



INSTITUTO SUPERIOR MINERO

METALURGICO DE MOA

DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Departamento Ingeniería en Minas

Facultad: Geología – Minas

# Trabajo de Diploma

Para optar por el Título de

## Ingeniero en Minas

**Título:** Evaluación del mantenimiento en el equipamiento de excavación de la Unidad Básica Minera Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECG).

**Autor:** Alberto Daniel de la Peña Rodríguez

**Tutores:** Dra. C. María Isabel García de la Cruz

Ing. Marlo Leyva Tarafa

**Moa, 2016**

**“Año 58 de la Revolución”**



INSTITUTO SUPERIOR MINERO

METALURGICO DE MOA

DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Departamento Ingeniería en Minas

Facultad: Geología – Minas

# Trabajo de Diploma

Para optar por el Título de

## Ingeniero en Minas

**Título:** Evaluación del mantenimiento en el equipamiento de excavación de la Unidad Básica Minera Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECG).

**Autor:** Alberto Daniel de la Peña Rodríguez

**Tutores:** Dra. C. María Isabel García de la Cruz

Ing. Marlo Leyva Tarafa

**Moa, 2016**

**“Año 58 de la Revolución”**



## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Alberto Daniel De la Peña Rodríguez, 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 Geología - Minería, los cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

Firma del Autor:

---

Alberto Daniel De la Peña Rodríguez

Firma de los Tutores:

---

Dra. María Isabel García

---

Ing. Marlo Leyva Tarafa



## PENSAMIENTO

*"Contribuir a la mejora de la salud del planeta, enfermo de contaminaciones y forjar una Cultura de la Naturaleza a través de la defensa de los más altos valores de la cultura y la ciencia de la nación cubana".*

*Antonio Núñez Jiménez*



## **AGRADECIMIENTOS**

Estoy muy agradecido a todas las personas que fueron capaces de estar presentes en esta importante parte de mi vida y viviré en deuda con ellos. En especial a mis padres y familiares. Todos los profesores que formaron parte de mis estudios académicos principalmente a los del departamento que me brindaron su apoyo ya que hicieron todo lo posible por forjarme como profesional. Mis tutores que estuvieron presentes en todo lo que necesité para la realización de este trabajo. A mis compañeros de aula y a todos mis amigos que nunca los olvidaré. Gracias a todos por estar cuando los necesité.



## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de diploma especialmente a mi madre y mi padre Elida y Elso que sin la presencia de ellos no hubiera sido posible la culminación de mis estudios. Mi hermana Yanelis, mi abuela querida Reina que siempre está conmigo, mis tías Rubi, Damaris, Geldri y mis primos Alfredo, Lianne, Adonis, Yicel, Daniela, Yorkiel que los aprecio mucho. A mis amigos que de una forma u otra fueron parte de mi vida y estuvieron presentes en todos mis pasos.

**RESUMEN**

En la Unidad Básica Minera de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se realiza un continuo trabajo de extracción de las menas lateríticas donde los equipos de excavación – carga tienen un papel preponderante. Debido a estas labores continuas es que se elaboró un estudio para evaluar su sistema de mantenimiento y reparaciones con el fin de lograr una utilización a través del mejoramiento del mismo.

En la presente investigación se determinaron los principales parámetros e índices de explotación de los equipos mediante las metodologías de Ballester y Capote (1994), la de Navarro (2008), y Paraszczak (2005) que permite determinar los regímenes de trabajo a partir de los índices de utilización, disponibilidad y rendimiento general. Estas cuestiones ayudaron para determinar los índices de la fiabilidad de los equipos de excavación, fundamentalmente los asociados a la mantenibilidad y la disponibilidad técnica, para conocer los gastos totales en las operaciones y los gastos derivados de cada tipo de mantenimiento utilizados en este caso preventivo y correctivo.

En este caso de estudio se determinó que los principales casos de incumplimiento de la disponibilidad técnica están asociados al incumplimiento de los plazos del mantenimiento, por lo que aumentan la ocurrencia de fallas y los costos del mantenimiento correctivo; y así disminuyendo el rendimiento general de explotación de los equipos de excavación.

**ABSTRACT**

In Basic Unit Mining Company "Comandante Ernesto Che Guevara" a continuous extraction work lateritic ores where excavation-loading equipment has a leading role is performed. Due to these ongoing efforts it is that a study was developed to evaluate its system maintenance and repair in order to achieve through improved use it.

In this research the main parameters and rates of exploitation of equipment were determined using methodologies Ballester and Capote (1994), Navarro (2008), and Paraszczak (2005) which determines schemes work from the utilization rates, availability and overall performance. These issues helped to determine the rates of the reliability of excavation equipment, primarily those associated with maintainability and technical availability, to meet total expenditures on operations and eulogies costs of each type of maintenance used in this preventive case and corrective.

In this case study found that the main infringements of the technical availability are associated with missed deadlines maintenance, thereby increasing the occurrence of failures and corrective maintenance costs; and thus reducing the overall operating performance of excavation equipment.

**ÍNDICE**

<b>PENSAMIENTO</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Capítulo I. Marco Teórico Conceptual</b> .....	5
<b>1.1. Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>1.2. Situación actual del mantenimiento en el país y en el exterior</b> .....	<b>5</b>
1.2.1 <i>Análisis bibliográfico</i> .....	5
1.2.2 <i>Estado de la temática a nivel internacional</i> .....	5
1.2.3 <i>Estado de la temática en Cuba</i> .....	7
<b>1.3. Características geológicas de los yacimientos lateríticos</b> .....	<b>10</b>
1.3.1 <i>Ubicación geográfica</i> .....	10
1.3.2 <i>Breves características geológicas de los yacimientos</i> .....	11
<b>1.4. Proceso de producción de la UBMECG</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5. Teoría del mantenimiento</b> .....	<b>17</b>
1.5.1 <i>Descripción importancia del mantenimiento</i> .....	17
1.5.2 <i>Objetivos del mantenimiento</i> .....	19
1.5.3 <i>Planes de mantenimiento</i> .....	20
1.5.4 <i>Mantenimiento diario</i> .....	21
1.5.5 <i>Mantenimientos periódicos menores (100 h - 250 h - 500 h - 750 h)</i> .....	21
1.5.6 <i>Mantenimientos periódicos mayores o de complejidad (1000 h - 1750 h – 2000 h)</i> .....	22
1.5.7 <i>Deficiencias del servicio de mantenimiento</i> .....	23
1.5.8 <i>Influencia de las deficiencias del servicio de mantenimiento en la productividad</i> .....	23
<b>1.6. Árbol de fallos</b> .....	<b>24</b>
<b>1.7. Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 en Mantenimiento</b> .....	<b>26</b>
<b>1.8. Conclusiones parciales del capítulo I</b> .....	<b>27</b>
<b>Capítulo II. Materiales y Métodos utilizados en la investigación</b> .....	<b>28</b>



<b>2.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>28</b>
<b>2.2</b>	<b>Instrumentos y métodos utilizados en la investigación</b>	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Parámetros técnicos de explotación del equipo</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Explotación técnica del equipamiento de excavación-carga</i></b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Disponibilidad del equipamiento actualizada, año 2016</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>Identificación del sistema de mantenimiento a utilizar</b>	<b>30</b>
<b>2.6</b>	<b>Fiabilidad</b>	<b>33</b>
<b>2.7</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>34</b>
<b>2.8</b>	<b>Tiempo promedio entre falla (TPEF)</b>	<b>36</b>
<b>2.9</b>	<b>Disponibilidad técnica</b>	<b>38</b>
<b>2.10</b>	<b>Costos por mantenimiento</b>	<b>39</b>
2.10.1	<i>Relación del costo de mantenimiento por las horas hábiles</i>	39
2.10.2	<i>Costo relativo con personal propio</i>	39
2.10.3	<i>Índice del costo del mantenimiento preventivo</i>	39
2.10.4	<i>Índice del costo del mantenimiento correctivo</i>	40
<b>2.11</b>	<b>Determinación de los parámetros tecnológicos de los equipos</b>	<b>41</b>
2.11.1	<i>Rendimiento nominal</i>	41
2.11.2	<i>Rendimiento real</i>	41
<b>2.12</b>	<b>Conclusiones parciales del capítulo II</b>	<b>44</b>
<b>Capítulo III. Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medioambiental</b>		
		<b>45</b>
<b>3.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>45</b>
<b>3.2</b>	<b>Análisis de los resultados de la investigación</b>	<b>45</b>
3.2.1	<i>Relación entre los incidencias de la fiabilidad</i>	46
3.2.2	<i>Disponibilidad técnica</i>	50
<b>3.3</b>	<b>Determinación de los parámetros tecnológicos</b>	<b>54</b>
3.3.1	<i>Rendimiento del equipo</i>	54
<b>3.4</b>	<b>Valoración económica</b>	<b>56</b>
3.4.1	<i>Costo del mantenimiento realizado a los equipos de excavación</i>	57
3.4.2	<i>Índices del costo de los tipos de mantenimiento</i>	58
<b>3.5</b>	<b>Valoración económica de indicadores de producción de los equipos de excavación</b>	<b>58</b>



---

<b>3.7. Impacto medio ambiental .....</b>	<b>59</b>
<b>3.8. Conclusiones parciales del capítulo III .....</b>	<b>60</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>66</b>



## INTRODUCCIÓN

Actualmente en la rama industrial, los procesos y con ello las maquinarias que forman parte del proceso productivo, se caracterizan por necesitar una elevada fiabilidad y rendimiento; para contribuir con la eficiencia, eficacia y efectividad con el fin de garantizar la confiabilidad operacional, manteniendo y mejorando los niveles de producción de acuerdo con las necesidades establecidas por la empresa.

Desde el principio de los tiempos, el hombre ha sentido la necesidad de mantener y conservar sus herramientas o aparatos por rudimentarios que estos sean. Es por ello, que se dice que el mantenimiento como tal nace de la necesidad de recuperar las primeras máquinas que se construyeron, ya que era imposible seguir usando el equipo y a esta labor se denominaba “Mantenimiento de Ruptura o Reactivo o para algunos autores Correctivo”, debido a que la mayoría de las fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso, situación que se presenta hasta nuestros días, (Uzcátegui S., 2014).

En la actualidad, el mantenimiento es una actividad que tiene no solamente un impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, sino que es un elemento clave para alcanzar unas condiciones de seguridad y de protección medioambiental acorde con las políticas de desarrollo sostenibles de una empresa.

Con el transcurso de los años, Cuba se ha visto en la necesidad de modernizar todas las industrias con el objetivo de ahorrar energía eléctrica y combustible; así como el logro de la eficiencia de las máquinas con la introducción de nuevas técnicas y nuevos equipos en la rama del transporte minero. La explotación de los equipos de carga y transporte minero es un factor de gran importancia para la producción industrial del níquel. Esta se logra teniendo los equipos diseñados según los parámetros técnicos correctos y que estén funcionando en condiciones de trabajo óptimas (Quiroga, 2013).

Especial importancia tiene la excavación y la carga de las menas lateríticas, con el uso de los diferentes medios y equipos mineros en la Empresa Ernesto Che Guevara (ECG).



La ECG como parte de las empresas productivas, existen una serie de irregularidades tales como:

- Insuficiente garantía de piezas de repuesto e insumos mínimos para mantener un buen nivel de fiabilidad de las partes y piezas que componen estas maquinarias mineras.
- Desgaste y gran consumo de energía, principalmente con el consumo de combustible.
- Pérdidas de energía por la no correcta selección del tipo de mantenimiento aplicado a las máquinas mineras.

### **Situación problemática**

Durante la explotación del equipamiento de excavación – carga en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECG), se encuentra establecido un sistema de mantenimiento y reparaciones determinado por la política de la explotación de los equipos durante el proceso productivo, en el cual no se tiene en cuenta: la evaluación del desempeño de los equipos y los agregados durante el periodo de explotación de los equipos en yacimientos lateríticos. Por tanto durante el proceso productivo ocurren frecuentes averías de las diferentes piezas y agregados, que perjudican los períodos de mantenimiento y reparaciones establecidos, el incremento del tiempo de restauración por consiguiente la disminución de la productividad.

### **Problema de la investigación**

Inadecuada evaluación entre el sistema de mantenimiento y reparación de los equipos de excavación – carga y las condiciones reales de explotación en los yacimientos lateríticos en la UBMECG para la carga de las menas lateríticas.

### **Objetivo**

Realizar una evaluación del sistema de mantenimiento y reparación de los equipos de excavación – carga de la UBMECG, en función de lograr una mayor utilización del equipamiento a través del perfeccionamiento del mismo.



## **Campo de acción**

Equipamiento de excavación – carga de la UBMECG.

## **Objeto de investigación**

Sistema de mantenimiento y reparaciones del equipamiento de excavación – carga de la UBMECG.

## **Hipótesis**

Si se establece un sistema de mantenimiento y reparaciones del equipamiento de excavación – carga en la UBMECG en correspondencia con las condiciones reales de explotación entonces, se puede elevar los niveles de fiabilidad de los mismos ajustando los ciclos de mantenimiento y reparaciones para lograr mayores valores de trabajo y de eficiencia.

## **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. Diagnosticar el sistema de operación y mantenimiento de los equipos que se emplean para la excavación – carga de las menas lateríticas teniendo en cuenta los parámetros de explotación y las condiciones de los yacimientos lateríticos.

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

### **Métodos Teóricos:**

Histórico – lógico: para el estudio y la evolución de los diferentes tipos de mantenimiento, según 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, según las diferentes horas de trabajo de los equipos en la UBMECG y el rango de mantenimiento que presentan por horas laboradas.



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 del periodo real de mantenimiento según el tiempo 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 mantenimiento en nuestro país y a nivel internacional. También se expone las características de los yacimientos donde se realizó el estudio. Se caracteriza el proceso productivo de la UBMECG. Y conceptos básicos de la teoría del mantenimiento.

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 diferentes sistemas de mantenimiento.

### **1.2. Situación actual del mantenimiento en el país y en el exterior**

#### *1.2.1 Análisis bibliográfico*

Durante el desarrollo de la investigación se consultaron un total de 38 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.

#### *1.2.2. Estado de la temática a nivel internacional*

Estupiñan, E. (2003) En su artículo "Alcance de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento productivo-proactivo en la industria" describe brevemente y muestra a través de un ejemplo de la industria minera, los alcances que se pueden tener con el uso de técnicas modernas de análisis, en la búsqueda de detección temprana de fallas en máquinas críticas "acción predictiva", así como su utilidad en la búsqueda de las posibles causas que las pueden originar "acción proactiva". Se ilustra con el análisis de un caso, la utilidad que tienen los sistemas de adquisición de datos y las herramientas computacionales

modernas en el desarrollo e implementación de nuevas técnicas e instrumentos que permiten el análisis y diagnóstico de máquinas que poseen un alto grado de dificultad. Su estudio ha sido de utilidad para la investigación pero no analiza la influencia que puede tener su resultado sobre la productividad de los equipos al no considerar la determinación de los tiempos improductivos del equipamiento en el mantenimiento.

Klimasauskas, R.E. (2005), Plantea que el mantenimiento al equipamiento minero es en muchos casos el primer presupuesto de la empresa y por lo tanto debe ser manejado de manera muy cuidadosa con una estrategia clara a través de un plan altamente estructurado que evite pérdidas, accidentes y problemas ecológicos. Se muestran dos conceptos importantes: las inspecciones con sus características y el programa en el cual figuran las inspecciones. Las inspecciones deben ser estructuradas según algún criterio, las mismas deben ser ordenadas según su complejidad y por supuesto, cronológicamente. Existen dos criterios definidos:

- Criterio de Vida Segura.
- Criterio Falla Segura.

