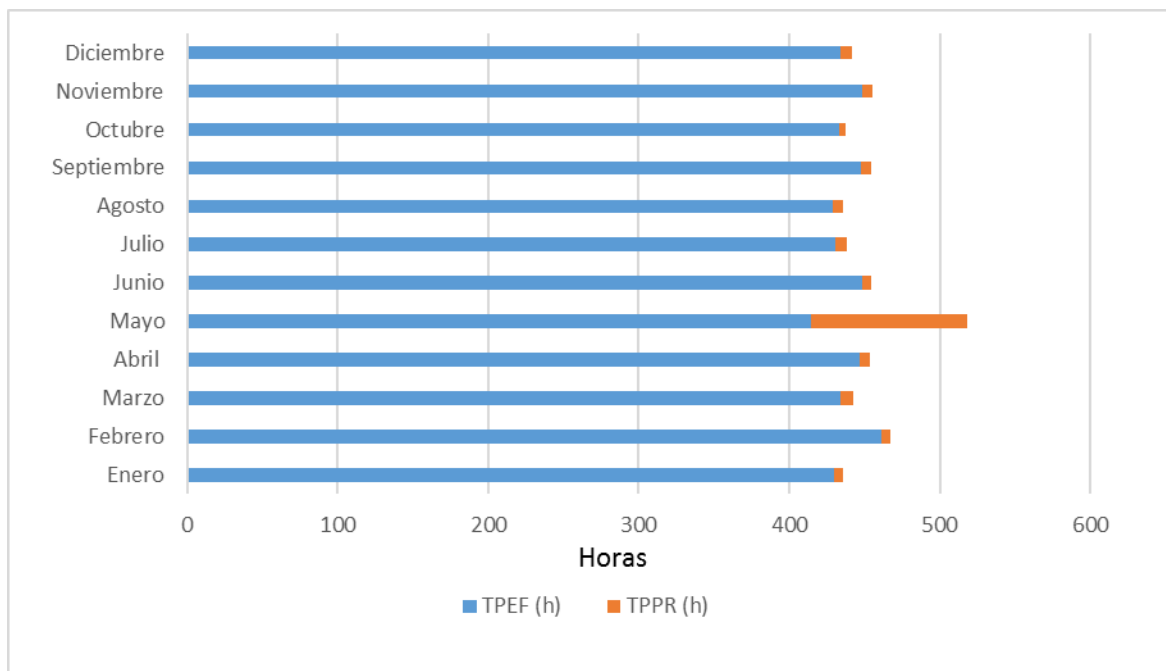


Figura 3.1. Comportamiento del TPEF y TPPR del equipo RE-1393.

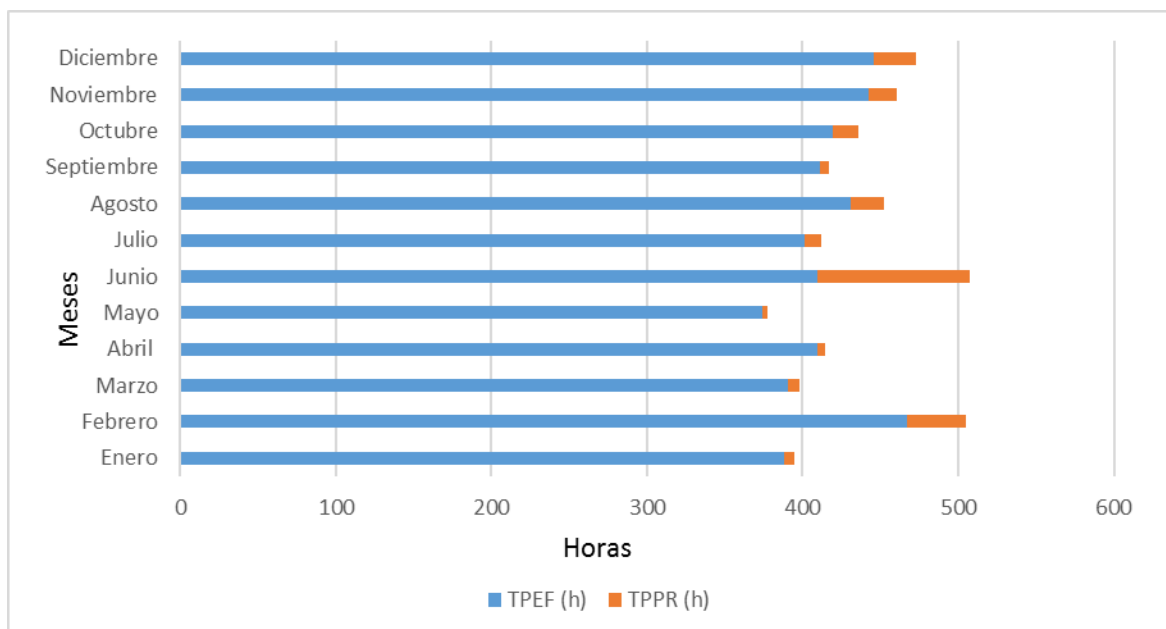


Figura 3.2. Comportamiento del TPEF y TPPR del equipo RE-1394.

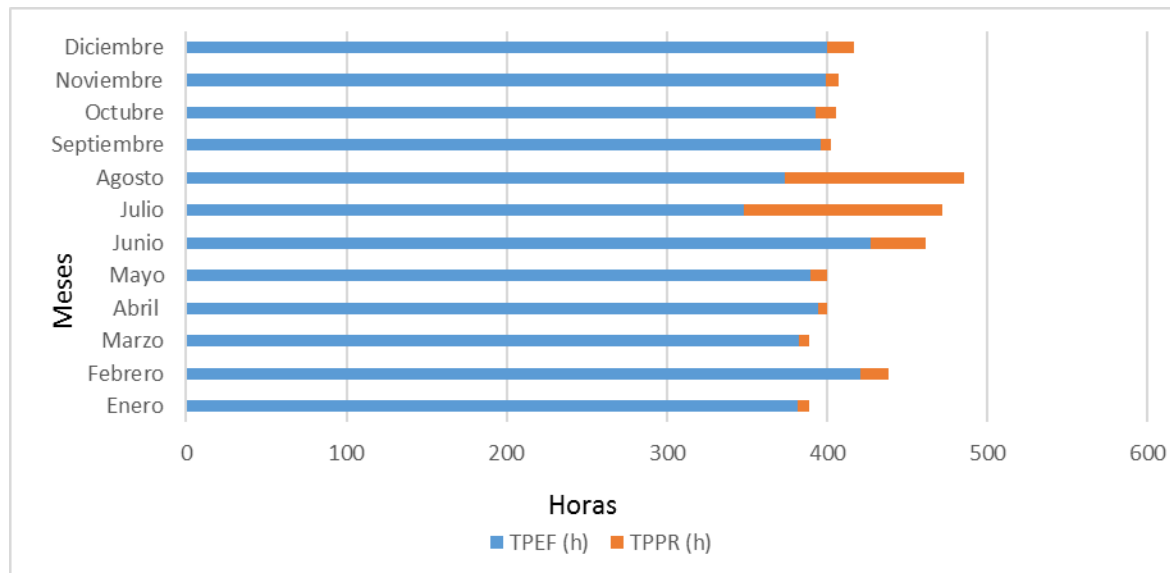


Figura 3.3. Comportamiento del TPEF y TPPR del equipo RE-1395.

Por lo tanto, podemos determinar el tiempo promedio de trabajo del equipo que relaciona las horas efectivas destinadas a la explotación en cuanto al desempeño durante las operaciones mineras. Los cálculos de esta variable se basan en la expresión 2.4, a partir de la variable determinística alpha, tiempo promedio útil del equipo; beta, tasa de incidencias y gamma que es la relación exponencial de la tasa de fallos y el tiempo de trabajo promedio, este tiempo promedio representa el promedio de horas de utilidad que presenta el equipo durante su explotación continua sin presentar fallas o interrupciones para la realización de los periodos de mantenimiento. Este tiempo promedio expresa el posible índice de utilización del equipo a partir de la disponibilidad que tiene el mismo respecto a la planificación que tienes los equipos en el desarrollo de las actividades mineras. (Anexo 1).

El tiempo determinado expresaría la planificación de trabajo de los equipos de excavación – carga de la UBM.

Tabla 3.4. Tiempo promedio de trabajo de los equipos de excavación.

No.	Equipo de excavación – carga	Tiempo medio de trabajo $E(t)$
1	RE-1393	829,90
2	RE-1394	792,19
3	RE-1395	825,45

Fuente: Elaboración propia

Este tiempo promedio es determinado a partir del acumulado por los equipos en su período de trabajo y teniendo en cuenta las horas acumuladas en cuanto al laboreo minero y las reparaciones realizadas a los mismos, además del tiempo que se encontró inactivo del equipo cuando estaba siendo sometido a los periodos de mantenimiento, se puede observar que el equipo RE-1393 presenta mayor estabilidad en cuanto al trabajo continuo y la RE-1394 la de menor tiempo promedio porque estuvo detenida por más de 1 mes de trabajo y la RE – 1395 3 meses en cuestiones de reparación.

Los equipos mineros trabajan continuamente en régimen de 24 horas los 365 días del año mediante los turnos de trabajo, estos generalmente sufren desgastes prematuros por las difíciles condiciones en las que desarrollan su labor, y por lo tanto presentan una tasa de fallas a medida que aumenta su tiempo de explotación, por tanto estas paradas programadas o no programadas afectan la planificación de la explotación de los mismos y estas cuestiones inciden directamente en la disponibilidad de los equipos.

3.3.2. Disponibilidad técnica

La disponibilidad expresa la capacidad de uso que presenta el equipo durante el tiempo de planificación de las labores mineras. Los equipos de excavación – carga trabajan permanentemente, es decir, en procesos continuos, la disponibilidad está relacionada con la planificación, el cumplimiento de las operaciones de mantenimiento y la gestión global de los equipos, estas cuestiones dependen principalmente al tiempo de explotación y al estado de conservación del mismo. Es una representación del tiempo que dispone el equipo para que funcione sin detenerse durante el tiempo programado.

En los estudios se obtuvo una comparación de la disponibilidad de los equipos de excavación en cuanto a la planificación, la real obtenida por los equipos en su régimen de explotación y la disponibilidad obtenida por las funciones probabilísticas a partir de la expresión 2.5, con la utilización de las variables TPEF y TPPR, que indican los tiempos variables de funcionamiento del equipo, su probabilidad de fallo y los tiempos en que se pueden solucionar las fallas.

Tabla 3.5. *Cálculo de la disponibilidad en el equipo RE-1393.*

Meses	DISPON. PLAN (%)	DISPON. REAL (%)	DISPON. Determinística (%)
enero	90,05	97,31	98,47
febrero	90,09	97,70	98,86
marzo	90,05	96,57	98,08
abril	89,72	97,5	98,68
mayo	90,05	58,36	80,06
junio	89,72	97,29	98,57
julio	90,05	97,11	98,36
agosto	90,05	97,38	98,51
septiembre	89,72	97,36	98,61
octubre	90,05	96,77	99,01
noviembre	90	97,22	98,54
diciembre	90,05	96,64	98,11
Promedio	89,96	91,07	96,98

Fuente: *Elaboración propia*

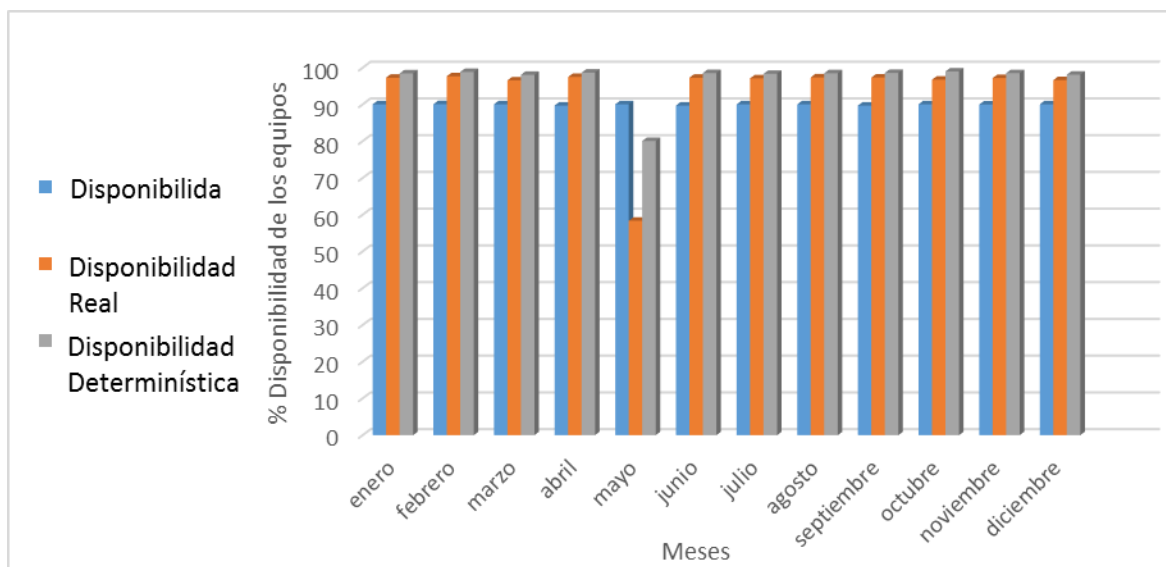


Figura 3.4. *Comportamiento de la disponibilidad del equipo RE-1393.*

Fuente: *Elaboración propia.*

En el análisis del equipo RE-1393 se muestra que presenta una disponibilidad real entre valores de 96 y 97 %, solamente en un mes 58, 36 % donde presento fallas que dedicaron tiempo para reparaciones correctivas, estas disponibilidades se mantienen estables ya que se organiza una política adecuada de mantenimiento y teniendo en

cuenta el promedio de trabajo de explotación del equipo se producen la menor cantidad de fallas; los valores de la planificación se encuentra entre 90 y 80 % porque es en base de la explotación acumulada del equipo; por valores determinísticos la disponibilidad obtenida por los cálculos se encuentra en el orden del 98 %. Este equipo se presentó con mayor estabilidad en cuestión de funcionamiento y explotación durante el año 2016.

Tabla 3.6. Cálculo de la disponibilidad en el equipo RE-1394.

Meses	DISPON. PLAN (%)	DISPON. REAL (%)	DISPON. Determinística (%)
enero	90,05	97,18	98,22
febrero	90,09	83,62	92,47
marzo	90,05	96,84	98,03
abril	89,72	97,77	98,71
mayo	90,05	98,68	99,13
junio	89,722	59,17	80,68
julio	90,05	95,63	97,37
agosto	90,05	91,53	95,36
septiembre	89,72	97,5	98,56
octubre	90,05	93,28	96,17
noviembre	90	92,64	96,16
diciembre	90,05	89,01	94,24
Promedio	89,96	93,93	95,42

Fuente: Elaboración propia

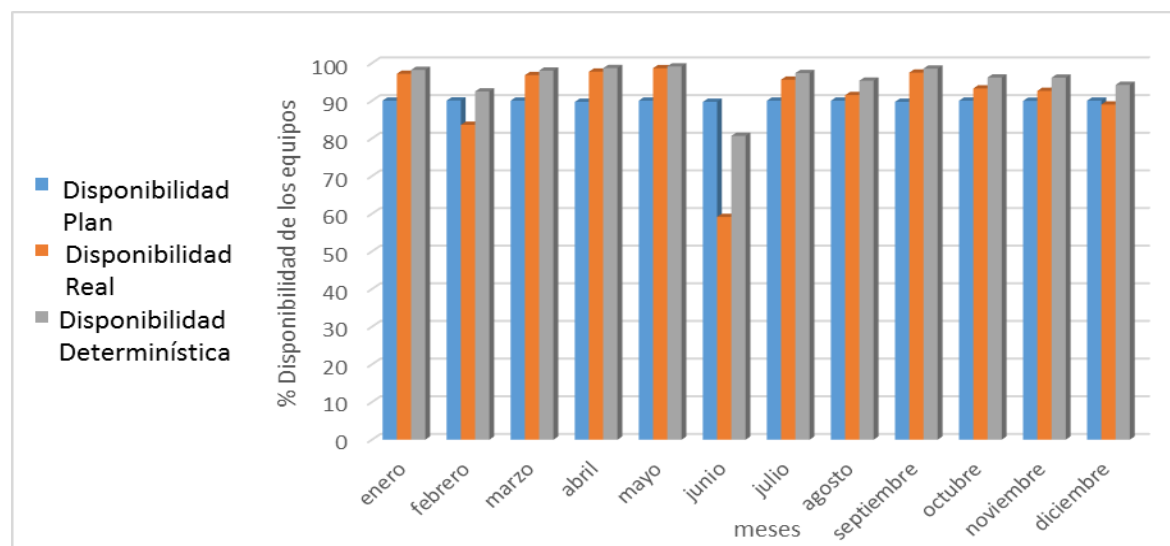


Figura 3.5. Comportamiento de la disponibilidad del equipo RE-1394.

En el análisis del equipo RE – 1394 los valores muestran que el equipo presenta una disponibilidad real entre valores de 89 y 97 %, tiene un decrecimiento en el mes de junio por presentar fallos en su funcionamiento lo que lleva a un detenimiento para realización de actividades de mantenimiento correctivo; los valores de la planificación están en el orden del 90 % porque es planificado en base de la explotación acumulada del equipo y las labores mineras a desarrollar; la disponibilidad obtenida por los cálculos se encuentra en un rango del 92 – 98 %, con valores decrecientes en el segundo y último mes del año.

Tabla 3.7. Cálculo de la disponibilidad en el equipo RE-1395.