El proceso evolutivo del mantenimiento ha seguido tres etapas a lo largo del tiempo que se han caracterizado por una metodología específica para cada una de ellas (Zambrano *et al*, 2007). En sus inicios en la primera generación el mantenimiento se considera como una labor miscelánea, que consistió en la reparación de averías o daños una vez que ocurren las paradas imprevistas del equipo (acciones netamente correctivas).

En la segunda generación el mantenimiento se convierte en una labor compleja que requiere ser gerenciada con la finalidad de brindar trabajos de calidad. Para ello, se hace necesario implantar sistemas de planeación y control del mantenimiento. Mientras que la tercera generación busca la optimización de los procesos con el propósito: a) Reducir al máximo las averías para obtener un mínimo costo generado en las actividades de mantenimiento, b) Alcanzar la calidad exigida en la producción al mantener en perfecto estado los equipos y la infraestructura que intervienen en el

proceso, c) Ahorrar energía mediante el correcto funcionamiento de los diferentes sistemas. d) Conservar el medio ambiente asegurando la estanqueidad de los diferentes sistemas, e) Asegurar que los sistemas de protección funcionen correctamente para salvaguardar la integridad de las personas y el buen estado de las edificaciones y equipos. Pero en ninguna etapa considero la coordinación mutua casual entre la brigada de mantenimiento y el equipo en el mantenimiento.

Uzcátegui, M. (2014) Gestión del mantenimiento de la maquinaria pesada del proceso de carga y transporte de la empresa “construcciones asfalto andes, c.a”. Donde se diseñó un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada para garantizar su disponibilidad con un máximo rendimiento y un mínimo costo. La investigación partió del diagnóstico realizado a la gestión de mantenimiento y en la determinación de las fallas más comunes a través de un análisis estadístico que permitió conocer cómo se desarrolla el mantenimiento en la empresa, en función del número de fallas, demoras presentadas y tipos de mantenimiento realizados.

### *1.2.3. Estado de la temática en Cuba*

Zaldívar Salazar, M. C; Comas Pereira, J.F. (2006) Plantea en su artículo “La Función del Mantenimiento. Un reto para la empresa del futuro” que es responsabilidad del cliente garantizar el máximo periodo de vida útil proyectada de un equipo, esto se logra con una adecuada estrategia de Mantenimiento y Reparación, en correspondencia con las normas establecidas por el fabricante. Afirman que es posible introducir cambios a través de la modernización de los equipos, relacionados estrechamente con la planificación del mantenimiento y reemplazo de piezas y componentes, en este proceso cumplen con una importante función las propiedades que determinan la funcionalidad, el rendimiento, la fiabilidad y las tareas del mantenimiento. Propone el mantenimiento como una vía eficiente de obtener mejores índices de disponibilidad técnica y productividad de los equipos, pero no analiza la relación de estos índices con la determinación de los tiempos improductivos durante el mantenimiento como variante de mejorar los costos de producción si así fuera necesario. No vincula su investigación a la explotación equipos mineros en explotación en Cuba.

Zaldívar Salazar, M. C; Comas Pereira, J.F. (2008) En su artículo “Proyecto de confiabilidad operacional para las máquinas y equipos en la etapa de explotación” ilustran que debido a la globalización de los mercados y a la necesidad de flexibilizar y optimizar las técnicas de mantenimiento, la confiabilidad operacional se muestra como estrategia de Mantenimiento dentro de un sistema productivo que ofrece un aumento de la productividad, eficiencia, seguridad industrial y a la vez permite la posibilidad de expandirse a otros sectores productivos que requieren soluciones a sus sistemas de alta complejidad. Plantean que la gestión del mantenimiento que se realiza actualmente en cualquier empresa cubana aún es incompleta, influyendo en este sentido problemas con el aseguramiento general y de la logística necesaria, como vías de obtener mayores resultados económicos y técnicos. Los autores no hacen referencia a la explotación de equipos mineros en Cuba aunque el artículo es aplicable a cualquier empresa productiva, no analiza la productividad de los equipos como parámetro influyente dependiente en gran medida de la disponibilidad técnica y de los tiempos improductivos durante el mantenimiento.

(Gelkys, 2010) propone un "Procedimiento para la adquisición y explotación del equipamiento minero para la empresa Cementos Santiago SA". En la investigación propone y describe una serie de criterios a tener en cuenta en la elección del equipamiento minero, criterios que integró en un procedimiento para la elección del proveedor de equipamiento minero. Estos criterios son: Precio, calidad, estado técnico, garantía, tecnología probada, avances tecnológicos, servicios postventa, capacitación, puesta en marcha, asistencia técnica, infraestructura de mantenimiento, oportunidad y uniformidad. Pero el procedimiento en el cálculo de la productividad no valora los tiempos improductivos en la coordinación casual de la brigada y los equipos en el mantenimiento.

Quiroga Mendiola, J.S. (2011) En la tesis “Proceso de mantenimiento de los camiones mineros y su influencia en la producción en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara” en opción al título de ingeniero de minas, realizó un análisis de la situación general del equipamiento de transporte con el objetivo de confeccionar una guía de mantenimiento y un plan de mantenimiento especial para

los camiones articulados marca VOLVO, con el objetivo de lograr un aumento en el plan de producción y mejorar la disponibilidad técnica a partir del año 2012. Para esto el autor caracterizó de forma general el equipamiento de transporte y estudió su rendimiento en los últimos años de explotación, delimitándolo por períodos de tiempo. Se limita solo al análisis de la disponibilidad técnica obtenida y escasamente hace alusión a la productividad durante los mismos períodos de referencia. No analiza la influencia de los tiempos improductivos del equipamiento durante el mantenimiento para reducir los costos de operación alterados en gran medida por el servicio de mantenimiento.

Guerra López, E. (2012) Tesis presentada en opción al Grado Científico de Master en Minería. “Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara”. En la investigación se fundamenta el sistema de explotación del equipamiento minero, los equipos de carga – transporte y los medios de excavación y carga, para optimizar la productividad de la mina disminuyendo los costos improductivos del equipamiento y logrando una disponibilidad y confiabilidad a través del ajuste adecuado del sistema de mantenimiento para prevenir la ocurrencia de fallas; y por este medio conocer el tiempo y la planificación del reemplazo para disminuir los costos en relación a la reparación y las operaciones.

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. En esta investigación se perfeccionó el procedimiento para reemplazo de los equipos mineros, a partir del modelo de rendimiento, en función del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación por períodos de explotación. Con la utilización de la base de datos histórica se seleccionaron los indicadores que miden el rendimiento y los factores que inciden el reemplazo de los equipos mineros en las condiciones de explotación de los yacimientos ferroniquelíferos. Se evaluó la influencia del cumplimiento de los servicios técnicos de la contratación en el rendimiento, para ello se aplicó la matriz de Kepner - Tregoe. Se validó y se



comprobó la viabilidad del modelo con su aplicación en el caso de estudio de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

### **1.3. Características geológicas de los yacimientos lateríticos**

#### *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).

El relieve de la zona se caracteriza por su inclinación hacia el Norte con rangos de pendientes variables y desmembrado en tres sectores por valles muy profundos, correspondientes a las áreas inter fluviales Moa – Lirios – Yagrumaje, que se caracterizan por las formas aplanadas con cañadas y valles formados en el período de peniplanización con los desniveles relativos del relieve que oscilan entre 70 y 110 m, siendo las cotas absolutas de 0-185 metros.

El clima, es tropical, la temperatura media anual es aproximadamente 27 °C, en el verano de 30 °C a 32 °C y en el invierno de 22 °C a 26 °C. En el año hay dos períodos de lluvia, correspondientes a los meses mayo – junio y octubre – diciembre; y dos períodos de seca, febrero – abril y julio – septiembre. La cantidad de precipitaciones oscilan en amplios límites y el promedio es de 1700 – 1800 mm al año.

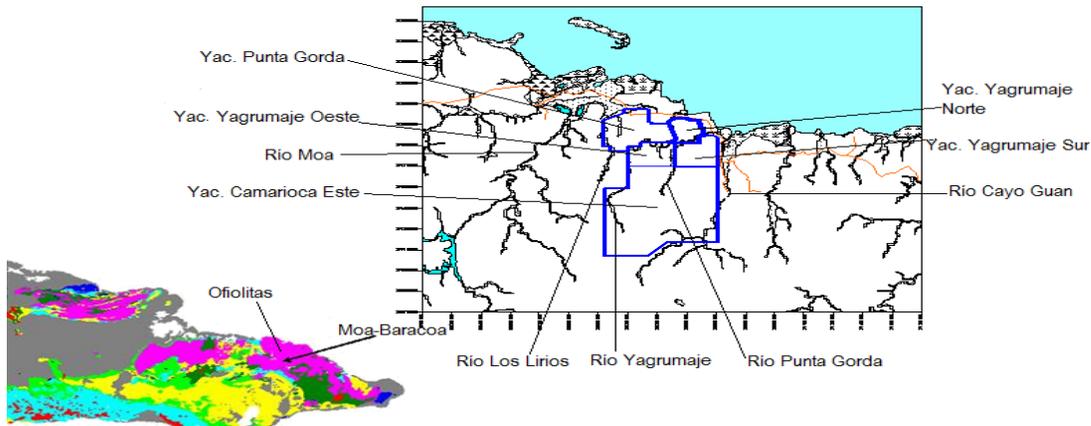


Figura 1.1. Plano de ubicación de la zona de la base minera.

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 Ernesto Che Guevara”, estos son: Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Oeste, Yagrumaje Sur y Camarioca Este.

## CONCESION MINERA



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

Fuente: (Guerra, 2012)

### *Yacimiento Punta Gorda*

El área está limitada por las coordenadas del Sistema Lambert X= 699 800 - 704 100, Y= 218 600 - 221 900. Las coordenadas geográficas Y= 20° 38' 2", X= 74° 52' 8", con los siguientes límites naturales: al Norte por las aguas del Océano Atlántico,

al Sur la línea convencional que lo separa del yacimiento Yagrumaje Oeste, al Oeste el yacimiento Moa Oriental, al Este las elevaciones que constituyen la línea divisora de las aguas del Río Yagrumaje.

El límite de este cuerpo mineral lo constituye el área cercana al río Yagrumaje. Presenta un relieve moderado, con inclinación hacia el norte, con rangos de pendientes variables, con poca complejidad para su explotación. La potencia promedio de la mena, actualmente es de 10,30 m, siendo la zona sur la de mayor potencia, el espesor de la capa de estéril es de 6.10 m, con la relación de escombro mineral aproximadamente de 0,45 m<sup>3</sup>/t. El mismo se encuentra afectado por las aguas subterráneas, presentando un sistema de drenaje que es deficiente. El acceso a él no presenta problemas pues existen caminos principales y secundarios que garantizan las labores mineras. La exploración geológica se realizó de manera completa con una red de 33,33m x 33,33 m. Según (Justino, 2014).

#### *Yacimiento Yagrumaje Norte*

Tiene un área general de 2 km<sup>2</sup> con forma bastante regular de dimensiones de 1,8 km de largo y 1,4 km de ancho, ubicándose en una meseta aplanada al norte del río Yagrumaje. Este, tiene una inclinación de sur a norte desde las cotas 100 - 110 m hasta 20 – 40 m, la diferencia de las cotas absolutas dentro de los límites del yacimiento explorados es de 88m variando de 108 - 200m. Las menas se relacionan principalmente con las formaciones friables de la corteza de intemperismo in situ y sus productos, excepto en las partes del yacimiento con pendientes abruptas; las intercalaciones de estériles son muy raras en todo el depósito mineral, alcanzando un área de 0,01 km<sup>2</sup>.

#### *Yacimiento Yagrumaje Sur*

Ocupa un área de 3,65 km<sup>2</sup>. Las mayores potencias se observan en la parte central y oriental, ambas siguiendo la dirección norte-sur. A partir del cálculo de reservas para el cut-off de 0.9 % de níquel las potencias de escombro y mineral son 4,4 m y 7,3 m respectivamente en las zonas desarrolladas en categoría probadas y 6,72 m y 11,37 m respectivamente en los recursos indicados. La relación escombro mineral es de

0,32 y 0,26 para ambas zonas respectivamente. Este yacimiento se encuentra explorado casi en su totalidad en una red de 33,33 m x 33,33 m y en una red de 100 x 100 m un área pequeña ocupada por una subestación eléctrica y sus tendidos correspondientes. Estas líneas energéticas pueden afectar algunas zonas determinadas del yacimiento. Se encuentra aproximadamente a 8,0 Km. de la mina a partir de la carretera Moa – Baracoa.

#### *Yacimiento Yagrumaje oeste*

Ocupa un área de 4,36 km<sup>2</sup>, la corteza de intemperismo presente en esta área es del tipo residual in situ, es más madura que la del yacimiento Yagrumaje Sur, que posee un menor desarrollo en los ocres estructurales. Es un yacimiento típicamente limonítico, con predominio en su litología de los Ocres inestructurales, a los que se asocian las menas limoníticas balanceadas que son las más representativas. Se encuentra explorado en dos redes, la red de 100 m x 100 m y 33,33 m x 33,33 m, en 41 y 7 bloques respectivamente, representando solo un 17 % en categoría de recursos medidos. El río Yagrumaje lo atraviesa, provocando zonas abruptas en sus riveras; en las demás zonas existen pendientes más suaves de orden del 8 – 12 % promedio. La potencia mineral y de escombros promedio para los bloques desarrollados en la red de 33,33 m x 33,33 m es de 6,4 m y 1,9 m respectivamente; con una relación escombros mineral de 0,25 m<sup>3</sup>/t. La zona desarrollada en la red de 100 m x 100 m, no posee acceso para la minería, solo tiene caminos en mal estado, usados para el acceso a los trabajos de desarrollo geológico.

#### *Yacimiento Camarioca Este*

Presenta un área total de 19 km<sup>2</sup> 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 escombros 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 escombros mineral es de 0,22 y 0,3 m<sup>3</sup>/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. Proceso de producción 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 componen 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 (escombro) 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 escombro, 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 m<sup>3</sup>, 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 m<sup>3</sup> de capacidad., retroexcavadoras de 4 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>.

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 transportadores de bandas No.1<sup>a</sup> y B, el mineral pasa al transportador No.2, el cual mediante el transportador reversible No.3, pasa a los transportadores No.4<sup>a</sup> 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 que de 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. Teoría del mantenimiento**

### *1.5.1. Descripción importancia del mantenimiento*

En la UBMECG se trabaja en condiciones difíciles para la explotación del equipamiento minero, donde los mismos están expuestos a variables como la humedad, altas temperaturas, etc. lo que es necesario trazar una política efectiva del sistema de mantenimiento para el cuidado de los equipos por lo que elaborar un sistema de mantenimiento para estos equipos es una tarea fundamental.

Según Prando, R (1996) el mantenimiento comprende aquellas actividades necesarias para mantener los equipos e instalaciones en una condición particular o volverlos a esta condición.

Muñoz (2012) el mantenimiento no es más que: “El control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de reparaciones y revisiones necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general”.

Según definición:

Mantenimiento: No es más que la restauración de la capacidad de trabajo de los equipos según un plan elaborado con anterioridad derivado de un estudio realizado a partir de la máquina o equipo en cuestión. Existen varios tipos de mantenimiento, en nuestro caso se destacan los más importantes que son:

*Mantenimiento preventivo o Mantenimiento preventivo planificado (MPP)*, como también se le conoce, implica la restauración de la capacidad de trabajo de los equipos (precisión, potencia, rendimiento) y de su comportamiento (índices de consumo) mediante mantenimiento técnico racional, cambio, reparación de piezas y conjuntos desgastados, conforma un plan elaborado con anterioridad.