Meses	DISPON. PLAN (%)	DISPON. REAL (%)	DISPON. Determinística (%)
enero	90,05	97,31	98,28
febrero	90,09	92,31	95,93
marzo	90,05	97,38	98,33
abril	89,72	97,71	98,63
mayo	90,05	95,77	97,37
junio	89,72	85,42	92,43
julio	47,85	49,87	73,67
agosto	47,85	55,04	77,04
septiembre	46,11	97,29	98,39
octubre	47,85	94,82	96,84
noviembre	90	96,49	97,94
diciembre	90,05	93,15	95,92
Promedio	75,78	87,71	93,39

Fuente: Elaboración propia

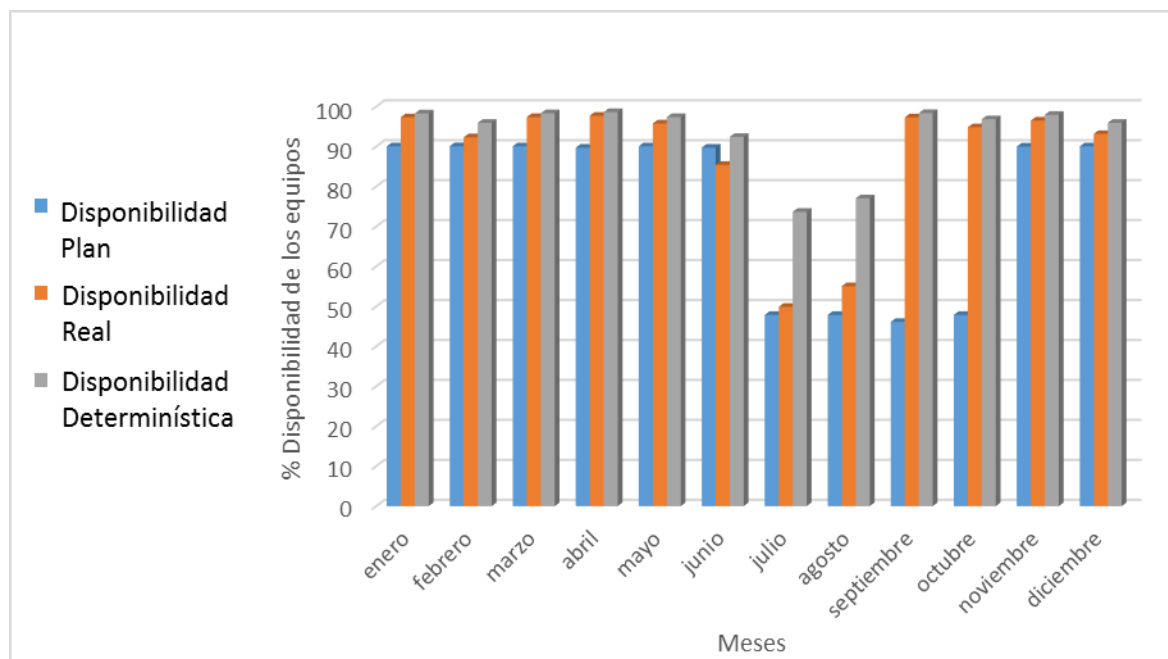


Figura 3.6. Comportamiento de la disponibilidad del equipo RE-1395.

En análisis del equipo RE – 1395, se presentan presente dos meses con averías y por ende existió una disminución en el tiempo de explotación del mismo. La disponibilidad estuvo planificada de acuerdo con el tiempo promedio de explotación del equipo sujeta a un 90 %, entre los meses de julio – septiembre se realizó una planificación del 47 %, previniendo la afectación por las fallas presentadas; a partir de esta planificación los indicadores de disponibilidad lograda se comportaron entre 95 – 97 % hasta el mes junio, en los meses de junio hasta agosto disminuyó a causa de las averías presentadas por el equipo reportada una disponibilidad entre 50 – 80 %; a partir de septiembre se comportó por encima de 95 %. Con los valores obtenidos se determina probabilísticamente las disponibilidades de este equipo logrando valores entre 95 – 98 % hasta el mes de junio que disminuye hasta valores de 77 %, y luego estabiliza entre 95 – 98 % como se observó en la práctica.

Estos valores probabilísticos expresan que la disponibilidad obtenida por cada equipo a partir de las condiciones de explotación es bastante alta, ya que la tasa de fallos es mínima y el tiempo promedio de trabajo del equipo no sufre grandes alteraciones debido a la ocurrencia de averías. El tiempo y los periodos de mantenimiento se

cumplen según la política del departamento técnico, cuestión que favorece al funcionamiento estable de los equipos para el desarrollo de las actividades mineras.

En la siguiente tabla se muestra los valores de la disponibilidad promedio calculada de los equipos RE – 1393, RE – 1394 y RE - 1395, donde podemos observar su comportamiento y establecer una comparación determinar cuál puede poseer una mayor productividad.

Tabla3.8. Disponibilidad promedio de los equipos

Equipo	DISPON. Plan (%)	DISPON. Real (%)	DISPON. Determinística (%)
RE - 1393	89,96	93,93	96,99
RE - 1394	89,96	91,07	95,43
RE - 1395	75,78	87,71	93,40

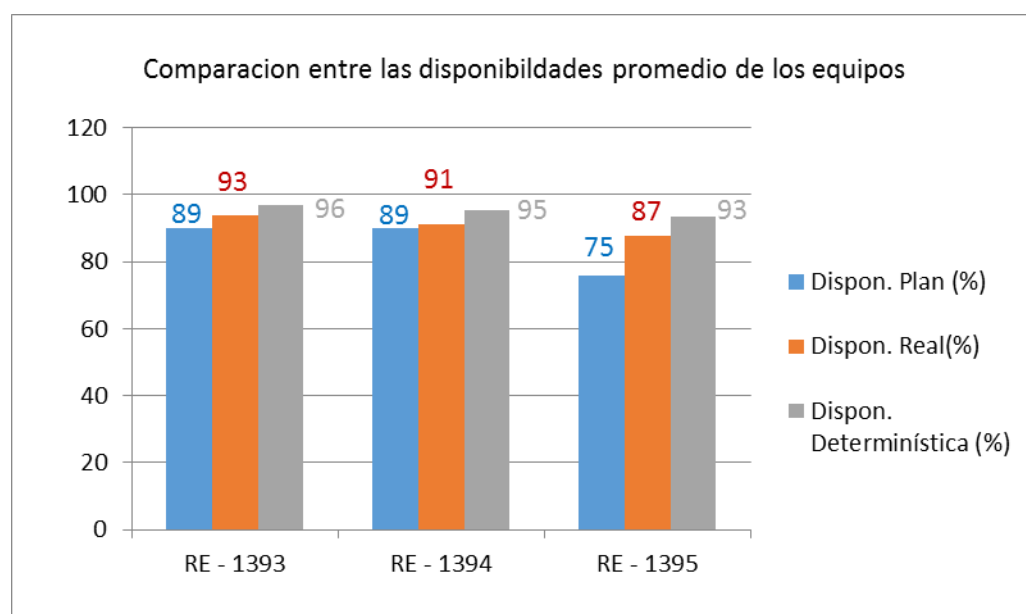


Figura 3.7 Comportamiento de las disponibilidades promedio de los equipos

En el análisis de la disponibilidad promedio de los equipos queda demostrado estadísticamente que el equipo RE – 1393 posee mayor disponibilidad que los equipos RE –1394 y RE – 1395, ya que estos sufrieron mayor cantidad de averías provocando la disminución del TPEF y el aumento del TPPR, facilitando así la pérdida de disponibilidad en los mismos.

3.4. Determinación de los parámetros tecnológicos

Aplicando la metodología de cálculo de Ballester y Capote (1992) y Navarro (2008) expuesta en el capítulo II se obtuvieron los parámetros tecnológicos de los equipos desde el punto de vista teórico, para conocer los principales indicadores de rendimiento a partir de los datos que nos facilitan los catálogos de los fabricantes; de igual forma la determinación de las variables que forma parte de la metodología de Paraszcak (2005) con el objetivo de establecer los indicadores productivos para obtener producción, costos y rendimiento general.

3.4.1. Rendimiento del equipo

El nivel de rendimiento expresa los niveles en que funcionan los equipos de excavación – carga con el objetivo de medir la posibilidad de los niveles teóricos y su comparación con los valores reales durante la ejecución de las actividades planificadas en la minería. Es posible que un equipo tenga una alta disponibilidad, sin embargo, debido a problemas técnicos no puede operar con el nivel de eficiencia más alto posible. Es frecuente valorar el rendimiento en relación a un valor ideal o teórico, que en la mayoría de los casos, no es posible lograrlo, sin embargo, muestra el rango potencial de oportunidad de mejora.

La expresión 2.9, provee la posibilidad de obtener el rendimiento de los equipos en el desarrollo de las actividades. Para la obtención de estos valores se preparó un polígono con el objetivo de medir la capacidad de carga real del cubo al momento de la extracción, que se determina por la expresión 2.6, a partir de conocer el volumen de carga y la cantidad de cubos necesarios para llenar un vehículo de acarreo.

Según los datos técnicos del equipo mostradas en tabla 1.2, la capacidad nominal del cubo es de $3,5 \text{ m}^3$; al realizar la determinación en la práctica se obtuvo un valor real de $4,76 \text{ m}^3$ ó $5,36 \text{ t}$; valor utilizado para realizar los cálculos necesarios con el fin de determinar los diferentes indicadores de rendimiento.

Tabla 3.9. Cálculo de rendimiento nominal y rendimiento real.

Equipos de excavación	Rendimiento nominal (t/h)	Rendimiento real (t/h)
RE – 1393	113,64	73,87
RE – 1394		
RE – 1395		

Fuente: Elaboración propia.

Este rendimiento se determina desde el punto teórico de la posibilidad según los catálogos de la capacidad de trabajo de estas máquinas de excavación, aunque los datos facilitan determinar este valor por las actividades que ejecutan las máquinas mineras. Por tanto se refleja el mismo valor para cada uno de los equipos, ya que los mismos presentan las mismas condiciones técnicas y de diseño, además en la planificación minera realizan las mismas operaciones (escombreo, minado, remonte).

3.5. Parámetros tecnológicos según la metodología de Paraszczak (2005)

La metodología establece la vinculación de las horas que se les planifican a los equipos de excavación-carga para lograr la disponibilidad y la utilización deseada a partir de la planificación para el desarrollo de las diferentes actividades de explotación en la minería y las horas programadas al mantenimiento, los gastos operacionales para determinar el rendimiento general de los equipos.

La misma es utilizada para conocer desde el punto de vista de planificación de los equipos los diferentes parámetros de funcionamiento, a partir de los valores obtenidos se puede evaluar el funcionamiento de los equipos según sus valores teóricos y conocer los principales indicadores que muestran el rendimiento de los equipos durante las diversas actividades del laboreo minero.

Los valores obtenidos muestran el desempeño de los equipos a partir de la producción realizada se obtiene las variables de rendimiento, eficiencia productiva, índice de utilización y de disponibilidad, indicadores esenciales para evaluar el funcionamiento de los equipos.

Esta metodología se determinó por las expresiones 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18

.

Tabla 3.10. Cálculo de los parámetros tecnológicos de los equipos de excavación.

	UM	RE -1393	RE-1394	RE-1395
Horas hábiles	(h)	8760	8760	8760
Horas mantenimiento	(h)	527	777	1,088
Horas disponibles	(h)	8,233	7,983	7,672
Horas efectivas	(h)	7,719	7,231	6,609
Horas imprevistas	(h)	53	161	179
Producción	(h)	445299	491518	805288
Gastos totales	(t)	28,707	105,811	33,208
Costo Unitario	(\$)	0,06	0,22	0,04
Costo horario	(\$/t)	3,46	12,9	4,9
Índice de disponibilidad	(\$/t)	94	91	88
Índice de utilización	(%)	99	98	97
rendimiento efectivo	(%)	58	68	122
Eficiencia productiva	(t/h)	94	92	88
Rendimiento general	(%)	88	82	75

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos se muestra los indicadores mencionados anteriormente para la evaluación desde el punto de vista de funcionamiento y planificación de los equipos, los mismos demuestran lo determinado en las gráficas del TPEF y TPPR, indicando que el equipo con mayor estabilidad en el desempeño de las actividades es el 1393, a partir de los indicadores de disponibilidad, utilización, eficiencia y rendimiento general. Además desde el punto de vista económico presenta menor costo unitario y horario.

En el caso de la producción del equipo RE – 1395 presenta el mayor valor registrado, esto en esencia se debe a que desarrollo mayor tiempo la actividad de remonte y esta actividad en el proceso se extrae mayor volumen del material sin la espera de los medios de acarreo y se realiza de manera constante hasta culminar la pila de acumulación en el depósito.

La metodología presenta concordancia total con los resultados obtenidos en los gráficos de disponibilidad a partir de la vinculación de los TPEF y TPPR porque muestra que el equipo 1393 es el más estable en cuestión de funcionamiento y de utilización para el desarrollo de las actividades mineras, a partir de las horas hábiles y las horas efectivas trabajadas por el equipo.

3.6. Vinculación de la productividad promedio con el tiempo de trabajo de los equipos

Los equipos de excavación – carga que es objeto de estudio no presentaban normas de explotación propias, se realizaba la evaluación de la extracción – carga por las normas de los equipos LIEBHERR, ya que estos últimos presentan el mismo objeto social de los equipos evaluados pero las condiciones de diseño son diferentes, por tanto para poder determinar los índices reales de rendimiento y productividad de los equipos marca XCMG se realizaron las mediciones para obtener la fotografía de los tiempos promedios y conocer el ciclo de carga (arranque – giro – descarga – giro) y el ciclo de llenado de los vehículos de acarreo del mineral. En el anexo 3 se encuentran los valores de la fotografía para cada operación.

Los valores del ciclo de trabajo de los equipos tienen una media de 40 segundos durante la operación (arranque – giro – descarga – giro) y para el ciclo de llenado en el minado 2,83 min; para el escombreo 2,86 min.

Con estas normas se determinaron los indicadores de productividad de forma teórica y su determinación de forma práctica por las expresiones 2.19, 2.20 y 2.21, evaluando los tiempos en este caso productivos y el descuento de los tiempos improductivos.

Tabla 3.11. Vinculación de la productividad con el tiempo promedio trabajado del equipo RE – 1393 en el escombreo.

Escombreo					
RE 1393	TPEF (h)	Cant. de ciclos	V Productivo (t/h)	Productividad calculada (t/h)	Prod. Trabajada (t/h)
Meses					
enero	429.47	9003,71	207085,25	249,53	85,63
febrero	461.52	9675,39	222533,92	268,14	104,24
marzo	434.19	9102,51	209357,62	252,27	88,37
abril	447.17	9374,72	215618,49	259,82	95,91
mayo	414.75	8694,92	199983,21	240,97	77,07
junio	448.32	9398,74	216171,07	260,48	96,58
julio	430.75	9030,49	207701,33	250,71	86,37
agosto	429.05	8994,74	206878,92	249,28	85,38
septiembre	447.94	9390,75	215987,36	260,26	96,36
octubre	432.94	9076,23	208753,21	251,54	87,64
noviembre	448.63	9405,24	216320,55	260,66	96,76
diciembre	433.77	9093,77	209156,65	252,02	88,12
	438.21	9186,77	211295,63	254,60	90,70

Tabla 3.12. Vinculación de la productividad con el tiempo promedio trabajado del equipo RE – 1393 en la minería.

Minería					
RE 1393	TPEF (h)	Cant. de ciclos	V. Productivo (t/h)	Productividad real calculada (t/h)	Prod. real Trabajada (t/h)
Meses					
enero	429,48	9099,08	209278,95	252,17	88,27
febrero	461,52	9777,88	224891,27	270,98	107,08
marzo	434,18	9198,93	211575,39	254,93	91,04
abril	447,17	9474,03	217902,58	262,56	98,66
mayo	414,74	8787,02	202101,68	243,52	79,62
junio	448,32	9498,30	218461,02	263,23	99,33
julio	430,75	9126,15	209901,56	252,92	89,02
agosto	429,04	9090,01	209070,44	251,92	88,02
septiembre	447,93	9490,23	218275,36	263,01	99,11
octubre	432,93	9172,37	210964,57	254,20	90,30
noviembre	448,63	9504,87	218612,07	263,41	99,51
diciembre	433,77	9190,09	211372,29	254,69	90,79
Promedio	438,20	9284,08	213533,93	257,29	93,39

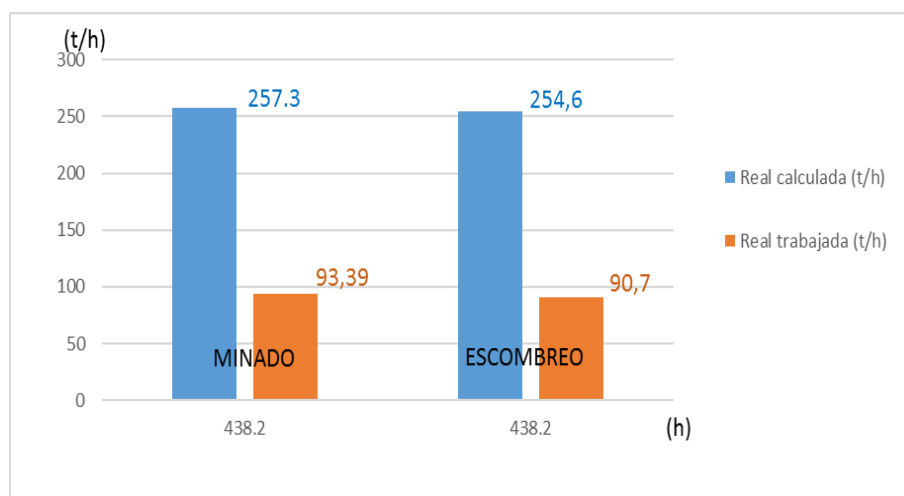


Figura 3.8. Relación de productividad del equipo RE-1393.

En las operaciones de minado y escombreo del equipo RE – 1393, a partir de la disponibilidad determinística anteriormente, correspondía tener unos valores de productividad real promedio de 257,73 t/h y 254,6 t/h respectivamente, pero al tiempo de trabajo se le realiza un descuento de los tiempos improductivos, por lo que nos quedaría entonces los valores promedio de la productividad real trabajada, los cuales son de 93,39 t/h en la minería y 90,7 t/h en el escombreo con un tiempo promedio entre reparaciones de 438,2 h; demostrando que estos valores son superiores al rendimiento

nominal, ya que son determinados para equipos generales de excavación a partir de los indicadores técnicos – productivos, estos equipos son nuevos y por denominación de gran envergadura por la capacidad real del cubo.