*Mantenimiento predictivo*, está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

*Mantenimiento proactivo*, tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

*Mantenimiento productivo*, es la etapa anterior, al mantenimiento productivo total (TPM) y es la evolución del mantenimiento correctivo. Esta etapa se caracteriza por la progresiva mentalización por la calidad y el consiguiente desarrollo de técnicas para el control y aseguramiento de la calidad.

*Mantenimiento productivo total* (del inglés de *total productive maintenance*, TPM) es una filosofía originaria de Japón que se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costes en los procesos de producción industrial.



### 1.5.2. *Objetivos del mantenimiento*

La responsabilidad fundamental del mantenimiento es contribuir al cumplimiento de los objetivos de la empresa, por lo que se establecen como objetivos fundamentales

- Maximizar la disponibilidad del equipamiento para la actividad productiva.
- Preservar o conservar la utilización de equipo, minimizando el desgaste y el deterioro.
- Cumplimiento de las metas económicas establecidas.

Las principales funciones para el cumplimiento de los objetivos se realizan a través de un conjunto de actividades que se clasifican en dos grupos fundamentales

Funciones primarias:

- Mantenimiento del equipo. Incluye: Reparaciones, revisiones, mantenimiento preventivo y reconstrucción.
- Lubricación.
- Cambio de agregados y componentes.
- Desarrollar una efectiva planeación y programación de los trabajos de mantenimiento.
- Selección de las responsabilidades y deberes del mantenimiento.

Funciones secundarias:

- Estrategias para la renovación de los equipos.
- Preparar y realizar estudios para la reposición de agregados de las máquinas y los inventarios mínimos.
- Administración de la seguridad industrial.
- Contabilidad e inventarios de los activos.
- Control de la contaminación.

El tipo de mantenimiento es aplicable partiendo del análisis del funcionamiento del equipo, ocurrencia de fallas, tiempo de operación, planificación del mantenimiento; entonces se aplica una selección del sistema a partir de estos

### 1.5.3. Planes de mantenimiento

Es un conjunto de acciones y tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función del equipo o instalaciones, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas. Existen dos enfoques para la elaboración del plan de mantenimiento como son:

*Plan estratégico:* es el plan necesario que consolida las instalaciones y/o equipos que serán sometidos a mantenimiento mayor (reparación) en un período determinado y que determina el nivel de inversión y de recursos que se requiere para ejecutar dicho plan.

*Plan operativo:* es el plan por medio del cual se definen y establecen todos los parámetros y las formas de cómo realizar los trabajos, es decir, se relacionan con el establecimiento de objetivos específicos, medibles y alcanzables que las entidades, los departamentos, los equipos de trabajo y las personas dentro de una organización empresarial deben lograr comúnmente a corto plazo y en forma concreta.

Los mismos se emplean como instrumento de implementación a corto plazo para la consecución de los objetivos de cada una de las acciones que conforman los planes estratégicos, que por sí solos no pueden garantizar el éxito de su ejecución.

Independientemente al tipo de plan de mantenimiento establecido, sus objetivos persiguen lo siguiente:

1. Reducir las paradas del equipo por desperfectos imprevistos.
2. Conservar la capacidad de trabajo de las máquinas dentro de los límites previstos por los fabricantes y las experiencias de los explotadores al ir familiarizándose del plan de mantenimiento preventivo planificado.
3. Reducir las pérdidas de producción y económicas.
4. Contribuir al aumento de la productividad del trabajo.
5. Elevar el nivel de utilización de las capacidades de producción contando con un staff competitivo y consciente de sus funciones organizacionales. (Guerra, 2012).

La planificación del mantenimiento preventivo del equipamiento minero en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara fundamentalmente se encuentra establecido por los catálogos y las guías de mantenimiento que emiten los proveedores, donde presentan las instrucciones específicas vinculadas directamente con la revisión, control y reposición de piezas en mal estado, con el objetivo de lograr la disponibilidad planificada del equipo y un aumento de la productividad de la operación para la cual este fue diseñado.

Las diferentes formas de mantenimiento al equipamiento se clasifican en mantenimiento diario, mantenimientos periódicos menores y mantenimientos mayores o de complejidad. (Guerra, 2012)

#### *1.5.4. Mantenimiento diario*

Son esencialmente servicios de alta frecuencia y poca duración, se basan en la revisión del equipamiento, en cuanto a verificaciones de niveles, chequeo de luces y órganos de mando, presiones de neumáticos, engrases, lectura de relojes indicadores, revisiones eléctricas, chequeo de las baterías, frenos, chequeo de códigos de errores, limpieza con aire comprimido de los filtros primarios. No requieren la detención prolongada del equipo, sino que deben llevarse a cabo durante cortos períodos antes de comenzar el turno de trabajo.

A pesar de ser simples y de corta duración, el seguimiento de las pequeñas anomalías es muy importante, pues son herramientas que ofrecen una contribución importante en el diagnóstico precoz de averías que pueden comprometer la disponibilidad planificada del equipo.

#### *1.5.5. Mantenimientos periódicos menores (100 h - 250 h - 500 h - 750 h)*

El primer mantenimiento preventivo planificado empieza a las primeras 100 h de explotación del equipo y después se repite cada 250 h hasta llegar a las 2000 h en un ciclo continuo que va agregando cambios y revisiones según el criterio del límite de vida útil cuando el equipo trabaja continuamente.

Requieren de la detención de la máquina por cortos períodos de tiempo. Se llevan a cabo según las guías de mantenimiento emitidas por el fabricante a partir de la

experiencia o del análisis del sistema de explotación y de ocurrencia de fallas referencias al sistema de explotación del equipo, (Anexo 1). Un buen control de mantenimiento preventivo requiere del historial del equipo, el que se consigue luego de un tiempo de funcionamiento, contado a partir de su adquisición y puesta en marcha.

Estos mantenimientos son relativos a cambio de lubricantes u otros fluidos, engrases. Además de las verificaciones que se hacen en el mantenimiento diario, en se hacen cambios de los filtros de aceite del motor, de la caja de reenvío y de la transmisión, cambios de los filtros primario de aire y el filtro de lubricación. Se controla el tensado de las correas del alternador y la bomba de agua, las uniones roscadas, el separador de agua del sistema de combustible. También se controla el desgaste de los discos de freno, se limpia el condensador del climatizador, se cambia el filtro y el aceite del motor, se limpian los radiadores con aire comprimido.

#### *1.5.6. Mantenimientos periódicos mayores o de complejidad (1000 h - 1750 h – 2000 h)*

Estos son los llamados mantenimientos generales, con revisión de partes no visibles del equipo por sistemas de medición indirectos o conociendo el límite aproximado de la vida útil de los componentes. Este tipo de mantenimiento requiere la detención y/o salida de servicio del equipo por plazos de tiempo más o menos extensos.

En estos se cambian los filtros de aire comprimido, filtros primarios y secundarios de la cabina, filtros de aceite y el filtro de by-pass del motor. Drenaje de sedimentos del tanque de combustible, se vacía el tanque de aceite de enfriamiento de los frenos, el tanque del aceite hidráulico, se controla la holgura entre la caja y el bastidor, chequeo de las pastillas de freno de parqueo (emergencia), se cambia el cartucho secador del sistema de aire comprimido, se vacía el sistema de enfriamiento del motor (agua refrigerante), el aceite de los ejes diferenciales. Se calibra el motor. Se cambia el cartucho secador de aire comprimido, los filtros primarios y secundarios de la cabina, los filtros primarios y secundarios del purificador de aire del motor, el filtro del retorno del ventilador, todos los filtros de los respiraderos, todos los filtros de

retorno del aceite de enfriamiento de los frenos, el filtro del agua refrigerante, los filtros de retorno del tanque hidráulico.

#### *1.5.7. Deficiencias del servicio de mantenimiento*

Las deficiencias del servicio de mantenimiento cobran un alto precio a cualquier actividad económica, especialmente en la minería se caracteriza por su complejidad y alto costo.

El mantenimiento preventivo planificado, aun cuando la organización de cada uno de los eventos se hace cuidadosamente, no es suficiente para garantizar el completo éxito de la operación, sino que hay todo un conjunto de tareas que deben vibrar armónicamente para alcanzar el mejor resultado:

- Personal técnico capacitado en calidad y cantidad para cada parte del equipo.
- Instrumentación necesaria y equipos auxiliares.
- Suministro de líquidos consumibles (Lubricantes, agua refrigerante) y piezas de repuesto (Indicadas por el fabricante).
- Servicios auxiliares y logísticos.

#### *1.5.8. Influencia de las deficiencias del servicio de mantenimiento en la productividad*

El mantenimiento ocupa un lugar significativo dentro de los gastos totales de la empresa, y se encuentra conceptualizado como una inversión en lugar de un gasto financiero sin retorno, mediante este se puede obtener una mayor productividad de los equipos, al lograr mayores niveles de disponibilidad. Al planear, programar, coordinar y ejecutar las tareas de mantenimiento preventivo de forma eficiente, el equipamiento se mantiene en condiciones óptimas de explotación y aumentando la calidad de su servicio. Disminuyen los costos por concepto del manteamiento correctivo y los tiempos improductivos por averías, los procesos productivos serían más eficientes y hay mayores posibilidades de alcanzar la confiabilidad operacional.

Los problemas relacionados con el mantenimiento han traído consecuencias desfavorables para la minería, dentro de estos se pueden citar:

1. La inestabilidad en el suministro de piezas de repuesto y líquidos asociados al funcionamiento y lubricación.
2. Deficiencias en la planificación de los diferentes tipos de mantenimiento y la preparación del personal mecánico.
3. Incumplimiento de obligaciones del proveedor en el período de la garantía.
4. Evasión de las inspecciones de rutina por parte del personal de operaciones de minería.
5. Limitaciones materiales y carencia de condiciones óptimas en el puesto de trabajo (taller o camión auxiliar para mecánicos).

### **1.6. Árbol de fallos**

Es la representación gráfica de la evolución de sucesos (eventos) en función del tiempo transcurrido, desde que se produjo el evento básico hasta el desarrollo y ocurrencia del evento principal, pasando por estados de tránsito conocidos como eventos intermedios, los cuales se aceleran o retardan en dependencia de la presencia de eventos condicionadores o inhibidores.

*Falla:* Es un suceso después del cual un equipo o sistema completo, deja de cumplir total o parcialmente sus funciones. La falla es la alteración de la capacidad de trabajo del componente, equipo o sistema. No necesariamente una falla es algo catastrófico, sino que se puede definir como cierto grado de desviación de una característica de calidad respecto a su valor nominal (Keila J, 2010).

#### *Clasificación de fallas*

Fallas tempranas: ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.

Fallas adultas: son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (suciedad en un filtro de aire, cambios de rodamientos de una máquina, etc.).

Fallas tardías: representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida útil (envejecimiento del aislamiento de un pequeño motor eléctrico, pérdida de flujo luminoso de una lámpara, etc.).

El Diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto, es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; calidad de los procesos, los productos y servicios.

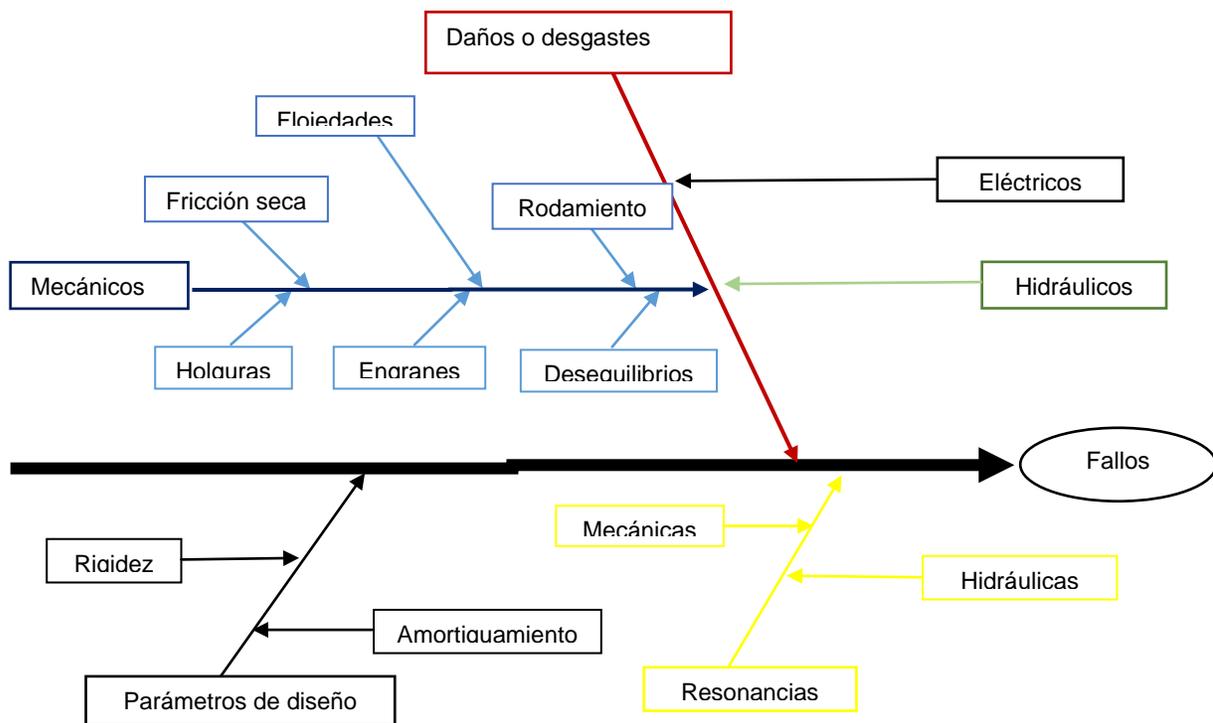


Figura 1.3. Diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto.

En la UBMECG la vida útil de los equipos no se comporta como aparece en los catálogos del fabricante y a los planes que se hacen cuando estos son adquiridos, sino que sus mecanismos se deterioran precozmente y esto está condicionado por:

- Inejecución de los planes de mantenimiento y sobreexplotación de los equipos de arranque – carga.

- Problemas operacionales teniendo en cuenta las características físicas – mecánicas de los yacimientos lateríticos y otras variables asociadas al proceso de producción.

En la medida que pasan los años de explotación de los equipos, disminuye la productividad de estos como muestra el gráfico 1.1; según el estudio realizado por (García, 2013); debido a la explotación del equipo, tiempos de averías, sustitución de agregados y mantenimientos realizados.



Grafico 1.1. Comportamiento de la productividad del equipamiento de arranque – carga durante su vida útil.

Fuente: García, 2013.

### 1.7. Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001 en Mantenimiento

La demanda de calidad de los productos y servicios, originó la definición y puesta en práctica en los años ochenta, de una serie de normas internacionales, que tuvieron su mayor exponente en la serie de Normas ISO 9000 publicadas en 1987.

En esta norma se establecen claramente las responsabilidades para establecer los procesos para, ante un fallo, poder implantar medidas preventivas y correctivas partiendo de la planificación de las horas productivas del equipo, en cuanto a la calidad de los servicios de mantenimiento que se les facilitan a los equipos.



En el año 2000, a través del Comité Técnico ISO/TC176, las normas ISO 9001, ISO 9002 y ISO 9003, revisadas y actualizadas todas ellas en 1994, pasaron a ser sustituidas por una única norma ISO 9001 que aglutina en los procesos y procedimientos de las anteriores, incorporando un cambio conceptual importante, donde el proceso de Mantenimiento está basado en la ISO 9001.

### **1.8. Conclusiones parciales del capítulo I**

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 2015 para el estudio de los índices del mantenimiento, (Anexo 1).

### 2.3. Parámetros técnicos de explotación del equipo

#### 2.3.1. Explotación técnica del equipamiento de excavación-carga

Las retroexcavadoras hidráulicas: capacidad de la cuchara de 3,7 a 6,2 m<sup>3</sup>; 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 (VOLVO, 1997, 2003 y 2011; LIEBHERR, 2003 y 2004; XCMG, 2015). (García, 2014).

En las tablas 2.1, 2.2 y 2.3 se muestran los principales parámetros tecnológicos de los equipos de excavación – carga que se encuentra trabajando en la UBMECG.

Tabla 2.1. Retroexcavadoras marca VOLVO.

Motor	Potencia	Cantidad de cilindros	Fuerza de tracción máxima	Velocidad de desplazamiento Máxima	Pluma	Brazo
VOLVO D16E EAE3	30 r/s (1800 rpm)	6	453 kN	(1ª/2ª) 3,0/4,6 km/h	Monobloque de 7,7 m	3,55 m/ 4,2 m

Tabla 2.2. Retroexcavadoras marca LIEBHERR.

Modelo	Tipo	Cilindrada	Funcionamiento motor	Alcance máximo sobre rasante	Altura máxima de descarga	Alcance máxima de avance	Fuerza máxima de avance	Fuerza máxima de avance sobre rasante	Fuerza máxima de excavación
Liebherr D 9408 TI-E	8 cilindros en V	17,2 l	Diésel de 4 tiempos inyección directa	9,40 m	8,00 m	3,90 m	630 kN/64,2 t	450 kN/45,9 t	460 kN/46,9 t

Tabla 2.3. Retroexcavadora marca XCMG.

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

## 2.4. Disponibilidad del equipamiento actualizada, año 2016

La UBMECG dispone para la realización de las tareas del laboreo minero, un conjunto de equipos que se encargan de la extracción del mineral, 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. Estos equipos están compuestos por un parque para el cumplimiento de las funciones de extracción del mineral que se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Disponibilidad del equipamiento minero de extracción de las menas lateríticas.

No	Sigla	Marca	Modelo	Año F.	Estatus	Situación	Observaciones
1	RE-980	Liebherr	R-984c	2004	Propio	Motor averiado	El motor se solicitó, demanda 2016
2	RE-1078	Volvo	EC210Blc	2007	Propio	Paralizado desde el 20 de octubre de 2012, por completamiento de agregados.	Se encuentra en UNEVOL para su reparación (F/S 30/03/20156)
3	RE-1091	Liebherr	R-974 C	2007	Propio	Reparación, cambio de motor, mangueras, mejoramiento del sistema eléctrico.	Se encuentra en proceso de reparación en el Taller Mina
4	RE-1311	Liebherr	R-964 C	2010	Propio	Operando	Bueno
5	RE-1393	XCMG	XE700 C	2015	Propio	Operando	Bueno
6	RE-1394	XCMG	XE700 C	2015	Propio	Operando	Bueno
7	RE-1395	XCMG	XE700 C	2015	Propio	Operando	Bueno

Fuente: Informe productivo de la UBMECG, mes marzo 2016

## 2.5. Identificación del sistema de mantenimiento a utilizar

El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo a la producción (Sierra, 2004). En la figura se muestra la relación que existe entre los objetivos de la organización, el proceso de producción y el mantenimiento como proceso intrínseco. La meta general es elevar e incrementar las utilidades y la disponibilidad de los equipos que participan en el laboreo minero.

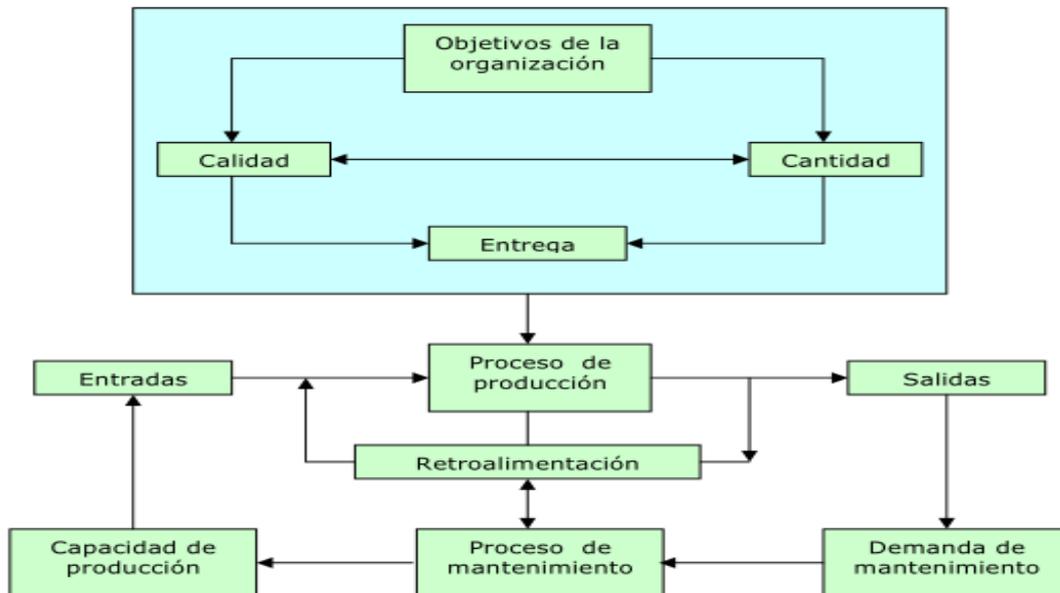


Figura 2.1. Relación entre los objetivos generales, el proceso de producción y el sistema de mantenimiento.

Fuente: Rivera, 2011.

En el capítulo anterior se realizó la descripción de los diferentes sistemas de mantenimiento que se utilizan en la industria, donde su objetivo se encuentra centrado en determinar las posibles fallas en las operaciones; constatado que aproximadamente un el 60% de los errores en mantenimiento que provocan las mismas (Rivera, 2011).

Es frecuente que los análisis de fallas y las medidas determinadas tras las mismas para su eliminación a partir de la disponibilidad operativa, cuentan siempre con la interrogante de cuál es la rentabilidad de su implantación, al no conocer el auténtico coste de los fallos.

Por lo que este proceso es analizado mediante Análisis Causa-Raíz, (RCA, por sus siglas en inglés) que constituye una herramienta que nos permite analizar los problemas que queremos corregir, para encontrar eficacia en las soluciones que del análisis se deriven, a fin de que el problema no se vuelva a repetir.

Esta es una de las herramientas fundamentales que traza el análisis de modo de fallos y sus efectos, para definir medidas preventivas y de corrección teniendo en cuenta la planificación.

Por lo que se determina que el Mantenimiento Preventivo Planificado es uno de los sistemas fundamentales para prevenir fallas y establecer una correcta planificación de la explotación de equipamiento en la UBMECG.

El proceso de elaboración y planificación del mantenimiento preventivo o Mantenimiento preventivo planificado (MPP) como también se le conoce, está orientado a prever los fallos de los sistemas mediante un plan adecuado enfocado a la producción y que incluye los conceptos de fiabilidad, confiabilidad y mantenibilidad, teniendo en cuenta la norma ISO 9001 de la calidad del mantenimiento.

Para que este mantenimiento pueda ser eficaz y eficiente a lo largo de la planificación se debe tener en cuenta:

- Definir qué partes o elementos será objeto de este mantenimiento.
- Establecer la vida útil de los mismos.
- Determinar los trabajos a realizar en cada caso. (Área, proceso, departamento etc.).
- Agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse las actividades.

#### Ventajas

- Importante reducción de paradas imprevistas.
- Es adecuado cuando existe una relación entre probabilidad de fallos y duración de vida.
- Determinación óptima del tiempo para realizar el mantenimiento preventivo.
- Ejecución sin interrumpir el funcionamiento normal de los equipos e instalaciones.
- Mejora conocimientos y el control del estado de los equipos.

#### Inconvenientes

- No se aprovecha la vida útil completa del equipo.
- Aumenta el gasto y disminuye la disponibilidad si no se elige convenientemente la frecuencia de las acciones preventivas.
- Requiere personal mejor formado e instrumentación de análisis costosa.

- No es viable una monitorización de todos los parámetros funcionales significativos, por lo que pueden presentarse averías no detectadas.
- Se puede presentar averías en el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.

## 2.6. 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.

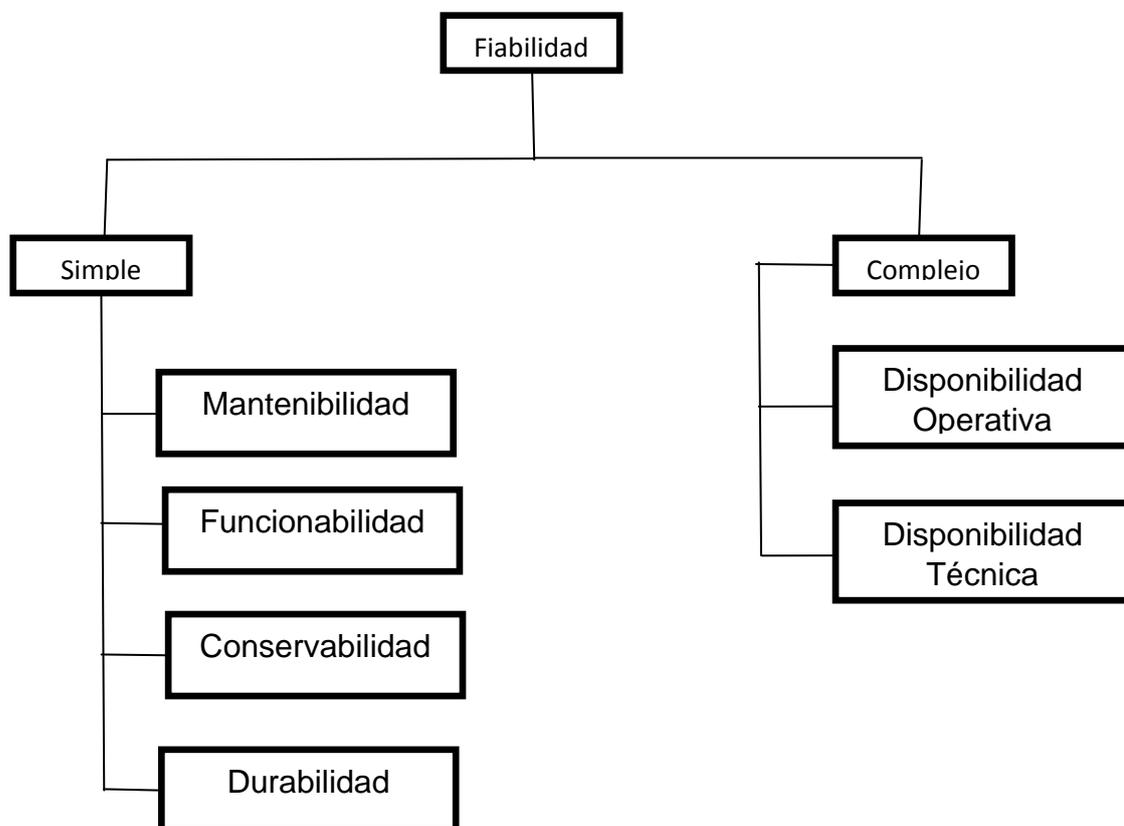


Figura 2.2. Índices de la fiabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

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.

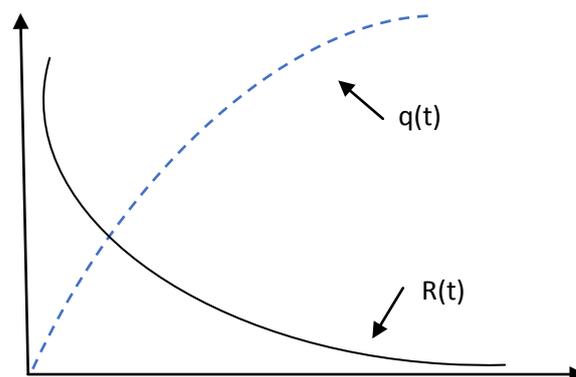
$$R(t) + q(t) = 1 \text{ [%]} \quad (2.1)$$

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, representado en el gráfico 2.1.



*Grafico 2.1. Modelo matemático de la relación de probabilidad de trabajo sin fallos y la probabilidad de la ocurrencia de fallas.*

Fuente: Elaboración propia

## 2.7. 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 2), según el manual de indicadores del mantenimiento.

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

Dónde:

*TPPR*: Tiempo promedio para reparar (hrs)

*TFS*: Tiempo fuera de servicio (hrs)

*No. Intervenc mto*: Número de intervenciones de mantenimiento.

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.

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.

## 2.8. 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.

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

Donde:

$t$ : Tiempo de trabajo del equipo.

$\alpha$ : Parámetro de densidad o escala, tiempo de trabajo promedio del equipo.

$\beta$ : 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 el grafico 2.2, 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.

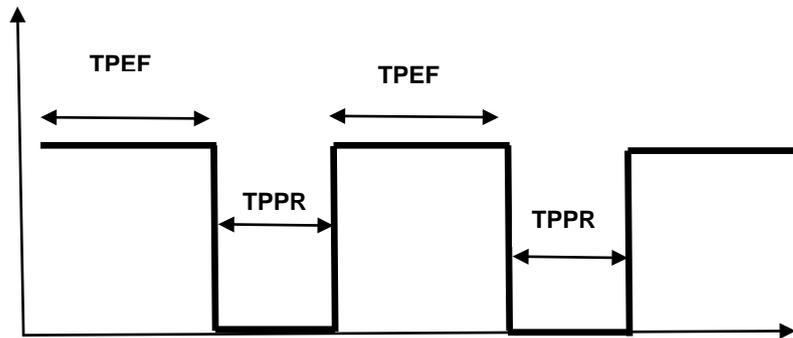


Gráfico 2.2. Relación tiempo de trabajo entre fallas y el tiempo promedio para reparar.

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 de Weibull, (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.

## 2.9. 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:

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

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 sistema 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.

## 2.10. Costos por mantenimiento

Este indicador es necesario para medir la eficiencia de la gestión del mantenimiento. Determina la distribución de los diferentes costes y su orientación para mejorar la productividad y la eficiencia de la entidad laboral, (Anexo 4).

### 2.10.1. Relación del costo de mantenimiento por las horas hábiles

Es la relación entre el costo total de mantenimiento por la horas trabajadas del equipo, permite visualizar el rendimiento de la máquina y del hombre, operario. Se define por la siguiente ecuación:

$$CCMN = \frac{CTMN}{HH\ Disp\ Mtto} \times 100 \quad (2.6)$$

Dónde:

*CTMN*: Costo total de mantenimiento.

*HH Disp Mtto*: Horas hábiles planificadas para el mantenimiento.

### 2.10.2. Costo relativo con personal propio

Es la relación entre los gastos de mano de obra propia y el costo total de mantenimiento en un periodo considerado. Se determina por la siguiente ecuación:

$$CRPP = \frac{\Sigma CMOP}{CTMN} \times 100 [\%] \quad (2.7)$$

Dónde:

*CMOP*: Costos de mano de obra propia.

*CTMN*: Costo total de mantenimiento.