Tabla 3.13. Vinculación de la productividad con el tiempo promedio trabajado del equipo RE – 1394 en el escombreo.

Escombreo					
RE 1394	TPEF	Cant. de	V Productivo	Productividad real	Prod. real
Meses	(h)	ciclos	(t/h)	calculada (t/h)	Trabajada (t/h)
Enero	387,74	8128,72	186960,58	236,00	72,10
Febrero	467,17	9794,01	225262,28	284,35	120,45
Marzo	390,45	8185,66	188270,18	237,65	73,75
Abril	409,25	8579,73	197333,82	249,10	85,20
Mayo	373,92	7839,16	180300,71	227,59	63,69
Junio	409,17	8578,05	197295,15	249,05	85,15
Julio	401,00	8406,73	193354,97	244,07	80,17
Agosto	431,20	9040,02	207920,57	262,46	98,56
septiembre	411,23	8621,20	198287,77	250,30	86,40
Octubre	419,24	8789,21	202151,87	255,18	91,28
Noviembre	442,48	9276,47	213358,89	269,32	105,42
Diciembre	445,95	9349,24	215032,68	271,44	107,54
Promedio	415,73	8715,68	200460,79	253,04	89,14

Tabla 3.14. Vinculación de la productividad con el tiempo promedio trabajado del equipo RE – 1394 en la minería.

Minería					
RE 1394	TPEF	Cant. de	V Productivo	Productividad real	Prod. real
Meses	(h)	ciclos	(t/h)	calculada (t/h)	Trabajada (t/h)
Enero	387,74	8214,83	188941,10	238,50	74,60
Febrero	467,17	9897,76	227648,54	287,36	123,46
Marzo	390,45	8272,37	190264,57	240,17	76,27
Abril	409,25	8670,61	199424,22	251,73	87,83
Mayo	373,92	7922,20	182210,67	230,00	66,10
Junio	409,17	8668,91	199385,14	251,68	87,78
julio	401,00	8495,79	195403,22	246,66	82,76
agosto	431,20	9135,78	210123,12	265,24	101,34
septiembre	411,23	8712,53	200388,27	252,95	89,05
octubre	419,24	8882,31	204293,30	257,88	93,98
noviembre	442,48	9374,74	215619,05	272,18	108,28
diciembre	445,95	9448,28	217310,57	274,31	110,41
Promedio	415,73	8808,01	202584,32	255,72	91,82

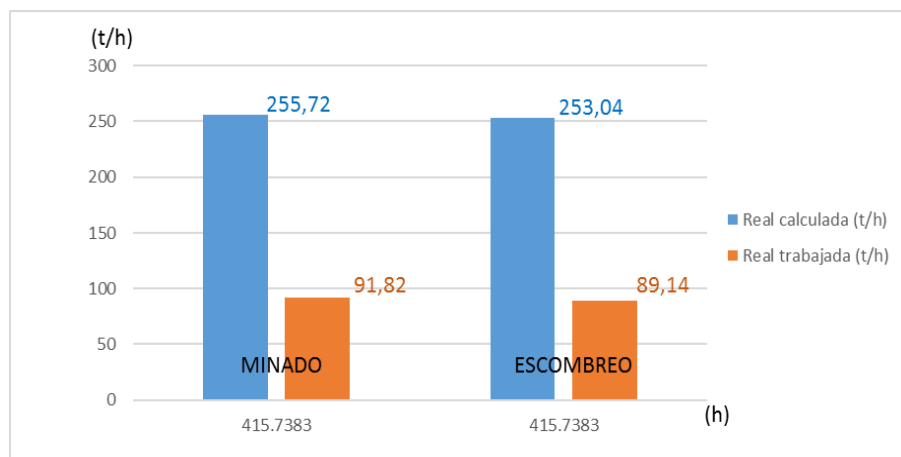


Figura 3.9. Relación de productividad del equipo RE-1394.

En las operaciones de minado y escombreo del equipo RE – 1394, a partir de la disponibilidad determinística anteriormente, correspondía tener unos valores de productividad real promedio de 255,72 t/h y 253,04 t/h respectivamente, pero al tiempo de trabajo se le realiza una resta de los tiempos improductivos, por lo que nos quedaría entonces los valores promedio de la productividad real trabajada, los cuales son de 91,82 t/h en la minería y 89,14 t/h en el escombreo, con un tiempo promedio de trabajo de 415, 73 h, ; demostrando que estos valores son superiores al rendimiento nominal, ya que son determinados para equipos generales de excavación a partir de los indicadores técnicos – productivos, estos equipos son nuevos y por denominación de gran envergadura por la capacidad real del cubo.

Tabla 3.15. Vinculación de la productividad con el tiempo promedio trabajado del equipo RE – 1395 en el escombreo.

Escombreo					
RE 1395	TPEF (h)	Cant. de ciclos	V Productivo (t/h)	Productividad real calculada (t/h)	Prod. real Trabajada (t/h)
Meses					
enero	381,91	8006,49	184149,47	223,09	59,19
febrero	420,58	8817,20	202795,62	245,67	81,77
marzo	382,17	8012,02	184276,62	223,24	59,34
abril	394,59	8272,39	190265,01	230,49	66,59
mayo	389,45	8164,62	187786,32	227,49	63,59
junio	427,00	8951,95	205894,98	249,43	85,53
julio	347,81	7291,66	167708,33	203,17	39,27
agosto	374,03	7841,45	180353,41	218,49	54,59
septiembre	396,20	8306,13	191041,18	231,43	67,53
octubre	393,20	8243,31	189596,32	229,68	65,78

noviembre	399,20	8369,04	192487,96	233,19	69,29
diciembre	400,13	8388,64	192938,75	233,73	69,83
Promedio	392,19	8222,07	189107,83	229,09	65,19

Tabla 3.16. Vinculación de la productividad con el tiempo promedio trabajado del equipo RE – 1393 en la minería.

Minería					
RE 1395	TPEF (h)	Cant. de ciclos	V. Productivo (t/h)	Productividad real calculada (t/h)	Prod. real Trabajada (t/h)
Meses					
enero	381,91	8091,31	186100,21	225,45	61,55
febrero	420,58	8910,60	204943,88	248,28	84,38
marzo	382,17	8096,90	186228,70	225,60	61,70
abril	394,59	8360,02	192280,53	232,94	69,04
mayo	389,45	8251,11	189775,58	229,90	66,00
junio	427,00	9046,78	208076,07	252,07	88,17
julio	347,81	7368,90	169484,90	205,32	41,42
agosto	374,03	7924,51	182263,93	220,80	56,90
septiembre	396,20	8394,12	193064,92	233,89	69,99
octubre	393,20	8330,64	191604,76	232,12	68,22
noviembre	399,20	8457,69	194527,03	235,66	71,76
diciembre	400,13	8477,50	194982,59	236,21	72,31
Promedio	392,19	8309,17	191111,09	231,52	67,62

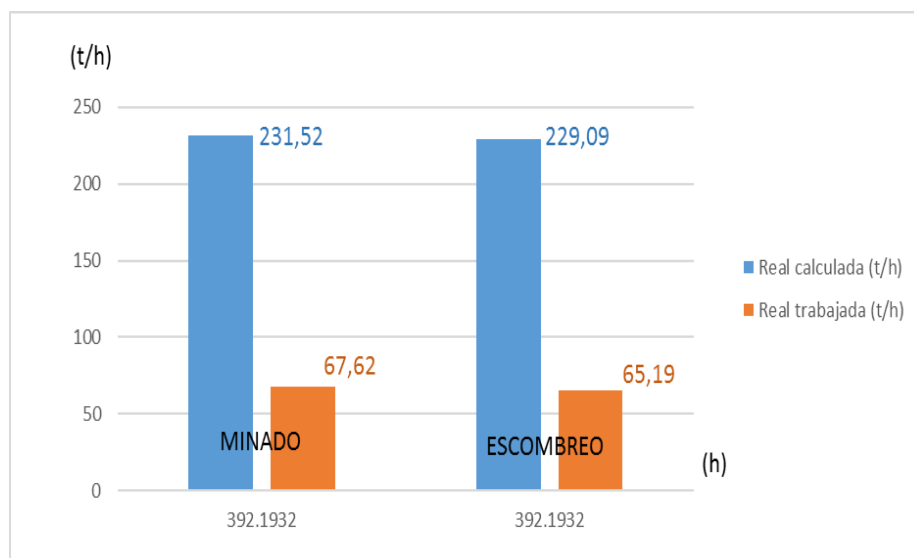


Figura 3.10. Relación de productividad del equipo RE-1395.

En las operaciones de minado y escombreo del equipo RE – 1395, a partir de la disponibilidad determinística anteriormente, correspondía tener unos valores de productividad real promedio de 231,52 t/h y 229,09 t/h respectivamente, pero al tiempo

de trabajo se le realiza una resta de los tiempos improductivos, por lo que nos quedaría entonces los valores promedio de la productividad real trabajada, los cuales son de 67,62 t/h en la minería y 65,19 t/h en el escombreo, con un tiempo promedio entre reparaciones de 392,19 h; demostrando que estos valores son superiores al rendimiento nominal, ya que son determinados para equipos generales de excavación a partir de los indicadores técnicos – productivos, estos equipos son nuevos y por denominación de gran envergadura por la capacidad real del cubo.

3.7. Valoración económica

En la siguiente tabla se muestran los gastos directos relacionados con el salario del personal que labora en los turnos de trabajo de las retroexcavadoras

Tabla 3.16 Gastos originados por salario G_s .

Puesto de trabajo	Cantidad Operadores	Salario mensual (\$/mes)	Tiempo de trabajo (meses)	Salario total (\$)
Operador Retroexc.	8	477,82	15	57 338,4
Total	8	3 822,56	15	57 338,4

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra los gastos indirectos que relacionan la depreciación, como descuento que va a tener el equipo a medida que se va empleando en las labores de trabajo.

Tabla 3.17. Gastos por concepto de depreciación de equipos G_d .

Equipos	Cantidad Equipos	Valor inicial (US\$)	Vida útil (años)	Depreciación (US\$/año)
Retroexcavadora	4	1034892,68	17	243 504,16
Total	4	4 139 570,72	17	243 504,16

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra los gastos originados a partir del consumo de combustible de los equipos durante las labores de trabajo

Tabla 3.18. Gastos por concepto de combustible G_c .

Equipos	Cantidad Equipos	Consumo horario (l/hora)	Horas Operación (h)	Precio del litro (US\$)	Costo total (US\$/año)
Retroex.	4	47,4	7300	0,77	1 065 741,6
Total	4	189,6	29 200		1 065 741,6

Fuente: Elaboración propia.

Gastos directos durante el arranque

$$G_{d(\text{arranque})} = G_s + G_d + G_c$$

$$G_{d(\text{arranque})} = 57\,338,4 + 243\,504,16 + 1\,065\,741,6$$

$$G_{d(\text{arranque})} = 1\,366\,584.16 \text{ CUC}$$

Vale destacar que en estos cálculos se utilizaron la depreciación y no la amortización de los equipos por ser este el índice que se usa en los cálculos de la ECEG, igualmente, en dicha empresa la depreciación de un equipo es considerada en un 20% al año. Cabe señalar que datos empleados son oficiales por lo que cada detalles fue de acceso de fuentes de información de la empresa.

3.8. Impacto medio ambiental

Para la realización de la producción de los equipos de excavación – carga de la UBMCEG se consumen 751227,39 litros de combustible que genera al medio que nos rodea una exposición de unos 0,50 kg de CO₂; unos 25 kg de CO; sustancias que contaminan considerablemente al ambiente ya contaminado por la explotación minera; por supuesto la emisión de estos gases hubiese estado en menor cuantía si los trabajos de parada de los equipos para las labores de mantenimiento se hubiesen cumplido.

Las principales sustancias que se desprenden en la labores de mantenimiento en el taller es de los lubricantes aunque se encuentran contenidas de los pozos y los envases de seguridad de desechos para las sustancias de lubricación. Estos aspectos se cumplen por lo establecido por la norma ISO 9001 de Gestión de la calidad y la norma ISO 14001 para la regulación de las actividades que afectan al medio ambiente.

3.8.1. Medidas de seguridad para el trabajo con los equipos de excavación - carga

Seguridad e higiene del trabajo

Durante la transportación de la masa minera existen tres elementos donde se debe de tener en cuenta la seguridad e higiene del trabajo, es decir a la hora de realizar la carga de la masa minera, a la hora de transportar el mineral hasta la planta de recepción y la transportación del escombro hasta las escombreras.

Medidas de seguridad al operar las retroexcavadoras

1. Cuando la retroexcavadora está operando, se prohíbe la presencia de personas en el radio o sector de influencia de la misma.
2. El personal que esté operando este equipo, siempre debe dar señal, de manera tal que indique el inicio y fin de cada operación a realizar.
3. Durante el movimiento de la retroexcavadora, en pendiente, deben contemplarse aquellas medidas que impidan su traslado.
4. Durante el movimiento, debe garantizarse el contacto visual o por radio, o comunicación entre el operador y el que dirige el movimiento.
5. Las retroexcavadoras deben trabajar siempre en plataformas aplanadas y compactas cuyo pendiente no exceda más de 1 °.
6. La maniobra del retroceso debe realizarse con mucho cuidado manteniendo la visión por los retrovisores de ambos lados.
7. La retroexcavadora no debe esperar al siguiente camión con la cuchara en alto.
8. No se debe girar la cuchara por encima de la cabina de la máquina.
9. Se asegurará una distribución de la carga en toda la cama del camión.
10. Alejarse del borde de todas las terrazas como mínimo 2 metros.

3.9. Conclusiones del capítulo

- Se determinaron los parámetros tecnológicos de los equipos de excavación por las metodologías estudiadas de Ballester y Capote (1992), y Paraszczak (2005) para conocer los indicadores de producción de cada uno de los equipos.
- Se determinaron los tiempos promedios entre fallas, los tiempos de reparación y la disponibilidad esperada por métodos estadísticos. Donde los mismos poseen un valor de 829,90 h, 175,6 h, 96,98 % respectivamente para el equipo RE- 1393. Para la máquina RE-1394 los valores de los indicadores son de: 792,18 h, 258,88, 95,42 %. Y para la RE-1395, los valores de 825,44 h, 362,57 h y una disponibilidad del 93,39 %.
- Se vinculó la productividad, con el tiempo medio de trabajo, arrojando un valor promedio de 255,01 t/h de productividad real calculada y 91,26 t/h real trabajada en



las operaciones de minado y escombreo para los equipos RE - 1393 y RE – 1394 y para la RE – 1395 un valor promedio de 230,30 t/h y 66,40 t/h respectivamente.

- Se establecieron las medidas de seguridad para los trabajos con los equipos de excavación – carga de la UBM.



CONCLUSIONES GENERALES

1. Se caracterizaron los equipos de excavación – carga marca XCMG por las horas de explotación y las horas planificadas para el mantenimiento.
2. Se determinaron los parámetros tecnológicos y de explotación de los equipos de excavación – carga de la UBM, para calcular los indicadores técnicos – productivos a partir del ciclo de trabajo y la tecnología de diseño.
3. La investigación arrojó como resultado que la máquina de mayor rendimiento es la RE – 1393, con 255,95 t/h y 91,73 t/h de productividad promedio real calculada y trabajada respectivamente en minería y escombreo y un rendimiento general del 88 %.



RECOMENDACIONES

1. Aplicar la metodología utilizada en esta evaluación a otros equipos mineros, en función de evaluar los parámetros de explotación y los indicadores de rendimiento.
2. Continuar los estudios para planificar las operaciones mineras de los equipos estudiados.
3. Perfeccionar a partir de los resultados obtenidos los ciclos y sistemas de mantenimientos de los equipos para disminuir los tiempos improductivos de los mismos.



BIBLIOGRAFÍAS CONSULTADAS

1. *Bachiller keyla j martínez b. Análisis de fallas aplicados a los equipos de carga tipo scoop de la mina isidora – valle norte pertenecientes a la empresa minera venrus c.a., el callao – estado bolívar.*
2. *Ballester, F. Y Capote, J. A. (1992). Máquina de movimiento de tierra. Criterios de selección. Editorial Pedeca. España. 405p.*
3. *Belete, O. (2000). Máquinas de excavación - carga. Folleto. Editorial G-Art, Guantánamo. 60p.*
4. *Belete, O.; Dieguez, Y.; Estenoz, S. (2010). Rendimiento del equipamiento minero de arranque - carga - transporte de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Informe. ISMM. Cuba. 18p.*
5. *Da Mata, A. (2017). Evaluación del ciclo de trabajo de los equipos de excavación – carga marca XCMG de la UBMECG. [Trabajo de diploma] ISMM. Cuba.*
6. *De la Peña, R. (2016). Evaluación del equipamiento de excavación de la Unidad Básica Minera Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECG). [Trabajo de diploma] ISMM. Cuba.*
7. *Cruz, P.; Miranda C.; Shikiliova; Ribet, Molleda.; Fernández. A. (2013). Análisis de la disponibilidad técnica de la cosechadora de arroz CLAAS DOMINATOR 130. [Artículo].*
8. *Carlos, M.; Díaz, R.; Guevara, T.; Cepeda, R.; Barrera, H. (2013). Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en Planta de Beneficio. [Boletín técnico].*
9. *Edmundo Rafael Guadalupe Moyano et al. (2008). Facultad de Ingeniería en Mecánica y ciencias de la producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Diseño de un sistema de indicadores de producción.*
10. *Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (2005). Procedimiento de puesta en marcha. Manual de gestión empresarial. Unidad básica de servicio técnico de la producción.*



11. Fedchenko A.A. et al. *Economía de la empresa, Manual de problemas*. San Petersburgo Universidad Técnica Estatal de minería. SPB, 2004. 96 pág. ISBN 5-94211-242-8.
12. García De la Cruz, M.I. (2013) *Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros*.
13. Gelkys, (2010). "Procedimiento para la adquisición y explotación del equipamiento minero para la empresa " Cementos Santiago SA".
14. Guadalupe, M.; Abad, M. *Diseño de un sistema de indicadores de Producción*. [Artículo]
15. Guerra y García De la Cruz (2009) *Análisis de los indicadores técnico – productivos en la transportación de masa minera y su influencia en la planificación minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*".
16. Guerra, E. (2012). *Relación entre la productividad, el Mantenimiento y El Reemplazo Del Equipamiento Minero En La Mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. [Tesis Maestría]. ISMM. Cuba. 89p.
17. Joseph A; (2012); "Proceso productivo de mayor costo es el de carga y transporte de material", Klimasauskas, R.E. (2005),
18. Mbalongany, M. (2010). *Estudio del rendimiento de los equipos de arranque y carga en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. [Tesis de Grado]. ISMM. 80p. Cuba.
19. Nachlas. A. Joel, *Fiabilidad*, c/ Edison, 4. 28006 Madrid. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas.
20. Oliveros, B. (2015) *evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación del transporte automotor minero empleado en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. . [Tesis de Maestría]. ISMM. 80p. Cuba.
21. *Revista Construcción Minera*, Diciembre 2014 No 9.