### 2.10.3. Índice del costo del mantenimiento preventivo

Este índice permite determinar la atención preventiva a la ocurrencia de fallas de los equipos con la relación del mantenimiento preventivo con el costo total del mantenimiento como proceso y gestión. La expresión referenciada en el manual de los indicadores de mantenimiento.

$$\% CMPP = \frac{CMPP}{CTMN} \times 100; [\%] \quad (2.8)$$

Dónde:

*CMPP*: Costo del mantenimiento preventivo planificado.

*CTMN*: Costo total del mantenimiento.

#### 2.10.4. Índice del costo del mantenimiento correctivo

Relaciona el costo del mantenimiento correctivo con el costo total del mantenimiento, evaluando la eficiencia de los programas de los equipos que se encuentran en el parque, en este caso se analiza si es necesario dejar trabajando el equipo hasta que comiencen las fallas sin tener en cuenta la planificación del mantenimiento. La expresión referenciada en el manual de los indicadores de mantenimiento.

$$\% CMC = \frac{CMC}{CTMN} \times 100; [\%] \quad (2.9)$$

Dónde:

*CMC*: Costo del mantenimiento correctivo.

*CTMN*: Costo total del mantenimiento.

La determinación y la relación de los costos del mantenimiento va en correspondencia de selección del tipo de mantenimiento y los costos que derivan de estos gastos que son siempre son elementos de gastos; también se ven reflejados como costos de inversión a partir de las ganancias y de la obtención de la producción. Como se muestra en la figura 2.3.

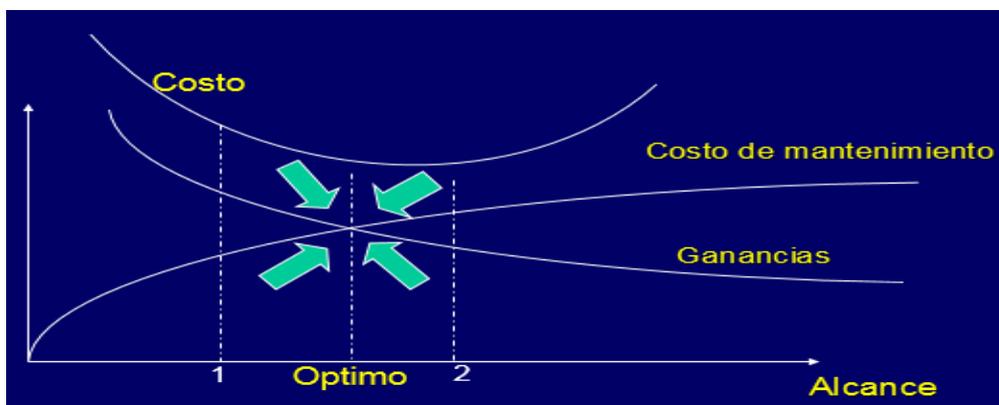


Figura 2.3. Relación entre los costos del mantenimiento y las ganancias.

Fuente: Daquinta, 2010

## 2.11. 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.

### 2.11.1. 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.

$$RN = C \cdot \frac{60}{T_c} \text{ ó } RN = C \frac{3600}{T_c}, [t/h] \quad (2.10)$$

Dónde:

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

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

### 2.11.2 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  $RN < RR$ .

$$RR = RN \cdot K_{up}, [t/h] \quad (2.11)$$

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:

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

$$HD = HH - H_a; [h] \quad (2.12)$$

Donde:

$HH$ : Horas hábiles o totales; (h)

$H_a$ : Horas averías; (h)

$$HH = HD(Cd); [h] \quad (2.13)$$

$HD$ : Horas días; (h)

$Cd$ : Cantidad de días; (h)

2. 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:

$$HI = HD - HE; [h] \quad (2.14)$$

Dónde:

$HE$ : Horas efectivas trabajadas; (h)

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

$$ID = \frac{HD}{HH}; [\%] \quad (2.15)$$

4. 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.

$$IU = \frac{HE}{HE+HI}; [\%] \quad (2.16)$$

5. 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.

$$RE = \frac{P}{HE}; [t/h] \quad (2.17)$$

Donde

$P$ : Producción; (t)

6. 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.

$$EP = \frac{P \cdot 100\%}{HH - (HM + HI) \cdot RE}; [\%] \quad (2.18)$$

Dónde:

$HM$ : Horas de mantenimiento, (h)

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

$$C_h = \frac{G_o}{HE}; [$/h] \quad (2.19)$$

Dónde:

$G_o$ : Gasto por operación; (\$).

8. 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.

$$C_o = \frac{G_o}{P}; [$/t] \quad (2.20)$$

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 operacionalidad; para conocer y evaluar la disponibilidad el aporte del equipo al plan de producción de la empresa.

### **2.12. Conclusiones parciales del capítulo II**

1. Se determinaron los índices de fiabilidad para seleccionar el tiempo promedio de trabajo de los equipos y así perfeccionar el sistema de mantenimiento.
2. Se realizó una comparación desde el punto de vista económico de los costos de operación y costos de los sistemas de mantenimiento por equipos.
3. Se utilizó para el cálculo de los indicadores productivos la metodología aplicada en (García, 2013) a partir de la productividad, y los parámetros técnicos y de explotación del equipamiento de extracción – carga de la UBMECG.

## **Capítulo III. Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medioambiental**

### **3.1. Introducción**

La explotación minera es una actividad importante dentro del proceso productivo del país, para la realización de la misma es necesario la planificación de la productividad de los equipos que intervienen en las operaciones de la actividad. El mantenimiento y el rendimiento productivo son indicadores básicos para garantizar la disponibilidad y la disminución de costos por operaciones; que a su vez garantizan la efectividad de los equipos. La correcta planificación y ejecución del mantenimiento es una estrategia trazada para la disminución de pérdidas productivas y la optimización del rendimiento.

En este capítulo se plantea como objetivo: Valorar los indicadores productivos y del mantenimiento, obtenidos en la investigación considerando los criterios técnicos, económicos y medioambientales más importantes relacionados con el estudio realizado.

### **3.2. 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 fundamentalmente la operativa que depende del trabajo y el rendimiento de los equipos para medir las pérdidas de producción asociadas a la propia disponibilidad de los equipos que laboraron en el año 2015 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 LIEBHERR; con nomenclatura RE-980, RE-1091, RE-1311.

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.

Las cuestiones anteriormente expresadas influyen directamente en los principales indicadores de la fiabilidad, que regula el funcionamiento de un equipo a través de

los índices de mantenibilidad y la disponibilidad técnica; que son los medidores fundamentales para establecer un sistema de mantenimiento adecuado para los equipos, en este caso de excavación – carga.

#### *Estado técnico actual de los equipos estudiados*

##### RE-980

Comienza su utilización en el año 2004, se le han realizado tres reparaciones, comenzó el 2015 con 35551 horas de operación.

##### RE-1091

Inicia su utilización en el año 2007, se le han realizado tres reparaciones para mejorar su estado técnico, el año 2015 comenzó con 35559 horas de operación.

##### RE-1311

Comienza a operar en la UBM en el año 2010, se le han realizado dos reparaciones, una de ellas propiamente en el 2015 por ocurrencia de averías; comenzó el año 2015 con 16112 horas de operación.

#### *3.2.1. Relación entre los incidencias de la fiabilidad*

La mantenibilidad se determinó a partir de las horas en que los equipos se encuentran 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. En la tabla 3.1 se encuentran los valores de estos tiempos por equipos determinados por meses.

Tabla 3.1. Tiempo Promedio entre Reparaciones de los equipo de excavación.

	TPPR (hrs)		
	RE-980	RE-1901	RE-1311
Enero	26,55	13,83	209,33
Febrero	81,83	43,67	0
Marzo	25,33	54,5	0
Abril	38,33	25	0
Mayo	27,17	59,5	0
Junio	20,33	16,33	0
Julio	18,33	80,33	19,17
Agosto	202,17	51,5	35
Septiembre	152,5	38,83	23,42
Octubre	149,67	40,33	20,67
Noviembre	0	138,33	51,22
Diciembre	0	148	72

En los equipos se analizaron los principales tiempos de reparación correspondientes a los meses del año 2015, hay que esclarecer que cada equipo no parte desde cero porque en cada uno existe un tiempo de explotación acumulado, en la tabla 3.1, se observa que el tiempo promedio de reparación en cada equipo va aumentando paulatinamente a partir del sexto o séptimo mes de trabajo, donde la causa fundamental es el incumplimiento en los plazos del mantenimiento planificado. Este tiempo expresa la relación con el tiempo promedio entre fallas que es determinado por la expresión 2.3, donde se determina a partir de la expresión exponencial de la fiabilidad y la distribución de Weibull, donde se identifica la variable alpha como el tiempo promedio de trabajo del equipo y beta como el tasa promedio de fallas, (Anexo 2). En la tabla 3.2 se expresa los resultados de estos valores de promedios de cada equipo.

Tabla 3.2. Tiempo Promedio entre Fallas de los equipo de excavación.

	TPEF (hrs)		
	RE-980	RE-1901	RE-1311
Enero	325,06	292,66	94,63
Febrero	281,36	358,04	0
Marzo	325,31	350,09	0
Abril	319,80	325,21	0
Mayo	325,56	353,78	0
Junio	319,20	322,73	0
Julio	323,24	359,90	162,36
Agosto	123,86	347,13	172,25
Septiembre	208,55	377,55	167,25
Octubre	123,86	347,45	162,99
Noviembre	0	208,72	176,41
Diciembre	0	278,13	179,31

Donde los equipos analizados se comportan estables en su período de trabajo; por supuesto fluctuando en algunos meses pero a partir del sexto mes se comporta aumentando el tiempo entre reparaciones, mostrando que el período entre fallas disminuye porque es más frecuente que aparezcan las incidencias; por lo que establecemos una relación entre estos parámetros que se reflejan en los gráficos 3.1, 3.2 y 3.3; donde se vincula el TPEF y el TPPR de cada equipo de excavación – carga, reflejando este estudio que los períodos de mantenimientos en la UBM no se cumplen según su planificación y recurren mucho al mantenimiento correctivo que es el encargado de realizar las reparaciones en los equipos cuando se encuentran detenidos a causa de las fallas o incidencias que aparecen durante el proceso productivo de los equipos de excavación.

En los gráficos siguientes se aprecia que los equipos disminuyen su tiempo promedio de trabajo por meses a medida que acumulan horas efectivas y su tiempo de mantenimiento planificado no se cumple por lo que se refleja en la ocurrencia de afectaciones en cuanto a la mantenibilidad.

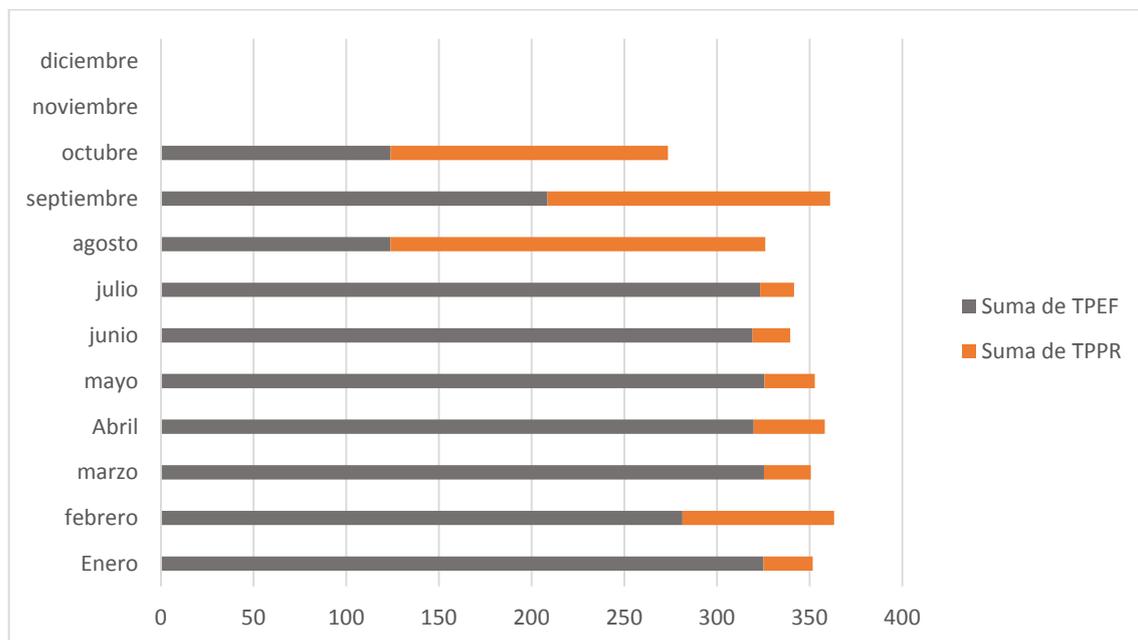


Gráfico 3.1. Comportamiento del TPEF y TPPR del equipo RE-980.

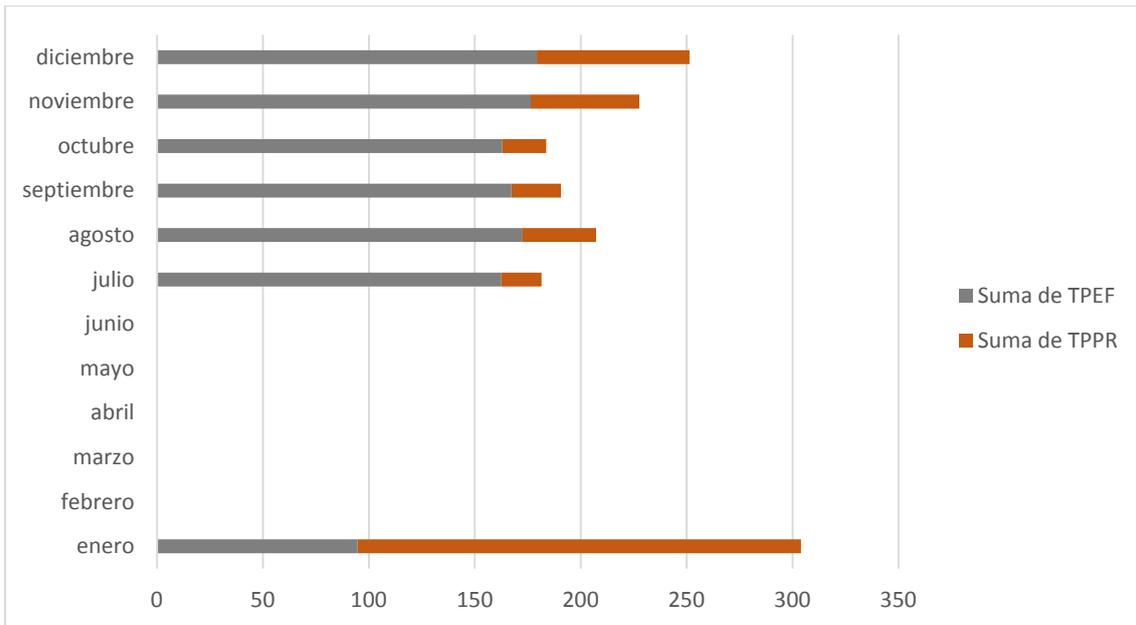


Gráfico 3.2. Comportamiento del TPEF y TPPR del equipo RE-1311.