22. Rodríguez. (2007). *Indicadores productivos como herramienta para medir la eficiencia del pollo de engorde*. [Artículo].
23. Santiago Y. (2012). *Procedimiento de cálculo del transporte automotor que permita disminuir los tiempos improductivos*. [Tesis de Maestría]. ISMM. 77p. Cuba.
24. Steve, F. (2014). *Datos capacidad de excavación y tiempos de Parada*. Disponible en: <http://www.equipo-minero.com/contenidos/1581-datos-capacidad-de-excavacion-y-tiempos-de-parada.html>.
25. Toirac, A. (2010). *Estudio del rendimiento del transporte automotor en la Mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. [Trabajo de diploma]. ISMM. Cuba. 75p.
26. Vargas, R. (2002). *La maquinaria pesada en movimiento de tierra. Capítulo 6. maquinaria y rendimiento*. P: 67-128. Disponible en: <http://Tesis.Uson.Mx/Digital/Tesis/Docs/3271/Capitulo6.Pdf>.
27. Tornes, A. (2005). *Evaluación de la efectividad de la tecnología de arrastre en los yacimientos lateríticos*. [Tesis de Grado]. ISMM. Cuba. 80p.
28. XCMG XE 700 (2015). *Catálogos de equipos de excavación - carga y de transporte. Serie c. Unidad Básica Minera. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara*.
29. XCMG XE700 (2015). *Manual de explotación, equipos de arranque y carga. Retroexcavadora XE700. Unidad Básica Mina. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara*.

ANEXOS
Anexo 1. Ficha técnica para la planificación del sistema de mantenimiento en los equipos excavación – carga.

		TIEMPO ESTADO OPERATIVO (h)		TIEMPO ESTADO. NO OPERATIVO (PLAN) (h)				TIEMPO ESTADO NO OPERATIVO (REAL) (h)				DISPON. PLAN (%)	DISPON. REAL (%)	INDICE ROTUR (%)
Retroexcavadora RE-1393	FONDO DE TIEMPO (h)	Plan	Real	MTTO	MPP	REP.	TOTAL	MPP	CORR	REP.	TOTAL			
Meses														
enero	744	670	724	58	16		74	16	4	0	20	90,05	97,31	0,54
febrero	696	627	680	53	16		69	16	0	0	16	90,09	97,70	0,00
marzo	744	670	718,5	58	16		74	20,5	5	0	25,5	90,05	96,57	0,67
abril	720	646	702	58	16		74	15	3	0	18	89,72	97,50	0,42
mayo	744	670	434,2	58	16		74	5	6,8	298	309,8	90,05	58,36	0,91
junio	720	646	700,5	58	16		74	13,5	6	0	19,5	89,72	97,29	0,83
julio	744	670	722,5	58	16		74	19,5	2	0	21,5	90,05	97,11	0,27
agosto	744	670	724,5	58	16		74	15	4,5	0	19,5	90,05	97,38	0,60
septiembre	720	646	701	58	16		74	19	0	0	19	89,72	97,36	0,00
octubre	744	670	720	58	16		74	10	3	0	13	90,05	96,77	0,40
noviembre	720	648	700	56	16		72	12	8	0	20	90,00	97,22	1,11
diciembre	744	670	719	58	16		74	14	11	0	25	90,05	96,64	1,48



		TIEMPO ESTADO OPERATIVO		TIEMPO ESTADO. NO OPERATIVO (PLAN)				TIEMPO ESTADO NO OPERATIVO (REAL)				DISPON. PLAN (%)	DISPON. REAL (%)	INDICE ROTUR (%)
Retroexcavadora RE-1394	FONDO DE TIEMPO	Plan	Real	MTTO	MPP	REP.	TOTAL	MPP	CORR	REP.	TOTAL			
Meses														
enero	744	670	723	58	16		74	16	5	0	21	90,05	97,18	0,67
febrero	696	627	582	53	16		69	14,5	5,5	94	114	90,09	83,62	0,79
marzo	744	670	720,5	58	16		74	19	4,5	0	23,5	90,05	96,84	0,60
abril	720	646	703,91	58	16		74	14,25	0,84	1	16,09	89,72	97,77	0,12
mayo	744	670	734,2	58	16		74	6	3,8	0	9,8	90,05	98,68	0,51
junio	720	646	426	58	16		74	9	0	285	294	89,72	59,17	0,00
julio	744	670	711,5	58	16		74	19,5	13	0	32,5	90,05	95,63	1,75
agosto	744	670	681	58	16		74	17	8	38	63	90,05	91,53	1,08
septiembre	720	646	702	58	16		74	17	1	0	18	89,72	97,50	0,14
octubre	744	670	694	58	16		74	11	32	7	50	90,05	93,28	4,30
noviembre	720	648	667	56	16		72	13,5	39,5	0	53	90,00	92,64	5,49
diciembre	744	670	662,25	58	16		74	12,5	48,25	21	81,75	90,05	89,01	6,49



		TIEMPO ESTADO OPERATIVO		TIEMPO ESTADO. NO OPERATIVO (PLAN)				TIEMPO ESTADO NO OPERATIVO (REAL)				DISPON. PLAN (%)	DISPON. REAL (%)	INDICE ROTUR (%)
Retroexcavadora RE-1395	FONDO DE TIEMPO	Plan	Real	MTTO	MPP	REP.	TOTAL	MPP	CORR	REP.	TOTAL			
Meses														
enero	744	670	724	58	16		74	16	4	0	20	90,05	97,31	0,54
febrero	696	627	642,5	53	16		69	16,5	17	20	53,5	90,09	92,31	2,44
marzo	744	670	724,5	58	16		74	19	0,5	0	19,5	90,05	97,38	0,07
abril	720	646	703,5	58	16		74	15,5	0	1	16,5	89,72	97,71	0,00
mayo	744	670	712,5	58	16		74	6	8,5	17	31,5	90,05	95,77	1,14
junio	720	646	615,02	58	16		74	11,5	24,48	69	104,98	89,72	85,42	3,40
julio	744	356	371	0	16	372	388	10,5	25,5	337	373	47,85	49,87	3,43
agosto	744	356	409,5	0	16	372	388	8,5	49	277	334,5	47,85	55,04	6,59
septiembre	720	332	700,5	0	16	372	388	18	1,5	0	19,5	46,11	97,29	0,21
octubre	744	356	705,5	0	16	372	388	11,5	23	4	38,5	47,85	94,83	3,09
noviembre	720	648	694,75	56	16		72	13,5	11,75	0	25,25	90,00	96,49	1,63
diciembre	744	670	693	58	16		74	15	13,5	22,5	51	90,05	93,15	1,81



Anexo 2. Calculo de los parámetros de forma y de escala.