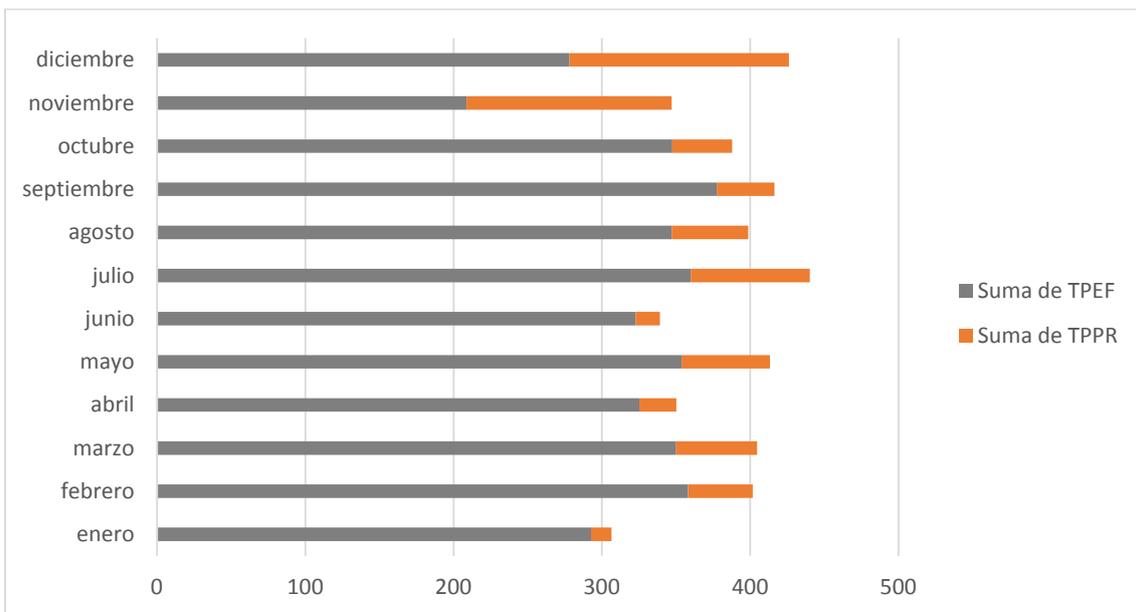


Gráfico 3.3. Comportamiento del TPEF y TPPR del equipo RE-1091.

Por tanto podemos determinar el tiempo promedio o vida útil promedio que tendrían los equipos de estudios a partir de cumplimiento de las horas destinadas al mantenimiento de los mismos; para establecer la planificación de su explotación, estos cálculos se basan en la expresión 2.4, tomando las variables  $\alpha$ , 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, (Anexo 3).

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

*Tabla 3.3. Tiempo promedio de trabajo de los equipos de excavación.*

No.	Equipo de excavación – carga	Tiempo medio de trabajo $E(t)$
1	RE-980	822,85
2	RE-1091	655,12
3	RE-1311	475,13

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 mantenimiento correctivo, se puede observar que el equipo 1091 es el más estable en cuanto al trabajo continuo y la RE-1311 la de menor tiempo promedio porque estuvo detenida por más de 5 meses de trabajo.

Los equipos mineros trabajan continuamente en régimen de 24 horas los 365 días del año, estos generalmente sufren desgastes prematuros por las difíciles condiciones en las que desarrollan su labor, y por lo tanto presentan una tasa de fallas creciente, el mantenimiento preventivo puede incrementar la confiabilidad de las operaciones en gran medida pero podemos constatar que el paso del tiempo provoca, el envejecimiento de sus partes que a su vez causan averías que derivan grandes y continuos problemas de disponibilidad y con esto un aumento del número de frecuencias de mantenimiento correctivo.

### *3.2.2 Disponibilidad técnica*

La disponibilidad es una excelente medida de la capacidad de uso del equipo durante el tiempo programado. Los equipos de excavación – carga trabajan permanentemente, es decir, en procesos continuos, la disponibilidad está relacionada con la planificación y el cumplimiento de las operaciones de mantenimiento y la gestión global de los equipos, ya que depende principalmente del tiempo perdido debido al estado de conservación del equipo. Representa el tiempo que se dispone el equipo para que funcione sin detenerse durante el tiempo programado. Para valorar la disponibilidad se debe conocer el tiempo total

de paradas no programadas (TT) y el tiempo de las paradas programadas por mantenimiento.

En los estudios realizados 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 que se determinó por la expresión 2.5, con la utilización de las variables TPEF y TPPR y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.4. Cálculo de la disponibilidad en el equipo RE-980.

Meses	Dispon Plan (%)	Dispon Real (%)	Dispon Real Calculada (%)
enero	75	89,29	92,42
febrero	75	63,47	77,47
marzo	75	89,78	92,76
abril	75	84,03	89,3
mayo	75	90,39	92,3
junio	75	83,33	94,01
julio	75	86,02	94,63
agosto	75	18,48	38
septiembre	54,72	36,46	57,76
octubre	75	18,48	45,28
noviembre	0	0	0
diciembre	0	0	0

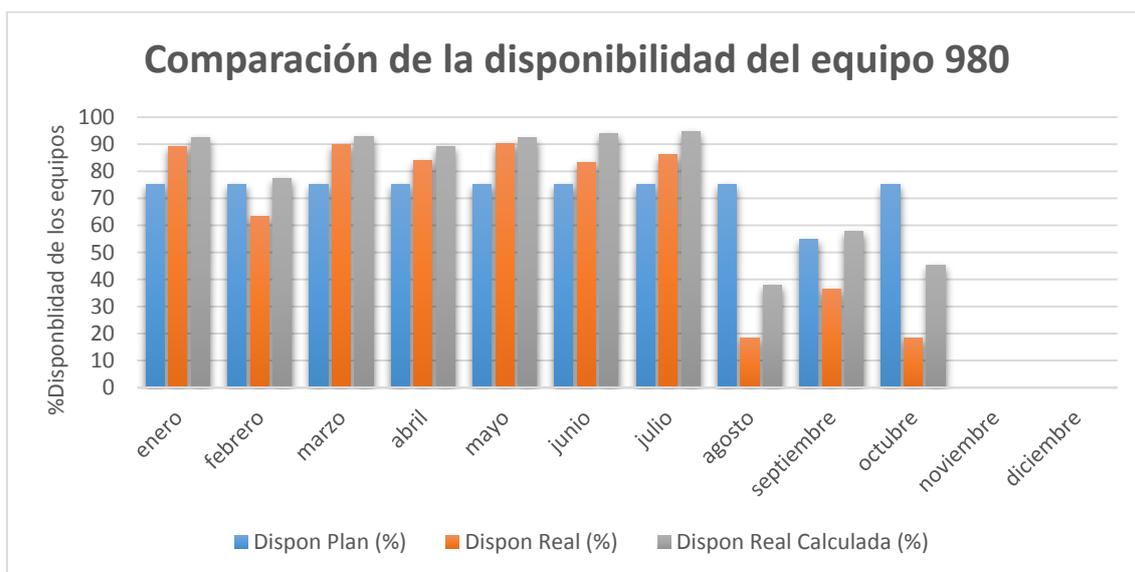


Grafico 3.4. Comportamiento de la disponibilidad del equipo RE-980.

En el equipo RE-980 se muestra que el equipo presenta una disponibilidad real entre valores de 60, mayormente 80 y un valor de 90 % los primeros seis meses, luego comienza a decrecer hasta que deja de trabajar en los últimos meses del año; los valores de la planificación es de 75 % porque es en base de la explotación acumulada del equipo; la disponibilidad obtenida por los cálculos se encuentra en el orden del 92 %, luego a partir del sexto mes decrecen sus valores hasta los dos últimos meses que no se realiza su explotación.

Tabla 3.5. Cálculo de la disponibilidad en el equipo RE-1091.

Meses	Dispon Plan (%)	Dispon Real (%)	Dispon Real Calculada (%)
enero	75	94,42	95,49
febrero	75	80,51	89,13
marzo	75	78,02	86,53
abril	75	89,58	92,86
mayo	75	76,01	85,6
junio	75	90,28	95,18
julio	75	67,61	81,75
agosto	75	79,23	87,08
septiembre	75	83,82	90,67
octubre	75	79,23	89,6
noviembre	74,17	42,36	60,14
diciembre	75	40,32	65,27

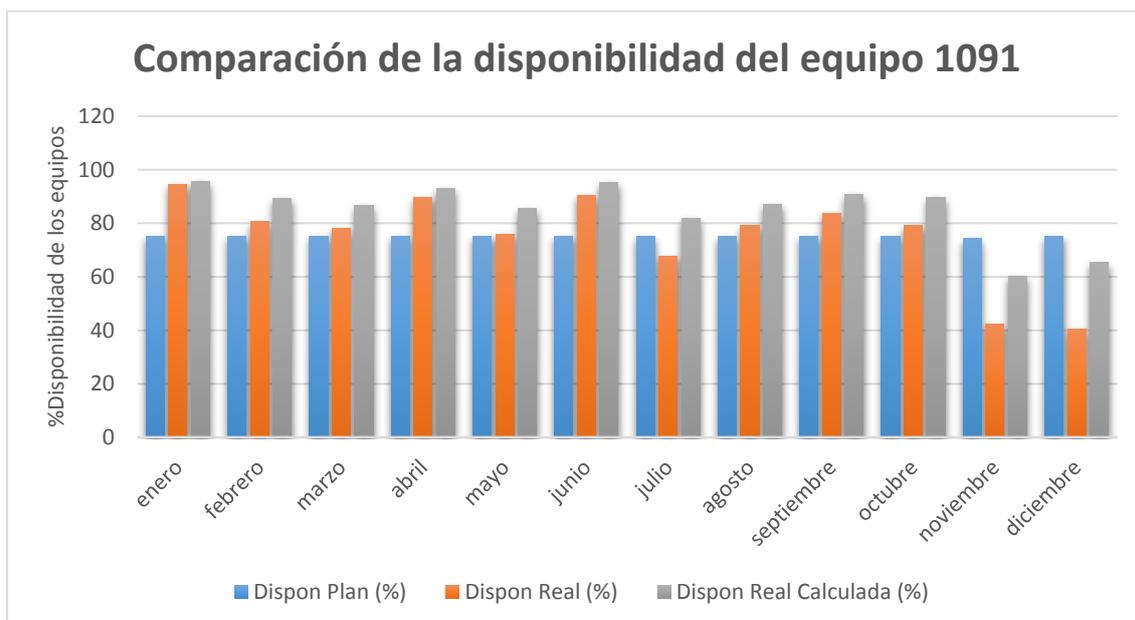


Gráfico 3.6. Comportamiento de la disponibilidad del equipo RE-1091.

Este equipo es el más estable en su trabajo donde se le planifica una disponibilidad del 75 % por la explotación acumulada pero los indicadores de disponibilidad se comportan entre el 70 y 90 % hasta el sexto mes donde comienza a decrecer y fluctúa entre los 40 y 60 % hasta el final del año.

Tabla 3.6. Cálculo de la disponibilidad en el equipo 1311.

Meses	Dispon Plan (%)	Dispon Real (%)	Dispon Real Calculada (%)
enero	85,08	15,59	31,13
febrero	0	0	0
marzo	0	0	0
abril	0	0	0
mayo	0	0	0
junio	0	0	0
julio	85,08	92,27	89,44
agosto	85,08	81,72	83,11
septiembre	85	90,24	87,72
octubre	85,08	91,67	88,75
noviembre	84,58	78,66	77,5
diciembre	85,08	70,97	71,35

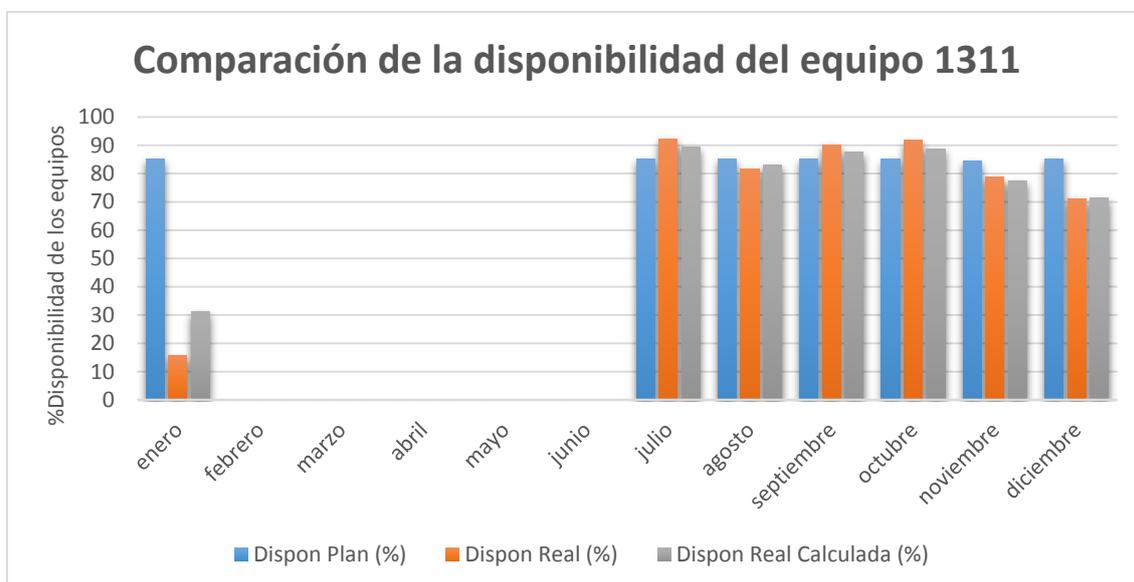


Gráfico 3.7. Comportamiento de la disponibilidad del equipo RE-1311.

Este equipo estuvo detenido por espacio de 5 meses porque estaba en reparación a causa de averías; su disponibilidad planificada es más elevada porque tiempo menos tiempo de explotación; su disponibilidad real fluctúa entre los 80 y 90 % en

los meses trabajados hasta el quinto mes de trabajo que comienza a decrecer su disponibilidad; de igual forma sucede en la disponibilidad determinada donde oscila entre los valores del 80 % y luego decrece en los meses finales del año.

Podemos llegar a la conclusión en este análisis que los equipos en su explotación se encuentran en una disponibilidad estable en los primeros meses de trabajo luego comienza a decrecer; de igual forma en la disponibilidad que se pudiera obtener con los cálculos probabilísticos, la causa fundamental de esta situación se encuentra condicionada por el incumplimiento de las horas planificadas del mantenimiento preventivo, ya que se acumulan horas de trabajo de sobreexplotación en los equipos que inciden negativamente en la confiabilidad y el rendimiento de los equipos.

### 3.3. Determinación de los parámetros tecnológicos

Aplicando la metodología de cálculo de Ballester y Capote (1992) y la de Navarro (2008) expuesta en el capítulo II se obtuvieron los parámetros tecnológicos de los equipos desde el punto de vista teórico del rendimiento a partir de los catálogos de los fabricantes; y la metodología de Paraszczak (2005) para establecer los indicadores productivos a raíz del mantenimiento para obtener producción, costos y rendimiento general.

#### 3.3.1. Rendimiento del equipo

El nivel de rendimiento del equipo es una medida que indica si este funciona a los niveles máximos 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. 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.

Tabla 3.7. Cálculo de rendimiento nominal y rendimiento real.

Equipos de excavación	Rendimiento nominal (t/h)	Rendimiento real (t/h)
RE-980	15,5	11,63
RE-1091		
RE-1311		

Este rendimiento se determina desde el punto teórico de la posibilidad según los catálogos de la capacidad de trabajo de estas máquinas de excavación.

*Parámetros tecnológicos según la metodología de Paraszczak (2005)*

Esta 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 de las horas destinadas al mantenimiento, los gastos operacionales para determinar el rendimiento general de los equipos. Esta metodología se determinó por las expresiones 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20.