Base de datos para la determinación de los parámetros de la retroexcavadora 1393

Meses	Tiempo Real (h)	Tiempo Real (organizado)	FRECUENCIA	ln(tiempo)	ln(frecuencia)	(ln(t)) ²	(ln(F)) ²	ln(t)*ln(F)
enero	724	434,2	0,05	6,07	-2,88	36,88	8,29	-17,49
febrero	680	680	0,13	6,52	-1,98	42,53	3,95	-12,97
marzo	718,5	700	0,21	6,55	-1,52	42,91	2,32	-9,99
abril	702	700,5	0,29	6,55	-1,20	42,92	1,45	-7,91
mayo	434,2	701	0,37	6,55	-0,97	42,93	0,94	-6,35
junio	700,5	702	0,45	6,55	-0,77	42,95	0,60	-5,09
julio	722,5	718,5	0,54	6,57	-0,61	43,25	0,37	-4,04
agosto	724,5	719	0,62	6,57	-0,47	43,26	0,22	-3,13
septiembre	701	720	0,70	6,57	-0,35	43,28	0,12	-2,32
octubre	720	722,5	0,78	6,58	-0,24	43,33	0,06	-1,61
noviembre	700	724	0,86	6,58	-0,14	43,35	0,02	-0,96
diciembre	719	724,5	0,94	6,58	-0,05	43,36	0,00	-0,38
Σ sumatoria				78,29	-11,24	511,03	18,40	-72,30

Base de datos para la determinación de los parámetros de la retroexcavadora 1394

Meses	Tiempo Real (h)	Tiempo Real (organizado)	FRECUENCIA	ln(tiempo)	ln(frecuencia)	(ln(t)) ²	(ln(F)) ²	ln(t)*ln(F)
enero	723	426	0,05	6,05	-2,88	36,65	8,29	-17,44
febrero	582	582	0,13	6,36	-1,98	40,53	3,95	-12,66
marzo	720,5	662,25	0,21	6,49	-1,52	42,19	2,32	-9,90
abril	703,91	667	0,29	6,50	-1,20	42,28	1,45	-7,85
mayo	734,2	681	0,37	6,52	-0,97	42,55	0,94	-6,33
junio	426	694	0,45	6,54	-0,77	42,80	0,60	-5,08
julio	711,5	702	0,54	6,55	-0,61	42,95	0,37	-4,03
agosto	681	703,91	0,62	6,55	-0,47	42,98	0,22	-3,12
septiembre	702	711,5	0,70	6,56	-0,35	43,13	0,12	-2,32
octubre	694	720,5	0,78	6,57	-0,24	43,29	0,06	-1,61
noviembre	667	723	0,86	6,58	-0,14	43,34	0,02	-0,96
diciembre	662,25	734,2	0,94	6,59	-0,05	43,54	0,00	-0,38
Σ sumatoria				77,92	-11,24	506,28	18,40	-71,72



Base de datos para la determinación de los parámetros de la retroexcavadora 1395

Meses	Tiempo Real (h)	Tiempo Real (organizado)	FRECUENCIA	ln(tiempo)	ln(frecuencia)	(ln(t))2	(ln(F))2	ln(t)*ln(F)
enero	724	371	0,05	5,91	-2,88	35,00	8,29	-17,04
febrero	642,5	409,5	0,13	6,01	-1,98	36,17	3,5	-11,96
marzo	724,5	615,02	0,21	6,42	-1,52	41,23	2,32	-9,79
abril	703,5	642,5	0,29	6,46	-1,20	41,80	1,45	-7,80
mayo	712,5	693	0,37	6,54	-0,97	42,78	0,94	-6,34
junio	615,02	694,75	0,45	6,54	-0,77	42,81	0,60	-5,08
julio	371	700,5	0,54	6,55	-0,61	42,92	0,37	-4,03
agosto	409,5	703,5	0,62	6,55	-0,47	42,98	0,22	-3,12
septiembre	700,5	705,5	0,70	6,55	-0,35	43,01	0,12	-2,32
octubre	705,5	712,5	0,78	6,56	-0,24	43,14	0,06	-1,61
noviembre	694,75	724	0,86	6,58	-0,14	43,35	0,02	-0,96
diciembre	693	724,5	0,94	6,58	-0,05	43,36	0,00	-0,38
Σ sumatoria				77,30	-11,24	498,62	18,40	-70,48

1. Cálculo de los parámetros de forma y de densidad del equipo RE - 1393

$$\beta = \frac{\sum(\ln(t) \cdot \ln(f)) - \left(\frac{\sum \ln(t) \cdot \sum \ln(f)}{n}\right)}{\sum[\ln(t)]^2 - \frac{(\sum[\ln(t)])^2}{n}}$$

$$\beta = 4,758450407$$

$$\alpha = \frac{1}{e^{\left(\frac{\ln(f) - \beta \cdot \ln(t)}{\beta}\right)}}$$

$$\alpha = 829,9052227$$

2. Cálculo de los parámetros de forma y de densidad para el equipo RE – 1394

$$\beta = \frac{\sum(\ln(t) \cdot \ln(f)) - \left(\frac{\sum \ln(t) \cdot \sum \ln(f)}{n}\right)}{\sum[\ln(t)]^2 - \frac{(\sum[\ln(t)])^2}{n}}$$

$$\beta = 5,177896744$$

$$\alpha = \frac{1}{e^{\left(\frac{\ln(f) - \beta \cdot \ln(t)}{\beta}\right)}}$$

$$\alpha = 792,186565$$

3. Cálculo de los parámetros de forma y de densidad del equipo RE - 1395

$$\beta = \frac{\sum(\ln(t) \cdot \ln(f)) - \left(\frac{\sum \ln(t) \cdot \sum \ln(f)}{n}\right)}{\sum[\ln(t)]^2 - \frac{(\sum[\ln(t)])^2}{n}}$$

$$\beta = 3,42624816$$

$$\alpha = \frac{1}{e^{\left(\frac{\ln(f) - \beta \cdot \ln(t)}{\beta}\right)}}$$

$$\alpha = 825,4485492$$

**Anexo 3.**

Fotografía para la operación en el minado.

	Operaciones a medir en la fotografía	Tiempo (seg)
1	Entrega del equipo (cambio de operador)	300
2	Reposado de combustible	842,5
3	Recibir las orientaciones del j de brigada o el recorrido	600
4	Preparación del banco de extracción o destape	240
5	Espera de camiones para realizar la carga	521,035
6	Acomodo del camión para la carga	45,72
7	Carga del camión (especificar la cantidad de cubos por camión)	169,97
8	Desplazamiento dentro del banco	294,29
9	Trabajo de acomodo del banco	438,33
10	Revisión técnica del equipo	575
11	Medición topográfica del banco	1270
12	Detención del equipo	680
13	Revisión del combustible	120
14	Otras interrupciones	360

Cronometraje del ciclo de trabajo del equipo en la operación de la minería.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Giro con carga	Giro sin carga
1	180	180	180	180	20	8
2	146	170	170	170	18	10
3	143	165	185	107	20	11
4	107	180	180	180	20	8
5	180	170	170	180	19	9
6	92	190	170	190	16	10
7	116	170	180	170	18	8
8	118	165	170	190	20	10
9	104	190	190	180	25	12
10	110	170	180	190	20	10
11	140	177	177	170	20	8
12	177	190	190	177	18	9
13	190	161	170	190	25	10
14	140	185	170	190	19	13
15	161	170	185	170	20	12
16	185	185	170	185	23	14
17	150	190	180	180	20	10
18	180	180	180	170	25	12
19			190	180	25	12
20			185	190	25	13



Fotografía para operación de destape o escombreo.

	Operaciones a medir en la fotografía	Tiempo (seg)
1	Entrega del equipo (cambio de operador)	300
2	Reposado de combustible	920
3	Recibir las orientaciones del jefe de brigada o el recorrido	600
4	Preparación del área para el escombreo (desbroce)	200,43
5	Espera de camiones para realizar la carga	132,05
6	Acomodo del camión para la carga	63,63
7	Carga del camión (especificar la cantidad de cubos por camión)	171,34
8	Desplazamiento dentro del área de escombreo	93,33
9	Revisión técnica del equipo	600
10	Medición topográfica del banco	1266,67
11	Detención del equipo	252,5
12	Revisión del combustible	250
13	Otras interrupciones	360

Cronometraje del ciclo de trabajo del equipo en la operación del escombreo.

	Día 1	Día 2	Día 3	Giro con carga	Giro sin carga
1	180	170	180	25	10
2	178	180	120	20	12
3	120	180	150	19	11
4	135	180	170	17	9
5	120	185	160	18	10
6	130	180	180	18	11
7	180	240	190	20	8
8	125	180	170	22	9
9	135	180	180	20	10
10	140	170	185	18	11
11	185	180	200	25	12
12	300	180	185	26	10
13	185	180	180	25	8
14	180	180	180	20	9
15	180	180	175	23	12
16	175	180	180	20	10
17	180	170	150	25	9
18	120	175	145	19	10
19	125	180	170	18	10
20	130		180	18	11
21	180		180	20	12
22	180			18	10



Fotografía para la operación de remonte y minería en el depósito.

	Operaciones a medir en la fotografía	Tiempo (seg)
1	Revisión del combustible	250
2	Indicación del jefe de brigada	400
3	Revisión técnica del equipo	300
4	Trabajo de remonte	790
5	Traslado para operación	150
6	Desplazamiento en el depósito para remontar otra pila	455
7	Trabajo de carga de camión	196,58
8	Acomodo del camión para la carga	89,47
9	Espera de camiones para realizar la carga	240,42
10	Interrupción por cambio de operador	240
11	Parada del equipo	480
12	Movimiento en el depósito	300
13	Traslado en el depósito	300
14	Otras interrupciones	360

Cronometraje del ciclo de trabajo del equipo en la operación minería en el depósito.

	Día 2	Día 3	Giro con carga	Giro sin carga
1	285	180	20	8
2	180	195	22	10
3	130	210	19	10
4	195	190	20	12
5	185	180	23	11
6	195	210	25	10
7	220	180	20	14
8	215	210	23	12
9	200	195	20	10
10		180	18	11

Anexo 4.

Foto de retroexcavadora minando y llenando el camión



Retroexcavadora preparando el banco.



Retroexcavadora esperando el camión con mineral.



Escombro



Acomodo del camión, con la retroexcavadora esperando con material



Frente de trabajo (arranque)