*Tabla 3.8. Cálculo de los parámetros tecnológicos de los equipos de excavación.*

<b>Retroexcavadoras</b>	<b>UM</b>	<b>RE-980</b>	<b>RE-1091</b>	<b>RE-1311</b>
Horas hábiles (HH)	(h)	8760	8760	8760
Horas mantenimiento (HM)	(h)	144,66	203,5	116
Horas averías (Ha)	(h)	3289,34	1992,5	4258
Horas disponibles (HD)	(h)	5326	6564	4386
Horas efectivas (HE)	(h)	4813	6575	3837
Horas imprevistas (HI)	(h)	512,66	11	549,41
Producción (P)	(t)	619369	736118	418929
Gastos totales (Gt)	(\$)	515488	293479	198703
Costo Unitario (Gu)	(\$/t)	0,83	0,40	0,47
Costo horario (Gh)	(\$/h)	96,79	44,71	45,30
Índice de disponibilidad (ID)	(%)	61	75	50
Índice de utilización (IU)	(%)	90	98	87
Rendimiento efectivo (RE)	(t/h)	128,68	111,96	109,19
Eficiencia productiva (EP)	(%)	59	77	47
Rendimiento general (RG)	(%)	33	58	21

En esta tabla se demuestra lo que se determinó los valores fundamentales de los parámetros tecnológicos que indica lo calculado en las gráficas del TPEF y TPPR, la determinación de la disponibilidad que el equipo 1091 es el más estable en la productividad, rendimiento, la eficiencia productiva a partir de la generación de los costos y las horas de mantenimiento planificadas teniendo en cuenta las horas hábiles y la horas efectivas trabajadas por el equipo.

### 3.4. Valoración económica

En el acápite anterior se determinaron las variables que participan en la explotación de los equipos de excavación fundamentalmente en el aspecto económico.

#### *Costo horario*

Se determinó el costo horario de las operaciones del equipo de excavación por la expresión 2.19; resulta el valor de la operación de excavación a partir de la cantidad de horas efectivas de trabajo.

*Tabla 3.10. Costo horario total de los equipos de excavación.*

<b>Retroexcavadoras</b>	<b>UM</b>	<b>RE-980</b>	<b>RE-1091</b>	<b>RE-1311</b>
Costo horario (Gh)	(\$/h)	96,79	44,71	45,30
<b>Total</b>				<b>186,60</b>

El equipo RE-980 genera mayor costo horario porque sus gastos totales son elevados a partir de sus horas imprevistas y las horas efectivas; el equipo RE-1091 es el de menor ya sus horas imprevistas son menores.

#### *Costo unitario*

Este es el indicador que mide el gasto total de las operaciones de los equipos de excavación a partir de la cantidad total de toneladas que generan la producción. Se determinó por la expresión 2.20.

*Tabla 3.11. Costo unitario de los equipos de excavación.*

<b>Retroexcavadoras</b>	<b>UM</b>	<b>RE-980</b>	<b>RE-1091</b>	<b>RE-1311</b>
Costo unitario (Gh)	(\$/h)	0,83	0,40	0,47
<b>Total</b>				<b>1,7</b>

Es la relación de las toneladas producidas por el equipo y el gasto total; en este estudio el equipo RE-980 es el de mayor costo ya que produce mayor volumen de producción y los gastos totales son mayores; el equipo RE-1091 es el de menor costo porque su relación entre producción y gastos totales es menor.

#### *Gastos totales*

Es el gasto total generado por el salario de los operadores de los equipos, el consumo del combustible y gasto generado por el mantenimiento de los equipos.

Tabla 3.12. Gastos totales de los equipos de excavación.

Conceptos de gastos	Retroexcavadoras		
	RE-980	RE-1091	RE-1311
Gastos de combustible	342066,31	148758,42	73898,96
Gastos por mantenimiento	146541,89	117840,57	97924,30
Salario de operadores	26880	26880	26880
<b>Sub-Total</b>	515488,20	293478,99	124804,30
<b>Total</b>			<b>808967,19</b>

#### 3.4.1 Costo del mantenimiento realizado a los equipos de excavación

Los costos del mantenimiento fueron recogidos en el informe general emitido por el departamento de mantenimiento de la UBMECG donde se recogen los gastos fundamentales generados por la actividad realizada por el tipo de mantenimiento el costo de las operaciones y los materiales e insumos. Los datos aparecen en el anexo 4.

#### Costo de mantenimiento por las horas hábiles

Esta relación está vinculada con los costos generales del mantenimiento y las horas de trabajo de las máquinas y por supuesto el equipo de menor por ciento es la RE-1311 ya que estuvo alrededor de 6 meses sin explotación y la RE-1091 es la de mayor por ciento porque fue la que laboro con mayor disponibilidad.

Tabla 3.13. Relación del costo del mantenimiento con las horas efectivas

Relación del costo de mantenimiento por las horas hábiles de trabajo.	Retroexcavadoras		
	RE-980	RE-1091	RE-1311
	42,67 %	53,66 %	22,39 %

#### Costo relativo con personal propio

Es la relación que expresa el costo de las actividades de mantenimiento realizadas por el personal propio de la brigada de mantenimiento utilizando los insumos planificados; en este caso la de mayor relación es el equipo RE-1311 ya que estuvo más tiempo en interrupción por averías.

Tabla 3.14. Relación de las actividades de mantenimiento con el personal propio.

Relación del costo de mantenimiento con el personal propio.	Retroexcavadoras		
	RE-980	RE-1091	RE-1311
	4,42 %	5,5 %	16,54 %

### 3.4.2. Índices del costo de los tipos de mantenimiento

En los estándares internacionales y los estudios de los sistemas de mantenimiento expresan que los costos que generan los sistemas de mantenimiento se vinculan directamente con la prevención de la ocurrencia de las fallas y el tiempo de trabajo planificado de los equipos; por supuesto se tiene en cuenta la producción que generan los equipos; por lo que en la minería es sumamente importante planificar las horas destinadas al mantenimiento y el tipo de mantenimiento que se le realizara a las máquinas.

En los estudios realizados en la UBMECG, a los equipos de excavación se determinó que el mayor costo se genera a través del mantenimiento correctivo porque no se cumplen con las horas planificadas para el mantenimiento preventivo y se detiene el equipo cuando ocurren las fallas que detienen los equipos, por tanto son se realizan los cambios de piezas y agregados en el tiempo planificado por lo que se le cargan la mayor parte de los gastos al mantenimiento correctivo, cuando debería ser al contrario.

Podemos constatar una violación al sistema de mantenimiento planificado a los equipo de excavación en la UBMECG, como se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Relación de los índices del mantenimiento.

Tipos de mantenimiento	Retroexcavadoras		
	RE-980	RE-1091	RE-1311
Mantenimiento Preventivo Planificado	25,54 %	33,30 %	16,54 %
Mantenimiento Correctivo	74,46 %	66,70 %	83,46 %

### 3.5. Valoración económica de indicadores de producción de los equipos de excavación

El rendimiento del equipos está asociado a la producción que genera en el tiempo de explotación del equipo, claro que estos aspectos generan gastos vinculados con la actividad que propiamente realizan las maquinas mineras. Para contribuir con ese proceso productivo hay que destinarle horas de mantenimiento para que ese rendimiento se mantenga estable y la máquina se encuentre disponible técnicamente para realizar su trabajo. En el grafico 3.8, se muestras la vinculación que existe entre las horas de mantenimiento, la producción, el rendimiento general y los gastos totales por la actividad minera de excavación; donde

podemos constatar que el equipo más estable en cuanto a las variables productivas es el RE-1091, por supuesto esto es asociado al cumplimiento aunque de forma parcial a las horas destinadas al mantenimiento, que no son cumplidas en su totalidad pero es la máquina que más relaciona horas de trabajo con horas de mantenimiento.

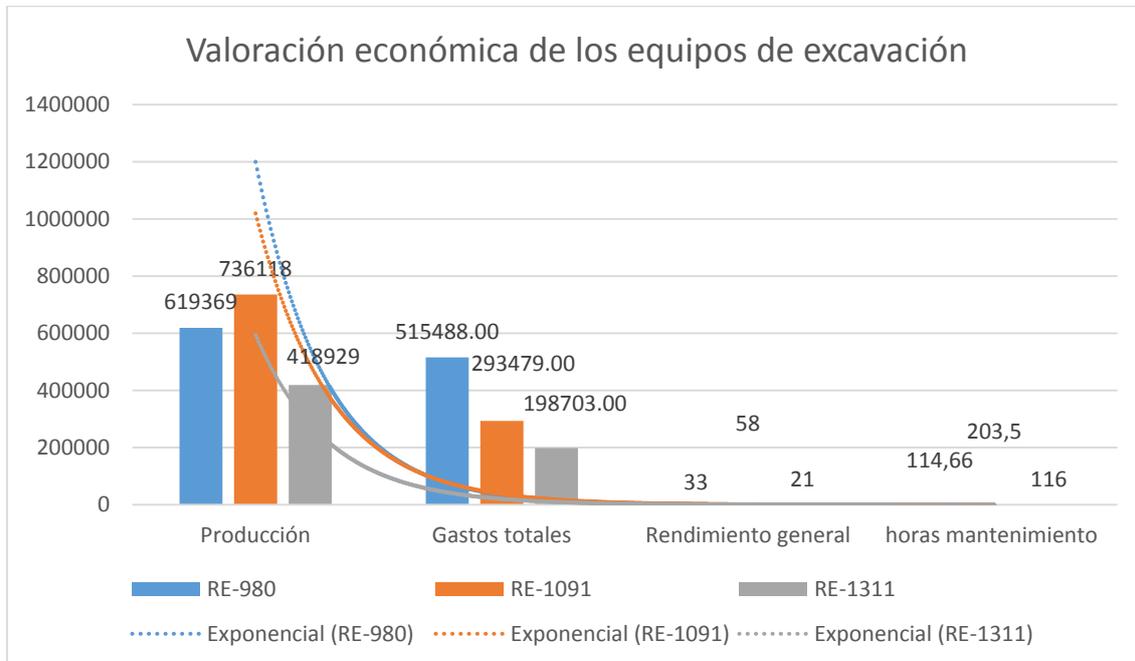


Grafico 3.8. Comparación entre los parámetros productivos y de gastos.

### 3.7. Impacto medio ambiental

Para la realización de la producción de los equipos de excavación de la UBMECG se consumen 751227,39 litros de combustible que genera al ambiente una exposición de unos 0,50 kg de CO<sub>2</sub>; 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. Conclusiones parciales del capítulo III**

- 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 promedios entre fallas, los tiempos de reparación y la disponibilidad esperada por métodos estadísticos, que demostraron que los tiempos y periodos de mantenimiento en la UBMECG no se cumplen.
- Los indicadores de mantenimiento en cuanto al costo, demostraron que el indicador del mantenimiento correctivo es más elevado que el planificado, porque se le cargan los gastos de piezas, actividades e insumos al mantenimiento correctivo.

## CONCLUSIONES

1. Se caracterizaron los equipos mineros de excavación- carga por las horas de explotación y las horas planificadas para el mantenimiento.
2. Se realizó la caracterización del equipamiento minero de excavación – carga por la metodología de Ballester y Capote (1992) y Paraszczak (2005) para determinar el rendimiento nominal y efectivo de los mismos; los índices de utilidad y de disponibilidad a partir de las horas efectivas.
3. Se determinó con la aplicación de la ley de fiabilidad y la distribución exponencial de Weibull, la afectación a la disponibilidad técnica por incumplimiento de los mantenimientos planificados.
4. Se determinó que el índice de costo del mantenimiento preventivo, es mayor que el correctivo porque no se cumple con los tiempos de mantenimiento.
5. Se demostró que los indicadores productivos de los equipos de excavación – carga: la producción, el rendimiento general y las horas de mantenimiento, están intrínsecamente relacionados con los gastos totales y costos de mantenimiento.



## RECOMENDACIONES

1. Aplicar las metodologías utilizadas en esta evaluación a otros equipos mineros, en función de evaluar los parámetros de explotación y sistemas de mantenimiento.
2. Aplicar las herramientas del mantenimiento productivo total para lograr la vinculación hombre - máquina.

**BIBLIOGRAFÍA**

Alpizar, E. MANTENIMIENTO. CAPÍTULO 5. PP 193

<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/cap5.pdf>

Diseño de elemento de máquinas I

<http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/14.pdf>

El Análisis de Fallas con Diagramas de Árbol

<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcesp/spstpfaulttree.pdf>

Estupiñan, E. (2003). En su artículo "Alcance de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento productivo-proactivo en la industria". Departamento técnico del Taller de Mantenimiento Industrial Mina.

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.

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.

Gelkys, (2010). "Procedimiento para la adquisición y explotación del equipamiento minero para la empresa " Cementos Santiago SA".

Guerra López, E. (2012) Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Minería. "Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara".

Herrera, J. (2009). Introducción al mantenimiento minero. Universidad politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de ingenieros en minas.

Joseph A; (2012) considera que el proceso productivo de mayor costo es “el de carga y transporte de material”, Klimasauskas, R.E. (2005),

Justino, T (2014). “Procedimiento de cálculo del mantenimiento para minimizar los costos de los tiempos improductivos”.

Lebedev V.G. (2010). Dirección de los gastos en la empresa SPB: Editorial casa Biznes-Prensa, 352 páginas.

Mantenimiento Mecánico

[http://www.emagister.com/uploads\\_courses/Comunidad\\_Emagister\\_44744\\_44743.pdf](http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_44744_44743.pdf)

Muñoz, M. (2012). Trabajo publicado en línea titulado Mantenimiento Industrial. Para la Universidad Carlos III de Madrid. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/mantenimientoindustrial.pdf>.

Quiroga Mendiola, J.S. (2011) En su tesis “Proceso de mantenimiento de los camiones mineros y su influencia en la producción en la Empresa Comandante Ernesto “CHE” Guevara”.

Rivera, E. (2011). Sistema de gestión del mantenimiento industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima Perú.

Sierra, G. (2004). Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmeccanica industrias AVM S.A. Universidad industrial de Santander.

Somolentsheva Y. M. Economía y Dirección de la Empresa, Manual. Moscú.: Escuela superior, 2011, 337 páginas

Tamariz, M. (2014). Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos móviles y fijos de la Empresa Mirasol S.A. Universidad de Cuenca. Ecuador.



Tamborero, J. (1994). NTP 331. Fiabilidad: la distribución de Weibull. NIPO: 211-95-013-0. INSTITUTO DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Uzcátegui, M. (2014). Gestión del mantenimiento de la maquinaria pesada del proceso de carga y transporte de la empresa “construcciones asfalto andes, c.a”. Tesis presentada en opción al título académico de máster en minería. Mérida.

Velázquez, E. (2012). Mantenimiento correctivo a la maquina cortadora y selladora. Santiago de Querétaro

Zambrano S y otros, (2007). Generaciones del mantenimiento.

Zaldívar Salazar, M. C; Comas Pereira, J.F. (2006). “La Función del Mantenimiento. Un reto para la empresa del futuro”

Zaldívar Salazar, M. C; Comas Pereira, J.F. (2008). “Proyecto de confiabilidad operacional para las máquinas y equipos en la etapa de explotación”

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

Retroexcavadora RE-980														
	FONDO DE TIEMPO	TIEMPO ESTADO OPERATIVO		TIEMPO ESTADO. NO OPERATIVO (PLAN)				TIEMPO ESTADO NO OPERATIVO (REAL)				DISPON . PLAN (%)	DISPON . REAL (%)	INDICE ROTUR (%)
		Plan	Real	MTTO	MPP	REP	TOTAL	MPP	CORR	REP.	TOTAL			
enero	744	558	664,34	168	18		186	19,66	31	29	79,66	75,00	89,29	4,17
febrero	672	504	426,5	150	18		168	13	77,5	155	245,5	75,00	63,47	11,53
marzo	744	558	668	168	18		186	22,5	42,5	11	76	75,00	89,78	5,71
abril	720	540	605	162	18		180	18	15	82	115	75,00	84,03	2,08
mayo	744	558	672,5	168	18		186	24,5	33	24	81,5	75,00	90,39	4,44
junio	720	540	600	162	18		180	17	20	24	61	75,00	83,33	2,78
julio	744	558	640	168	18		186	6	25	24	55	75,00	86,02	3,36
agosto	744	558	137,5	168	18		186	8	69	529,5	606,5	75,00	18,48	9,27
septiembre	720	394	262,5	68	18	240	326	6	34,5	417	457,5	54,72	36,46	4,79
octubre	744	558	137,5	168	18		186	10	72	367	449	75,00	18,48	9,68
noviembre	720	0	0			720	720	0	0	720	720	0	0	0
diciembre	744	0	0			744	744	0	0	744	744	0	0	0



Retroexcavadora RE-1091														
	FONDO DE TIEMPO	TIEMPO ESTADO OPERATIVO		TIEMPO ESTADO. NO OPERATIVO (PLAN)				TIEMPO ESTADO NO OPERATIVO (REAL)				DISPON . PLAN (%)	DISPON . REAL (%)	INDICE ROTUR (%)
		Plan	Real	MTTO	MPP	REP	TOTAL	MPP	CORR	REP.	TOTAL			
enero	744	558	702,5	168	18		186	21,5	20	0	41,5	75,00	94,42	2,69
febrero	672	504	541	150	18		168	15,5	67,5	48	131	75,00	80,51	10,04
marzo	744	558	580,5	168	18		186	15	76,5	72	163,5	75,00	78,02	10,28
abril	720	540	645	162	18		180	21	30	24	75	75,00	89,58	4,17
mayo	744	558	565,5	168	18		186	22	80,5	76	178,5	75,00	76,01	10,82
junio	720	540	650	162	18		180	19	30	0	49	75,00	90,28	4,17
julio	744	558	503	168	18		186	15	60	166	241	75,00	67,61	8,06
agosto	744	558	589,5	168	18		186	19,5	78,5	56,5	154,5	75,00	79,23	10,55
septiembre	720	540	603,5	162	18		180	20,5	60	36	116,5	75,00	83,82	8,33
octubre	744	558	589,5	168	18		186	18	79	24	121	75,00	79,23	10,62
noviembre	720	534	305	168	18		186	10	111	294	415	74,17	42,36	15,42
diciembre	744	558	300	168	18		186	6,5	91,5	346	444	75,00	40,32	12,30



Retroexcavadora RE-1311														
	FONDO DE TIEMPO	TIEMPO ESTADO OPERATIVO		TIEMPO ESTADO. NO OPERATIVO (PLAN)				TIEMPO ESTADO NO OPERATIVO (REAL)				DISPON . PLAN (%)	DISPON . REAL (%)	INDICE ROTUR (%)
		Plan	Real	MTTO	MPP	REP	TOTAL	MPP	CORR	REP.	TOTAL			
enero	744	633	116	91	20		111	4	0	624	628	85,08	15,59	0,00
febrero	672	0	0			672	672	0	0	672	672	0	0	0
marzo	744	0	0			744	744	0	0	744	744	0	0	0
abril	720	0	0			720	720	0	0	720	720	0	0	0
mayo	744	0	0			744	744	0	0	744	744	0	0	0
junio	720	0	0			720	720	0	0	720	720	0	0	0
julio	744	633	686,5	93	18		111	25,5	8	24	57,5	85,08	92,27	1,08
agosto	744	633	608	93	18		111	18	13	105	136	85,08	81,72	1,75
septiembre	720	612	649,75	90	18		108	17,5	40,75	12	70,25	85,00	90,24	5,66
octubre	744	633	682	93	18		111	24	38	0	62	85,08	91,67	5,11
noviembre	720	609	566,34	93	18		111	16	57,66	80	153,66	84,58	78,66	8,01
diciembre	744	633	528	93	18		111	11	37	168	216	85,08	70,97	4,97

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

Base de datos para la determinación de los parámetros de la retroexcavadora 980

Meses	Fondo de tiempo	Fondo de tiempo (organizado)	Frecuencia	$\ln(t)$	$\ln(f)$	$(\ln(t))^2$	$(\ln(f))^2$	$\ln(t) \cdot \ln(f)$
enero	664,34	137,5	0,067	4,9236	-2,7031	24,2421	7,3065	-13,3089
febrero	426,5	137,5	0,1632	4,9236	-1,8128	24,2421	3,2862	-8,9254
marzo	668	262,5	0,2594	5,5703	-1,3494	31,0277	1,8208	-7,5164
abril	605	426,5	0,3557	6,0556	-1,03367	36,6704	1,0685	-6,2595
mayo	672,5	600	0,4519	6,3969	-0,7943	40,9207	0,6309	-5,0810
junio	600	600	0,5481	6,3969	-0,6013	40,9207	0,3615	-3,8465
julio	640	605	0,6443	6,4052	-0,4396	41,0270	0,1932	-2,8157
agosto	137,5	640	0,7406	6,4614	-0,3003	41,7506	0,0902	-1,9403
septiembre	262,5	664,34	0,8368	6,4987	-0,1781	42,2343	0,0317	-1,1579
octubre	137,5	668	0,933	6,5043	-0,0694	42,3058	0,0048	-0,4511
noviembre								
diciembre								
			$\Sigma$ sumatoria	60,1367	-9,2819	365,3413	14,7945	-51,3027

1. Cálculo de la media del logaritmo natural del tiempo y de frecuencia de trabajo

$$\overline{\ln(t)} = \sum \frac{\ln(t)}{n}$$

$$\overline{\ln(t)} = 6,013674947$$

$$\overline{\ln(f)} = \sum \frac{\ln(f)}{n}$$

$$\overline{\ln(f)} = -0,928189069$$

2. Cálculo de los parámetros de forma y de densidad

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

$$\beta = 1,22093856$$

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

$$\alpha = 874,717351$$



## Base de datos para la determinación de los parámetros de la retroexcavadora 1091

Meses	Fondo de tiempo	Fondo de tiempo (organizado)	Frecuencia	$\ln(t)$	$\ln(f)$	$(\ln(t))^2$	$(\ln(f))^2$	$\ln(t) \cdot \ln(f)$
enero	702,5	300	0,0561	5,7038	-2,8806	32,5331	8,2980	-16,4304
febrero	541	305	0,1368	5,7203	-1,9892	32,7220	3,9571	-11,3790
marzo	580,5	503	0,2175	6,2206	-1,5256	38,6957	2,3273	-9,4899
abril	645	541	0,2989	6,2934	-1,2076	39,6071	1,4584	-7,6002
mayo	565,5	565,5	0,3789	6,3377	-0,9705	40,1666	0,9418	-6,1506
junio	650	580,5	0,4596	6,3639	-0,7774	40,4991	0,6043	-4,9473
julio	503	589,5	0,5404	6,3793	-0,6154	40,6951	0,3788	-3,9261
agosto	589,5	589,5	0,6211	6,3793	-0,4763	40,6951	0,2268	-3,0382
septiembre	603,5	603,5	0,7018	6,4027	-0,3541	40,9952	0,1254	-2,2672
octubre	589,5	645	0,7825	6,4693	-0,2453	41,8512	0,0602	-1,5867
noviembre	305	650	0,8632	6,4770	-0,1471	41,9512	0,0216	-0,9528
diciembre	300	702,5	0,9439	6,5547	-0,0577	42,9634	0,0033	-0,3784
$\Sigma$ sumatoria				75,3019	-11,2469	473,3748	18,4031	-68,1470



## 1. Cálculo de la media del logaritmo natural del tiempo y de frecuencia de trabajo

$$\overline{\ln(t)} = \sum \frac{\ln(t)}{n}$$

$$\overline{\ln(t)} = 6,275155613$$

$$\overline{\ln(f)} = \sum \frac{\ln(f)}{n}$$

$$\overline{\ln(f)} = -0,937238334$$

## 2. Cálculo de los parámetros de forma y de densidad

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

$$\beta = 2,878133565$$

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

$$\alpha = 735,6810198$$



## Base de datos para la determinación de los parámetros de la retroexcavadora 1311

Meses	Fondo de tiempo	Fondo de tiempo (organizado)	Frecuencia	$\ln(t)$	$\ln(f)$	$(\ln(t))^2$	$(\ln(f))^2$	$\ln(t) \cdot \ln(f)$
enero	116	116	0,0943	4,7536	-2,3613	22,5966	5,5756	-11,2245
febrero	0	528	0,2295	6,2691	-1,4719	39,3016	2,1663	-9,2272
marzo	0	566,34	0,3648	6,3392	-1,0084	40,1854	1,0169	-6,3925
abril	0	608	0,5	6,4102	-0,6931	41,090	0,4805	-4,4432
mayo	0	649,75	0,6352	6,4766	-0,4539	41,9462	0,2059	-2,9392
junio	0	682	0,7705	6,5250	-0,2607	42,5760	0,0680	-1,7012
julio	686,5	686,5	0,9057	6,5316	-0,0990	42,6619	0,0098	-0,6469
agosto	608	0						
septiembre	649,75	0						
octubre	682	0						
noviembre	566,34	0						
diciembre	528	0						
$\Sigma$ sumatoria				43,3053	-6,3483	270,3580	9,5230	-36,5747



## 1. Cálculo de la media del logaritmo natural del tiempo y de frecuencia de trabajo

$$\overline{\ln(t)} = \sum \frac{\ln(t)}{n}$$

$$\overline{\ln(t)} = 6,186468503$$

$$\overline{\ln(f)} = \sum \frac{\ln(f)}{n}$$

$$\overline{\ln(f)} = -0,014149593$$

## 2. Cálculo de los parámetros de forma y de densidad

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

$$\beta = 1,100914747$$

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

$$\alpha = 492,414618$$

**Anexo 3. Calculo del tiempo promedio entre fallos**

Retroexcavadora 980

$$E(t) = \alpha \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Cuando  $\beta = 1,2$ 

$$\alpha = 874,72$$

$$\gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 0,9407$$

$$E(t) = 822,85$$

Retroexcavadora 1091

$$E(t) = \alpha \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Cuando  $\beta = 2,8$ 

$$\alpha = 735,68$$

$$\gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 0,8905$$

$$E(t) = 655,12$$

Retroexcavadora 1311

$$E(t) = \alpha \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Cuando  $\beta = 1,1$ 

$$\alpha = 492,41$$

$$\gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 0,9407$$

$$E(t) = 475,13$$

**Anexo 4. Calculo de los costos para el mantenimiento.****Calculo del costo total del mantenimiento a partir de las horas hábiles****RE-980**

$$CCMN = \frac{CTMN}{HH} \cdot 100 = \frac{146543,31}{3434} \cdot 100 = 42,67 \%$$

**RE-1091**

$$CCMN = \frac{CTMN}{HH} \cdot 100 = \frac{117840,57}{2196} \cdot 100 = 53,66 \%$$

**RE-1311**

$$CCMN = \frac{CTMN}{HH} \cdot 100 = \frac{97924,30}{4374} \cdot 100 = 22,39 \%$$

**Calculo del costo total del Mantenimiento Preventivo Planificado****RE-980**

$$CMPP = \frac{CMPP}{CTMN} \cdot 100 = \frac{37425,64}{146543,31} \cdot 100 = 25,54 \%$$

**RE-1311**

$$CMPP = \frac{CMPP}{CTMN} \cdot 100 = \frac{16193,33}{97924,30} \cdot 100 = 16,54 \%$$

**RE-1091**

$$CMPP = \frac{CMPP}{CTMN} \cdot 100 = \frac{39240,78}{117840,57} \cdot 100 = 33,30 \%$$

**Calculo del costo total del Mantenimiento Correctivo****RE-980**

$$CMPP = \frac{CMC}{CTMN} \cdot 100 = \frac{109117,67}{146543,31} \cdot 100 = 74,46 \%$$

**RE-1311**

$$CMPP = \frac{CMC}{CTMN} \cdot 100 = \frac{81730,97}{97924,30} \cdot 100 = 83,46 \%$$

**RE-1091**

$$CMPP = \frac{CMC}{CTMN} \cdot 100 = \frac{78599,79}{117840,57} \cdot 100 = 66,70 \%$$

# Costos por Clientes, Objeto y



Fecha de emision: 6/9/2016 10:14:32AM

Desde: 2015/01/01 Hasta: 2015/12/31

Cliente	Objeto		MO	MAT	MT	OC	Total
100110	RE-980	Extracción de Mineral Retro Excavadora					
<b>Ejecutor:</b>							
30101		Brigada de Aseguramiento	\$4,613.14	\$119.35	\$0.00	\$1,765.69	\$6,498.18
30102		Brigada de Revisión y Mantenimiento	\$984.40	\$24,888.10	\$0.00	\$11,553.14	\$37,425.64
30103		Brigada de Camiones	\$195.21	\$179.12	\$0.00	\$87.29	\$461.62
30104		Brigada de Equipos Pesados	\$7,639.91	\$94,516.54	\$0.00	\$0.00	\$102,156.45
		<b>Subtotal por Objeto:</b>	<b>\$13,432.66</b>	<b>\$119,703.11</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$13,406.11</b>	<b>\$146,541.89</b>

Objeto	Ejecutor:		MO	MAT	MT	OC	Total
RE-1091		Retro Excavadora Liebherr					
30101		Brigada de Aseguramiento	\$4,682.22	\$54.26	\$0.00	\$758.68	\$5,495.16
30102		Brigada de Revisión y Mantenimiento	\$1,230.03	\$21,747.67	\$0.00	\$16,263.09	\$39,240.78
30103		Brigada de Camiones	\$395.63	\$3,796.40	\$0.00	\$377.93	\$4,569.96
30104		Brigada de Equipos Pesados	\$5,108.14	\$63,055.90	\$0.00	\$0.00	\$68,164.04
32201		Brigada Mantenimiento de Excavadora	\$370.64	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$370.64
		<b>Subtotal por Objeto:</b>	<b>\$11,786.65</b>	<b>\$88,654.23</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$17,399.69</b>	<b>\$117,840.57</b>

Objeto	Ejecutor:		MO	MAT	MT	OC	Total
RE-1311		Retro Excavadora Liebherr					
30101		Brigada de Aseguramiento	\$1,842.21	\$125.95	\$0.00	\$644.72	\$2,612.88
30102		Brigada de Revisión y Mantenimiento	\$664.57	\$11,450.21	\$0.00	\$4,079.16	\$16,193.93
30103		Brigada de Camiones	\$59.22	\$1,377.42	\$0.00	\$32.68	\$1,469.32
30104		Brigada de Equipos Pesados	\$4,283.52	\$73,364.64	\$0.00	\$0.00	\$77,648.16
		<b>Subtotal por Objeto:</b>	<b>\$6,849.52</b>	<b>\$86,318.22</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$4,756.56</b>	<b>\$97,924.30</b>
		<b>Subtotal por Cliente:</b>	<b>\$40,601.10</b>	<b>\$296,306.06</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$35,942.91</b>	<b>\$372,850.06</b>
		<b>Total General:</b>	<b>\$40,601.10</b>	<b>\$296,306.06</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$35,942.91</b>	<b>\$372,850.06</b>

## Anexo 5. Producción de los equipos.

### Gráfico del comportamiento de la producción de los equipos de excavación.

